

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

Инженерная школа новых производственных технологий

Научно-образовательный центр Н.М.Кижнера

Направление подготовки 18.04.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии

Профиль Машины и аппараты химических и нефтехимических производств

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Установка для получения силикатной краски на основе зольных отходов с разработкой основного оборудования

УДК 667.633.222.6.02:66.046.591

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4КМ61	Боровой Виталий Юрьевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент НОЦ Н.М. Кижнера	Тихонов В.В.	К.Т.Н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Криницына З.В.	К.Т.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ООД ШБИП	Романова С.В.			

По разделу «Конструктивно-механический раздел»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент НОЦ Н.М. Кижнера	Беляев В.М.	К.Т.Н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент НОЦ Н.М. Кижнера	Беляев В.М.	К.Т.Н.		

Томск – 2019 г.

Планируемые результаты обучения по ООП 18.04.02

Код	Результат обучения	Требования ФГОС ВО, СУОС, критериев АИОР, и/или заинтересованных сторон
P1	Осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ), <i>CDIO Syllabus</i> . Критерии АИОР, согласованные с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> , требования профессиональных стандартов: 40.011 «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским работам»
P2	Осуществлять управление проектом на всех этапах его жизненного цикла	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ, <i>CDIO Syllabus</i> . Критерии АИОР, согласованные с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> , требования профессиональных стандартов: 40.011 - «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским работам», 28.004 «Инженер-проектировщик установок для утилизации и обезвреживания медицинских и биологических отходов»
P3	Организовывать и руководить работой команды, вырабатывать командную стратегию для достижения цели	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ, <i>CDIO Syllabus</i> . Критерии АИОР, согласованные с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> , требования профессиональных стандартов: 40.011 - «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским работам»,
P4	Применять современные коммуникативные технологии в том числе на иностранном языке (-ах) для академического и профессионального взаимодействия	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ, <i>CDIO Syllabus</i> . Критерии АИОР, согласованные с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> , требования профессиональных стандартов: 40.011 - «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским работам», 01.004 «Педагог профессионального обучения, профессионального образования и дополнительного профессионального образования»
P5	Проводить анализ и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ, <i>CDIO Syllabus</i> . Критерии АИОР, согласованные с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> , требования профессиональных стандартов: 01.004 «Педагог профессионального обучения, профессионального образования и дополнительного профессионального образования»
P6	Определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности, разрабатывать способы ее совершенствования на основе самооценки	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ, <i>CDIO Syllabus</i> . Критерии АИОР, согласованные с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> , требования профессиональных стандартов: 01.004 «Педагог профессионального обучения, профессионального образования и дополнительного профессионального образования»

Код	Результат обучения	Требования ФГОС ВО, СУОС, критериев АИОР, и/или заинтересованных сторон
P7	Формулировать, разрабатывать и реализовывать методы решения научно-исследовательских задач, в области проектирования и конструирования энерго и ресурсоэффективных химических, нефтегазоперерабатывающих и нефтехимических производств, представлять и защищать результаты	Требования ФГОС ВО, СУОС, <i>CDIO Syllabus</i> . Критерии АИОР, согласованные с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> , требования профессиональных стандартов: 28.004 - «Инженер-проектировщик установок для утилизации и обезвреживания медицинских и биологических отходов», 40.011- «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским работам»
P8	Проводить все стадии проектирования с использованием компьютерного 3-х мерного моделирования, коммерческих симуляторов и пакетов прикладных программ, в области проектирования и конструирования энерго и ресурсоэффективных химических, нефтегазоперерабатывающих и	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ, <i>CDIO Syllabus</i> . Критерии АИОР, согласованные с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> , требования профессиональных стандартов: 40.011- «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским работам», 19.002 - «Специалист по химической переработке нефти и газа», 19.003 - «Специалист по обслуживанию и ремонту нефтезаводского оборудования»
P9	Формулировать, разрабатывать и реализовывать методы решения научно-исследовательских задач, в области проектирования и конструирования энерго и ресурсоэффективных химических, нефтегазоперерабатывающих и нефтехимических производств	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ, <i>CDIO Syllabus</i> . Критерии АИОР, согласованные с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> , требования профессиональных стандартов: 40.011 «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским работам », 19.00- «Специалист по химической переработке нефти и газа», 19.003 «Специалист по обслуживанию и ремонту нефтезаводского оборудования», 19.008 «Специалист по диспетчерско-технологическому управлению нефтегазовой отрасли»

Компетенции выпускника программы

Наименование категории	Код и наименование компетенции выпускника программы
<i>Универсальные компетенции:</i>	
Системное и критическое мышление	УК-1. Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действия

Разработка и реализация проектов	УК-2. Способен управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла
Командная работа и лидерство	УК-3. Способен организовывать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной цели
Коммуникация	УК-4. Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном(ых) языке(ах), для академического и профессионального взаимодействия
Межкультурное взаимодействие	УК-5. Способен анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия
Самоорганизация и саморазвитие (в т. ч. сбережение здоровья)	УК-6. Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки
<i>Общепрофессиональные компетенции</i>	
Профессиональная методология	ОПК-1. Способен к профессиональной эксплуатации современного оборудования и приборов в соответствии с направлением и профилем подготовки
Инженерная и технологическая подготовка	ОПК-2. Способен к использованию методов математического моделирования материалов и технологических процессов, к теоретическому анализу и экспериментальной проверке теоретических гипотез
Адаптация к производственным условиям	ОПК-3. Способен к защите объектов интеллектуальной собственности и коммерциализации прав на объекты интеллектуальной собственности

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

Инженерной школы **ИШНПТ**

Направление подготовки (специальность) **18.04.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии**

Подразделение **Научно-образовательный центр Н.М.Кижнера**

Профиль **Машины и аппараты химических и нефтехимических производств**

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

_____ Беляев В.М.
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

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

Студенту:

Группа	ФИО
4KM71	Боровой Виталий Юрьевич

Тема работы:

Установка для получения силикатной краски на основе зольных отходов с разработкой основного оборудования	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	
<i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i>	Рассчитать гидродинамический сепаратор периодического действия для извлечения алюмосиликатных микросфер из зольных отходах. Исходные данные: Плотность обрабатываемого материала: Зола угольная Северской ТЭЦ $\rho_z = 0,6 - 1,45 \text{ г/см}^3$, принимаем максимальное значение $\rho_z = 1,45 \text{ г/см}^3$ Плотность алюмосиликатной микросферы (АСМ) тяжелой $\rho_t = 2 - 2,2 \text{ г/см}^3$ $\rho_{\text{ч}} = 2000 \text{ кг/м}^3$ Давление в сепараторе: 0,1 МПа; Производительность по пульпе: $G_{\text{п}} = 4 \text{ м}^3/\text{ч}$; Расход воды: $G_{\text{в}} = 12 \text{ м}^3/\text{ч}$; Содержание воды в пульпе: $C = 20 \%$;

	Содержание АСМ в золе: $C' = 15 \%$; Коэффициент динамической вязкости воды: $\mu = 10 \cdot 10^{-4}$ Па·с Время работы сепаратора $t = 8040$ ч; Времени разгрузки $t_p = 5$ мин; По результатам расчёта сепаратора и научного исследования по применению АСМ в силикатном покрытии подбирается реактор с мешалкой для приготовления силикатной износостойкой краски. Исходные данные: Производительность реактора: $G_k = 1860$ кг/ч; Коэффициент динамической вязкости жидкого стекла: $\mu = 1,4 \cdot 10^{-3}$ Па·с; Давление в реакторе: 0,1 МПа; Температура сырья (ж/с, глицерин, наполнители): 20°C; Температура в реакторе: 20°C.
--	---

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов

(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования).

Листов формата А1:

1. Реактор с мешалкой;
2. Выносные элементы реактора с мешалкой;
3. Гидродинамический сепаратор;
4. Технологическая схема;
5. Техничко-экономические показатели.

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Креницына З.В.
Социальная ответственность	Романова С.В.
Конструктивно – механический раздел	

Название разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:

Приложение А – английский язык

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Тихонов В.В.	К.Т.Н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4КМ71	Боровой Виталий Юрьевич		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
4KM71	Боровой Виталий Юрьевич

Школа	ИШНПТ	Отделение школы (НОЦ)	Научно-образовательный центр Н.М.Кижнера
Уровень образования	Магистр	Направление/специальность	МАХП

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения научного исследования с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Проведение предпроектного анализа. Определение целевого рынка и проведение его сегментирования. Анализ причин и следствия проблем, оценка коммерциализации проекта.
2. Инициация научного проекта	Определение целей и ожиданий, требований проекта. Определение заинтересованных сторон и их ожиданий.
3. Планирование процесса управления НИИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	Составление структуры работ и календарного плана проекта. Определение бюджета НИИ
4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	Проведение сравнительной оценки экономической эффективности научного исследования.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Диаграмма Исикавы
2. Иерархическая структура работ проекта
3. Оценка экономической эффективности НИИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Криницына Зоя Васильевна	К.т.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4KM71	Боровой Виталий Юрьевич		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
4KM71	Боровой Виталий Юрьевич

Школа	ИШНПТ	Отделение школы (НОЦ)	Научно-образовательный центр Н.М.Кижнера
Уровень образования	Магистр	Направление/специальность	МАХП

Тема ВКР:

Установка для получения силикатной краски на основе зольных отходов с разработкой основного оборудования	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объект исследования – реактор смешения силикатной краски с алюмосиликатными микросферами; Область применения – химическая промышленность; Рабочее место – цех.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: – 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 01.04.2019).
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	Выявление опасных факторов при разработке и эксплуатации установок: 1) Отклонение показателей микроклимата; 2) Превышение уровня шума и вибрации; 3) Превышение ПДК вредных веществ; 4) Отсутствие или недостаток естественного света;

	5) Недостаточная освещенность рабочей зоны; 6) Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может пройти через тело человека.
3. Экологическая безопасность:	<i>Проблемы:</i> - вредные вещества, которые выделяются в процессе производственного процесса в атмосферу (зольная и сажная пыль). Для решения этой проблемы достаточно снабдить вентиляцию фильтрами - влияние на гидросферу отсутствуют Во время ремонта или демонтажа происходит образование твердых отходов, преимущественно остатков силикатной краски. Так же к концу каждой недели образуются шлаки обедненной золы. Золы и остатки продаются или утилизируются на Томском полигоне ТБО.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	Возможными ЧС при эксплуатации проектируемого производства является пожар и ураган. Наиболее типичной ЧС: является возгорание продуктов производства, оборудования хранения и смешения глицерина. Фактором, повлекшими возникновение ЧС могут быть: открытый огонь и статическое электричество.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ООД ШБИП	Романова С.В.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4КМ71	Боровой Виталий Юрьевич		

Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки

1. Определения и сокращения:

АСМ – алюмосиликатная микросфера. Микросфера представляет собой мелкодисперсный порошок фракцией 5–500 мкм, с химическим составом SiO_2 (51–70%), Al_2O_3 (18–40%), относящийся к группе алюмосиликатных материалов. По типу классификации АСМ бывают легкие и тяжелые.

Сепаратор CrossFlow – это новое поколение сепараторов с восходящим потоком. Он представляет сепаратор для обогащения в тяжелой среде. Данный аппарат позволяет эффективно обогащать шлам крупностью 0,02-1 мм

ТЭЦ – тепловая электростанция.

Метод по прибору ИТП – МГ4: предназначены для определения теплопроводности и термического сопротивления строительных материалов, а также материалов, предназначенных для тепловой изоляции промышленного оборудования и трубопроводов при стационарном режиме по ГОСТ 7076 и методом теплового зонда по ГОСТ 30256.

2. Нормативные ссылки:

ГОСТ 21.403-80 Система проектной документации для строительства (СПДС). Обозначения условные графические в схемах. Оборудование энергетическое.

ГОСТ 21.403-80 Система проектной документации для строительства (СПДС). Обозначения условные графические в схемах. Оборудование энергетическое.

ГОСТ 34233.1-2017 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Общие требования (утв. приказом Росстандарта от 14.12.2017 N 1989-ст)

ГОСТ 34233.2-2017 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет цилиндрических и конических обечаек, выпуклых и плоских днищ и крышек (утв. приказом Росстандарта от 14.12.2017 N 1990-ст)

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 (утв. приказом Росстандарта от 14.12.2017 N 1991-ст)

ГОСТ 34233.4-2017 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет на прочность и герметичность фланцевых соединений (утв. приказом Росстандарта от 14.12.2017 N 1992-ст)

ГОСТ 34233.5-2017 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет обечаек и днищ от воздействия опорных нагрузок (утв. приказом Росстандарта от 14.12.2017 N 1993-ст)

ГОСТ 34233.6-2017 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет на прочность при малоцикловых нагрузках (утв. приказом Росстандарта от 14.12.2017 N 1994-ст)

ГОСТ 34233.7-2017 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Теплообменные аппараты (утв. приказом Росстандарта от 14.12.2017 N 1995-ст)

ГОСТ 34233.8-2017 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Сосуды и аппараты с рубашками (с Поправкой) (утв. приказом Росстандарта от 14.12.2017 N 1996-ст)

Поправка к ГОСТ 34233.8-2017 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Сосуды и аппараты с рубашками

ГОСТ 34233.9-2017 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Аппараты колонного типа (утв. приказом Росстандарта от 14.12.2017 N 1997-ст)

ГОСТ 34233.10-2017 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Сосуды и аппараты, работающие с сероводородными средами (утв. приказом Росстандарта от 14.12.2017 N 1998-ст)

ГОСТ 2.782-68 Единая система конструкторской документации. Обозначения условные графические. Насосы и двигатели гидравлические и пневматические.

ГОСТ Р 7.0.5-2008 Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления.

ГОСТом 7.1-2003 Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления.

ГОСТ 2037-82 Конвейеры винтовые стационарные общего назначения. Общие технические условия.

ГОСТ Р 52857.1-2007 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Общие требования.

ГОСТ 12.2.085 - 2002. Сосуды и аппараты под давлением. Клапаны предохранительные.

ГОСТ 19903-74 Прокат листовой горячекатаный. Сортамент (с Изменениями N 1-6).

ГОСТ 12820-80. Фланцы стальные плоские приварные на Ру от 0,1 до 2,5 МПа (от 1 до 25 кгс/кв.см). Конструкция и размеры (с Изменениями N 1, 2, 3, 4)

ГОСТ 20680-2002 Аппараты с механическими перемешивающими устройствами. Общие технические условия.

АКТ 24.201.17-90 Мешалки, типы параметры, конструкция, основные размеры и технические требования.

СанПиН 2.6.1.2800-10 Гигиенические требования по ограничению облучения населения за счет природных источников ионизирующего излучения.

СНиП 23-05-95 Естественное и искусственное освещение: нормативно-технический материал.

СНиП 23-03-2003 Защита от шума: нормативно-технический материал.

ГН 2.2.5.1313-03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны.

СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы

СНиП 2.04.01-85 Внутренний водопровод и канализация

Содержание

Реферат	16
Введение.....	17
1 Анализ теоретических данных.....	19
1.1 Литературный обзор.....	19
1.1.1 Исследования по применению алюмосиликатной микросферы в различных областях промышленности.....	19
1.1.2 Псевдосжижение и обогащение в тяжелых средах на примере угля.....	20
1.1.3 Статья. «Конструктивные особенности сепаратора CrossFlow».....	21
1.2 Исследование по производству и применению силикатных покрытий с алюмосиликатным наполнителем	23
1.2.1 Общие теоретические сведения	23
1.2.2 Влияние алюмосиликатных микросфер на коэффициент теплопроводности силикатного покрытия.....	24
1.2.3 Влияние алюмосиликатных микросфер на огнестойкости силикатного покрытия с содержанием АСМ – лёгкой фракции.....	26
1.2.4 Влияние микросфер на износостойкость силикатного покрытия.....	30
2 Технологический расчет аппаратуры.....	35
2.1. Описание технологической линии.....	35
2.2 Материальный баланс реактора	36
2.3 Выбор конструктивных элементов реактора смесителя	38
2.3.1 Выбор исполнительного материала реактора.....	38
2.3.2 Расчет параметров мешалки и привода.....	39
2.4 Технологический расчет элементов гидродинамического сепаратора.....	45
2.4.1 Расчет скорости осаждения частицы.....	45

2.4.2 Расчет потребляемой мощности и подбор насоса.....	50
3 Конструктивно - механический расчет реактора смесителя.....	53
3.1 Определение расчетных параметров материала	53
3.2 Расчет толщины стенок цилиндрической обечайки.....	56
3.3 Расчёт толщины стенки конического днища.....	57
3.4 Расчет толщины плоской крышки.....	60
3.5 Расчет укрепления отверстий в плоской крышке.....	61
3.6 Подбор опоры под реактор.....	64
3.7 Расчет на прочности и герметичность фланцевых соединений.....	69
3.8 Расчет вала на прочность, жесткость и виброустойчивость.....	79
4 Конструктивно - механический расчет гидродинамического сепаратора.....	93
4.1 Определение расчетных параметров материала.....	93
4.2 Расчет толщины стенки цилиндрической обечайки.....	94
4.3 Расчёт толщины стенки конического днища.....	96
4.4 Расчет толщины плоской крышки.....	99
4.5 Расчет укрепления отверстий в плоской крышке и цилиндрической обечайки.....	100
4.6 Подбор и расчет опор под сепаратор.....	103
5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	108
5.1. Предпроектный анализ.....	108
5.1.1. Потенциальные потребители результатов исследования.....	108
5.2. Диаграмма Исикавы.....	111
5.3. SWOT-анализ	112
5.4 Экономический расчет.....	114
5.4.1 Расчет эффективного фонда времени.....	114

5.4.2 Расчет производственной мощности.....	115
5.4.3 Организация труда и заработной платы.....	116
5.4.4 Расчет капитальных затрат.....	122
5.4.5 Расчет технологических затрат.....	125
5.4.6 Калькуляция себестоимости получения 1 т товарного продукта.....	127
6 Социальная ответственность.....	133
6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	134
6.1.1 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.....	135
6.2 Производственная безопасность.....	139
6.2.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования.....	139
6.2.2 Мероприятия по защите персонала предприятия от действия опасных и вредных факторов.....	140
6.3 Экологическая безопасность.....	144
6.3.1 Анализ влияния объекта исследования на атмосферу.....	144
6.3.2 Анализ влияния производственного процесса на гидросферу и литосферу	145
6.4 Безопасность при чрезвычайных ситуациях	145
6.4.1 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть при производстве объекта исследования на производстве	145
6.4.2 Мероприятия по предотвращению ЧС при Стихийных бедствиях.....	146
Заключение.....	147
Список публикаций студента.....	148
Список источников и литературы	150
Приложение А	154

Реферат

Выпускная квалификационная работа состоит из пояснительной записки и 4 листов графического материала формата А1 и 2-х листов графического материала формата А2. Пояснительная записка содержит 166 с., 26 рис., 28 табл., 43 источников и 1 приложения.

Ключевые слова: разработка, реактор смешения, гидродинамический сепаратор с восходящим потоком, алюмосиликатные микросферы, силикатное покрытие.

Цель работы – рассчитать и подобрать реактор смешения и гидродинамический сепаратор с восходящим потоком для производства силикатной краски.

В процессе исследования изучалось силикатное покрытие с содержанием АСМ и проводился расчет оборудования для производства полученного покрытия.

В результате исследования была получена износостойкая краска как готовый продукт, был рассчитан реактор смешения и гидродинамический сепаратор с восходящим потоком под заданную производительность.

Основные технико – эксплуатационные характеристики: производительность по пульпе сепаратора: $4 \text{ м}^3 / \text{ч}$; давление атмосферное; температура 20°C .

Производительность реактора: 1860 кг/ч ; давление атмосферное; температура 20°C .

Область применения: лакокрасочная промышленность.

Введение

На сегодняшний день в России много действующих тепловых электростанций, работающих на угольном топливе, в результате сжигания которого, помимо прочего, образуется огромное количество золы. Основной способ утилизации золы, это складирование золошлаковых отходов, которые занимает большие площади. Однако золу можно использовать в строительстве, а её компоненты в других отраслях промышленности. Например, АСМ - алюмосиликатные микросферы как компонент золоотходов в строительстве используют для создания сверх легких бетонов, сухие строительные смеси, жидкие растворы, звукоизолирующие покрытия. В машиностроении для производства композитов, шины, ремонтные шпатлевки и др.

Актуальность выбранной темы исследования обусловлена в необходимости поиска и разработки новых технологий, а также проектирование для них соответствующего оборудования, для более эффективной утилизации и более эффективному извлечению полезных компонентов содержащиеся в золоотвалах ТЭЦ РФ. В настоящее время вопросы о переработке золоотвалов и снижении водопотребления ТЭЦ стоят как никогда остро, если принять во внимание следующие факторы:

- 1) ограниченность площадей для расширения золоотвалов,
- 2) возрастающие нагрузки на окружающую среду (проникновение загрязненной твердыми частицами и нефтепродуктами жидкой фазы в грунтовые воды, загрязнение воздуха пылевыми выбросами и др.).

АСМ образуется при факельном сжигании угля в печах ТЭЦ и подразделяется на 2 вида: легкую или плавающую и тяжёлую (толстостенную). Из двух видов сырья большой спрос на рынке стран СНГ и ЕС имеет АСМ – лёгкая. Благодаря таким свойствам как легкость и достаточная прочность её активно применяют для получения легких бетонов, а малый размер и сферичность частиц улучшает отсадку вязких суспензий и растворов. Плавающая АСМ является самым легким компонентом золошлаков и при их складировании, как правило, гидравлическим вымыванием концентрируется на поверхности и добывается обычным ручным способом. Однако по сравнению с общей массой образующихся золошлаков её содержание составляет всего от 2 до 5 % , тогда как АСМ – толстостенная может содержаться в золошлаках до 30 %. Но добыча данной сферы сложнее по сравнению с тяжелой и требует специальной аппаратуры. Классический способ разделения сыпучих материалов является просеивание, но для выделения тяжёлой АСМ

ситовые аппараты малоэффективны, поскольку делят смесь на фракции по размеру частиц, а не по природе вещества. Одним из путей решения сложившейся проблемы является гидродинамическое классифицирование компонентов золошлаков в восходящем потоке. А именно нужно подобрать или предложить оборудования с обогащением в тяжёлых средах.

В 2018 году темой применения АСМ для нужд лакокрасочной промышленности заинтересовался «Инжиниринговый центр неорганических материалов» г. Томск. Его основные виды работ, это проектирование новых химических производств и производство партий новых химических продуктов. На основе данной работы Инжиниринговый центр неорганических материалов готов предоставить лабораторное оборудование соответствующее технологическим характеристикам сепаратора «CrossFlow» для получения экспериментальных данных по извлечению АСМ из золоотходов, а также оборудование для приготовления опытных образцов силикатной краски на основе АСМ.

Задачей дипломной работы является проведение научного исследования по производству и применению силикатных покрытий с алюмосиликатным наполнителем (АСМ) с проектированием и расчетом сепаратора с восходящим потоком для более эффективного извлечения АСМ (тяжёлой) из золошлаковых отходов ТЭЦ, для нужд лакокрасочной промышленности, а также расчет реактора смесителя для приготовления силикатной краски.

1 Анализ теоретических данных

1.1 Литературный обзор

1.1.1 Исследования по применению алюмосиликатной микросферы в различных областях промышленности

Алюмосиликатные полые микросферы (АСМ) — стеклокристаллические алюмосиликатные шарики, которые образуются при высокотемпературном факельном сжигании угля. Являются самыми ценными компонентами зольных отходов тепловых электростанций. Микросфера представляет собой мелкодисперсный порошок фракцией 5–500 мкм, с химическим составом SiO_2 (51–70%), Al_2O_3 (18–40%), относящийся к группе алюмосиликатных материалов. По типу классификации АСМ бывают легкие и тяжелые.

В статье Сиротинкина Н.В., Давудова М.Г., Омельчука Ю.В. проведено исследование влияние алюмосиликатных микросфер на свойства материалов на основе хлоропренового латекса. Показана возможность прогнозировать такие характеристики как плотность, пористость, прочность и долговечность этих материалов [1].

В статье Баёва М.А. отмечена возможность применения облегченных тампонажных материалов при цементировании заколонного пространства. В качестве облегчающей добавки предложено использовать алюмосиликатные полые микросферы. Представлены результаты испытаний по определению показателей облегченного тампонажного раствора, полученного с применением материалов местного производства [2].

В работе Ефимова Б.А. приведены результаты исследования, доказывающие эффективность использования алюмосиликатных полых микросфер в качестве добавки, повышающей морозостойкость тяжелых и мелко-зернистых бетонов. Показано, что введение микросфер, с одной стороны, обеспечивает создание в бетоне достаточного объема резервных пор, снижающих уровень напряженного состояния, а с другой стороны, повышает сопротивляемость внутреннему растрескиванию вследствие морозного воздействия на бетон. При использовании для повышения морозостойкости микросферы лишены многих недостатков, характерных для воздухововлекающих добавок: в значительно меньшей степени снижается прочность бетона, и, главное, повышение морозостойкости не так сильно зависит от колебаний параметров производственного процесса, в том числе от условий твердения [3].

В работе Логанина В.М., Фролова М.В. рассмотрено применение зольных микросфер в известковых сухих строительных смесях, предназначенных для отделки газобетона.

Показано, что покрытия на основе сухих смесей с зольными микросферами характеризуются достаточной прочностью, низкой теплопроводностью, высокой паропроницаемостью, стойкостью к действию косых дождей [4].

1.1.2 Псевдооживление и обогащение в тяжелых средах на примере угля

Тяжелыми средами для разделения угля, промпродукта, породы, а также техногенного сырья служат тяжелые жидкости (вода, водные растворы неорганических солей, некоторые тяжелые органические жидкости) и минеральные суспензии. В промышленных условиях широко применяют минеральные суспензии, представляющие собой механические смеси (взвеси) тонкоизмельченного (до 0,1 мм) тяжелого материала с водой. Находясь во взвешенном состоянии в воде, минеральные частицы придают ей свойства тяжелой жидкости. Сущность процесса обогащения техногенного сырья (ЗШО) в тяжелой жидкости заключается в погружении его в жидкость, плотность которой больше, чем плотность полезных компонентов ЗШО, и меньше, чем плотность промпродукта и породы. В этой жидкости чистый компонент всплывает, а промпродукт и порода тонут [5]. При восходящем движении среды (газа, жидкости) через неподвижный слой зернистого материала в сосуде, имеющем свободное пространство над слоем, по мере увеличения скорости потока увеличивается гидравлическое сопротивление слоя и ослабевает давление частиц друг на друга. При достижении некоторого критического значения скорости потока силы трения, среды о поверхность частиц и инерционные силы потока уравнивают силы тяжести слоя частиц, то есть сила сопротивления слоя становится равной силе тяжести слоя. В этот момент частицы слоя перестают оказывать давление друг на друга, они становятся подвижными Kp_w . При дальнейшем увеличении скорости газа $w > w_{кр}$ слой переходит во взвешенное состояние. Взвешенный слой зернистого, порошкообразного материала по внешнему виду похож на кипящую жидкость, поэтому его часто называют «кипящим» или псевдооживленным слоем. Структура слоя в зависимости от скорости восходящего (псевдооживляющего) потока, размера и формы частиц может быть различной. При невысоких скоростях потока, одинаковых размерах и форме твердых частиц может быть получен взвешенный слой с равномерным распределением твердой фазы независимо от продолжительности процесса и размеров аппарата. Такой слой называют однородным. Однороднопсевдооживление для значительного диапазона скоростей наблюдается при псевдооживлении зернистых материалов капельными жидкостями [6].

При псевдооживлении по мере роста скорости потока газа в слое образуются пузыри, а на поверхности слоя возникают всплески. При этом наблюдаются значительные

пульсации статического и динамического напора псевдоожижающего агента. Такой характер гидродинамики слоя называют неоднородным псевдоожижением. Частицы в таком слое хаотически перемещаются внутри его, что способствует интенсивному тепло и массообмену внутри слоя. Характер движения образующихся пузырей и интенсивность их проскока через слой зависят от скорости газа, гранулометрического состава частиц, отношения высоты слоя к диаметру аппарата, конструкции распределительной решетки, свойства среды и др.

В течение последних лет метод обогащения углей в тяжелых средах получил широкое распространение во многих странах. На обогатительных фабриках бывшего Советского Союза, особенно при шахтах, внедряются установки по обогащению углей в тяжелых средах.

Для обогащения углей в минеральных суспензиях применяют специальные аппараты, называемые сепараторами, которые представляют собой сосуды, заполненные суспензией и снабженные транспортными устройствами для отдельной выдачи продуктов обогащения [7].

1.1.3 Статья. «Конструктивные особенности сепаратора CrossFlow»

Сепаратор CrossFlow – это новое поколение сепараторов с восходящим потоком. Он представляет собой агрегат с низкими требованиями к техническому обслуживанию, работающий практически без движущихся узлов и деталей. Схематическое изображение сепаратора CrossFlow приведено на рисунке. 1.1 [8].

Данный аппарат позволяет эффективно обогащать шлам крупностью 0,02-1 мм. Сепараторы «CrossFlow» не требовательны к качеству оборотной воды, что немаловажно для обеспечения надёжной работы фабрики с замкнутой водошламовой схемой [8].

CrossFlow объединяет несколько новых оригинальных конструктивных усовершенствований, направленных для улучшения характеристик процесса (эффективность разделения и продуктивность) и снижение производственных расходов (расход электроэнергии и воды).

В сравнении с традиционными сепараторами с восходящим потоком в конструкции сепаратора CrossFlow улучшена система подачи питания, которая равномерно распределяет исходную пульпу по всей ширине верхней части сепаратора. В обычных классификаторах пульпа подается на высокой скорости прямо в восходящий слой. Большой объем исходной

пульпы создает турбулентное перемешивание, которое негативно влияет на характеристики сепаратора. В новой системе подачи исходной пульпы скорость питания снижается с помощью переходного бака, который выполняет несколько функций. Во-первых, переходный бак питания увеличивает распространение потока по всей ширине сепаратора. Таким образом, скорость пульпы и турбулентность становятся минимальными. Во-вторых, его особенностью является способность тангенциально вводить исходное питание в сепаратор. Успокоительный колодец, который размещен в верхней части сепаратора, плавно перемещает исходную пульпу горизонтально по ширине верхней части сепарационной камеры. Жидкая фаза питания плавно переливается через верх сепаратора в желоб перелива. Установленные на концах патрубков ввода питания дефлекторы, предотвращают прямое попадание твёрдого в концентратный желоб [8]. В результате такой, не погруженной подачи исходного питания внутрь сепаратора, колебания характеристик питания не влияют на показатели сепарации.

Также, в отличие от обычных гидросайзеров, в сепараторе CrossFlow скорость восходящей воды остается постоянной по всему объёму сепарационной камеры.

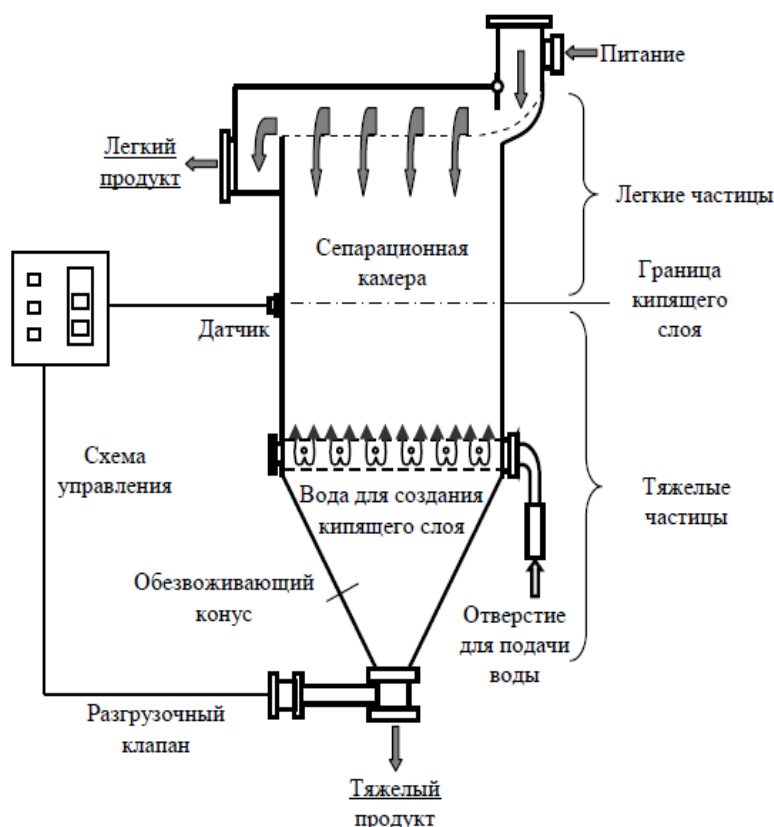


Рисунок 1.1 Схематическое изображение сепаратора CrossFlow [8]

Второй конструктивной особенностью классификатора CrossFlow является улучшение системы распределения воды. В основе сепарационной камеры расположена

перфорированная перегородка для рассеивания воды по всей ширине основы сепаратора. Вода вводится под перегородку через ряд отверстий диаметром 1,25 см. Однако, в отличие от обычных сепараторов, эти отверстия расположены через большие промежутки (обычно это расстояние около 15 см) и просто служат для подвода воды, а рассеивание воды осуществляется с помощью отражательной перегородки. Эта модификация существенно устраняет проблемы, связанные с забивкой перегородок и труб [8].

Комбинированное использование улучшенной системы подачи питания и упрощение системы распределения воды делает возможным увеличить как эффективность сепарации, так и нагрузку. Невзирая на большие нагрузки, рабочие требования по электроэнергии, расходам воды и обслуживанию для сепаратора CrossFlow более низкие (в расчете на тонну концентрата), чем в обычных сепараторах с восходящим потоком.

Основные технические характеристики сепаратора CrossFlow следующие:

1. производительность – 100-150 т/час;
2. плотность пульпы - 1150-1160 кг/м³;
3. объем пульпы – 295 - 365 м³/час;
4. расход воды на формирование восходящего потока – 80 – 170 м³/час;
5. содержание твердого в питании – 400-406 г/л.

Так же сепараторы CrossFlow имеют хорошие показатели работы при любом содержании твёрдого в оборотной воде и малочувствительны к колебаниям исходной нагрузки. Особенно эффективно применение сепаратора CrossFlow при обогащении крупнозернистых угольных шламов, когда для получения концентрата требуемой зольности необходимо вести разделение по низкой плотности — менее 1600 кг/м³.

1.2 Исследование по производству и применению силикатных покрытий с алюмосиликатным наполнителем

1.2.1 Общие теоретические сведения

Алюмосиликатные полые микросферы (АСМ) — стеклокристаллические алюмосиликатные шарики, которые образуются при высокотемпературном факельном сжигании угля. Являются самыми ценными компонентами зольных отходов тепловых электростанций.

В работе учитывали особенности состава, структур и свойства АСМ, заключающиеся в том, что микросферы содержат высокое (до 55 SiO₂ и 19% Al₂O₃) количество тугоплавких оксидов, имеют сферическую форму (диаметр от 5 до 400 мкм, с

толщиной стенки в среднем 7 мкм), имеют температуру плавления свыше 1350 °С. Благодаря сочетанию таких свойств выдвинуто предположение, что введение АСМ в жидко-стекольную композицию улучшит её характеристики.

Растворимое жидкое стекло получают сплавлением кремнезема со щелочными компонентами, название жидкое стекло тривиальное и включает в себя водные щелочные растворы силикатов, независимо от катиона, концентрации кремнезема, его полимерного строения и способа получения таких растворов. Жидкие стекла могут быть калиевые, натриевые, литиевые, а также и высококремнеземистые, переходящие по мере уменьшения щелочности в область стабилизированных кремнезелей. Как растворимое, так и жидкое стекло являются крупнотонажными продуктами неорганического синтеза. Интерес к этим техническим продуктам, значительно высоки в последние годы, определяется это, наряду с их ценными свойствами: экологическими чистотой производства и применения, негорючестью и нетоксичностью, а также во многих случаях дешевизной и доступностью исходного сырья [9].

1.2.2 Влияние алюмосиликатных микросфер на коэффициент теплопроводности силикатного покрытия

Цель – установить влияние количества алюмосиликатных микросфер ТЭЦ на коэффициент теплопроводности в качестве компонента при получении теплоизолирующего силикатного покрытия.

• Теория

Использование микросфер в качестве компонента композитного покрытия придает материалу теплоизоляционные свойства. Такие композитные покрытия при очень малой толщине обладают высокими теплоизолирующими качествами, и обладают хорошей адгезией и повышают прочность. При сравнении стеклянных и алюмосиликатных микросфер, последние имеют преимущества: они дешевле, средняя стоимость АСМ от 200 руб/кг, стеклянной микросферы от 700 руб/кг. По техническим характеристикам АСМ – полые или плавающие микросферы не тяжелее стеклянных и имеют плотность 0,2 – 0,7 г/см³, но при этом прочнее 50 МПа, против 30 МПа. Имеют более высокую температуру плавления 1300 °С. АСМ – легкая имеет низкую теплопроводность 0,08 Вт/м·К при 20 °С [10]. Что дает возможность использовать микросферы в качестве теплоизоляционной добавки, для производства материалов строительной промышленности.

- **Ход работы**

- 1) В известную композицию [11] введем АСМ в количестве от 5 до 20%. Для проведения данного исследования был приготовлен следующий состав на основе жидко стекольной композиции, состоящей из 6% - ZnO , 5% - талька, 8% - мела, 5% - глицерина, (5, 10, 20)% - АСМ, 66% - жидкое стекло.
- 2) Смешивается сухая часть в планетарной мельнице, добавляется жидкая составляющая в виде жидкого стекла с глицерином (H_2O в последующую очередь при необходимости). После смешения вводятся АСМ вручную. В течение одних суток в композиции проходит процесс силикатизации краски, наносится на образцы, после высыхания измеряется коэффициент теплопроводности с помощью измерительного прибора ИТП – МГ4.

Исследования проводились на 2 образцах в виде бетонных плитках размером (10x10x15) мм, с покрытием силикатной краски с содержанием АСМ в количестве от 5 до 20% от массы и без покрытия. Результаты эксперимента представлены на рисунке 1.1.

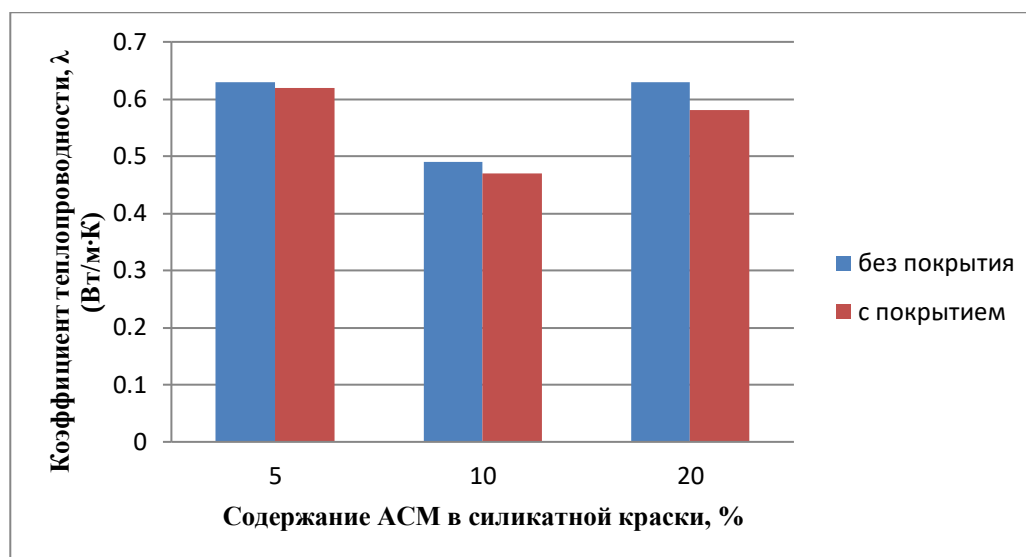


Рисунок 1.2. Значение коэффициентов теплопроводности образцов с покрытием и без покрытия

Вывод: В ходе эксперимента установлено, что введение алюмосиликатных микросфер ($\rho=0,2 - 0,7 \text{ г/см}^3$) в количестве 20% по массе в состав жидко стекольной композиции (силикатной краски) при нанесении на поверхность бетонного образца толщиной 2 мм коэффициент теплопроводности материала уменьшился с 0,6 Вт/м·К до 0,5 Вт/м·К, что соответствует снижению коэффициенту $\Delta\lambda$ на 7 %.

В результате данного исследования было доказано, что введение АСМ лёгкой фракции в качестве наполнителя действительно дает улучшение теплоизоляционных

свойств силикатного покрытия. Однако заметный эффект был достигнут, только с увеличением толщины теплоизоляционного слоя, тогда как увеличения количества содержания АСМ в тонкослойном покрытии не дает положительной динамики уменьшения коэффициента теплопроводности.

В будущем планируется провести эксперимент по установлению влияние алюмосиликатных микросфер на свойства штукатурных смесей, при нанесении на поверхность толщиной 15 мм, что эффективнее снизит теплопроводность по – сравнению с тонкослойным покрытием.

1.2.3 Влияние алюмосиликатных микросфер на огнестойкости силикатного покрытия с содержанием АСМ – лёгкой фракции

Цель – установить принципиальную возможность использования алюмосиликатных микросфер ТЭЦ в качестве наполнителя при получении огнестойкого покрытия.

- ***Теория***

Огнезащитные краски – это чаще всего смесь с использованием калиевого жидкого (силикатного) стекла. В состав огнестойких силикатных красок входят в соответствующих пропорциях огнестойкие наполнители, белила, цветной пигмент, калиевое жидкое стекло и специальные добавки. В качестве наполнителя чаще всего используется молотый вспученный (не вспученный) вермикулит, перлит, тальк, волокна каолиновой ваты, распушённого асбеста. Огнезащитные краски заводского производства выпускаются в двухтарной упаковке.

Огнезащитные краски, лаки, эмали задерживают воспламенение строительных конструкций, уменьшают распространение пламени по поверхности. Они выполняют следующие функции: являются защитным слоем на поверхности ППУ, поглощают тепло в результате разложения, выделяют ингибиторные газы, высвобождают воду, ускоряют образование коксового слоя на поверхности. Подразделяются на две группы — невспучивающиеся и вспучивающиеся краски, лаки, и эмали различных производителей.

При нагревании толщина слоя вспучивающейся краски, лака, эмали увеличивается в 10-40 раз. Как правило, вспучивающиеся краски, лаки, эмали более эффективны, так как при тепловых воздействиях происходит образование вспененного слоя, представляющего собой закоксовавшийся расплав негорючих веществ (минеральный остаток). Образование этого слоя происходит за счет выделяющихся при нагревании газо- и парообразных веществ. Коксовый слой обладает очень высокими теплоизоляционными свойствами [9].

- ***Ход работы***

Образцы исследования проводились на двух деревянных брусках длиной (60 ± 1) мм, высотой (150 ± 3) мм и фактической толщиной, но не более 30 мм, с покрытием силикатной краски с содержанием АСМ в количестве 20% от массы и с покрытием силикатной краски без содержанием АСМ.

- 1) Для проведения данного исследования был приготовлен следующий состав на основе жидко стекольной композиции, таблица 1.1:

Таблица 1.1 – Состав огнестойкого силикатного покрытия

Компоненты	Количество, %
ZnO	5
Мел	8
Гидромагnezит	5
Глицерин	5
АСМ – лёгкая	20
Жидкое стекло	76

- 2) Смешивается сухая часть в планетарной мельнице, добавляется жидкая составляющая в виде жидкого стекла с глицерином. После смешения полученную массу разделяют на две порции и вводятся АСМ вручную в одну порцию. В течение одних суток в композиции проходит процесс силикатизации краски. Краска наносится на образцы, после высыхания образцы были отправлены в «Судебно – экспертное учреждение федеральной противопожарной службы. Испытательная противопожарная лаборатория» г. Томск, где проводилось испытание на огнезащитные свойства методом экспериментального определения группы трудногорючих и горючих твердых веществ и материалов на установке ОТМ«Керамическая трубка» рисунок 1.3 [12].

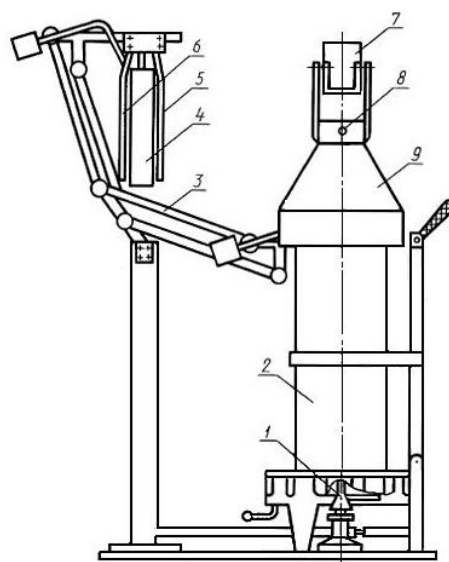
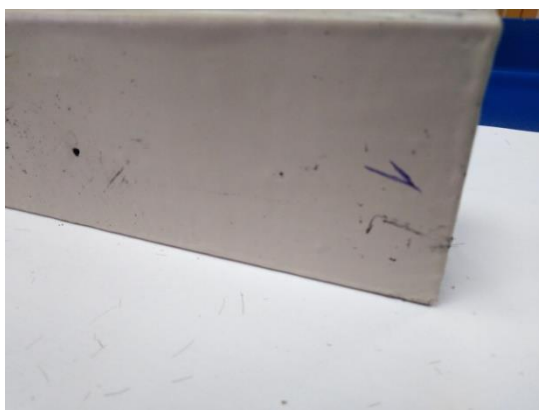


Рисунок 1.3. Установка ОТМ «Керамическая трубка». 1 – горелка; 2 – реакционная камера; 3 – механизм ввода образца; 4 – образец; 5, 6 – держатели образцов; 7 – зеркало; 8 – термоэлектрический преобразователь; 9 – зонт

- 3) Образцы держат в горелке в течение 2 минут. Расход газа в процессе испытания должен быть постоянным. Через 2 минуты подачу газа в горелку прекращают, образец оставляют в приборе для остывания.
- 4) После остывания (температура отходящих газов в верхнем патрубке зоны равна комнатной) оставшуюся часть образца извлекают из керамического короба и взвешивают, результат округляют до 0,1 г.
- 5) Образцы испытаний представлены на рисунке 1.4 (а, б, в).



а)



б)



в)

Рисунок 1.4. Образцы до испытания – а; Образец после испытания без АСМ – б; Образец после испытания с содержанием АСМ – в

- **Методика оценки результатов**

Согласно ГОСТ 12.1.044-89 для оценки результатов группы трудногорючих и горючих твердых веществ и материалов определяется по следующему алгоритму [12]:

1. Потерю массы испытанного образца P_i , %, вычисляется по формуле

$$P_i = \frac{(m_{1i} - m_{2i})100}{m_{1i}}, \quad (1.1)$$

где m_{1i} – масса образца до испытания, г;

m_{2i} – масса образца после испытания, г;

i – номер образца.

Полученный результат вычисляется, округляют до 0,1 %, представлены в таблице 1.2

Таблица 1.2 – Результаты испытаний на огнезащитные свойства, г:

Образцы	Образцы до испытания	Образцы после испытания	Класс огнезащиты
Образцы с покрытием без АСМ	150,6	148,3	1
	159,3	155,42	
Образцы с покрытием содержащая АСМ	133,9	130,7	1
	131,2	126,62	

Потери массы:

Образцы без АСМ:

$$P_1 = 1,5 \%$$

$$P_2 = 2,3 \%$$

$$P_{cp} = 1,9 \%$$

Образцы с АСМ:

$$P_3 = 2,4 \%$$

$$P_4 = 3,5 \%$$

$$P_{cp} = 2,9 \%$$

2. После испытания определяют среднее арифметическое значение потери массы испытанных образцов. Вместо образцов, для которых не выполняется неравенства (1.2) и (1.3), испытываются новые образцы и вновь определяют среднее значения массы.

$$|P_{cp} - P_i| < 3 \text{ при } P_{cp} < 9; \quad (1.2)$$

$$|P_{cp} - P_i| < 5 \text{ при } 9 < P_{cp} < 25 \quad (1.3)$$

где:

P_{cp} – среднее арифметическое значение потери массы испытанных образцов, %

3. По результатам испытания устанавливается группа огнезащитной эффективности испытанного ОС при данном способе его применения. При потере массы не более 9% для ОС устанавливают 1 группу огнезащитной эффективности. При потере массы 9%, но не более 25 % для ОС устанавливается 2 группа огнезащиты. При потере массы более 25% считают, что данный состав не обеспечивает огнезащиту древесины и не является огнезащитным [12].

Вывод: В ходе эксперимента установлено, что введение алюмосиликатных микросфер ($\rho = 0,2 - 0,7 \text{ г/см}^3$) в количестве 20% по массе в состав жидко стекольной композиции (силикатной краски с гидромагнезитом) при нанесении на поверхность древесины после испытания огнем и сравнения степени огнезащиты с тем же покрытием без АСМ. Зафиксировано что само покрытие имеет 1 группу огнезащиты, однако, сама АСМ не влияет на степень огнезащиты, а покрытие содержащая АСМ немного уступает покрытию без данного наполнителя при сравнении средней потери массы образцов $\Delta P_{cp} = 2,9 - 1,9 = 1 \%$.

1.2.4 Влияние микросфер на износостойкость силикатного покрытия

Цель – установить влияние количества алюмосиликатных микросфер ТЭЦ на износостойкость силикатного покрытия.

- *Теория*

Для защиты различных транспортных металлоконструкций от коррозионного и эрозионного разрушения широко используются различные покрытия, получаемые методом грунтовки за счет использования жидких резиновых смесей на основе полимерных каучуков [13]. Полимерные антикоррозионные мастики на основе термоэластопластов более прогрессивны, но имеют следующие недостатки: дорогое производство, экологически не безопасны. Поэтому была выдвинута гипотеза по применению силикатного покрытия с добавкой АСМ – тяжелой для грунтовки и одновременно покраски металла. Кроме высокой прочности АСМ – тяжёлая, обладает и повышенной твердостью до 7 по шкале Мооса, следовательно, введение АСМ в силикатное покрытие должно повысить стойкостью материала к абразивному изнашиванию.

- ***Ход работы***

Испытания проводились согласно ГОСТ 20811 – 75 [14]:

Сущность метода заключается в определении потери массы лакокрасочного покрытия в граммах в результате истирания поверхности покрытия, движущейся лентой шлифовальной шкурки при заданной нагрузке на образец.

Оборудование для испытания представлено на рисунке 1.5:



Рисунок 1.5. Шлифовальный станок Корвет 51

1. Для проведения данного исследования был приготовлен состав на основе жидко стекольной композиции, см. таблица 1, в которой гидромагнезит был заменен на сажу в том же количестве.

2. Смешивается сухая часть в планетарной мельнице, добавляется жидкая составляющая в виде жидкого стекла с глицерином. После смешения полученную массу разделяют на две порции и вводятся АСМ – тяжелая вручную в одну порцию. В течение одних суток в композиции проходит процесс силикатизации краски. Краска наносится на образцы, на 3 образца с порции без АСМ, на следующие три 3 с порции, содержащие АСМ. После высыхания образцы отправляются на испытания.

3. Образцы исследования проводились на шести металлических пластинках из листовой стали по ГОСТ 16523-89 или ГОСТ 9045-80 и черной жести по ГОСТ 13345-85 размером 70x100 мм толщиной не более 1 мм. Пластинки не должны быть изогнутыми.

4. Перед испытанием определяется поправочный коэффициент шлифовальной шкурки:

$$K = \frac{0,013}{m_k}, \quad (1.4)$$

где m_k – потеря массы контрольной цинковой пластинки, истертой шлифовальной шкурки, г.

5. Образцы крепятся к деревянной пластине двухсторонним скотчем, пластина закрепляется на железном ободке, на пластину устанавливается груз массой 1 кг, держат на станке в течение 1 минуты. После испытания каждого образца лету очищают от остатков краски.

6. Для определения потери массы образцов в ходе испытаний применялись весы лабораторные с наибольшим пределом взвешивания 200 г и пределами допускаемой погрешности $\pm 0,0002$ г. Кисть мягкая волосная для очистки шлифовальной ленты.

7. Прочность покрытия к истиранию определяется по потери массы в граммах, вычисляется по формуле:

$$M = K \cdot (m_1 - m_2), \quad (1.5)$$

где K – поправочный коэффициент шлифовальной шкурки

m_1 – масса образца до испытания, г;

m_2 – масса образца после испытания, г

Таблица 1.3 – Результаты испытаний на стойкость к истиранию, г:

№ Образца	Образцы без АСМ	№ Образца	Образцы с АСМ
1	0,082	4	0,0174
2	0,079	5	0,0168
3	0,079	6	0,016
ΔC_p	0,081	ΔC_p	0,0167

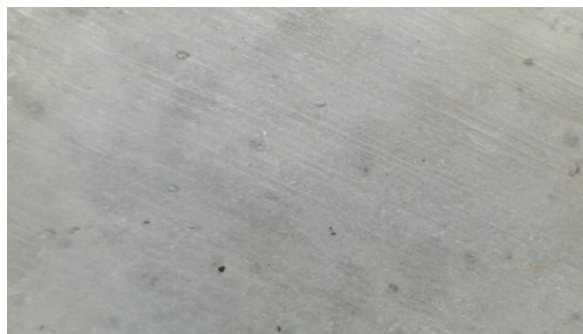
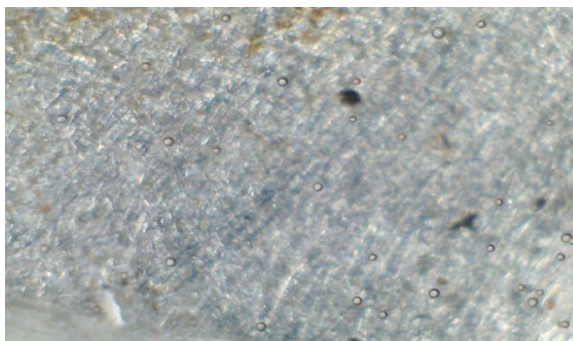
где ΔC_p – среднее арифметическое результатов испытания

Разница в потери массы образцов:

$$\frac{\Delta_{\text{без АСМ}}}{\Delta_{\text{АСМ}}} = 4,8$$

Снимки исследования на износостойкость силикатного покрытия

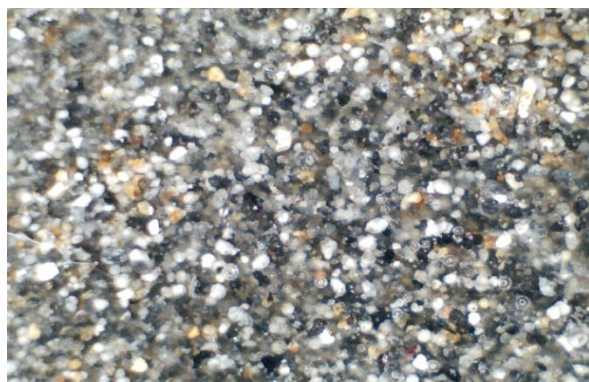
Образец №2



А) Образец №1

Б) Образец №3

Рисунок 1.6 – Снимки поверхности образцов с силикатным покрытием до (А) и после истирания (Б) без алюмосиликатными микросферами:



А) Образец №4

Б) Образец №5

Рисунок 1.7 – Снимки поверхности образцов с силикатным покрытием до и после истирания с алюмосиликатными микросферами:

Вывод: В ходе эксперимента установлено, что введение алюмосиликатных микросфер ($\rho=1,2 - 2,2 \text{ г/см}^3$) в количестве 20% по массе в состав жидко стекольной композиции нанесенного на поверхность металла, после испытания на истирание увеличивает стойкость краски в 5 раз.

Результаты научного исследования

В результате научно – исследовательской работы по применению алюмосиликатных микросфер в силикатном покрытии для различных областей промышленности, установлено:

1) Введение микросфер в количестве 20 % в силикатное покрытие уменьшает коэффициент теплопроводности на 0,1 Вт/м·К.

2) Зольные микросферы не понижают 1 класс огнезащитной эффективности, но удешевляют себестоимость покрытия. Рекомендуется применять в силикатное покрытие более дешевые компоненты золы ТЭЦ.

3) Введение зольных микросфер в количестве 20 % в 5 раз увеличивает износостойкость силикатного покрытия.

4) Зольные микросферы рекомендуется использовать в качестве наполнителя силикатной композиции с улучшенными характеристиками по износостойкости.

2 Технологический расчет аппаратуры

2.1 Описание технологической схемы

Линия производства силикатной краски состоит из двух стадий последовательного процесса. На первой стадии происходит разделение золошлаков на фракцию с диаметром частиц до 1 мм на виброситовом грохоте, далее золу фракцией 1 мм смачивают до пульпы и направляют в гидродинамический сепаратор. В сепараторе происходит разделение алюмосиликатных микросфер-тяжёлых (АСМ) фракции 40 мкм от загруженной пульпы. После отделения АСМ направляется в сушильную камеру. На второй стадии происходит смешение всех компонентов в реакторе, каждый компонент при поступлении в реактор дозируется автоматически по рецепту приведенного исследования. Смешение длится в течение 16 часов, поскольку процесс периодический. После часа запуска и приготовления первой партии готовая смесь фасуется как готовый продукт см.рисунок 2.1.

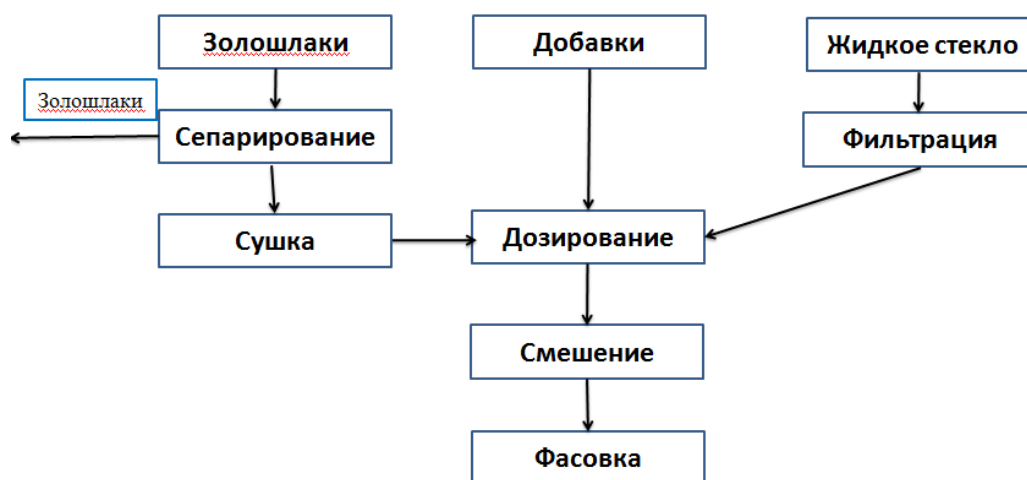


Рисунок 2.1. Схема технологического процесса получения силикатной краски

В состав технологической схемы входит следующее оборудование:

1. Реактор смеситель (Р); 2. Грохот виброситовой (Г); 3. Бункер складирования ЗШО; 4. Насос (Х2/25); 5. Сборник АСМ (Б1); 6. Бункер с оксидом цинка (Б2); 7. Бункер с мелом (Б3); 8. Бункер с красителем (Б4); 9. Бункер с глицерином (Б5); 10. Бункер с жидким стеклом (Б6); 11. Фильтры: Ф1, Ф2; 12. Ленточный конвейер (К); 13. Дозаторы: Д1, Д2, Д3, Д4, Д5, Д6; 14. Сушильная камера (ленточная) ЛС; 15. Гидродинамический сепаратор (С).

Реактор смешения объемом в 1,5 м³ в данном процессе является основным оборудованием, так как в нем производится готовый продукт – силикатная краска, а

сепаратор с восходящим потоком объемом 1,4 м³ выделяет АСМ из золошлаков в качестве компонента для его производства и является вспомогательным оборудованием.

2.2 Материальный баланс реактора

Материальный баланс химических процессов составляют для определения количества перерабатываемых и полученных веществ. Расчет и состав материального баланса проведен согласно методике, изложенной [15].

В ходе научно – производственной практики при исследовании влияния алюмосиликатных микросфер на свойства силикатного покрытия была так же изучена технология приготовления составов. Было установлено, что потери в основном механические в связи с вязкостью полученных образцов и составляет по массе от 10 – 20 %. В связи с этим зададим степень превращения $X_i = 0.9$.

Следовательно, производительность реактора относится к расходу компонентов в линейной зависимости $G_{\text{пр-ть}} = X_i \cdot G_{\text{расход}}$

В таблице 2.1 задаем производительность каждого компонента исходя из рецептуры состава исходя из часовой производительности реактора $G = 1860$ кг/ч.

Таблице 2.1 – Расход веществ в реакторе смешения

Компоненты	Кол-во, %	Производительность, кг/ч	Расход продукта, кг/ч
ZnO	6	111,6	123,6
сажа	5	93	103,3
мел	8	148,8	165,3
глицерин	5	93	103,3
АСМ	20	372	413,3
жидкое стекло	66	1227,6	1674
Сумма компонентов	110	1860	2582,6

Проверка расчета баланса:

$$G_{\text{пр-ть}} = \sum X_i \cdot G_{\text{расход}} \quad (2.1)$$

$$1860 = 1860$$

Таким образом, количество компонентов входящих в реактор с учетом потерь совпадает с количеством произведенного продукта выходящего из реактора.

Расчет штуцеров

Расчет диаметра штуцера входа реагента в реактор и выхода из него. Зная массовую производительность реактора : $G_k = 1860$ кг/ч и рецептуру содержания компонентов в таблице 2.2. Найдем расход каждого компонента и рассчитаем для каждого штуцер.

Таблица 2.3. Состав и производительность силикатной краски

Ком-ты	Кол-во, %	Произв-ть, кг/ч	Плотность ком-тов, кг/м ³	Расход продукта, м ³ /с	Условный диаметр штуцеров, мм
ZnO	6	111,6	1400	$0,22 \cdot 10^{-4}$	7
сажа	5	93	420	$0,61 \cdot 10^{-4}$	11
мел	8	148,8	1120	$0,37 \cdot 10^{-4}$	10
глицерин	5	93	1260	$0,2 \cdot 10^{-4}$	7
АСМ	20	372	2000	$0,5 \cdot 10^{-4}$	10
жидкое стекло	66	1227,6	1470	$0,23 \cdot 10^{-3}$	25
Сумма компонент ов	110	1860	-	-	-

Формула для расчета штуцеров:

$$d = \sqrt{v / 0.785 \cdot W},$$

где V-расход продукта, м³/с;

W-скорость продукта (примем равную 0.6), м/с;

Принимаем условный диаметр штуцера сыпучих компонентов 10 мм, для жидкого стекла примем диаметр 25 мм.

2.3 Выбор конструктивных элементов реактора смесителя

2.3.1 Выбор исполнительного материала реактора

При конструировании химической аппаратуры конструкционные материалы должны отвечать следующим основным требованиям:

Достаточная общая химическая и коррозионная стойкость материала в агрессивной среде с заданными параметрами по концентрации среды, ее температуре и давлению, при которых осуществляется технологический процесс, а также стойкость против других возможных видов коррозионного разрушения.

Достаточная механическая прочность для заданного давления и температуры технологического процесса с учетом специфических требований, предъявляемых при испытании аппаратов на прочность, герметичность и т.д., и в эксплуатационных условиях при действии на аппараты различного рода дополнительных нагрузок (ветровая нагрузка, прогиб от собственного веса и т.д.).

Наилучшая способность материала свариваться, обеспечивая высокие механические свойства сварных соединений и коррозионную стойкость их в агрессивной среде, обрабатываться резанием, давлением, подвергаться сгибу и т.п.

Низкая стоимость материала, не дефицитность и возможность получения без освоения промышленностью.

Для заданной среды – жидкое стекло (с содержанием CaCO_3) + глицерин, концентрацией не более 50% в соответствии с [16], табл.1, выбираем сталь 20 листового проката, которая является вполне стойкой в данной среде, и её скорость коррозии $P < 0,1$ мм/год.

В таком случае для элементов аппарата добавку на коррозию, из условия эксплуатации оборудования в течение $\tau=15$ лет, принимаем равной:

$$c = 1,5 \text{ мм}$$

3.1 Выбор конструктивных параметров мешалки и привода

Исходные данные:

Диаметр аппарата, м:	$D := 1$
Высота аппарата, м:	$H_{\text{ап}} := 2.406$
Плотность среды в аппарате, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	$\rho := 1278$
Давление в аппарате, МПа	$P := 0.1$
Температура среды, $^{\circ}\text{C}$	$t_c := 20$
Объем емкости, м^3	$V = 1.889$
Вязкость среды, $\text{Па}\cdot\text{с}$	$\mu := 1.4 \cdot 10^{-3}$

Выбор мешалки

Для обеспечения процесса интенсивного перемешивания среды небольшой вязкости выбираем турбинную мешалку [15]. Эта мешалка обеспечивает взвешивание твердых частиц.

В качестве исполнительного типа мешалки выбираем турбинную открытую мешалку, при котором дополнительное внутреннее устройство отсутствует. В соответствии с рекомендацией АКТ 24.201.17-90 [17], исполнительный тип 2.

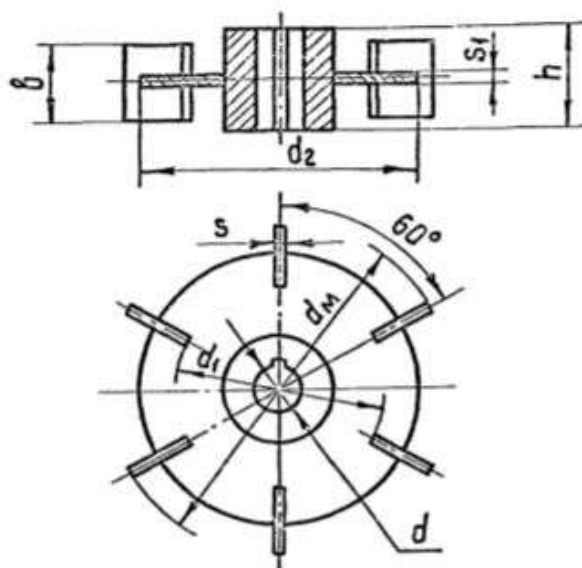


Рисунок 2.2. Чертеж-схема турбинной открытой мешалки

Основные параметры турбинной мешалки по [18, таблица 9.1]:

Основные параметры	Условия работы
$D/d_M = 3-4;$ $b/d_M = 0.2;$ $h_1/d_M = 0.4$ $\zeta_M = 8.4$	Взвешивание твердых частиц с массовым содержанием до 80%; эмульгирование жидкостей с большой разностью плотностей; $\omega = 2.5-10$ м/с при $\mu \leq 10$ Па·с; $\omega = 2.5-7$ м/с при $\mu \leq 10-40$ Па·с

Примем:

Отношение диаметра мешалки к диаметру аппарата:

$$\frac{D}{d_M} = 3$$

Отношение высоты лопасти мешалки к ее радиусу:

$$\frac{h_1}{d_M} = 0.4$$

Коэффициент сопротивления:

$$\zeta_M := 8.4$$

Примем :

$$d_{M.} := \frac{D}{3} = 0.333$$

В соответствии с рекомендацией РД 26-01-90-85, для аппаратов с соответствующим отношением диаметра аппарата к диаметру мешалки примем расстояние от дна аппарата до мешалки равным:

$$H_M := 0.5 \cdot d_{M.} = 0.167 \quad \text{м}$$

На основании полученных данных выбираем мешалку по [17, таблица 6], мм:

$$d_M := 0.360$$

Предварительно принимаем окружную скорость мешалки, м/с [18, таблица 9.1]:

$$\omega := 5$$

Тогда частота вращения мешалки равна, с-1:

$$n := \frac{\omega}{\pi \cdot d_M} = 4.421$$

Определение глубины воронки

Определение глубины воронки определяется согласно [18, с.245]. Для определения глубины воронки в аппарате необходимо найти значения параметров Γ , Re_{Π} .

Если принять коэффициент заполнения сосуда $\phi = 0.75$, то высота уровня жидкости, м:

$$H_{ж} := 1.805$$

В этом случае для аппарата со свободной поверхностью жидкости:

$$\Gamma := \frac{8 \cdot H_{ж}}{D + 1} = 7.22$$

Критерий Рейнольдса при перемешивании:

$$Re_{\Pi} := \frac{n \cdot d_M \cdot \rho}{\mu} = 1.453 \times 10^6$$

Режим турбулентный. Выбор мешалки проводили для турбулентного режима, верно.

Значение параметра E найдем по формуле [18, с.242]:

$$z := 2 \quad \text{количество мешалок на одном валу.}$$

$$E := \frac{\Gamma}{\zeta_M \cdot z \cdot (Re_{\Pi})^{0.25}} = 0.012$$

По полученному значению E находим коэффициент B по рис. 9.2 [18, с.244]:

$$B := 1$$

Глубина воронки в сосуде без перегородок. м:

$$h_B := \frac{B \cdot n^2 \cdot d_M^2}{2} = 1.267$$

Если устанавливать мешалку на высоту $H_{ж}$, то предельно допустимая глубина воронки, м:

$$h_{пр} := H_{ж} - H_M = 1.638$$

Уплотнение вала

В месте входа вала в аппарат, с целью передачи механической энергии внутрь аппарата, возникает задача обеспечения герметичности. Решаем эту задачу с помощью установки уплотнительного устройства. В зависимости от технологических параметров – давления $P=0,1$ МПа, среда не агрессивная следовательно, выбираем сальниковое уплотнение

Для выбора торцевого уплотнения предварительно подбираем диаметр вала мешалки, исходя из выбранной конструкции АКТ 24.201.17-90 [17], под уплотнение, м:

$$d_B := 0.065$$

По данным [19, таб. 2] выбираем сальниковое уплотнение IA - 65. С параметрами, представленными в таблице 2.2

Таблица 2.2 - Параметры уплотнения IA - 65

Тип уплотнения	Диаметр вала d_B , мм	Рабочее давление, МПа	Частота вращения вала, c^{-1}	Рабочая температура, $^{\circ}C$	Рабочая среда в аппарате
IA – 65	65	0,6	до 5,3	От -20 до +70	Неагрессивная, непожароопасная

Выбор привода мешалки

Привод перемешивающего включает в себя стойку, установленную на крышке аппарата для размещения на ней моторредуктора, внутри неё подшипниковых опор и уплотнения вала. Для выбора привода необходимо рассчитать мощность необходимую для перемешивания суспензии и преодоления потерь:

Мощность, теряемая в сальниковом уплотнения, Вт:

- параметры сальниковой набивки:

толщина сальниковой набивки, м:

$$\delta_H := 4 \cdot 10^{-2} \cdot d_B^{0.5} = 0.01$$

высота набивки, м:

$$h_H := 4 \cdot \delta_H = 0.041$$

коэффициент трения, примем [18, с.243]:

$$f_{\text{тр}} := 0.1$$

$$N_{\text{уп}} := 4 \cdot d_B^2 \cdot n \cdot \delta_H \cdot P \cdot 10^6 \cdot \exp\left(0.2 \cdot \frac{h_H}{\delta_H} - 1\right) \cdot f_{\text{тр}} = 6.238$$

Мощность затраченная на перемешивание, Вт:

Для турбинной мешалки в аппарате с перегородками при Re_{Π} находим значение критерия K_N [18, рис. 9.3]:

$$K_N := 8$$

$$N_{\Pi} := K_N \cdot \rho \cdot n^3 \cdot d_M^5 = 5.342 \times 10^3$$

Коэффициент высоты уровня жидкости в аппарате:

$$K_H := \left(\frac{H_{\text{ж}}}{D}\right)^{0.5} = 1.344$$

Определяем мощность привода мешалки, Вт:

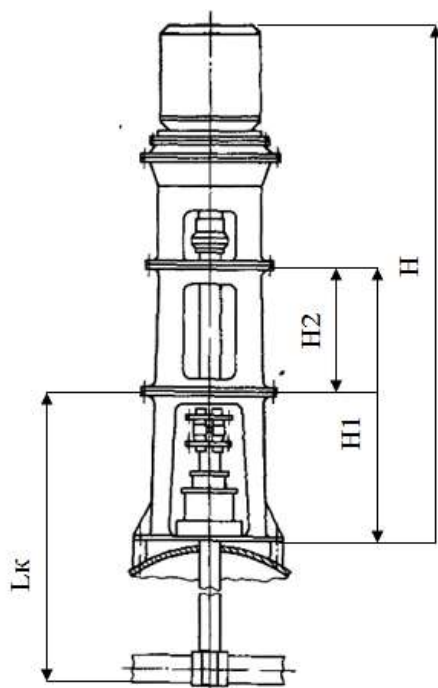
где $K_n := 1$ для аппарата с перегородками;

КПД привода мешалки примем: $\eta := 0.85$

$$N_{\text{э}} := \frac{K_n \cdot K_H \cdot N_{\Pi} + N_{\text{уп}}}{\eta} = 8.451 \times 10^3$$

В качестве исполнительного типа привода выбираем в соответствии с рекомендацией таблица 32.1 и таблицей 32.3 [16, с. 725], с двумя промежуточными опорами, мотором-редуктором типов МПО2 и ВО и электродвигателем серии АО2 и ВАО, типа 5 по МН 5859-66, мощностью 8 кВт и скоростью оборотов в минуту равной 270.

Основные параметры (таблица 32.8 [16, с. 729]):



$$d := 0.065 \text{ м}$$

$$H_1 := 1.16 \text{ м}$$

$$H := 2.474 \text{ м}$$

$$H_2 := 0.510 \text{ м}$$

$$\text{Масса, кг: } m := 538$$

Рисунок 2.3. Привод вертикальный с одной промежуточной опорой вала (тип 5), по МН 5859-66.

2.4 Технологический расчет элементов гидродинамического сепаратора

2.4.1 Расчет скорости осаждения частицы

Принцип протекания процесса в сепараторе с восходящим потоком аналогичен с отстаивания суспензии, поэтому движущей силой процесса выступает разность плотностей между дисперсной фазой и средой. Но в отличие от классического отстойника, где среда неподвижна в данном аппарате среда нагнетается насосом и предает ей поступательно вращающее движение с последующим переливом через желоб сепаратора. В результате создается псевдокипящая зона, которая позволяет значительно лучше разделять компоненты суспензии по плотности.

По условию технического задания необходимо отделить тяжелую фракцию алюмосиликатных микросфер (АСМ) от легкой фракции и прочих компонентов зольных отходов (зольный остаток).

Следовательно, необходимо создать условия, при которых сумма сил напора насоса и выталкивающей силы среды должна превышать силу тяжести действующая на тяжелые АСМ.

Основной характеристикой процесса сепарации с восходящим потоком можно считать скорость осаждения частиц дисперсной фазы. Рассмотрим сферическую частицу тяжелой АСМ массой (m_T) и диаметром (d), движущуюся в вязкой среде, на которую воздействует ряд сил: сила тяжести (F_T), Архимедова сила выталкивания (F_a) и сила сопротивления среды (F_c). Согласно этому запишем общее уравнение действующих на частицу сил:

$$F_T - F_a - F_c = m (dw/dt), \quad (1.1)$$

где:

$$F_T = m_T g = \rho_T V g = \rho_T (\pi \cdot d^3)/6 g;$$

$$F_a = m_{ж} g = \rho_{ж} V g = \rho_{ж} (\pi \cdot d^3)/6 g;$$

$$F_c = \zeta S (\rho_{ж} w_{oc}^2)/2 + \zeta S_0 (\rho_{ж} w_0^2)/2;$$

$(\rho_{ж} \cdot w^2)/2$ – кинетическая энергия частицы

ζ – коэффициент сопротивления (0,3 – для шара [20]);

ρ_T – плотность твердой частицы, кг/м³;

ρ_c – плотность обрабатываемого материала, кг/м³

$\rho_{ж}$ – плотность жидкости, кг/м³;

w_{oc} – скорость движения частицы, м/с;

w_0 – скорость потока среды в сечении, не занятом частицами.

$S (S_0)$ – сечение тела плоскостью, перпендикулярной направлению движения

Время разгона частицы, как правило, мало, и она быстро выходит на режим движения с постоянной скоростью, поэтому можно без потерь пренебречь правой частью уравнения $m \frac{dw}{dt}$, приняв ее за 0.

Поскольку сила сопротивления среды (F_c) для тяжелой фракции создается движением восходящего потока среды необходимо, чтобы данной силы было достаточно для выталкивания более легких частиц, т.к. подъемная сила потока R , действующая на частицу, определяется скоростью потока W_0 в сечении каналов, не занятых частицами [20].

Для расчета скоростей витания легких частиц наибольшее распространение получило критериальное уравнение Тоддеса О.М., Горошко В. Д. и Розен – баума Р.Б., справедливое для всех режимов обтекания частицы потоком: ламинарного, переходного и турбулентного:

$$Re = \frac{Ar \cdot \varepsilon^{4,75}}{18 + 0,61 \sqrt{Ar \cdot \varepsilon^{4,75}}}, \quad (1.2)$$

где:

Re и Ar - критерии Рейнольдса и Архимеда соответственно; ε - доля свободного сечения в месте нахождения частицы от общего свободного сечения или порозность слоя.

Критерий Архимеда Ar рассчитывается по уравнению:

$$Ar = \frac{gd^3(\rho_c - \rho_{жс})\rho_{жс}}{\mu^2}, \quad (1.3)$$

Поскольку размер частиц значительно мал ($-40 + 10$) мкм, а частицы легкой фракции имеют несферическую форму. Для выбора d следует учитывать, что в полидисперсном слое, т.е. в слое, состоящем из фракций частиц различных размеров, величина $w_{кр}$ для самых крупных частиц может оказаться больше, чем величина w для самых мелких частиц [20]. Следовательно для определения w и $w_{ос}$, а для нужной тяжелой фракции выбираем $d = 40$ мкм :

$$Ar = \frac{9,8(0,04 \cdot 10^{-3})^3 \cdot (1450 - 1000) \cdot 1000}{10^{-6}} = 2,8 \cdot 10^5$$

Примем $\varepsilon = 0,5$ [3].

Тогда:

$$Re = \frac{2,8 \cdot 10^5 \cdot 0,5^{4,75}}{18 + 0,61 \sqrt{2,8 \cdot 10^5 \cdot 0,5^{4,75}}} = 130$$

При переходном режиме всплывания и осаждения ($2 < Re < 500$) [20] формул расчета коэффициента сопротивления ζ :

$$\zeta = 18,5/Re^{0,6}$$

$$\zeta = 0.9$$

Подъемная сила равна произведению перепада давления потока ΔP на площадь проекции S_0 частицы на плоскость, перпендикулярную направлению движения потока.

$$R = \Delta P S_0 = \zeta S_0 (\rho_{\text{ж}} w_0^2) / 2, \quad (1.2)$$

Следует учитывать, что в момент перехода легкой частицы слоя во взвешенное состояние подъемная сила потока R становится равной разности силы тяжести F_T и выталкивающей силы потока F_a , поэтому скорость витания частицы (w_v) принимается равной скорости потока среды в сечении, не занятом частицами (w_0).

$$R = F_T - F_a = \rho_{\text{ч}} V g - \rho_{\text{ж}} V g, \quad (1.3)$$

Объединив уравнения (1.2) и (1.3), получим:

$$V g (\rho_{\text{ч}} - \rho_{\text{ж}}) = \zeta S_0 (\rho_{\text{ж}} w_0^2) / 2, \quad (1.4)$$

Для сферической частицы $S_0 = (\pi \cdot d^2) / 4$, м^2 . $S = 0,78 \cdot 10^{-10} \text{ м}^2$.

Таким образом, уравнение расчета скорости витания легкой частицы имеет следующий вид:

$$W_v = \sqrt{\frac{4 g d (\rho_{\text{ч}} - \rho_{\text{жс}})}{3 \zeta \rho_{\text{жс}}}} \quad (1.5)$$

$$W_0 = W_v = 0,016 \text{ м/с.}$$

Для частиц, площадь проекции S_0 которых мала по сравнению с сечением каналов не занятых частицами, скорость W_0 можно считать равной скорости потока в свободном сечении W , т.е. $W \approx W_0$.

Исходя из выше перечисленного, находим скорость осаждения частиц для тяжелой фракции:

$$W_{oc} = \sqrt{\frac{\rho_T \frac{\pi \cdot d^3}{6} g - \rho_{ж} \frac{(\pi \cdot d^3)}{6} g - \zeta S_0 (\rho_{ж} w^2_0)/2}{\zeta S (\rho_{ж})/2}},$$

$$W_{oc} = 0,0074 \text{ м/с.}$$

Зная объемный расход пульпы и скорость осаждения, находим площадь осаждения $F \text{ (м}^2\text{)}$:

$$F = G_{исх} / w_{oc} \quad (1.6)$$

$$F = 0,0044/0,0074 = 0,6 \text{ м}^2$$

Диаметр сепаратора $D \text{ (м)}$ при известном значении F равен:

$$D = \sqrt{\frac{4F}{\pi}}, \quad (1.7)$$

$$D = \sqrt{(4 \cdot 0,15)/3,14} = 0,874 \text{ м.}$$

Выбираем ближайшее стандартное значение размера обечайки: $D = 0,9 \text{ м}$

Высота цилиндрической части сепаратора определяем исходя из доли границы кипящего слоя и долю объема занимающими тяжелыми частицами, доли свободного объема ϵ и времени загрузки конического днища $t_p = 5 \text{ мин.}$

$$V_{p.ц} = G_{исх} \cdot t_p = 0,0044 \cdot 300 = 1,32 \text{ м}^3$$

$$H_{ц} = V_p / F = 2,20 \text{ м}$$

Длина конической части аппарата, равна:

$$V_{p.к} = Q_{АСМ} \cdot t_p = 0,00013 \cdot 300 = 0,04 \text{ м}^3$$

$$H_k = V_{p.к} \cdot \frac{F}{3} = 0,2 \text{ м}$$

тогда:

$$H = H_k + H_{ц} = 2,4 \text{ м}$$

1) Расчет диаметра штуцеров входа пульпы в сепаратор и выхода из него:

$$d = \sqrt{V/0.785 \cdot W},$$

где V -расход продукта, $\text{м}^3/\text{с}$ ($G_{\text{п}} = 4 \text{ м}^3/\text{ч} = 0,0011 \text{ м}^3/\text{с}$);

W -скорость продукта (примем равную 0.062), $\text{м}/\text{с}$;

$$V = 3/1968 = 0.0015 \text{ м}^3/\text{с};$$

$$d = \sqrt{0.0011 / (0.785 \cdot 0.062)} = 0.150 = 150 \text{ мм},$$

Принимаем условный диаметр штуцера 150 мм [2].

Расчет диаметра штуцера входа воды в сепаратор

где n – количество отверстий распределения потока (примем $n=25$).

$$V = G_{\text{в}} = 12 \text{ м}^3/\text{ч} = 12/3600 = 0.0033 \text{ м}^3/\text{с}$$

W – скорость воды в напорных распределителях трубопровода, равна 0,016 $\text{м}/\text{с}$.

$$d = \sqrt{0.0033 / (0.785 \cdot 25 \cdot 0.016)} = 105 \text{ мм}$$

2) Расчет диаметра штуцера выхода суспензии из сепаратора

где n – количество отверстий распределения потока (примем $n=25$).

$G_{\text{п.ост}}$ – обработанная пульпа.

$$V = G_{\text{в}} + G_{\text{п.ост}} = 12 + (4 \cdot 80)/100 \text{ м}^3/\text{ч} = 15,2/3600 = 0.0042 \text{ м}^3/\text{с}$$

W – скорость потока воды в сепараторе, равна 0,016 $\text{м}/\text{с}$.

$$d = \sqrt{0.0042 / (0.785 \cdot 24 \cdot 0.016)} = 110 \text{ мм}$$

3) Расчет диаметра штуцера входа АСМ из сепаратора

где $G_{\text{в.20\%}}$ – количество потери воды при выгрузке АСМ.

$$V = G_{\text{в.20\%}} + G_{\text{п.20\%}} = (12 \cdot 20)/100 + (4 \cdot 20)/100 \text{ м}^3/\text{ч} = (9,6 + 0,8)/300 = 0.003 \text{ м}^3/\text{с}$$

W – скорость спуска АСМ в сепараторе, примем равной 0,23 $\text{м}/\text{с}$.

$$d = \sqrt{0.003 / (0.785 \cdot 0.23)} = 143 \text{ мм}.$$

Примем условный диаметр выходного патрубка для выгрузки 150 мм.

2.4.2 Расчет потребляемой мощности и подбор насоса

Для обеспечения заданной производительности аппарата, необходимо комплектовать его достаточно мощной и экономичной установкой, «насосам».

Условия работы насоса:

Сопротивление: 2 – колена; 1 – вентиль. Длина трубопровода 10 м.

скорость движения воды равна скорости восходящего потока в трубах: $v = 0,016$ м/с

Зная расход и заданную скорость ($v = 0,016$) находим площадь поперечного сечения необходимого трубопровода

$$S = Q_v / v = 0,0044 / 0,016 = 0,275 \text{ м}^2$$

где $Q_v = 12 \text{ м}^3/\text{ч}$ – объемный расход воды при скорости потока $W_v = 0,016$ м/с,

Находим количество отверстий для распределителя потока

$d_{\text{рас}} = 1,25 \text{ см}$ [8] – выходящего через диаметр отверстий распределения потока, n – количество отверстий.

Находим площадь распределительного отверстия:

$$S_{\text{рас}} = (d_{\text{рас}}^2 \cdot \pi) / 4 = 0,012 \text{ м}^2$$

Тогда

$$n = Q_v / S_{\text{рас}} W_v = 23$$

Тогда диаметр трубопровода d (м):

$$d = \sqrt{\frac{4S}{\pi}} = 0,059 \text{ м} = 59 \text{ мм}$$

По ГОСТ 9617 – 76 [21, с.43] выбираем стальную трубу $d_n = 70 \times 3,5 \text{ мм}$.

Для расчета необходимой мощности насоса необходимо рассчитать общий перепад давлений, который включает в себя все виды сопротивления трубопровода и сепаратора, а также создания скорости подъема потока с учетом $\Delta P_{\text{под}}$:

$$\Delta P_{\text{общ}} = \Delta P_{\text{ск}} + \Delta P_{\text{мес.сопр}} + \Delta P_{\text{под}} + \Delta P_{\text{тр}} - \Delta P_{\text{доп}}$$

$\Delta P_{\text{доп}} = 0$ т.к аппарат работает открыто при атмосферном давлении

$$\Delta P_{\text{ск}} = \omega^2 \rho_{\text{в}} / 2;$$

где ω - скорость движения воды в трубе 57х2 мм, $\omega = v$

$\rho_{\text{в}}$ – плотность воды, кг/м³.

$$\Delta P_{\text{ск}} = (0,016^2 \cdot 1000) / 2 = 125 \text{ Па};$$

$$\Delta P_{\text{мес.сопр}} = \sum \zeta (\omega^2 \rho_{\text{в}}) / 2$$

где $\zeta_1 = 0,2$ – для задвижки по табл. XIII [21].

$\zeta_1 = 0,5$ – при радиусегиба (6 м)

$$\Delta P_{\text{мес.сопр}} = (0,2 + 0,5) \cdot 125 = 87,5 \text{ Па},$$

$$\Delta P_{\text{тр}} = \lambda \frac{L}{d_g} (\omega^2 \rho_{\text{в}}) / 2;$$

где $\lambda = 0,025$ – для задвижки по табл. 1.5 [21].

$$\Delta P_{\text{тр}} = 0,025 \cdot \frac{0,01}{0,053} (0,016^2 \cdot 1000) / 2 = 0,59 \text{ Па},$$

$$\Delta P_{\text{под}} = \rho g h_{\text{п}}$$

где $h_{\text{п}}$ – высота подъема воды в сепараторе примем $H = h_{\text{п}}$,

$$\Delta P_{\text{под}} = 1000 \cdot 9,8 \cdot 2,4 = 21560 \text{ Па}.$$

Тогда

$$\Delta P_{\text{общ}} = 125 + 87,5 + 0,59 + 21560 = 21773,1 \text{ Па}.$$

Затраченная мощность:

$$N = \frac{\Delta P_{\text{общ}} Q_p}{\eta} = 840 \text{ Вт}.$$

где $\eta = 0,6$

По значению требуемой мощности и объемному расходу выбираем насос: X2/25:
 $V_c = 4,2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$, $H = 25 \text{ м}$, $n = 50 \text{ с}^{-1}$ с двигателем АО2 – 31 – 2; $N = 1,1 \text{ кВт}$, (табл. 1.2) [21, с.85].

3. Конструктивно - механический расчет реактора

3.1. Определение расчетных параметров материала

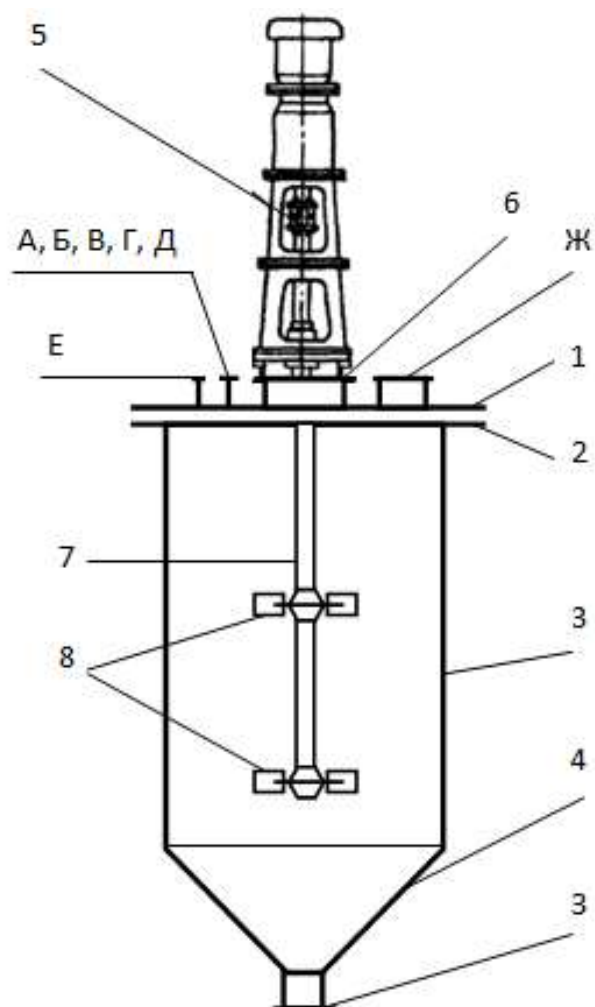


Рисунок 3.1. Расчетная модель реактора смешения

Где, 1 – крышка; 2 – фланец; 3- цилиндрическая обечайка; 4 – коническое днище; 5 – привод; 6 – уплотнение; 7 – вал; 8 – мешалки.

Исходные данные:

Высота обечайки реактора, мм	$L := 1540$
внутренний диаметр, мм	$D := 1000$
Рабочее давление (так как аппарат работает при атмосферном давлении), МПа	$P := 0$
Температура среды в реакторе, °C	$t_c := 20$
Плотность среды, кг/м ³	$\rho := 1278$
Ускорение свободного падения, м/с ²	$g := 9.8$
Диаметры штуцеров: А, Б, В, Г, Д, мм	$d_i := 10$
Диаметр штуцера Е, мм	$d_{ж.с} := 26$
Диаметр смотрового окна, мм	$d_{ок} := 100$
Диаметр отверстия для вала, мм	$d_B := 65$
Материал реактора - листовой прокат из стали 20 (ГОСТ 34233.1-2017)	
Скорость коррозии, мм/год [16]	$\Pi := 0.1$
Срок эксплуатации, лет	$\tau_B := 15$

Расчетные параметры:

Расчетная температура стенки котла $t := t_c$ $t = 20$ °C

Допускаемое напряжение:

В рабочем состоянии

$\eta := 1$, так как аппарат изготавливается из листового проката, в соответствии с рекомендацией [22, п.8.3].

Допускаемое напряжение, определим согласно [22, Табл. А.1]:

$\sigma' := 147$ МПа - для стали 20 при температуре стенки

$\sigma_d := \eta \cdot \sigma' \sigma_d = 147$ МПа

Допускаемое напряжение для стали при гидравлических испытаниях,

МПа:

Коэффициент запаса прочности, примем в соответствии с рекомендацией ГОСТР 52857.1-2007 Таблица 1., равным:

$$n_T := 1.1$$

Расчетное значение предела текучести при 20 °С для стали 20 примем, в соответствии с рекомендацией [22], МПа:

$$R_{e20} := 220$$

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

Расчетное значение внутреннего избыточного давления, определяется из суммы рабочего и давления веса среды, МПа:

$$P_p := P + \frac{\rho \cdot g \cdot L}{10^9} = 0.019$$

Допускаемое напряжение для стали 20 по [22, с. 14]:

$$\sigma'_{20} := 147 \quad \text{МПа - для стали 20 при температуре } t = 20^\circ\text{C}$$

$$\sigma_{\text{д}20} := \eta \cdot \sigma'_{20} = 147$$

Пробное давление при гидравлическом испытании, МПа:

$$P_{\text{и}} := 1.25 \cdot P_p \cdot \frac{\sigma_{\text{д}20}}{\sigma_{\text{д}}} = 0.024$$

Модуль упругости для стали 20 при 20 °С, МПа:

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

Коэффициент прочности продольных сфачочных швов обечайки определяем при условии, что стыковые швы выполняются автоматической сваркой с двусторонним сплошным проваром при длине контролируемых швов 100%, по таблице, в соответствии с рекомендацией [22, с. 22]:

$$\phi_p := 1$$

3.2 Расчет толщины стенок цилиндрической обечайки

В соответствии с [23 с.113] и исполнительную толщину стенки цилиндрического элемента обечайки, рассчитаем по формуле:

$$S \geq S_p + c$$

где, s_p – расчетная толщина стенки цилиндрической части колонны.

Прибавку к расчетным толщинам вычисляем по формуле, [23 с.113], мм:

$$c = c_1 + c_2 + c_3$$

где, c_1 – поправка на коррозию;

c_2 – поправка на минусовое отклонение;

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

Прибавки к расчетной толщине стенки, мм:

$c_k := П \cdot тв$ для компенсации коррозии центральной обечайки ;

$$c_k = 1.5 \text{ мм}$$

Поскольку в ходе технологических операций изготовления цилиндрической обечайки, не происходит утонения стенки, в соответствии с рекомендацией ГОСТ 34233.1-2017 примем:

$$c_3 := 0$$

$$c_2 := 0$$

$$c := \text{Ceil}(c_k + c_3 + c_2, 1) = 2$$

Расчет тощины стенки цилиндрической обечайки ведётся согласно [23, с.121]

Расчет производится при давлении гидравлического испытания и при рабочем давлении в реакторе, мм:

$$s_p := \max \left(\left(\frac{P \cdot D}{2 \cdot \sigma_d \cdot \phi_p - P} \right), \left(\frac{P_{и} \cdot D}{2 \cdot \sigma_{и} \cdot \phi_p - P_{и}} \right) \right) s_p = 0.06$$

Максимальная исполнительная толщина стенки из условия прочности, мм:

$$s_1 := \text{Ceil}(s_p + c, 1) \quad s_1 = 3$$

По конструктивным соображениям выбираем толщину стенки, мм:

$$s_{\text{цo}} := 4$$

Проверка условия применения формул для обечаек при $D > 200$ мм

$$\text{Prov_1} := \begin{cases} \text{"условие применения формул выполняется"} & \text{if } \frac{s_{\text{цo}} - c}{D} \leq 0.1 \\ \text{"условие применения формул НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\boxed{\text{Prov_1} = \text{"условие применения формул выполняется"}}$$

Допускаемое внутреннее избыточное давление на цилиндрическую обечайку, МПа

Рабочие условия:

$$P_d(s_{\text{цo}}) := \frac{[2 \cdot \sigma_d \cdot \phi_p \cdot (s_{\text{цo}} - c)]}{D + (s_{\text{цo}} - c)} \quad P_d(s_{\text{цo}}) = 0.587$$

Условия испытаний:

$$P'_d(s_{\text{цo}}) := \frac{2 \cdot \sigma_{\text{и}} \cdot \phi_p \cdot (s_{\text{цo}} - c)}{D + (s_{\text{цo}} - c)} \quad P'_d(s_{\text{цo}}) = 0.796$$

3.3 Расчет толщины стенки конического днища

Целью расчета толщины стенки конического днища нагруженного внутренним избыточным давлением, является определение исполнительной толщины стенки исходя из условий прочности и устойчивости.

Расчет толщины конического днища ведется согласно [22, 24]:

Исходя из технологии получения вязкого продукта для лучшей стекаемости примем угол конусности 60°:

$$\alpha := 60 \cdot \frac{\pi}{180} = 1.047 \quad \text{Угол при вершине конуса, рад}$$

Высота конического днища рассматривается как равносторонний треугольник, по теореме Пифагора. Рассмотрим треугольник ABC где угол $ABC = 60^\circ$, а $ACB = 30^\circ$, AC - высота (так как против равных углов лежат равные стороны, т.е. при радиусе цилиндрической обечайки равном 500 мм, высота, лежащая, против угла в 30 градусов будет равна 866 мм:

$$\sqrt{1000^2 - 500^2} = 866.025$$

$$H_{\text{кв}} := 866 \text{ мм}$$

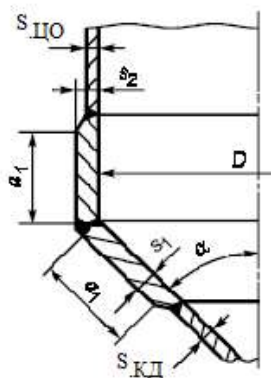


Рисунок 3.2. Соединение цилиндрической и конической обечайек

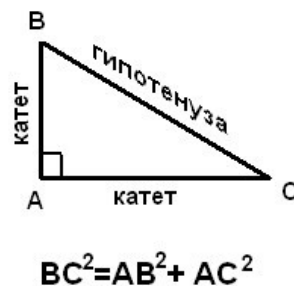


Рисунок 3.3. Определение высоты конической обечайки

Общая высота гидростатического столба среды, мм:

$$H_{\text{ап}} := L + 866 = 2.406 \times 10^3$$

$$\phi_{\text{ш}} := 1 \quad \text{Коэффициент прочности сварного шва (автоматическая сварка)}$$

Решение :

Определяем расчетное давление, согласно с [24, с.20], МПа:

$$P_g := \frac{(g \cdot \rho \cdot H_{\text{ап}})}{10^9} = 0.03$$

$$P_p := P + P_g = 0.03$$

Пробное давление при гидравлическом испытании, (коэффициент выбран 1.25 т.к. конструкция сварная) согласно с [24, с.19], МПа:

$$\sigma_{20} := 147 \text{ - для стали марки 20}$$

$$P_i := 1.25 \cdot P_p \cdot \frac{\sigma_{20}}{\sigma'} = 0.038$$

Расчетная толщины конического днища производится при гидравлическом испытании и при рабочем давлении:

$$S_{к.р} := \max \left[\left[\frac{P_p \cdot D}{(2 \cdot \phi_{ш} \cdot \sigma' - P_p) \cdot \cos(\alpha)} \right], \left[\frac{P_i \cdot D}{(2 \cdot \phi_{ш} \cdot \sigma_{и} - P_i) \cdot \cos(\alpha)} \right] \right]$$

Толщина стенки с учетом добавки на коррозию и на компенсацию минусового допуска, мм:

$$s_{ко} := \text{Ceil}(S_{к.р} + c, 1) = 3$$

Допускаемое внутреннее избыточное для конической обечайки давление вычисляют по формуле, МПа:

$$P_{дк} := \frac{2 \cdot \sigma_{д} \cdot \phi_p \cdot (s_{ко} - c)}{\frac{D}{\cos(\alpha)} + (s_{ко} - c)} = 0.147$$

$$x_{условие} := \frac{s_{ко} \cdot |\cos(\alpha)|}{D}$$

Проверка на условие применимости формул:

$$Usl := \begin{cases} \text{"условие применения формул выполняется"} & \text{if } 0.001 \leq x_{условие} \leq 0.05 \\ \text{"условие применения формул НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Usl = \text{"условие применения формул выполняется"}$$

Допускаемое давление из условия прочности, МПа:

$$p_{\Pi} := \frac{2 \cdot \sigma_d \cdot \phi_p \cdot (s_{ko} - c) \cdot \cos(\alpha)}{D + (s_{ko} - c) \cdot \cos(\alpha)} = 0.147$$

3.4 Расчет толщины стенки плоской крышки

Целью расчета толщины стенки плоской крышки нагруженного внутренним и наружным избыточным давлением, является определение исполнительной толщины стенки исходя из условий прочности и устойчивости.

Выбор типа крышки определяется из условий протекания технологического процесса, а также условий эксплуатации. Поскольку аппарат работает при атмосферном давлении а внешнее воздействие на крышку состоит из веса электропривода и веса рабочего, то для простоты выбираем плоскую крышку по типу конструкции 11 табл.4 [23]:

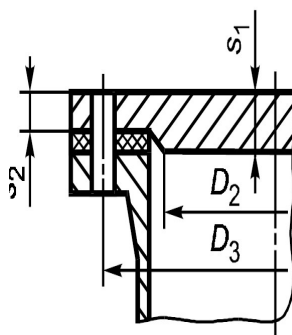


Рисунок 3.4. Тип крепления крышки к аппарату

Расчет толщины плоской крышки $s_1 = s_k$ ведется согласно [24]:

- параметры крышки:

где $D_p := 1090$ межосевое расстояние по фланцу [26];

$$D_3 := D_p$$

$K := 0.4$ коэффициент конструктивной особенности крышки таб. 4 [24]

K_0 коэффициент для крышек имеющих одно или несколько отверстий [24];

$$K_0 := \sqrt{\frac{1 - \left(\frac{5 \cdot d_i + d_{ж.с} + d_{ок} + d_B}{D_p} \right)^3}{1 - \left(\frac{5 \cdot d_i + d_{ж.с} + d_{ок} + d_B}{D_p} \right)}}$$

$$s_k := K \cdot K_0 \cdot D_p \cdot \sqrt{\frac{P_p}{\Phi_{ш} \cdot \sigma'}} = 7.035$$

Принимает исполнительную толщину крышки, мм:

$$s_{кр} := 8$$

Толщина кромки крышки типа 11, $s_2 = s_{кр}$ определяется по формуле, мм:

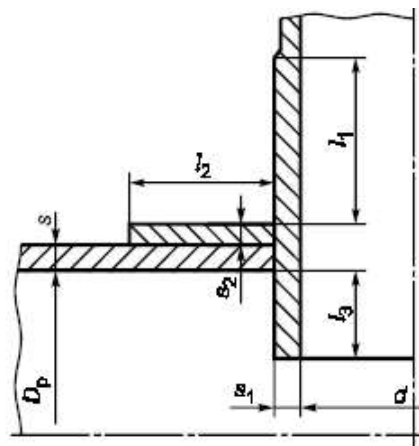
$$D_2 := 980$$

$$s_{кр} := \max \left[0.7 \cdot (s_k - c), (s_k - c) \cdot \sqrt{2 \cdot \frac{(D_p - D_2) \cdot D_2}{D_p^2}} + c \right]$$

$$s_{кр} := \text{Ceil}(s_{кр} + c, 1) = 7$$

3.5 Расчет укрепления отверстия в плоской крышке

Расчет укрепления отверстий в плоской крышке ведется согласно методике изложенной в ГОСТ 34233.3 - 2017 [25].



а

Рисунок 3.5. Тип крепления крышки к аппарату

Расчетный диаметр оболочки для штуцера на плоской крышки, мм:

$$D_{.p} := D$$

Расчетные диаметры отверстий для штуцеров диаметра d_i , мм :

$$d_{pi} := d_i + 2c$$

$$d_{pi} = 14$$

Расчетный диаметр отверстия для штуцера диаметра $d_{ж.с}$, мм :

$$d_{pж.с} := d_{ж.с} + 2c = 30$$

Исполнительная длина внешней части штуцера, мм:

$$l_{1ж.с} := 100$$

$$l_{1i} := l_{1ж.с}$$

Исполнительная длина внутренней части штуцера, мм:

$$l_{3ж.с} := 50$$

$$l_{3i} := l_{1ж.с}$$

Расчётная толщина стенки оболочки, мм:

$$s_{.p} := \max \left[\frac{P_p \cdot D}{4 \cdot \phi_{ш} \cdot \sigma_{д20} - P_p}, \frac{P_{и} \cdot D}{(4 \cdot \phi_{ш} \cdot \sigma_{и} - P_{и})} \right] = 0.033$$

Расчетная толщина стенки штуцеров, мм:

$$s_{pi} := \frac{P_{и} \cdot (d_i + 2 \cdot c)}{2 \cdot \sigma_{д} \cdot \phi_{ш} - P_{и}} = 1.148 \times 10^{-3}$$

$$s_{pж.с} := \frac{P_{и} \cdot (d_{ж.с} + 2 \cdot c)}{2 \cdot \sigma_{д} \cdot \phi_{ш} - P_{и}} = 2.46 \times 10^{-3}$$

Расчетная длина штуцера, d_i :

$$l_{1pi} := \min \left[l_{1i}, \sqrt{d_i + 2c \cdot (s_K - c)} \right] = 5.831$$

$$l_{3pi} := \min \left[l_{3i}, 0.5 \cdot \sqrt{d_i + 2c \cdot (s_K - c)} \right] = 2.915$$

Расчетная длина штуцера, $d_{ж.с}$:

$$l_{1рж.с} := \min \left[l_{1ж.с}, \sqrt{d_{ж.с} + 2c \cdot (s_K - c)} \right] = 7.071$$

$$l_{3рж.с} := \min \left[l_{3ж.с}, 0.5 \cdot \sqrt{d_{ж.с} + 2c \cdot (s_K - c)} \right] = 3.536$$

Расчетная ширина зоны укрепления в обечайках и днищах при отсутствии торообразной вставки или вварного кольца, мм:

$$l_{pi} := \sqrt{D_p \cdot (s_K - c)} \quad l_{pi} = 80.87$$

Проверка условий применения формул для расчета укрепления отверстий:

$$\text{пров1} := \begin{cases} \text{"Отношение диаметров НЕ выполняется"} & \text{if } \left(\frac{d_{pi} - 2 \cdot c}{D} > 0.6 \right) \\ \text{"Отношение толщины к диаметру НЕ выполняется"} & \text{if } \left(\frac{s_{pi}}{D} > 0.1 \right) \\ \text{"Условия применения формул выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$\text{пров1} = \text{"Условия применения формул выполняются"}$

$$\text{пров2} := \begin{cases} \text{"Отношение диаметров НЕ выполняется"} & \text{if } \left(\frac{d_{\text{рж.с}} - 2 \cdot c}{D} > 0.6 \right) \\ \text{"Отношение толщины к диаметру НЕ вы-ся"} & \text{if } \left(\frac{s_{\text{р.ж.с}} - c}{D} > 0.1 \right) \\ \text{"Условия применения формул выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\boxed{\text{пров2} = \text{"Условия применения формул выполняются"}}$$

Расчетный диаметр одиночного отверстия не требующего укрепления при наличии избыточной толщины стенки сосуда, мм:

$$d_{0i} := 2 \cdot \left[\left(\frac{s_k - c}{s_{pi}} \right) - 0.8 \right] \cdot \sqrt{D_p \cdot (s_k - c)} \quad d_{0i} = 8.451 \times 10^5$$

$$d_{0\text{ж.с}} := 2 \cdot \left[\left(\frac{s_k - c}{s_{\text{р.ж.с}}} \right) - 0.8 \right] \cdot \sqrt{D_p \cdot (s_k - c)} \quad d_{0\text{ж.с}} = 3.943 \times 10^5$$

Проверка условий необходимости дальнейшего укрепления отверстий [25]:

$$U_{sl} := \begin{cases} \text{"Необходимо укрепить отверстие"} & \text{if } d_{0i} < d_i \\ \text{"Укрепление НЕ требуется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\boxed{U_{sl} = \text{"Укрепление НЕ требуется"}}$$

3.6 Подбор опоры под реактор

Для установки аппарата выбираем опору лап конструкции типа 1. Конструктивные размеры элементов опоры подбираются в зависимости от нагрузки на одну опору.

Рассчитываем вес аппарата, чтобы узнать нагрузку на одну опору. Проверка расчета ведется согласно методики ГОСТ 34233.5 - 2017 [27]

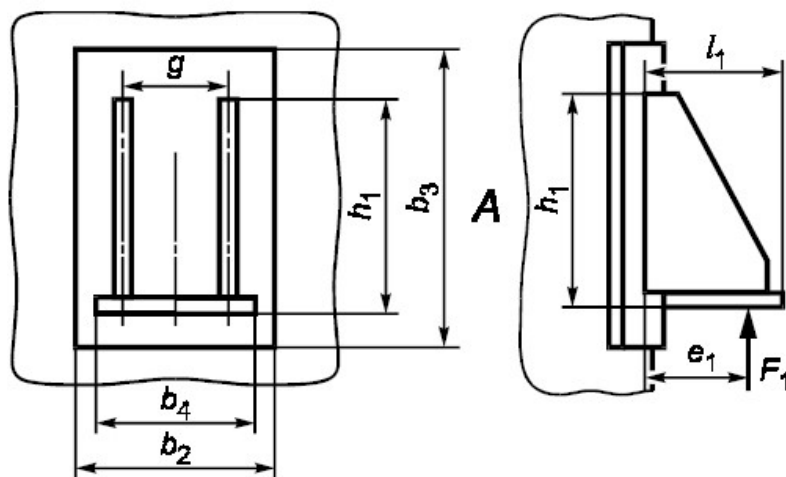


Рисунок 3.6. Схема опоры лапы

Зададимся параметрами опоры:

Высота опоры лапы, мм:

$$h_1 := 245$$

Ширина подкладного листа, мм:

$$b_2 := 155$$

Длина подкладки листа, мм:

$$b_3 := 200$$

Ширина основной плиты опорной лапы, мм:

$$b_4 := 130$$

Расстояние между средними линиями ребер, мм:

$$g := 65$$

Длина опоры лапы, мм:

$$l_1 := 145$$

Расстояние между точкой приложения усилий и подкладки листом, мм:

$$e_1 := 100$$

Для равномерного распределения нагрузки на опору назначаем количество стоек согласно рекомендации [27]:

$$n_c := 4$$

Толщина стенки конической обечайки, мм

$$s_{цо} = 4$$

Толщина подкладного листа, мм

$$s_2 := 3$$

Предельная нагрузка на опору, Н*мм:

$$G_d := 25 \cdot 10^3$$

Расчётный диаметр, мм:

$$D_{p.} := D \quad D_{p.} = 1 \times 10^3$$

Проверка условий применения выбранных параметров:

Проверка условия использования полученного расчётного диаметра :

$$Usl_1 := \begin{cases} \text{"Условие исп-ния расчётного диаметра вып-ся"} & \text{if } \left(\frac{s_{цо} - c}{D_{p.}} \leq 0.05 \right) \\ \text{"Условие исп-ния расчётного диаметра НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Usl_1 = \text{"Условие исп-ния расчётного диаметра вып-ся"}$$

Проверка условия использования выбранного расстояния между ребрами:

$$Usl_2 := \begin{cases} \text{"Условие исп-я вы-го рас-ния между ребрами вы-тся"} & \text{if } g \geq 0.2 \cdot h_1 \\ \text{"Условие использования НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Usl_2 = \text{"Условие исп-я вы-го рас-ния между ребрами вы-тся"}$$

Проверка выбранной высоты опоры:

$$Usl_3 := \begin{cases} \text{"Условие исп-ния выбранной высоты вып-ся"} & \text{if } 0.04 \leq \frac{h_1}{D_p} \leq 0.5 \\ \text{"Условие достаточной высоты НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Usl_3 = \text{"Условие исп-ния выбранной высоты вып-ся"}$$

Проверка условия использования ширины опорной лапы:

$$Usl_4 := \begin{cases} \text{"Условие исп-ния ширины лапы выполняется"} & \text{if } 0.04 \leq \frac{b_4}{D_p} \leq 0.5 \\ \text{"Условие использования ширины лапы НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Usl_4 = \text{"Условие исп-ния ширины лапы выполняется"}$$

Проверка условия использования выбранной высотв подкладки под цилиндрическую обечайку:

$$Usl_5 := \begin{cases} \text{"Условие исп-ния вы-ной высоты под-ки вып-ся"} & \text{if } 0.04 \leq \frac{b_3}{D_p} \leq 0.8 \\ \text{"Условие исп-ния выбранной высоты подкладки НЕ выполняется"} & \text{ot} \end{cases}$$

$$Usl_5 = \text{"Условие исп-ния вы-ной высоты под-ки вып-ся"}$$

Определение расчётных моментов и усилий, действующих на опору лапу:

Расчет массы удержанной на опорах, кг:

1) Масса цилиндрической обечайки копуса:

- параметры:

$$D_H := 1.012 \quad \rho_c := 7800 \quad D_{\cdot} := 1 \quad L := 1.45$$

$$m_{\text{ц}} := 2 \cdot \pi \cdot L \cdot \rho_c \cdot \left[\left(\frac{D_H}{2} \right)^2 - \left(\frac{D_{\cdot}}{2} \right)^2 \right] = 428.935$$

2) Масса конического днища, кг:

$$m_{\text{кон}} := \frac{1}{3} \cdot \pi \cdot H \cdot \rho_c \cdot \left[\left(\frac{D_K}{2} \right)^2 - \left(\frac{D_{\cdot}}{2} \right)^2 \right] = 57.042$$

3) Масса плоской крышки, кг:

$$m_k := 2 \cdot \pi \cdot s_{кр.} \cdot \rho_c \cdot \left[\left(\frac{D}{2} \right)^2 \right] = 147.027$$

4) Масса привода, кг:

$$m_{пр} := 538$$

5) Масса среды, кг:

$$m_{ср} := V \cdot \rho = 1.853 \times 10^3$$

6) Общая масса, кг:

$$m_{общ} := m_{ср} + m_{пр} + m_{кон} + m_k + m_{ц} = 3.024 \times 10^3$$

Нагрузка на опоры, Н:

$$G := m_{общ} \cdot g = 2.964 \times 10^4$$

$$G_1 := \frac{m_{общ} \cdot g}{4} = 7.409 \times 10^3$$

Изгибающий момент, Н*м:

$$M := G \cdot \frac{D + e_1 \cdot 10^{-3}}{2} = 1.63 \times 10^4$$

Вертикальное (нормальное) усилие, действующее на опору лапу при наличии изгибающего момента, Н:

$$F_1 := \frac{G}{4} + \frac{M}{(s_{2.} + s_{цо} + e_1)} \quad F_1 = 7.561 \times 10^3$$

Произведём расчёт на прочность фундаментного болта (так как действует изгибающий момент) от действия растягивающего усилия, Н:

$$F_6 := \frac{M}{s_{2.} + s_{цо} + e_1} - \frac{G}{4} \quad F_6 = -7.257 \times 10^3$$

Проверка несущей способности обечайки :

Несущая способность обечайки в месте приварки опоры лапы с

прокладным листом:

$$K_8 := 0.05$$

$$F_{\text{доп}} := \frac{\sigma_d \cdot h_1 \cdot (s_{\text{цо}} - c)}{K_8 \cdot e_1} = 1.441 \times 10^4 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$\text{Usl_6} := \begin{cases} \text{"Условие выполняется"} & \text{if } F_1 \leq F_{\text{доп}} \\ \text{"Условие НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Usl_6} = \text{"Условие выполняется"}$$

Предельно допускаемое усилие на опору, Н*мм:

$$\text{Usl_7} := \begin{cases} \text{"Условие выполняется"} & \text{if } G_1 \leq G_d \\ \text{"Условие НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Usl_7} = \text{"Условие выполняется"}$$

3.7 Расчет на прочность и герметичность фланцевых соединений

Целью расчета фланцевых соединений на прочность и герметичность являются:

- 1) определения усилия, действующая на прокладку в рабочих условиях, необходимого для обеспечения герметичности фланцевого соединения, и усилия при затяжке, необходимого для обеспечения герметичности фланцевого соединения в рабочих условиях. Проверка прочности болтов и прокладки на прочность.
- 2) расчет на прочность элементов фланцевого соединения при затяжке в рабочих условиях при действии давления, усилий в болтах, необходимых для обеспечения герметичности фланцевого соединения и других нагрузок.
- 3) Проверка углов поворота фланца.
- 4) расчет элементов фланцевого соединения на малоцикловую усталость в случае, если нагружение носит циклический характер.

Расчет на прочность и герметичность фланцевых соединений ведется согласно требованиям ГОСТ Р 34233.4 - 2007 [28];

Параметры фланцевого соединения:

Пусть $bs=1$ если расчет ведем для болтов, и $bs=2$ если для шпилек

$$bs := 1$$

Примем равным внутреннему диаметру цилиндрической обечайки исходя из конструкторских соображений см. рисунок 3.6

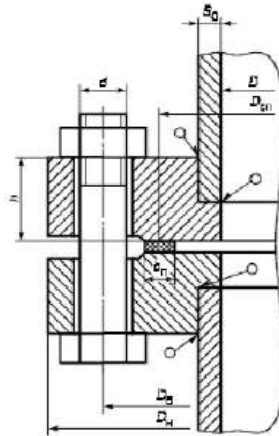


Рисунок 3.7. Фланцевое соединение с гладкой уплотнительной поверхностью

Материал фланца и обечайки - сталь 20

Количество болтов: $n := 36$

Диаметр прохода, мм: $D := 1000$

Диаметр прокладки, мм: $D_{сп} := 1048$

Диаметр фланца наружный
наружный, мм: $D_{фл} := 1130$

Диаметр болтовых отверстий, мм: $D_{б} := 1380$

Толщина фланца, мм: $h := 30$

Диаметр болтов, мм: $D_{болтов} := 20$

Болты М20, мм: $d_{б} := 20$

Из рекомендации в ГОСТ Р 34233.4-2017 выбираем толщину прокладки 3 мм

Эффективная ширина плоской прокладки, b_0

$$b_{п} := 3$$

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

$$b_0 = 3$$

Характеристики прокладки [28, таблица И.1]

Прокладочный
коэффициент:

$$m := 2.5$$

Удельное давление обжатия
прокладки, МПа:

$$q_{\text{обж}} := 20$$

Допускаемое удельное
давление, МПа:

$$q_d := 130$$

Коэффициент
обжатия:

$$K_{\text{обж}} := 0.9$$

Условный модуль сжатия
прокладки, МПа:

$$E_{\Pi} := 0.2 \cdot 10^5$$

Модуль упругости болта

$$E_{206} := E_{20}$$

Усилие, необходимое для смятия прокладки при затяжке, Н:

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

$$P_{\text{обж}} = 238.133$$

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

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

$$R_{\Pi} = 476.267$$

Площадь поперечного сечения болтов (шпилек) М20 [28, таблица Д.1]

$$f_{\text{б}} := 225 \text{ мм}^2 \quad \text{без проточки}$$

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

$$A_{\text{б}} := n \cdot f_{\text{б}} \quad A_{\text{б}} = 8.1 \times 10^3 \text{ мм}^2$$

Равнодействующая нагрузка от давления, Н:

$$Q_d := D_{\text{сп}}^2 \cdot P_p \cdot \frac{\pi}{4} = 1.664 \times 10^4$$

Приведенная нагрузка, вызванная воздействием внешней силы и
исгибающего момента, Н*мм:

$$M := m_{\text{пр}} \cdot g \cdot \frac{1}{2} = 2.636 \times 10^3 \quad \text{момент, создаваемый приводом мешалки}$$

- приведенная нагрузка, Н:

$$F_{\text{w}} := m_{\text{пр}} \cdot g$$

$$Q_{\text{fm}} := \max \left(\left| F + \frac{4 \cdot |M|}{D} \right|, \left| F - \frac{4 \cdot |M|}{D} \right| \right) = 5.338 \times 10^3$$

Податливость прокладки:

$$h_{\Pi} := 0 \quad \text{толщина трубной решетки или закладной детали между прокладками, мм}$$

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

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

$$L_{60} := 70$$

Эффективная длина болта (шпильки) при определении податливости, мм

$$d_{\text{б}} := 20 \quad \text{внешний диаметр болта, так как болт - M20}$$

$$L_6 := \begin{cases} (L_{60} + 0.28 \cdot d_6) & \text{if } bs = 1 \\ (L_{60} + 0.56 \cdot d_6) & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$L_6 = 75.6$$

Податливость болтов,

$$y_6 := \frac{L_6}{E_{206} \cdot A_6} \quad y_6 = 4.69 \times 10^{-8} \quad \frac{\text{мм}}{\text{Н}}$$

Расчетные параметры
фланцев:

$$S_0 := s_{\text{цo}} \quad S_0 = 4 \quad \text{мм} \quad \text{толщина обечайки}$$

$$l_0 := \sqrt{D \cdot S_0} = 63.246 \quad \text{мм}$$

Отношение наружного диаметра тарелки фланца к внутреннему диаметру

$$K := \frac{D_H}{D} = 1.13$$

Коэффициенты, зависящие от соотношения размеров тарелки фланца

$$\beta_T := \frac{K^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \log(K)) - 1}{(1.05 + 1.945 \cdot K^2) \cdot (K - 1)} = 1.864$$

$$\beta_U := \frac{[K^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \log(K)) - 1]}{1.36 \cdot (K^2 - 1) \cdot (K - 1)} = 17.493$$

$$\beta_Y := \left[0.69 + 5.72 \cdot \frac{K^2 \cdot \log(K)}{(K^2 - 1)} \right] \cdot \frac{1}{(K - 1)} = 16.077$$

$$\beta_Z := \frac{K^2 + 1}{K^2 - 1} = 8.223$$

Коэффициенты для фланцевых соединений с приварными стык фланцами с прямой втулкой, плоскими фланцами и свободными фланцами:

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

Коэффициент λ

$$\lambda := \frac{\beta_V \cdot h^3}{\beta_U \cdot l_0 \cdot (S_0)^2} + \frac{\beta_F \cdot h + l_0}{\beta_T \cdot l_0} = 1.607$$

Угловая податливость фланцев:

Угловая податливость фланца при затяжке:

$$y_{\phi} := \frac{0.91 \cdot \beta_V}{E_{20} \cdot \lambda \cdot l_0 \cdot (S_0)^2} = 1.547 \times 10^{-9}$$

Угловая податливость фланца, нагруженного внешним изгибающим моментом

$$y_{\phi_H} := \left(\frac{\pi}{4} \right)^3 \cdot \frac{D_6}{E_{20} \cdot h^3 \cdot D_H} = 1.101 \times 10^{-10}$$

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

$$C_F := \max \left[1, \sqrt{\frac{\pi \cdot D_6}{n \cdot \left(2 \cdot d_6 + \frac{6 \cdot h}{m + 0.5} \right)}} \right] = 1.097$$

Приведенный диаметр плоского фланца, мм:

$$D_{\text{пр}} := D$$

Плечо действия усилий в болтах (шпильках) при приварных встык и плоских фланцах, мм:

$$b := 0.5 \cdot (D_6 - D_{\text{сп}}) = 166$$

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

$$e := 0.5 \cdot (D_{\text{сп}} - D - S_0) = 22$$

Эквивалентная толщина
плоских фланцев, мм

$$S_{\text{э}} := S_0$$

Коэффициент жесткости фланцевого соединения для приварных встык

плоских фланцев:

$$\gamma := \frac{1}{y_{\Pi} + 2 \cdot b^2 \cdot y_{\Phi} \cdot \frac{E_{20}}{E} + y_{\sigma} \cdot \frac{E_{20\sigma}}{E_{\sigma}}} = 1.172 \times 10^4$$

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

$$\alpha_{\text{вн}} := 1 - \frac{y_{\Pi} - 2 \cdot e \cdot y_{\Pi} \cdot b}{y_{\Pi} + y_{\sigma} + 2 \cdot b^2 \cdot y_{\Phi}} = 1$$

Коэффициент жесткости фланцевого соединения, нагруженного внешним изгибающим моментом:

$$\alpha_M := \frac{y_{\sigma} + 2 \cdot y_{\Phi} \cdot b \cdot \left(b + e - \frac{e^2}{D_{\text{сп}}} \right)}{y_{\sigma} + y_{\Pi} \cdot \left(\frac{D_{\sigma}}{D_{\text{сп}}} \right)^2 + 2 \cdot y_{\Phi} \cdot b^2} = 1.129$$

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

$$\alpha_{\Phi} := 11.1 \cdot 10^6 \quad t_{\Phi} := 20 \quad \alpha_{\sigma} := \alpha_{\Phi} \quad t_{\sigma} := 20$$

$$Q_t := \gamma \cdot \left[2 \cdot \alpha_{\Phi} \cdot h \cdot (t_{\Phi} - 20) - 2 \cdot \alpha_{\sigma} \cdot h \cdot (t_{\sigma} - 20) \right] = 0$$

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

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

$$P_{\sigma 1} = 2.24 \times 10^4$$

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

$$P_{\sigma 2} = 4.763 \times 10^5$$

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

$$P_{\sigma M} := \max(P_{\sigma 2}, P_{\sigma 1}) P_{\sigma M} = 4.763 \times 10^5$$

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

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

$$P_{\sigma p} = 4.763 \times 10^5$$

Проверка прочности болтов(шпилек) и прокладки:

Расчетные значения в болтах(шпильках), МПа:

При затяжке:

$$\sigma_{\sigma 1} := \frac{P_{\sigma M}}{A_{\sigma}} \quad \sigma_{\sigma 1} = 58.8$$

В рабочих условиях:

$$\sigma_{\sigma 2} := \frac{P_{\sigma p}}{A_{\sigma}} \quad \sigma_{\sigma 2} = 58.8$$

$$Usl_bolti := \begin{cases} \text{"Условия прочности при затяжке НЕ выполняются"} & \text{if } \sigma_{\sigma 1} > \sigma_{20} \\ \text{"Условия про-ти в рабочих условиях НЕ вып-ся"} & \text{if } \sigma_{\sigma 2} > \sigma_d \\ \text{"Условия прочности выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Usl_bolti = \text{"Условия прочности выполняются"}$$

Удельное давление на прокладку, МПа:

$$q := \frac{\max(P_{\sigma M}, P_{\sigma p})}{\pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b_{\text{п}}} \quad q = 48.22$$

Условие прочности мягкой прокладки:

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

$$Usl_prokl = \text{"Условия прочности прокладки выполняются"}$$

Расчет фланцев на статическую прочность:

Расчетный изгибающий момент, действующий на плоский фланец при затяжке, Н*мм:

$$M_M := C_F \cdot P_{бм} \cdot b = 8.676 \times 10^7$$

Расчетный изгибающий момент, действующий на фланец в рабочих условиях, Н*мм:

$$M_p := C_F \cdot \min[P_{бр} \cdot b + (Q_d + Q_{fm}) \cdot e, |Q_d + Q_{fm}| \cdot e] = 5.305 \times 10^5$$

Расчетные напряжения во фланце при затяжке:

1) Меридиальное изгибающее напряжение во втулке плоского фланца, МПа:

$$\sigma_{0M} := \frac{M_M}{\lambda \cdot (S_0 + c)^2 \cdot D_{пр}} = 1.5 \times 10^3$$

2) Напряжение в тарелке плоского или приварного встык фланца в условиях затяжки:

Радиальное напряжение, МПа:

$$\sigma_{Rm} := \frac{1.33 \cdot \beta_F \cdot h + l_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D} \cdot M_M = 94.438$$

Окружное напряжение, МПа:

$$\sigma_{Tm} := \frac{\beta_Y \cdot M_M}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_{Rm} = 773.363$$

Расчетное напряжение во фланце в рабочих условиях:

1) Меридиальное изгибные напряжение для плоских фланцев, МПа:

$$\sigma_{0p} := \frac{M_p}{\lambda \cdot (S_0 - c)^2 \cdot D_{пр}} = 82.544$$

2) Максимальные меридиальные мембранные напряжения в обечайке плоского фланца, МПа:

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

$$\sigma_{0mp} = 3.475$$

Напряжение в тарелке приварного плоского фланца в рабочих условиях, МПа:

Радиальное напряжение:

$$\sigma_{Rp} := \left| \frac{1.33 \cdot \beta_F \cdot h + l_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D} \right| \cdot M_p = 0.577$$

Окружное напряжение:

$$\sigma_{Tp} := \frac{\beta_Y \cdot M_p}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_{Rp} = 4.729$$

Проверка условий статической прочности фланца

PR_1 := "Условие статической прочности при затяжке Не выполняются"

PR_2 := "Условие статической прочности выполняются"

PR_3 := "Условие статической прочности Не выполняются"

КТ := 1 т.к отсутствует стесненность температурных деформаций

$$Usl_ст := \begin{cases} PR_1 & \text{if } \max\left[\left(\sigma_{0M} + \sigma_{Rm}\right), \left|\sigma_{0M} + \sigma_{TM}\right|\right] < KT \cdot \sigma_{20} \\ PR_2 & \text{if } \max\left(\left(\left|\sigma_{0p} - \sigma_{0mp} + \sigma_{Tp}\right|\right), \left(\left|\sigma_{0p} - \sigma_{0mp} + \sigma_{Rp}\right|\right), \left(\left|\sigma_{0p} + \sigma_{0mp}\right|\right)\right) < KT \cdot \sigma_{20} \\ PR_3 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$Usl_ст = \text{"Условие статической прочности выполняются"}$

Проверка угла поворота фланца

Угол поворота приварного встык фланца, плоского фланца:

$$\theta := M_p \cdot y_{\phi} \cdot \frac{E_{20}}{E} = 8.206 \times 10^{-4}$$

Допускаемый угол поворота плоского фланца:

$$\theta_d := 0.01$$

$$Usl_пов := \begin{cases} \text{"Условие при испытании НЕ выполняется"} & \text{if } \theta > 1.3\theta_d \\ \text{"Условие в рабочих условиях НЕ выполняется"} & \text{if } \theta > \theta_d \\ \text{"Условие поворота выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$Usl_пов = \text{"Условие поворота выполняется"}$

3.8 Расчет вала на прочность, жесткости и виброустойчивость

Расчет вала на прочность, жёсткость и виброустойчивость производится согласно методике, изложенной в пособии [29]:

Основные параметры выбранного привода (таблица 32.8 [16, с. 729]):

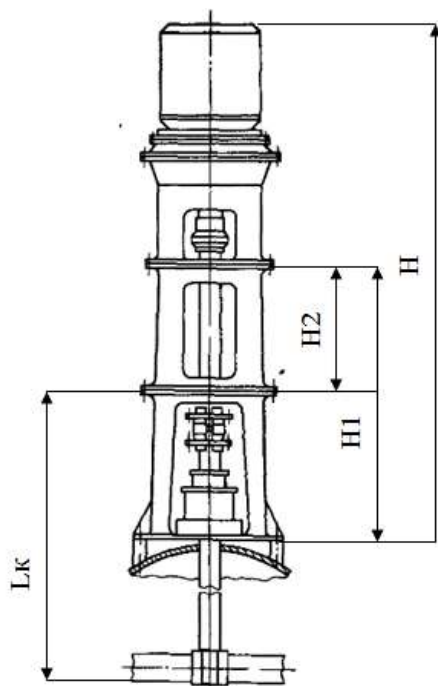


Рисунок 3.7. Привод вертикальный с одной промежуточной опорой вала (тип 5), по МН 5859-66.

$$d_{\text{ш}} := 0.065 \text{ м}$$

$$H_1 := 1.16 \text{ м}$$

$$H := 2.474 \text{ м}$$

$$H_2 := 0.510 \text{ м}$$

$$\text{Масса, кг: } m := 538$$

$$H_M := 167 \text{ мм}$$

Уисло оборотов мешалки, об/мин:

$$n := 220$$

$$N_3 := 8 \cdot 10^3 \text{ Мощность привода, Вт}$$

$$N_j := 4 \cdot 10^3 \text{ Мощность потребляемая одной мешалкой, Вт}$$

Исходные данные для расчета вала:

Рассчитаем основные длины вала исходя из приведенной конструкции привода:

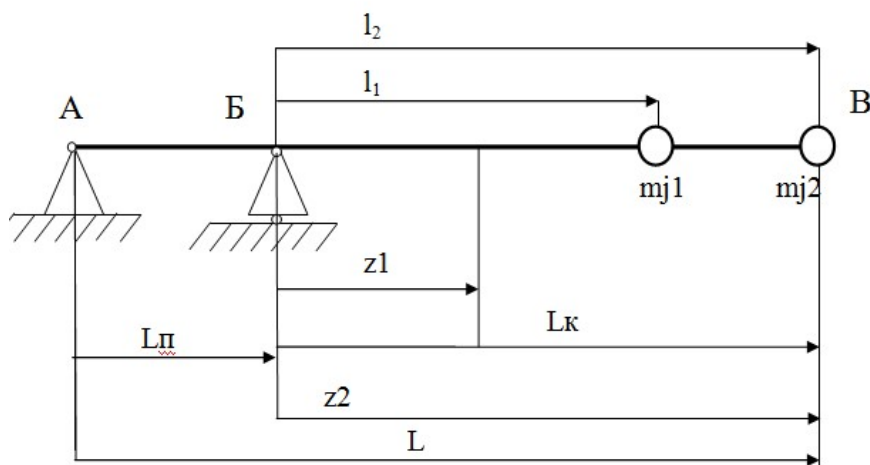


Рисунок 3.8. Расчетная схема консольного вала

На рисунке 3.8 приведена схема консольного вала на данной схеме имеется две точки опора А и Б в местах которых расположены подшипники. Поскольку между опорами А и Б нет масс то расчет опасных координат ведем от точки Б

Длина консоли вала, м:

$$L_k := \left[(H_{ap} - H_m) \cdot 10^{-3} + (H_1 - H_2) \right] = 2.889$$

Длина пролёта, м:

$$L_p := H_2 = 0.51$$

Длина вала, м:

$$L := L_k + L_p = 3.399$$

Определяем координата центра масс деталей, согласно схеме м:

Поскольку на консольной части вала расположены две мешалки, одна расположена на конце консоли в точки В (mj2), вторая по середине консоли (mj1), то координаты их масс соответственно равны: длине консоли и её половины:

$$\text{на консоли: } l_j := \begin{pmatrix} 1.44 \\ 2.89 \end{pmatrix}$$

Координаты опасных по прочности и жесткости сечений в соответствии с рекомендацией [28, с. 67], места с наибольшим крутящим моментом, м:

В соответствии с [29, с. 67] расчет вала по условиям **жесткости** сводится к определению и ограничению динамических смещений вала в опасных по жесткости сечениях (в местах установки **уплотнительных устройств**, в небольших зазорах между вращающимися и неподвижными деталями).

Расчет вала по условиям **прочности** предусматривает определение эквивалентных напряжений вала в опасных по прочности сечениях (в местах с наибольшими изгибающими и крутящими моментами, в местах с концентраторами напряжений и т.п.).

Сечение соответствующее максимальному смещению совпадает с сечением мешалки, расположенной на максимальном удалении от опорного устройства и соответственно имеющее наибольшую степень свободы. Кроме того в промежутке между упорным и опорным подшипником максимальное смещение вала возможно в сечении расположенном посередине вала, равноудаленное от опоры упорного и опорного подшипника.

Определение опасных по **прочности** сечений вала сводиться к определению сечений с наибольшим **изгибающим и крутящим моментами**.

Поскольку между опорами А и Б нет масс то расчет ведем от опоры Б:

Опасные координаты по прочности (в местах с наибольшими изгибающими и крутящими моментами, в местах с концентраторами напряжений и т.п.). В данном месте находится опорный подшипник и конец вала в точки В:

$$z_j := \begin{pmatrix} 0 \\ 2.889 \end{pmatrix}$$

Опасные координаты по жесткости (в местах установки **уплотнительных устройств**, в небольших зазорах между вращающимися и неподвижными деталями). В данном месте находится сальниковое уплотнение и сечение конца вала в точки В:

Исходя из конструкции привода (рис.3.7) координата расположения сальникового уплотнения определяется следующим способом:

$$z_{\text{сал}}^1 := H_1 - H_2 = 0.65$$

Тогда координаты по жесткости следующие:

$$z_j^1 := \begin{pmatrix} 0.65 \\ 2.889 \end{pmatrix}$$

Для подтверждения правильности выбора опасных по прочности и жесткости сечений, в дальнейшем расчете будут приведены эпюры изменения

параметров с изменением координат.

Концентратор напряжений в опасном по прочности сечении:

посадка подшипника с натягом

Число мешалок: $n_m := 2$

Масса мешалки, в соответствии с АТК 24.201.17-90 при выбранном наружном диаметре $d_n=320$ мм; кг:

Размеры, мм							
d_n	d (поле допус- ка по Н9)	h	b	s	Допустимый кру- тящий момент		Масса, кг, не более
					кН.м	кгс.м	
					не более		
250	45	70	50	5	0,10	10	2,90
280			56		0,16	16	3,20
320			64		0,20	20	3,72
360		90	72	6	0,28	28	6,7
400			80		0,35	35	7,8

$$m_j := \begin{pmatrix} 3.72 \\ 3.72 \end{pmatrix} \quad m_1 := 3.72$$

Модуль предельной упругости материала вала, Па:

$$E_B := 2 \cdot 10^{11}$$

Материал вала и мешалки: Сталь 20

Плотность стали, кг/м³

$$\rho_{ст} := 7800$$

Расчет на виброустойчивость

Целью расчета вала на виброустойчивость сводится к определению первой критической скорости вращения до которой аппарат будет работать

надежно и безопасно.

Относительные параметры вала:

1) Относительная длина консоли и пролета

$$a_k := \frac{L_k}{L} = 0.85 \quad a_{\Pi} := \frac{L_{\Pi}}{L} = 0.15$$

2) Относительные координаты центра тяжести мешалки на консоли

$$a_j := \frac{l_j}{L_k} = \begin{pmatrix} 0.498 \\ 1 \end{pmatrix}$$

Угловая скорость вала, рад/с:

$$\omega := \frac{\pi \cdot n}{30} = 23.038$$

Безразмерный динамический прогиб вала в центре массы деталей определяется по рис. 9.16 [29, с.56]:

$$a_{xj} := \begin{pmatrix} 0.45 \\ 1 \end{pmatrix}$$

Приведенная масса деталей на консоли, кг:

$$m_{jB} := 3.72 \cdot a_{xj}^2 = \begin{pmatrix} 0.753 \\ 3.72 \end{pmatrix}$$

Сумма приведенных масс деталей на консоли, в данном случае, кг:

$$m_B := 4.47$$

Коэффициент виброустойчивости ξ_d - зависит от перемешиваемой среды и установленных мешалок.

Согласно рекомендации [29, с.58] принимаем коэффициент виброустойчивости ξ_d по таб.1:

$$\xi_d := 0.7$$

Параметры A1 и A2 вычисляются по формуле [29, с.58]:

$$A_1 := 0.27 \cdot \frac{8\rho_{\text{CT}} \cdot \omega^2 \cdot L_{\text{K}}^4}{3 \cdot a_{\text{K}} \cdot \xi_{\text{d}}^2 \cdot E_{\text{B}}} = 2.493 \times 10^{-3}$$

$$A_2 := \frac{64m_{\text{B}} \cdot \omega^2 \cdot L_{\text{K}}^4}{3 \cdot \pi \cdot a_{\text{K}} \cdot \xi_{\text{d}}^2 \cdot E_{\text{B}}} = 1.347 \times 10^{-5}$$

Расчетный диаметр вала, м:

$$d_{\text{p}} := \sqrt{A_1 + \sqrt{A_1^2 + A_2}} = 0.083$$

Выбираем диаметр вала:

$$d_{\text{B}} := 0.05$$

Масса единичной длины вала, кг/м:

$$m_{\text{вал}} := \frac{d_{\text{B}}^2}{4} \cdot \rho_{\text{CT}} \cdot \pi = 15.315$$

Относительная суммарная масса деталей:

$$a_{\text{m}} := \frac{m_{\text{B}}}{m_{\text{вал}} \cdot L_{\text{K}}} = 0.101$$

Момент инерции сечения вала:

$$J := \frac{\pi \cdot d_{\text{B}}^4}{64} = 3.068 \times 10^{-7}$$

Первая критическая угловая скорость, рад/с:

Корень частного уравнения находится по [29, рис.9.18]:

$$\alpha := 1.8$$

$$\omega_1 := \left(\frac{\alpha}{L_{\text{K}}} \right)^2 \cdot \sqrt{\frac{E_{\text{B}} \cdot J}{m_{\text{B}}}} = 45.482$$

Условие виброустойчивости:

$$\xi_{\text{d}} := 0.10478 \cdot \frac{n}{\omega_1} = 0.507$$

$$U_{sl_B} := \begin{cases} \text{"условие виброустойчивости выполняется"} & \text{if } \xi_d \leq 0.7 \\ \text{"условие виброустойчивости НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$U_{sl_B} = \text{"условие виброустойчивости выполняется"}$$

Расчет на жесткость

Целью данного расчета сводится к определению предельно допустимых смещения установленных деталей на вала в опасных по жесткости сечениям (в местах установки уплотнения и конца вала).

Эксцентриситет массы детали, м:

$$e_k := \frac{10^{-3}}{\sqrt{\omega}} = 2.083 \times 10^{-4}$$

Относительные координаты опасного по жесткости сечения [29, с.59]:

$$a_{sj} := \frac{z_{lj}}{L_k}$$

$$a_{sj} = \begin{pmatrix} 0.225 \\ 1 \end{pmatrix}$$

Безразмерный динамический прогиб вала в опасных по жесткости сечении:

Определяем безразмерный динамический прогиб, по рис. 9.16 [29, с.57]
определяем коэффициент k_j .

$$k_j := \begin{pmatrix} 0.04 \\ 0.035 \end{pmatrix}$$

$$a_{zj.} := k_j \cdot a_{sj} \qquad a_{zj} := \begin{pmatrix} 0.016 \\ 0.028 \end{pmatrix}$$

Приведенная масса вала, кг:

$$m_{VB} := 0.27 \cdot m_B \cdot L_k = 3.487$$

Смещение оси вала от оси вращения за счет зазора в опорах в опасном по

жесткости сечения, м:

По принятому диаметру вала принимаем подшипник качения однорядный шариковый

$$d_B = 0.05 \quad \text{м}$$

где Δ_A и Δ_B - высота радиальных зазоров в опорах, м

$$\Delta_A := 3.3 \cdot 10^{-5} \quad \Delta_B := 3.3 \cdot 10^{-5}$$

- для деталей на консоли жесткого консольного вала:

$$\Delta_{lj} := \frac{(\Delta_A + \Delta_B) \cdot (L_{\Pi} + l_j)}{L_{\Pi}} - \Delta_A = \begin{pmatrix} 2.194 \times 10^{-4} \\ 4.07 \times 10^{-4} \end{pmatrix}$$

- для опасных точек на консоли жесткого консольного вала:

$$\Delta_{zj} := \frac{(\Delta_A + \Delta_B) \cdot (L_{\Pi} + z_{lj})}{L_{\Pi}} - \Delta_A = \begin{pmatrix} 1.171 \times 10^{-4} \\ 4.069 \times 10^{-4} \end{pmatrix}$$

Смещение оси вала от оси вращения за счет начальной изогнутости вала в опасном по жесткости сечении, м:

$$\frac{L}{d_B} = 67.98$$

$$\epsilon_B := 0.09 \cdot 10^{-3} \quad \text{м}$$

- для деталей на консоли:

$$\epsilon_{lj} := \epsilon_B \cdot a_{xj} = \begin{pmatrix} 4.05 \times 10^{-5} \\ 9 \times 10^{-5} \end{pmatrix}$$

- для опасных точек на консоли:

$$\epsilon_{zj} := \epsilon_B \cdot a_{zj} = \begin{pmatrix} 1.44 \times 10^{-6} \\ 2.52 \times 10^{-6} \end{pmatrix}$$

где ϵ_B - начальная изогнутость вала в точке приведения В, м

Смещение оси вала от оси вращения в точке приведения В за счет зазоров в опорах, м:

$$\Delta_B := \frac{(\Delta_A + \Delta_B) \cdot L}{L_P} - \Delta_A = 4.069 \times 10^{-4}$$

Приведенный эксцентриситеты масс деталей, м:

на консоли жесткого консольного вала:

$$e_{jB} := \frac{e_K}{a_{xj}} = \begin{pmatrix} 4.63 \times 10^{-4} \\ 2.083 \times 10^{-4} \end{pmatrix}$$

Приведенные (к точке В) эксцентриситеты масс деталей, м:

- на консоли:

$$E_{jB} := \frac{2(m_{jB} \cdot e_{jB})}{m_B + m_{VB}} = 2.825 \times 10^{-4}$$

Приведенные (к точке В) эксцентриситет массы вала с деталями, м:

$$E_B := E_{jB} + \Delta_B + \epsilon_B = 7.793 \times 10^{-4}$$

Динамический прогиб оси вала в точке приведения, м:

$$y_B := \frac{E_B}{\left(\frac{\omega l}{\omega}\right)^2 - 1} = 2.69 \times 10^{-4}$$

Динамические смещения центра тяжести деталей:

$$A_j := y_B \cdot a_{xj} + \Delta_{lj} + \epsilon_{lj} = \begin{pmatrix} 3.809 \times 10^{-4} \\ 7.66 \times 10^{-4} \end{pmatrix}$$

Динамическое смещение вала в опасностях по жесткости сечениях, м:

$$A_{zj} := y_B \cdot a_{zj} + \Delta_{zj} + \epsilon_{zj} = \begin{pmatrix} 1.229 \times 10^{-4} \\ 4.169 \times 10^{-4} \end{pmatrix}$$

Динамическое смещение вала в точке приведения:

$$A_B := y_B + \Delta_B + \epsilon_B = 7.659 \times 10^{-4}$$

Проверка условия жесткости:

$$A_{zj} < [A]_j$$

где $[A]$ - допускаемые динамические смещения в опасных по жесткости сечениях:

Для проверки условия жёсткости в опасных сечениях принимаем точки $z1$ и $z2$. Так как в точке $z1$ устанавливается уплотнение. А в точке $z2$ происходит максимальный прогиб вала.

$$A_{z1} := 1.224 \times 10^{-4} \quad A_{z2} := 4.162 \times 10^{-4}$$

Таблица 3.2 - Допускаемые динамические смещения вала, в местах уплотнения, мм [29]

Частота вращения вала, об/мин	Вид уплотнения			
	торцовое	сальниковое	манжетное	гидравлическое
До 100	0,25	0,10	0,15	0,25
100-500	0,25	-	0,15	0,25
500-750	0,15	-	0,10	0,25
750-2900	0,10	-	-	-

Таблица 3.3 - Предельно допустимый прогиб вала [29]

Частота вращения, об/мин.	Допускаемый прогиб вала, мм	
	На 1 м длины	На всю длину
>500	0,1	0,3
<500	0,15	0,5

Допускаемые динамические смещения в точках $z1$ и $z2$ мм выбираем из табл. 3.2 - 3.3 соответственно:

$$Z_{1\text{доп}} := 0.1 \quad Z_{2\text{доп}} := 0.5$$

Для точки A_{z1} :

$$U_{sl} := \begin{cases} \text{"условие жесткости выполняется"} & \text{if } A_{z2} \leq Z_{1\text{доп}} \\ \text{"условие жесткости НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$U_{sl} = \text{"условие жесткости выполняется"}$$

Для точки A_{Z2}

$$U_{sl} := \begin{cases} \text{"условие жесткости выполняется"} & \text{if } A_{Z2} \leq Z_{1\text{доп}} \\ \text{"условие жесткости НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$U_{sl} = \text{"условие жесткости выполняется"}$$

Расчет на прочность

Целью данного расчета сводится к определению предельно допустимых смещения установленных деталей на вала в опасных по прочности сечениям (в местах установки опорного подшипника и конца вала в точки В).

Сосредоточенная центробежная сила, действующая на j-мешалку:

$$m_j := 6.7 \quad \text{масса каждой мешалки}$$

$$P_j := m_j \cdot \omega^2 \cdot A_j = \begin{pmatrix} 1.355 \\ 2.724 \end{pmatrix}$$

Приведенная центробежная сила:

$$P_B := m_{VB} \cdot \omega^2 \cdot A_B = 1.417$$

Сумма моментов сил инерции масс относительно опоры Б:

$$M_{Bk} := \sum_{i=1}^2 (P_j \cdot l_j) = 19.645$$

Реакция опоры А:

$$R_A := \frac{M_{Bk} + P_B \cdot L_k}{L_{\Pi}} = 46.549$$

Сумма моментов сил инерции масс относительно опоры А:

$$M_{Ak} := \sum_{i=1}^2 [P_j \cdot (L_{\Pi} + l_j)] = 23.805$$

Реакция опоры Б:

$$R_B := \frac{M_{Ak} + P_B \cdot L}{L_{\Pi}} = 56.123$$

Изгибающий момент в опасных по прочности сечениях:

- на консоли консольного вала:

$$M_{Zj} := R_A \cdot z_j - \sum_{j=1}^2 P_j \cdot (l_j - z_j) = \begin{pmatrix} -3.906 \\ 130.574 \end{pmatrix}$$

Крутящий момент в опасных по прочности сечениях:

$$M_j := \omega^{-1} \cdot \sum_{j=1}^2 N_j = 347.247$$

Момент сопротивления j - го опасного сечения:

где $d_j := d_B$ диаметр вала в j - ом опасном сечении

$$W_i := \frac{\pi \cdot d_j^3}{32} = 1.227 \times 10^{-5}$$

Эквивалентные напряжения в опасных сечениях:

$$\sigma_{\varepsilon i} := W_i^{-1} \cdot \sqrt{M_j^2 + M_{Zj}^2} = \begin{pmatrix} 2.83 \times 10^7 \\ 3.023 \times 10^7 \end{pmatrix}$$

Допускаемое напряжение в i-ом опасном сечении:

1) Коэффициент масштабного уменьшения предела усталости в j - ом опасном сечении:

для валов из легированной стали:

$$k_M := 1.04 - 0.0063 \cdot d_j + 3.9 \cdot 10^{-5} \cdot d_j^2 = 1.04$$

2) Коэффициент запаса прочности материала на выносливость в j - ом опасном сечении [29, с.66]:

$$k_3 := 1.5$$

3) Коэффициент концентрации напряжений в j - ом опасном сечении, для шпоночных канавок и насадок ступицы или подшипников:

$$k_{\sigma} := 2$$

4) Предел выносливости материала вала (сталь 20), Па:

$$\sigma_B := 23 \cdot 10^7$$

$$\sigma_{i\text{доп}} := \frac{k_M \cdot \sigma_B}{k_{\sigma} \cdot k_3} = 7.971 \times 10^7$$

$$U_{sl} := \begin{cases} \text{"условие прочности выполняется"} & \text{if } \sigma_{\Sigma i} \leq \sigma_{i\text{доп}} \\ \text{"условие прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

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

Вывод: В ходе конструктивно-механического расчета определена жесткость консольного вала постоянного поперечного сечения z1 и z2. По полученным данным установлено, что условие жесткости выполняется при диаметре 60 мм. В качестве уплотнения выбрали сальниковое для сечения. Провели расчет на прочность. Условие прочности выполняется. Провели расчет на виброустойчивость, условие виброустойчивости выполняется, при первой критической скорости вала: 45 рад/с.

4 Конструктивно-механический расчет гидродинамического сепаратора

4.1 Определение расчетных параметров

Исходные данные:

Высота обечайки реактора, мм	$L := 2400$
внутренний диаметр, мм	$D := 900$
рабочее давление, МПа	$P := 0$
температура среды в сепараторе, °C	$t_c := 20$
Плотность среды, кг/м ³	$\rho := 1200$
Ускорение свободного падения, м/с ²	$g := 9.8$
Диаметр штуцера А, мм:	$d_A := 150$
Диаметр штуцера Б, мм:	$d_B := 100$
Объем сепаратора, м ³ :	$V := 1.4$
Материал реактора - листовой прокат из стали 20 (ГОСТ 34233.1-2017)	
Скорость коррозии, мм/год [16]	$\Pi := 0.1$
Срок эксплуатации, лет	$\tau_B := 15$

Расчетные параметры:

Расчетная температура стенки котла $t := t_c \quad t = 20 \text{ } ^\circ\text{C}$

Допускаемое напряжение:

В рабочем состоянии

$\eta := 1$, так как аппарат изготавливается из листового проката, в соответствии с рекомендацией [22, п.8.3].

Допускаемое напряжение, определим согласно [22, Табл. А.1]:

$\sigma' := 147 \text{ МПа}$ - для стали 20 при температуре стенки

$\sigma_d := \eta \cdot \sigma' \sigma_d = 147 \text{ МПа}$

Допускаемое напряжение для стали при гидравлических испытаниях, МПа:

Коэффициент запаса прочности, примем в соответствии с рекомендацией ГОСТ 34233.1-2017 Таблица 1., равным:

$$n_T := 1.1$$

Расчетное значение предела текучести при 20 °С для стали 20 примем, в соответствии с рекомендацией [22], МПа:

$$R_{e20} := 220$$

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

Расчетное значение внутреннего избыточного давления, определяется из суммы рабочего и давления веса среды, МПа:

$$P_p := P + \frac{\rho \cdot g \cdot L}{10^9} = 0.028$$

Допускаемое напряжение для стали 20 по [22, с. 14]:

$$\sigma'_{20} := 147 \text{ МПа} - \text{для стали 20 при температуре } t = 20^\circ\text{C}$$

$$\sigma_{\text{д}20} := \eta \cdot \sigma'_{20} = 147$$

Пробное давление при гидравлическом испытании, МПа:

$$P_{\text{и}} := 1.25 \cdot P_p \cdot \frac{\sigma_{\text{д}20}}{\sigma_{\text{д}}} = 0.035$$

Модуль упругости для стали 20 при 20 °С, МПа:

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

Коэффициент прочности продольных сфачных швов обечайки определяем при условии, что стыковые швы выполняются автоматической сваркой с двусторонним сплошным проваром при длине контролируемых швов 100%, по таблице, в соответствии с рекомендацией [22, с. 22]:

$$\phi_p := 1$$

4.2 Расчет толщины стенок цилиндрической обечайки

В соответствии с [23 с. 113] и исполнительную толщину стенки цилиндрического элемента обечайки, рассчитаем по формуле:

$$S \geq S_p + c$$

где, s_p – расчетная толщина стенки цилиндрической части колонны.

Прибавку к расчетным толщинам вычисляем по формуле, [23 с.113], мм:

$$c = c_1 + c_2 + c_3$$

где, c_1 – поправка на коррозию;

c_2 – поправка на минусовое отклонение;

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

Прибавки к расчетной толщине стенки, мм:

$c_K := П \cdot тв$ для компенсации коррозии центральной обечайки ;

$$c_K = 1.5 \text{ мм}$$

Поскольку в ходе технологических операций изготовления цилиндрической обечайки, не происходит утонения стенки, в соответствии с рекомендацией ГОСТ 34233.1-2017 примем:

$$c_3 := 0$$

$$c_2 := 0$$

$$c := \text{Ceil}(c_K + c_3 + c_2, 1) = 2$$

Расчет тощины стенки цилиндрической обечайки ведётся согласно [23, с.121]

Расчет производится при давлении гидравлического испытания и при рабочем давлении в реакторе, мм:

$$s_p := \max \left(\left(\frac{P_p \cdot D}{2 \cdot \sigma_d \cdot \phi_p - P} \right), \left(\frac{P_{и} \cdot D}{2 \cdot \sigma_{и} \cdot \phi_p - P_{и}} \right) \right) \quad s_p = 0.086$$

Максимальная исполнительная толщина стенки из условия прочности, мм:

$$s_1 := \text{Ceil}(s_p + c, 1) \quad s_1 = 3$$

По конструктивным соображениям выбираем толщину стенки, мм:

$$s_{\text{цО}} := 4$$

Допускаемое внутреннее избыточное давление на цилиндрическую обечайку, МПа

Рабочие условия:

$$P_{\text{д}}(s_{\text{цО}}) := \frac{[2 \cdot \sigma_{\text{д}} \cdot \phi_{\text{р}} \cdot (s_{\text{цО}} - c)]}{D + (s_{\text{цО}} - c)} \quad P_{\text{д}}(s_{\text{цО}}) = 0.652$$

Условия испытаний:

$$P'_{\text{д}}(s_{\text{цО}}) := \frac{2 \cdot \sigma_{\text{и}} \cdot \phi_{\text{р}} \cdot (s_{\text{цО}} - c)}{D + (s_{\text{цО}} - c)} \quad P'_{\text{д}}(s_{\text{цО}}) = 0.885$$

4.3 Расчет толщины стенки конического днища

Целью расчета толщины стенки конического днища нагруженного внутренним избыточным давлением, является определение исполнительной толщины стенки исходя из условий прочности и устойчивости.

Расчет толщины конического днища ведется согласно [22, 24]:

Исходя из технологии получения вязкого продукта для лучшей стекаемости примем угол конусности 60:

$$\alpha := 60 \quad \text{Угол при вершине конуса, рад}$$

Высота конического днища рассматривается как равносторонний треугольник, по теореме Пифагора (так как против равных углов лежат равные стороны, т.е. при радиусе цилиндрической обечайки равном 350 мм, высота, лежащая, против угла в 30 градусов будет равна 780 мм:

$$H := 780 \text{ мм}$$

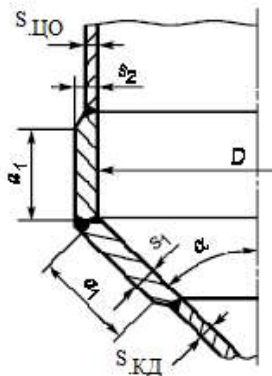


Рисунок 4.1. Соединение цилиндрической и конической обечаек

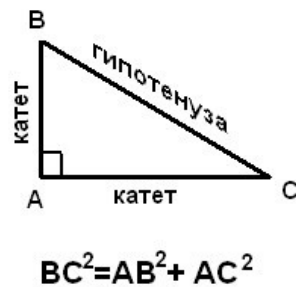


Рисунок 4.2. Определение высоты конической обечайки

Общая высота гидростатического столба среды, мм:

$$H_{\text{ап}} := L + 780 = 3.18 \times 10^3$$

$\phi_{\text{ш}} := 1$ Коэффициент прочности сварного шва (автоматическая сварка)

Решение :

Определяем расчетное давление, согласно с [24, с.20], МПа:

$$P_g := \frac{(g \cdot \rho \cdot H_{\text{ап}})}{10^9} = 0.037$$

$$P_p := P + P_g = 0.037$$

Пробное давление при гидравлическом испытании, (коэффициент выбран 1.25 т.к. конструкция сварная) согласно с [24, с.19], МПа:

$\sigma_{20} := 147$ - для стали марки 20

$$P_i := 1.25 \cdot P_p \cdot \frac{\sigma_{20}}{\sigma'} = 0.047$$

Расчетная толщины конического днища производится при гидравлическом испытании и при рабочем давлении:

$$S_{k.p} := \max \left[\left[\frac{P_p \cdot D}{(2 \cdot \phi_{ш} \cdot \sigma' - P_p) \cdot \cos(\alpha)} \right] \left[\frac{P_i \cdot D}{(2 \cdot \phi_{ш} \cdot \sigma_{и} - P_i) \cdot \cos(\alpha)} \right] \right]$$

Толщина стенки с учетом добавки на коррозию и на компенсацию минусового допуска, мм:

$$s_{ko} := \text{Ceil}(S_{k.p} + c, 1) = 2$$

По конструктивным соображения увеличиваем толщину конической обечайки до 4 мм:

$$s_{kko} := 5$$

Допускаемое внутреннее избыточное для конической обечайки давление вычисляют по формуле, МПа:

$$p_{dk} := \frac{2 \cdot \sigma_d \cdot \phi_p \cdot (s_{ko} - c)}{\frac{D}{|\cos(\alpha)|} + (s_{ko} - c)} = 0.93$$

Проверка на условие применимости формул:

$$Usl := \begin{cases} \text{"условие применения формул вы-ся"} & \text{if } 0.001 \leq \frac{s_{ko} \cdot |\cos(\alpha)|}{D} \leq 0.05 \\ \text{"условие применения формул НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$Usl = \text{"условие применения формул вы-ся"}$
--

4.4 Расчет толщины стенки плоской крышки

Целью расчета толщины стенки плоской крышки нагруженного внутренним и наружным избыточным давлением, является определение исполнительной толщины стенки исходя из условий прочности и устойчивости.

Выбор типа крышки определяется из условий протекания технологического процесса, а также условий эксплуатации. Поскольку аппарат работает при атмосферном давлении и внешнее воздействие на крышку состоит из веса электропривода и веса рабочего, то для простоты выбираем плоскую крышку по типу конструкции 11 табл.4 [23]:

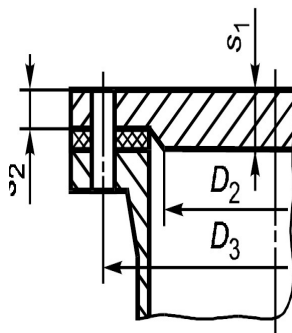


Рисунок 4.3. Тип крепления крышки к аппарату

Расчет толщины плоской крышки $s_1 = s_k$ ведется согласно [24]:

- параметры крышки:

где $D_p := 990$ межосевое расстояние по фланцу [26];

$$D_3 := D_p$$

$K := 0.4$ коэффициент конструктивной особенности крышки таб. 4 [24]

K_0 коэффициент для крышек имеющих одно или несколько отверстий [24];

$$K_0 := \sqrt{1 + \left(\frac{d_A}{D_p}\right)^2} + \frac{d_A}{D_p}$$

$$s_K := K \cdot K_0 \cdot D_p \cdot \sqrt{\frac{P_p}{\phi_{III} \cdot \sigma'}} = 6.845$$

Принимает исполнительную толщину крышки, мм:

$$s_{KK} := 8$$

Толщина кромки крышки типа 11, $s_2 = s_{кр}$ определяется по формуле, мм:

$$D_2 := 890$$

$$s_{кр} := \max \left[0.7 \cdot (s_K - c), (s_K - c) \cdot \sqrt{2 \cdot \frac{(D_p - D_2) \cdot D_2}{D_p^2}} + c \right]$$

$$s_{кр} := \text{Ceil}(s_{кр} + c, 1) = 7$$

4.5 Расчет укрепления отверстия в плоской крышке и цилиндрической обечайки

Расчет укрепления отверстий в плоской крышке и цилиндрической обечайки ведется согласно методике изложенной в ГОСТ 34233.3 - 2017 [25].

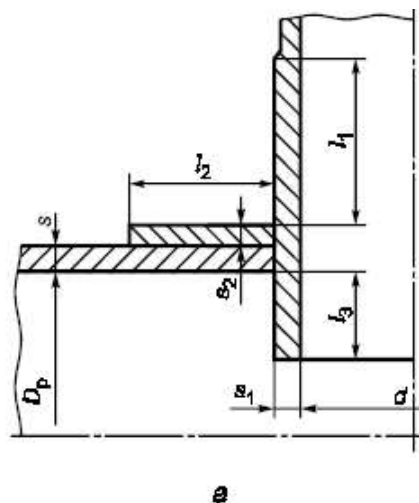


Рисунок 4.4. Тип крепления крышки к аппарату

Расчетный диаметр оболочки для штуцера на плоской крышке и обечайки, мм:

$$D_{.p} := D$$

Расчетные диаметры отверстий для штуцеров диаметра d_A , мм :

$$d_{pA} := d_A + 2c$$

$$d_{pA} = 154$$

Расчетный диаметр отверстия для штуцера диаметра d_B , мм :

$$d_{pB} := d_B + 2c = 104$$

Исполнительная длина внешней части штуцера, мм:

$$l_{1B} := 100$$

$$l_{1i} := l_{1B}$$

Исполнительная длина внутренней части штуцера, мм:

$$l_{3B} := 50$$

$$l_{3i} := l_{3B}$$

Расчётная толщина стенки оболочки, мм:

$$s.p := \max \left[\frac{P_p \cdot D}{4 \cdot \phi_{ш} \cdot \sigma_{д20} - P_p}, \frac{P_{и} \cdot D}{(4 \cdot \phi_{ш} \cdot \sigma_{и} - P_{и})} \right] = 0.043$$

Расчетная толщина стенки штуцеров, мм:

$$s_{pA} := \frac{P_{и} \cdot (d_A + 2 \cdot c)}{2 \cdot \sigma_{д} \cdot \phi_{ш} - P_{и}} = 0.018$$

$$s_{pB} := \frac{P_{и} \cdot (d_B + 2 \cdot c)}{2 \cdot \sigma_{д} \cdot \phi_{ш} - P_{и}} = 0.012$$

Расчетная длина штуцера, d_A :

$$l_{1pA} := \min \left[l_{1i}, \sqrt{d_A + 2c \cdot (s_K - c)} \right] = 13.191$$

$$l_{3pA} := \min \left[l_{3i}, 0.5 \cdot \sqrt{d_A + 2c \cdot (s_K - c)} \right] = 6.595$$

Расчетная длина штуцера, дБ:

$$l_{1pB} := \min \left[l_{1B}, \sqrt{d_B + 2c \cdot (s_K - c)} \right] = 11.136$$

$$l_{3pB} := \min \left[l_{3B}, 0.5 \cdot \sqrt{d_B + 2c \cdot (s_K - c)} \right] = 5.568$$

Расчетная ширина зоны укрепления в обечайках и днищах при отсутствии торообразной вставки или вварного кольца, мм:

$$l_{pi} := \sqrt{D_p \cdot (s_K - c)} \quad l_{pi} = 77.071$$

Проверка условий применения формул для расчета укрепления отверстий:

$$\text{пров1} := \begin{cases} \text{"Отношение диаметров НЕ выполняется"} & \text{if } \left(\frac{d_{pA} - 2 \cdot c}{D} > 0.6 \right) \\ \text{"Отношение толщины к диаметру НЕ выполняется"} & \text{if } \left(\frac{s_{pA}}{D} > 0.1 \right) \\ \text{"Условия применения формул выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\boxed{\text{пров1} = \text{"Условия применения формул выполняются"}}$$

$$\text{пров2} := \begin{cases} \text{"Отношение диаметров НЕ выполняется"} & \text{if } \left(\frac{d_{pB} - 2 \cdot c}{D} > 0.6 \right) \\ \text{"Отношение тол-ны к диаметру НЕ вып-ся"} & \text{if } \left(\frac{s_{pB} - c}{D} > 0.1 \right) \\ \text{"Условия применения формул выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\boxed{\text{пров2} = \text{"Условия применения формул выполняются"}}$$

Расчетный диаметр одиночного отверстия не требующего укрепления при наличии избыточной толщины стенки сосуда, мм:

$$d_{0A} := 2 \cdot \left[\left(\frac{s_K - c}{s_{pA}} \right) - 0.8 \right] \cdot \sqrt{D_p \cdot (s_K - c)} \quad d_{0A} = 4.992 \times 10^4$$

$$d_{0B} := 2 \cdot \left[\left(\frac{s_K - c}{s_{pB}} \right) - 0.8 \right] \cdot \sqrt{D_p \cdot (s_K - c)} \quad d_{0B} = 7.397 \times 10^4$$

Проверка условий необходимости дальнейшего расчета укреплений отверстий:

$$Us1 := \begin{cases} \text{"Необходимо укрепить отверстие"} & \text{if } d_{0A} < d_{pA} \\ \text{"Укрепление НЕ требуется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Us1 = \text{"Укрепление НЕ требуется"}$$

4.6 Подбор и расчет опоры под сепаратор

Для установки аппарата выбираем опору лап конструкции типа 1. Конструктивные размеры элементов опоры подбираются в зависимости от нагрузки на одну опору.

Рассчитываем вес аппарата, чтобы узнать нагрузку на одну опору. Проверка расчета ведется согласно методики ГОСТ 34233.5 - 2017 [27]

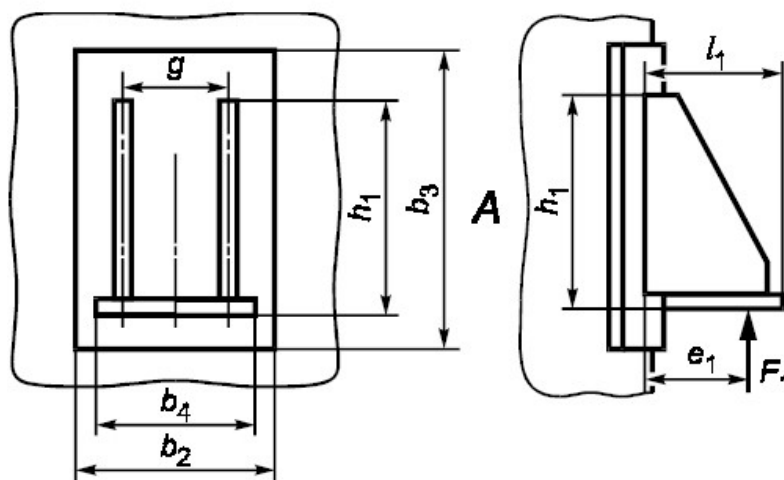


Рисунок 4.5. Схема опоры лапы

Зададимся параметрами опоры:

Высота опоры лапы, мм:

$$h_1 := 245$$

Ширина подкладного листа, мм:

$$b_2 := 155$$

Длина подкладки листа, мм:

$$b_3 := 200$$

Ширина основной плиты опорной лапы, мм:

$$b_4 := 130$$

Расстояние между средними линиями ребер, мм:

$$g := 65$$

Длина опоры лапы, мм:

$$l_1 := 145$$

Расстояние между точкой приложения усилия и подкладным листом, мм

$$e_1 := 100$$

Для равномерного распределения нагрузки на опору назначаем количество стоек согласно рекомендации [27]:

$$n_c := 4$$

Толщина стенки конической обечайки, мм

$$s_{цо} = 4$$

Толщина подкладного листа, мм

$$s_2 := 3$$

Предельная нагрузка на опору, Н*мм:

$$G_d := 25 \cdot 10^3$$

Расчётный диаметр, мм:

$$D_{p.} := D \qquad D_{p.} = 900$$

Проверка условий применения выбранных параметров:

Проверка условия использования полученного расчётного диаметра :

$$Usl_1 := \begin{cases} \text{"Условие исп-ния расчётного диаметра вып-ся"} & \text{if } \left(\frac{s_{цo} - c}{D_p} \leq 0.05 \right) \\ \text{"Условие использования расчётного диаметра НЕ вып-тся"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Usl_1 = \text{"Условие исп-ния расчётного диаметра вып-ся"}$$

Проверка условия использования выбранного расстояния между ребрами:

$$Usl_2 := \begin{cases} \text{"У-вие исп-ния выб-го рас-ния между ребрами вып-ся"} & \text{if } g \geq 0.2 \cdot h_1 \\ \text{"Условие использования НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Usl_2 = \text{"У-вие исп-ния выб-го рас-ния между ребрами вып-ся"}$$

Проверка выбранной высоты опоры:

$$Usl_3 := \begin{cases} \text{"Условие исп-ния выбранной высоты вып-ся"} & \text{if } 0.04 \leq \frac{h_1}{D_p} \leq 0.5 \\ \text{"Условие достаточной высоты НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Usl_3 = \text{"Условие исп-ния выбранной высоты вып-ся"}$$

Проверка условия использования ширины опорной лапы:

$$Usl_4 := \begin{cases} \text{"Условие использования ширины лапы вып-ся"} & \text{if } 0.04 \leq \frac{b_4}{D_p} \leq 0.5 \\ \text{"Условие использования ширины лапы НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Usl_4 = \text{"Условие использования ширины лапы вып-ся"}$$

Проверка условия использования выбранной высотв подкладки под

цилиндрическую обечайку:

$$Usl_5 := \begin{cases} \text{"Ус-вие исп-ния выб-й высоты под-ки вып-ся"} & \text{if } 0.04 \leq \frac{b_3}{D_p} \leq 0.8 \\ \text{"Условие исп-ния выбранной высоты подкладки НЕ выполняется"} & \text{ot} \end{cases}$$

$$Usl_5 = \text{"Ус-вие исп-ния выб-й высоты под-ки вып-ся"}$$

Определение расчётных моментов и усилий, действующих на опору лапу:

Расчет массы удержанной на опорах, кг:

1) Масса цилиндрической обечайки копуса:

- параметры:

$$D_H := 1.012 \quad \rho_c := 7800 \quad D := 0.9 \quad L := 3.18$$

$$m_{ц} := 2 \cdot \pi \cdot L \cdot \rho_c \cdot \left[\left(\frac{D_H}{2} \right)^2 - \left(\frac{D}{2} \right)^2 \right] = 8.343 \times 10^3$$

2) Масса конического днища, кг:

$$m_{кон} := \frac{1}{3} \cdot \pi \cdot H \cdot \rho_c \cdot \left[\left(\frac{D_K}{2} \right)^2 - \left(\frac{D}{2} \right)^2 \right] = 46.28$$

3) Масса плоской крышки, кг:

$$m_K := 2 \cdot \pi \cdot s_{кр} \cdot \rho_c \cdot \left[\left(\frac{D}{2} \right)^2 \right] = 119.091$$

4) Масса среды, кг:

$$m_{ср} := V \cdot \rho = 1.68 \times 10^3$$

5) Общая масса, кг:

$$m_{общ} := m_{ср} + m_{кон} + m_K + m_{ц} = 1.019 \times 10^4$$

Нагрузка на опоры, Н:

$$G := m_{\text{общ}} \cdot g = 9.985 \times 10^4$$

$$G_1 := \frac{m_{\text{общ}} \cdot g}{4} = 2.496 \times 10^4$$

Изгибающий момент, Н*м:

$$M := G \cdot \frac{D_1 + e_1 \cdot 10^{-3}}{2} = 4.993 \times 10^4$$

Вертикальное (нормальное) усилие, действующее на опору лапу при наличии изгибающего момента, Н:

$$F_1 := \frac{G}{4} + \frac{M}{(s_{2.} + s_{\text{цо}} + e_1)} \quad F_1 = 2.543 \times 10^4$$

Произведём расчёт на прочность фундаментного болта (так как действует изгибающий момент) от действия растягивающего усилия, Н:

$$F_6 := \frac{M}{s_{2.} + s_{\text{цо}} + e_1} - \frac{G}{4} \quad F_6 = -2.45 \times 10^4$$

Проверка несущей способности обечайки :

Несущая способность обечайки в месте приварки опоры лапы с подкладным листом:

$$K_8 := 0.05$$

$$F_{\text{доп}} := \frac{\sigma_d \cdot h_1 \cdot (s_{\text{цо}} - c)}{K_8 \cdot e_1} = 1.441 \times 10^4 \quad \text{Н} \cdot \text{м}$$

$$Usl_6 := \begin{cases} \text{"Условие выполняется"} & \text{if } F_1 \leq F_{\text{доп}} \\ \text{"Условие НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Usl_6 = \text{"Условие НЕ выполняется"}$$

Предельно допускаемое усилие на опору, Н*мм:

$$Usl_7 := \begin{cases} \text{"Условие выполняется"} & \text{if } G_1 \leq G_d \\ \text{"Условие НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Usl_7 = \text{"Условие выполняется"}$$

5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является определение перспективности и успешности научно-исследовательского проекта, разработка механизма управления и сопровождения конкретных проектных решений на этапе реализации [30].

Планируемые мощности проектируемого производства по переработке золошлаковых отходов с целью получения алюмосиликатных микросфер для получения силикатной износостойкой краски составляет 10 тыс.т. / год.

5.1 Предпроектный анализ

5.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Для создания производства по переработке золошлаковых отходов (ЗШО) ТЭЦ и получение силикатной краски с содержанием компонентов ЗШО необходим анализ потребителей результатов исследования необходимо рассмотреть целевой общемировой так и российский рынок и провести его сегментирование.

В Европейских странах кратное увеличение объемов переработки ЗШО началось с введения общих для Евросоюза политических директив, регулирующих выбросы в угольной промышленности. Самые известные стандарты – IPPC, LCPD, IED.

Существует 5 основных направлений переработки ЗШО (в порядке убывания популярности):

- строительные материалы (цемент, кирпич, блоки);
- дорожное строительство (наполнители для дорожного полотна);
- строительные проекты (стеновой материал);
- производство различных наполнителей;
- сельское хозяйство (стабилизаторы почвы).

Из выше изложенных направлений в экономическом аспекте ЗШО имеют определенное преимущество перед классическими строительными материалами. Во-первых, для них не требуется стадия добычи и первой стадии переработки. Во-вторых, близкое расположение к инфраструктуре, что в значительной мере экономит на доставке сырья.

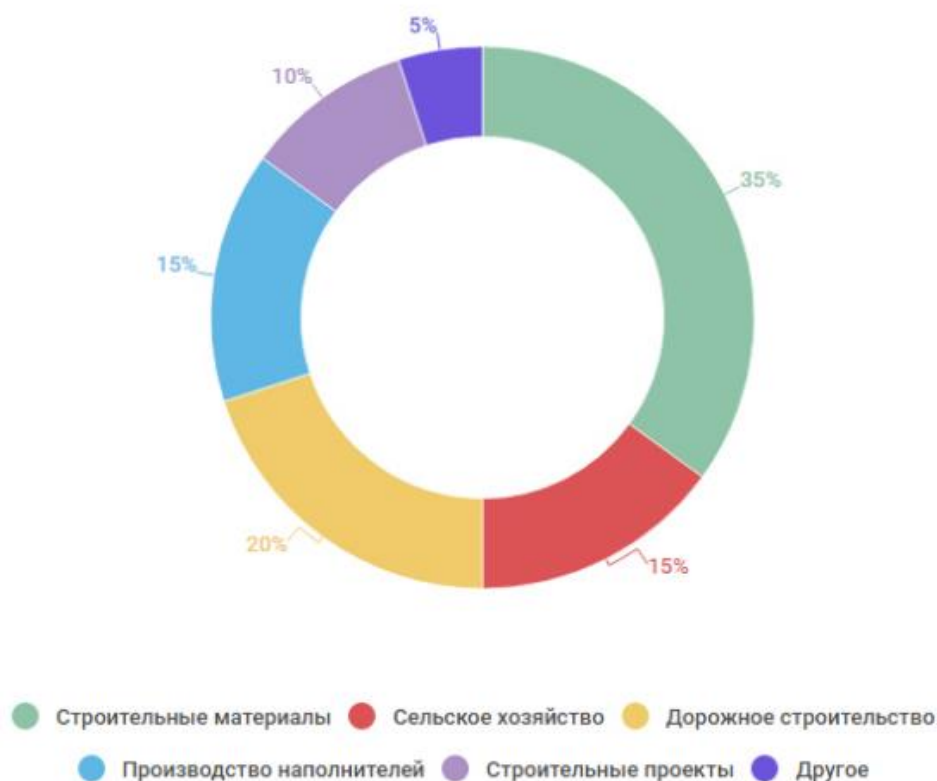


Рисунок 5.1. Направление переработки ЗШО

На сегодняшний день на мировом рынке рассматривается ещё одно из перспективных направлений по переработки золошлаковых отходов — извлечение из них полезных металлов. Сегодня этот способ получения алюминия из золы активно используют в Китае. Свою технологию китайцы начали разрабатывать в 2004 году. В 2012 году был запущен масштабный проект в Тогто (Tuoketuo), где базируется крупнейшая электростанция мира. По исходным данным на производство завод должен ежегодно производить 240 млн. тонн оксида алюминия (сырья для получения алюминия) и 200 млн. тонн силиката кальция. В третьей фазе проекта эти цифры планируется увеличить вдвое. Все это с большим запасом покрывает внутренние потребности Китая в металле [32].

В России под ЗШО ТЭЦ отчуждено около 20 тыс. км² земельных участков (территория Израиля или Словении), на которых хранится 1,3-1,5 млрд. тонн отходов сжигания угля. Дополнительно к этому ежегодно электростанции производят до 30 млн. тонн отходов. Большинство полигонов переполнено, многие ТЭЦ по существующим нормам находятся под угрозой закрытия. переработка ЗШО. Сегодня ЗШО перерабатывают в малых объемах: добавляют в цементы и в клинкер. Совсем в небольших количествах делают зольные блоки: золу смешивают с цементом, все это прессуют. Однако компоненты

ЗШО такие как алюмосиликатная микросфера может иметь большой потенциал в различных областях промышленности.

Целевой рынок: строительная промышленность и автоиндустрия.

Сегменты рынка: ООО СК «Аркада», ООО «ТДСК», ООО «НовоСтрой-М», ПАО «АвтоВаз», ООО Автомобильный завод «ГАЗ», физические лица.

Критерий сегментирования: выпускаемая продукция (стройматериалы и автозапчасти, подвергающиеся большому износу), размер компании-заказчика.

Таблица 5.1 - Карта сегментирования рынка услуг по выпуску краски:

		Классификация лакокрасочной продукции		
		Теплоизоляционная краска	Огнестойкая краска	Износостойкая краска
Размер компании	Крупные		ООО «Брандтрейд»	
	Средние	ООО «НПО Фуллерен»,		ПАО «Alpina»
	Мелкие			

Описание конкурентных компаний:

ООО «НПО Фуллерен» - научно-производственный комплекс жидких композиционных теплоизоляционных материалов КОРУНД и его модификации – первый продукт, который разработан в России по оригинальной технологии, производится из высококачественных импортных компонентов и не имеет аналогов по соотношению цена – качество []

Производственное предприятие ООО «Брандтрейд» специализируется на выпуске огнезащитных составов и сухих штукатурок для обработки металлических, деревянных и железобетонных конструкций. Компания осуществляет свою деятельность с 2000 года и на протяжении ряда лет занимает одно из лидирующих мест среди производителей огнезащитных материалов [30].

ПАО «Alpina» - немецкая компания впервые выход Alpina на российский рынок состоялся в 2004 году. Эксклюзивным поставщиком материалов Alpina на территорию РФ является компания ООО «Капарол». К настоящему моменту продукция Alpina успела

полюбиться и российскому потребителю. Alpina предлагает продукты «на все случаи жизни»: грунтовки, шпатлевки, штукатурки, водно-дисперсионные краски, эмали, лаки, лазури, декоративные материалы.

В результате сегментирования рынка и результатов научного исследования проведенный анализ оценки отечественной сырьевой базы, подчеркивает, что более перспективна переориентация проектируемого производства на внутренние месторождения России, к которым проявляют интерес и иностранные инвесторы. Согласно данным [32] в Томской области, где планируется локализация проектируемого завода находятся значительные запасы ЗШО (порядка 13,5 млн.т). В связи, с чем выбранное место локализации производства является перспективным.

5.2 Диаграмма Исикавы

Диаграмма причины-следствия Исикавы (Cause-and-Effect-Diagram) - это графический метод анализа и формирования причинно-следственных связей, инструментальное средство для систематического определения причин проблемы и последующего графического представления.

Основная проблема при реализации готовой продукции на рынке это жалоба клиентов на несоответствие качества товара. Поэтому необходимо выявить факторы/группы факторов, влияющие на качество товара.

Пользуясь приемом 6М [33] для выявления причинно следственной связи разделим факторы на следующие группы: персонал, оборудование, методы и технология проведения процесса, материалы/сырьё.

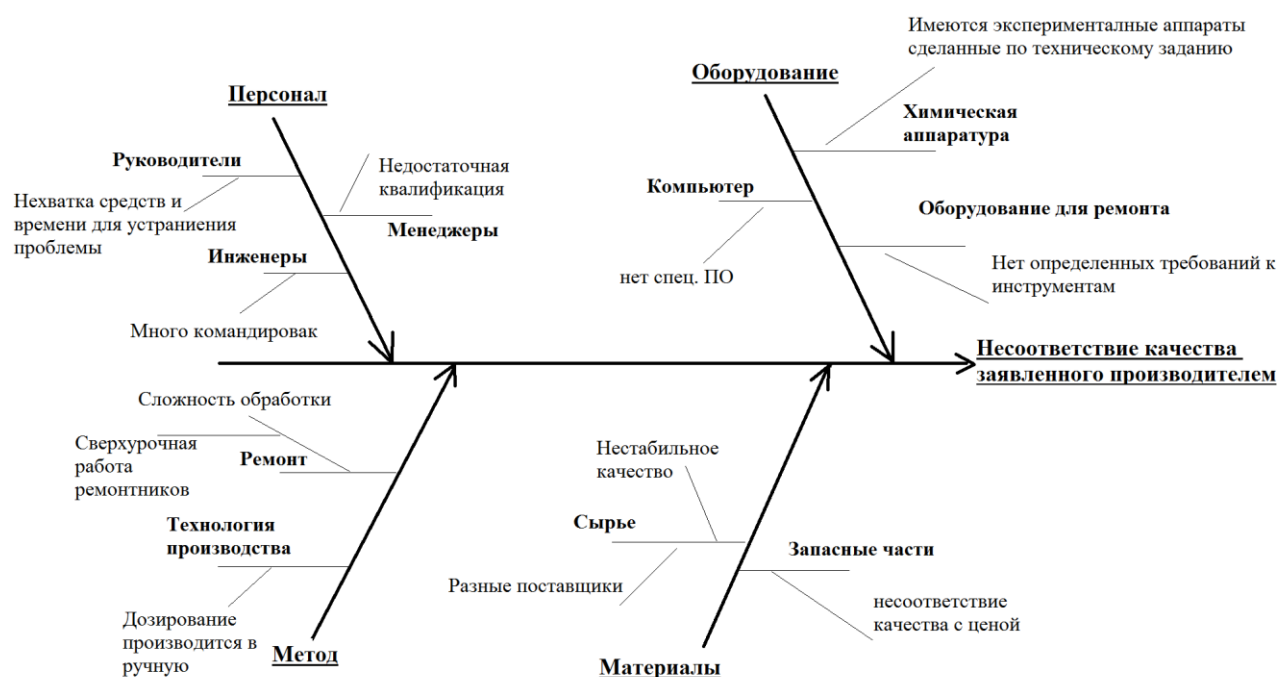


Рисунок 5.2. Причинно-следственная диаграмма несоответствия качества продукции

5.3 SWOT-анализ.

Качественный подход к описанию рисков заключается в детальном и последовательном рассмотрении содержательных факторов, несущих неопределенность, и завершается формированием причин основных рисков и мер по их снижению. Одной из методик анализа сильных и слабых сторон предприятия, его внешних, благоприятных возможностей и угроз является SWOT-анализ.

Таблица 5.2 – SWOT-анализ.

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта:	Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1. Отсутствие у потенциальных потребителей
--	--	---

	С1. Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии С3. Умеренная стоимость производства по сравнению с другими технологиями. С4. Квалифицированный руководитель. С5. Мобильность рабочего места	квалифицированных кадров по работе с научной разработкой Сл2. Большое количество конкурентов
Возможности: В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ В2. Появление дополнительного спроса на новый продукт научных исследований В3. Повышение стоимости конкурентных разработок	Проектирование участка подготовки реагентов	1. Повышение квалификации кадров 2. Привлечение новых заказчиков
Угрозы: У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства У2. Развитая конкуренция технологий производства	1. Продвижение новой технологии с целью появления спроса 2. Использование импортного сырья 3. Применение технологии для до извлечения остатков	1. Повышение квалификации кадров 2. Привлечение новых заказчиков 3. Применение технологии к альтернативным источникам

УЗ. Исчерпание природных ресурсов	целевого продукта из отходов	
-----------------------------------	------------------------------	--

5.4 Экономический расчет

5.4.1 Расчет эффективного фонда времени

За основной расчетный период принимаем календарный год – 365 дней или 8760 часов. Примем производительность производства готовой продукции равным 10 000 т/год.

Номинальный фонд работы оборудования:

$$T_n = D_p \cdot R_p,$$

где: D_p – количество рабочих дней в расчетном периоде;

R_p – количество рабочих часов в сутки.

При непрерывном режиме работы номинальный фонд времени равен календарному:

$$T_n = T_k = 8760 \text{ часов.}$$

Эффективный фонд времени за вычетом остановок на ремонт и времени на технологические остановки, проводимые в рабочее время в соответствии с установленной системой планово-предупредительного ремонта (ППР) будет составлять[33]:

$$T_{\text{эф}} = T_k - T_{\text{рем}} - T_{\text{то}};$$

Где $T_{\text{эф}}$ – эффективный фонд рабочего времени оборудования;

T_k – номинальный фонд рабочего времени;

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

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

На предприятиях химической промышленности системой ППР предусматривается проведение следующих категорий ремонта: текущий, средний, капитальный. Расчет осуществляется для основных аппаратов. Эффективное время вспомогательного оборудования принимаем по ведущему аппарату. Поскольку проектируемое производство периодического действия примем работу оборудования в сутки равной часов, с ежегодным

капитальным ремонтом 15 дней, и запас на простои оборудования по техническим причинам 5 дней и на осуществление планового ремонта 10 дней. Примем режимные потери рабочего времени на выходные и праздники равным нулю.

Таблица 5.3 - Баланс времени работы оборудования и времени его простоя

Капитальный ремонт, часов		Плановый ремонт, часов		Простой оборудования по техническим причинам		Время работы оборудования	
дней	часов	дней	часов	дней	часов	дней	часов
15	360	10	240	5	120	335	8040

Эффективный фонд работы оборудования, согласно таблице 5.3 примем равным:
 $T_{эф} = 335$ дней (8040 часов).

Часовая производительность оборудования, рассчитывается из заданной производительности проектируемой установки в год:

$$П_{час} = 10\,000 / 8040 = 1,24 \text{ т/час} = 20,7 \text{ кг/с.}$$

5.4.2 Расчет производственной мощности

Под производственной мощностью производства понимается максимально возможный годовой выпуск готовой продукции в номенклатуре и ассортименте, предусмотренный на плановый период при наилучшем использовании производственного оборудования.

$$M = T_{эф} \cdot П_{час} \cdot K_{об},$$

где $K_{об}=1$ – количество однотипного оборудования, установленного в цеху.

$$M = 8\,040 \cdot 1,245 = 10\,010 \text{ т/год.}$$

Для анализа использования оборудования рассчитываем экстенсивный и интенсивный коэффициенты.

Коэффициент экстенсивного использования оборудования равен:

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

$$K_{\text{экс}} = 8040 / 8760 = 0,91$$

Коэффициент интенсивного использования оборудования равен:

$$K_{\text{инт}} = Q_{\text{пп}} / Q_{\text{max}},$$

где $Q_{\text{пп}}$ – производительность единицы оборудования в единицу времени; Q_{max} – максимальная производительность в единицу времени.

$$K_{\text{инт}} = 32,55 / 32,55 = 1$$

Интегральный коэффициент использования мощности:

$$K_{\text{им}} = K_{\text{экс}} \cdot K_{\text{инт}},$$

$$K_{\text{им}} = 0,91 \cdot 1 = 0,91.$$

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

$$N_{\text{год}} = K_{\text{им}} \cdot M,$$

$$N_{\text{год}} = 0,91 \cdot 10\,009 = 9\,109 \text{ т/год}$$

5.4.3 Организация труда и заработной платы

Определение баланса времени одного рабочего

Баланс времени одного рабочего устанавливает число дней подлежащих отработки одним среднесуточным рабочим в год, в зависимости от принятого режима работы цеха, продолжительности работы цеха и продолжительности рабочего дня. Цех будет работать в 2 смены продолжительностью по 8 часов. Работа будет производиться четырьмя производственными бригадами. График сменности рабочих бригад составим согласно рекомендациям [32].

Таблица 5.4 - График сменности бригад.

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

С 16 до 24	Б	Б	Г	Г	Б	Б	Г	Г	Б	Б	Г	Г	Б	Б	Г	Г	Б	Б	Г	Г	Б	Б	Г	Г	Б	Б	Г	Г	Б	Б
Выходные	В	В	А	А	В	В	А	А	В	В	А	А	В	В	А	А	В	В	А	А	В	В	А	А	В	В	А	А	В	В
	Г	Г	Б	Б	Г	Г	Б	Б	Г	Г	Б	Б	Г	Г	Б	Б	Г	Г	Б	Б	Г	Г	Б	Б	Г	Г	Б	Б	Г	Г

где, А,Б,В,Г — смены.

Примем график работы одной смены 2 дня – работы, 2 дня - отдых. Тогда в месяц в среднем смена отдыхает 14 дней, год 168 дней. В соответствии с Федеральным законом №423 учитывая вредные факторы проектируемого производства необходимо предоставление дополнительного отпуска в минимальном количестве 7 дней.

Составим баланс рабочего времени среднесуточного рабочего, с целью определения фонда рабочего времени [33].

Таблица 5.4 - Баланс рабочего времени среднесуточного рабочего

Элементы времени	Количество дней	Часы
Календарное число дней	365	2920
Нерабочие дни, выходные	168	1344
Номинальный фонд рабочего времени	197	1576
Планируемые невыходы:		
а) очередные отпуска	35	280
б) по болезни	7	56
в) выполнение общественных обязанностей	1	8
г) отпуск, в связи с учебой	-	-
ИТОГО:	43	344
Эффективный фонд рабочего времени	154	1232

Расчет численности рабочих, служащих и ИТР

Расчет численности основных рабочих.

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

1) Определим явочное число основных рабочих в сутки:

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

где $H_{обс}$ – норма обслуживания (примем равной 1.24);

F – количество установок (1);

C – количество смен в сутки.

$R_{яв} = 2/1.24 = 1.61$ рабочих. Данные заносимые в таблицу округлим.

2) Определим списочное число основных рабочих:

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

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

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

$$R_C = 1.61 \cdot \frac{197}{154} = 2(чел)$$

Приведем состав рабочего персонала ниже в таблицу 9.4 [25].

Таблица 5.5 - Численность основных рабочих

Профессия	Тариф разряд	Число рабочих в смену	$R_{яв}$ сутки	R_C сутки	Число рабочих дней в году	Число рабочих дней оборуд.	Число смен в сутки
-----------	-----------------	-----------------------------	-------------------	----------------	------------------------------------	-------------------------------------	--------------------------

Аппаратчик	5	2	2	2	154	344	2
Электрик	5	1	1	1			
Лаборант хим. анализа	5	1	1	1			
Слесарь по обслуживанию оборудования	5	1	2	2			

Численность ИТР

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

Таблица 5.6 - Численность ИТР.

№ п/п	Наименование должности	Тариф разряд	Оклад, руб	Количество человек
1	Начальник цеха		80000	1
2	Инженер-технолог		45000	1
3	Механик		45000	1
4	МОП (уборщица)		15000	1
Итого				4

Расчет годового фонда заработной платы

Расчет фонда заработной платы основных рабочих, ИТР и МОП

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

Основной фонд (ЗП):

$$Z_{\text{осн.}} = Z_{\text{тар}} + D_{\text{пр}} + D_{\text{н.вр.}} + D_{\text{праз.}} + \Phi_{\text{м}}[33],$$

где $Z_{\text{тар}}$ – тарифный фонд;

$D_{пр}$ – оплата премий;

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

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

Φ_M – фонд мастера.

а) Тарифный фонд

$$Z_{тар} = \sum Z_{тар}$$

где $Z_{тар}$ – ЗП по тарифным ставкам рабочих различной квалификации,

$$Z_{тар}^i = R_{сп}^i \cdot T_{эф} \cdot T_{сп}^i,$$

где, R_c – списочное число рабочих;

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

$T_{сп}$ – тарифная часовая ставка.

Часовая тарифная ставка составляет [25]:

для аппаратчика 5^{го} разряда – 118 руб./час;

для лаборанта 5^{го} разряда – 90 руб./час;

для электрика 5^{го} разряда – 120 руб./час;

для слесаря по обслуживанию – 81 руб./час.

С учетом количества бригад (4) примем расчетное количество рабочих.

$$Z_{тар}^5 = 8 \cdot 1232 \cdot 120 = 1\,182\,720 \text{ руб. – аппаратчиков;}$$

$$Z_{тар}^5 = 4 \cdot 1232 \cdot 120 = 591\,360 \text{ руб. – электриков;}$$

$$Z_{тар}^{сл} = 4 \cdot 1232 \cdot 90 = 443\,520 \text{ руб. – лаборантов;}$$

$$Z_{тар}^{сл} = 8 \cdot 1232 \cdot 81 = 798\,336 \text{ руб. – слесарей;}$$

$$Z_{тар} = 1\,182\,720 + 591\,360 + 455\,400 + 819\,072 = 3\,015\,936 \text{ руб.}$$

Учетом заработные платы работников ИТР:

$$Z_{ИТР} = 80\,000 + 45\,000 + 45\,000 + 15\,000 = 185\,000 \text{ руб.}$$

Тогда общие издержки на выплату заработных плат по тарифу:

$$З_{\text{тар.общ}} = З_{\text{тар}} + З_{\text{ИТР}} = 3\,015\,936 + 185\,000 = 3\,200\,936 \text{ руб.}$$

б) Доплата премий – 60% от тарифной ЗП:

$$Д_{\text{пр}} = З_{\text{тар}} \cdot \frac{П}{100} = 3\,200\,936 \cdot \frac{60}{100} = 1\,920\,561,6 \text{ руб.}$$

в) Доплата за работу в праздничные дни.

Принято 14 праздничных дней в году. Доплата в праздничные дни осуществляется по двойным тарифным ставкам:

$$Д_{\text{пр}} = \sum D_{\text{пр}}^i$$

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

где N – число праздничных дней в году.

$$D_{\text{пр}} = 8 \cdot 2 \cdot 120 \cdot 14 \cdot 8 = 215\,040 \text{ руб. – аппаратчиков;}$$

$$D_{\text{пр}} = 4 \cdot 2 \cdot 120 \cdot 14 \cdot 8 = 107\,520 \text{ руб. – электриков;}$$

$$D_{\text{пр}} = 4 \cdot 2 \cdot 90 \cdot 14 \cdot 8 = 80\,640 \text{ руб. – лаборантов;}$$

$$D_{\text{пр}} = 8 \cdot 2 \cdot 81 \cdot 14 \cdot 8 = 72\,576 \text{ руб. – слесарей;}$$

$$D_{\text{пр}} = 215\,040 + 107\,520 + 80\,640 + 72\,576 = 475\,767 \text{ руб.}$$

г) Доплата за работу во вредных условиях

Примем доплату равной 12% от тарифной ставки основных рабочих.

$$Д_{\text{вр}} = 3\,015\,936 \cdot 0.12 = 361\,912 \text{ руб.}$$

Общие затраты на выплату тарифной части с учетом доплат:

$$З_{\text{осн}} = 475\,767 + 1\,920\,561,6 + 3\,200\,936 + 361\,912 = 5\,959\,177 \text{ руб.}$$

Расчет фонда дополнительной заработной платы.

Определим процент дополнительной заработной платы [33]:

$$П_{д.з.} = \frac{T_{от}}{T_{эф}} \cdot 100\%,$$

где, $T_{эф}$ – эффективное количество рабочих дней в год;

$T_{от}$ – планируемое количество дней отгулов среднесуточного рабочего.

$$П_{д.з.} = \frac{39}{154} \cdot 100\% = 25 \%$$

$$З_{доп} = З_{осн} \cdot \frac{П_{д.з.}}{100} = 5\,959\,177 \cdot \frac{25}{100} = 1\,489\,794 \text{ руб.}$$

Годовой фонд заработной платы основных рабочих:

$$З = З_{осн} + З_{доп} = 5\,959\,177 + 1\,489\,794 = 7\,448\,971 \text{ руб.}$$

Кроме того необходимыми в соответствии с Трудовым кодексом РФ являются отчисления в фонд защиты населения (30%), и отчисления на обязательное медицинское страхование (0,6%):

$$З_{осн. раб} = 7\,448\,971 + 7\,448\,971 \cdot (0.06 + 0.3 + 0.13) = 11\,858\,762 \text{ руб.}$$

5.4.4 Расчет капитальных затрат

Расчет капитальных затрат на строительство

Величина капитальных затрат на здание цеха и его сооружение определяется по укрупненным параметрам. Такими параметрами являются: стоимость 1 м^3 здания согласно действующим поясным ценам на строительство и стройматериалы с учетом характера здания, его размеры и назначение [33].

Выбираем под цех каркасное здание:

длина – 100 м,

ширина – 30 м.

высота – 10 м.

Производственная площадь – 3 000 м^2 ;

Полный объем здания – 30 000 м^3 .

Стоимость 1 м² – 35 800 руб по Томскому региону на 2019 г [XX];

Стоимость санитарно-технических работ составляет 500 руб./м²;

Полная стоимость здания составит:

$$C_{зд} = 3\,000 \cdot (35\,800 + 500) = 108\,900\,000 \text{ руб.}$$

Таблица 5.7 – Расчет стоимости основного оборудования

Наименование основных средств	Цена, руб/шт	Количество, шт	Стоимость, руб.
1.Оборудование			
1.1. Смеситель	250 000	1	250 000
1.2. Грохот виброситовой	500 000	1	500 000
1.3. Бункер складирования	500 000	1	500 000
ЗШО	10 000	2	20 000
1.4. Насос	50 000	1	50 000
1.5. Сборник АСМ	50 000	1	50 000
1.6. Бункер с оксидом цинка	50 000	1	50 000
1.7. Бункер с мелом	50 000	1	50 000
1.8. Бункер с красителем	250 000	1	250 000
1.9. Бункер с глицерином	5000	2	10000
1.10. Бункер с жидким стеклом	25 000	1	25 000
1.11. Фильтр	5000	3	15 000
1.12. Ленточный конвейер.	10000	6	60 000
1.13. Дозаторы			
1.14. Гидродинамический сепаратор	500 000	1	500 000

Итого			2 270 000
--------------	--	--	-----------

Расходы на содержание и эксплуатацию оборудования

Транспортные расходы на перевозку оборудования, заготовительно-складские работы составляют 8% от стоимости оборудования [25]:

$$З_{тр} = 2\,270\,000 \cdot 0,08 = 181\,600 \text{ руб.}$$

Стоимость монтажных работ составляет 20% от стоимости оборудования :

$$З_{монт.} = 2\,270\,000 \cdot 0,2 = 454\,000 \text{ руб.}$$

Стоимость специальных работ принимаем 10% от стоимости оборудования (строительство фундаментов, трубопроводов, пусконаладочных работ):

$$З_{сп. р.} = 2\,270\,000 \cdot 0,1 = 227\,000 \text{ руб.}$$

Капитальные затраты на оборудование составят:

$$З_{к. об.} = C_{об} + З_{тран.} + З_{монт.} + З_{сп. р.} = 2\,270\,000 + 181\,600 + 454\,000 + 227\,000 = 3\,132\,600 \text{ руб.}$$

Сумма капитальных затрат.

$$\Sigma Z_{кап} = C_{зд} + З_{к. об.} = 108\,900\,000 + 3\,132\,600 = 112\,032\,600 \text{ руб.}$$

Расчет затрат на производство

Расходы на охрану труда и технику безопасности составляют 12% от $\Phi_{общ.}$:

$$З_{о.т.} = 7\,433\,883 \cdot 0,12 = 892\,066 \text{ руб.}$$

Затраты на текущий ремонт здания составляют 2% от стоимости здания:

$$З_{т.р.} = 108\,900\,000 \cdot 0,02 = 2\,178\,000 \text{ руб.}$$

Содержание здания (включает в себя затраты на освещение, отопление, вентиляцию) – 2% от стоимости здания:

$$З_{сод.} = 108\,900\,000 \cdot 0,02 = 2\,178\,000 \text{ руб.}$$

Амортизационные отчисления – 5% от стоимости здания:

$$З_{ам.} = 108\,900\,000 \cdot 0,05 = 5\,445\,000 \text{ руб.}$$

Сумма затрат на содержание и эксплуатацию здания составляет:

$$\Sigma З = 2\,178\,000 + 2\,178\,000 + 5\,445\,000 = 9\,801\,000 \text{ руб.}$$

Текущий ремонт производственного оборудования обходится в 7% от стоимости оборудования:

$$З_{т.р.} = 2\,720\,000 \cdot 0,07 = 190\,400 \text{ руб.}$$

Отчисления на амортизацию оборудования – 10% от стоимости оборудования:

$$З_{ам} = 2\,720\,000 \cdot 0,1 = 271\,200 \text{ руб.}$$

Расходы на содержание оборудования составляют 3% от стоимости оборудования:

$$З_{сод.} = 2\,720\,000 \cdot 0,03 = 81\,600 \text{ руб.}$$

Сумма расходов на содержание и эксплуатацию оборудования составляет:

$$\begin{aligned} \Sigma З &= C_{об} + З_{т.р.} + З_{монт.} + З_{сод.} + З_{амонт.} = 2\,720\,000 + 190\,400 + 271\,000 + 81\,600 + 454\,000 \\ &= 3\,717\,000 \text{ руб.} \end{aligned}$$

Таким образом, общепроизводственные расходы составят:

$$З_{общ.} = 9\,801\,000 + 3\,717\,000 = 13\,518\,000 \text{ руб.}$$

5.4.5 Расчет технологических затрат

1) Расчет затрат на электроэнергию:

$$З_{эн.} = T_э \cdot N_T \cdot T_{р. об.},$$

где $T_э$ – стоимость 1 кВт·ч электроэнергии для предприятий в России, руб (5,35 руб.);

N_T – суммарная мощность электродвигателей, кВт (85 кВт);

$T_{р. об.}$ – время работы оборудования в год, час (8040 час.).

$$З_{эн.} = 5,35 \cdot 85 \cdot 8040 = 3\,656\,190 \text{ руб.}$$

2) Расчет затрат на воду:

$$З_{\text{вод.}} = T_{\text{в.}} \cdot T_{\text{р. об.}} \cdot B,$$

где $T_{\text{в.}}$ – стоимость 1 м^3 воды, руб. (40 руб/ м^3);

B – часовой расход воды, м^3 (12 м^3);

$$З_{\text{вод.}} = 40 \cdot 8040 \cdot 12 = 3\,859\,200 \text{ руб.}$$

3) Расчет затрат на жидкое стекло:

$$З_{\text{ц. с.}} = T_{\text{к.}} \cdot K,$$

где $T_{\text{к}}$ – стоимость 1т жидкого стекла, руб. (20 000 руб.);

K – годовой расход карбоната натрия, тонны (7 600 т).

$$З_{\text{ц.н.}} = 20\,000 \cdot 7\,600 = 283\,189\,800 \text{ руб.}$$

4) Расчет затрат на оксид цинка:

$$З_{\text{ц. ок.}} = T_{\text{к.}} \cdot K,$$

где $T_{\text{к}}$ – стоимость 1т ZnO , руб. (200 000 руб.);

K – годовой расход Ca(OH)_2 , тонны (600 т);

$$З_{\text{ц.н.}} = 200\,000 \cdot 600 = 120\,000\,000 \text{ руб.}$$

5) Расчет затрат на краситель (сажа):

$$З_{\text{ц. к.}} = T_{\text{к.}} \cdot K,$$

где $T_{\text{к}}$ – стоимость 1т сажи, руб. (8 000 руб.);

K – годовой расход Ca(OH)_2 , тонны (500 т);

$$З_{\text{ц.н.}} = 8\,000 \cdot 500 = 4\,000\,000 \text{ руб.}$$

6) Расчет затрат на карбонат кальция (мел):

$$З_{\text{ц. мел.}} = T_{\text{к.}} \cdot K,$$

где $T_{\text{к}}$ – стоимость 1т мела, руб. (4 000 руб.);

K – годовой расход мела, тонны (800 т);

$$З_{ц.мел.} = 4\,000 \cdot 800 = 3\,200\,000 \text{ руб.}$$

7) Расчет затрат на глицерин:

$$З_{ц.г.} = T_K \cdot K,$$

где T_K – стоимость 1 т глицерина, руб. (40 000 руб.);

K – годовой расход мела, тонны (500 т);

$$З_{ц.г.} = 40\,000 \cdot 500 = 20\,000\,000 \text{ руб.}$$

8) Расчет затрат на погрузку ЗШО для извлечения АСМ:

$$З_{ц.г.} = T_K \cdot K,$$

где T_K – стоимость 1 т ЗШО, руб. (1 000 руб.);

K – годовой расход мела, тонны (2 000 т);

$$З_{ц.АСМ.} = 1\,000 \cdot 2\,000 = 2\,000\,000 \text{ руб.}$$

9) Расчет затрат на освещение:

$$З_{осв.} = T_{Э} \cdot N_T \cdot T_{р. об.},$$

$N_T = 115 \text{ кВт}$ – суммарная мощность всего электрооборудования,

$$З_{осв.} = 5,35 \cdot 115 \cdot 8040 = 4\,946\,610 \text{ руб.}$$

5.4.6 Калькуляция себестоимости получения 1 т тонны силикатной краски с содержанием АСМ

Сумма цеховой себестоимости и общезаводских расходов составляет общезаводскую себестоимость:

$$C_{об.зав.} = C_{цех.} + З_{об.зав.},$$

где $C_{цех.}$ – цеховая себестоимость (складывается из суммы условно-переменных и условно-постоянных затрат);

$З_{об.зав.}$ – общезаводские расходы примем за 2 % от цеховой себестоимости.

Калькуляция себестоимости приведена в таблице 5.8 [32, 33].

Таблица 5.8 - Проектная калькуляция себестоимости получения 1 тонны силикатной краски (СК) с содержанием АСМ

Статьи расходов	Ед. измер	Цена ед. прод., руб.	Расходы, т.		Затраты, руб.	
			На 1 т	На 1 год	На 1 т	На 1 год
Затраты на сырье:						
Жидкое стекло	т	20 000	0,76	7 600	283 189 800	
Оксид цинка	т	200000	0,06	600	120 000 000	
Вода	м ³	40	12	8040	3 859 200	
Карбонат кальция	т	4 000	0,08	800	3 200 000	
Глицерин	т	40000	0,05	500	20 000 000	
Краситель	т	8 000	0,05	500	4 000 000	
АСМ	т	1 000	0,2	2000	2 000 000	
Технологические затраты:						
Электроэнергия	кВт·ч	5,35	494,6		4 946 610	
Итого условно-переменные затраты	руб.		43 865		441 195 610	
Фонд ЗП рабочих и ИТР	руб.		743		11 858 762	
Отчисления на соц. нужды (общ)	руб.		364		3 557 628	
Расходы на содержание и эксплуатацию оборудования:						
1. амортизация оборудования;	руб.				3 717 000	
2. текущий и капитальный ремонт;	руб.		371,7		271 200	
					190 400	
					81 600	

3. содержание оборудования;	руб.		27,12 19,04 8,16		
Цеховые расходы:					
1. на освещение;	кВт·ч		217,28		2 172 810
2. амортизация здания;	руб.		544,5		5 445 000
3. текущий и капитальный ремонт;	руб.		217,8		2 178 000
4. содержание здания;	руб.		217,8		2 178 000
5. расходы на ОТ и ТБ	руб.		89,21		892 066
Итого условно-постоянные затраты	руб.		1 623		16 228 752
Цеховая себестоимость	руб.		45 742		457 424 362
Общезаводские расходы, 2% от цеховой себестоимости	руб.		914		9 148 487
Коммерческие расходы (1%)	руб.		457		4 574 244
Полная себестоимость	руб.		47 114		471 147 093
Условно переменные затраты	руб.		44 119		441 195 610

Условно постоянные затраты	руб.		1 622		16 228 752
---------------------------------------	------	--	-------	--	------------

Определение цены 1 т готовой продукции

Цену продукта определяем по формуле:

$$Ц = C \cdot (1 + P/100),$$

где С – полная себестоимость единицы готовой продукции;

Р – рентабельность продукции (%).

Рентабельность продукции можно принять от 10% до 25% [25].

$$Ц = 47\,119 \left(1 + \frac{25}{100}\right) = 58\,900 \text{ руб.}$$

Если сравнивать с рыночной ценой то данный продукт в России имеет среднестатистическую цену $Ц_{\text{рын}} \approx 200\,000$ руб/т [28], это позволяет сделать вывод что продукт конкурентно-способный.

Экономическая оценка эффективности проекта

Выручка составит [33]:

$$Пр_{об} = Ц \cdot V_{пр} = 58\,900 \cdot 10\,000 = 589\,000\,000 \text{ руб.}$$

Следовательно, балансовая прибыль составит [26]:

$$Пр_{бал} = Пр_{об} - С = 589\,000\,000 - 471\,147\,093 = 117\,852\,907 \text{ руб.}$$

Определим чистую прибыль производства [26]:

$$Пр_{чист} = Пр_{бал} - 0,20 \times Пр_{бал}$$

$$Пр_{чист} = 117\,852\,907 - 0,20 \cdot 117\,852\,907 = 94\,282\,326 \text{ руб.}$$

По формуле находим точку безубыточности и сравниваем с графиком.

$$Q = Z_{\text{пост}} / (Ц - Z_{\text{пер}}) = 16\,228\,752 / (58\,900 - 44\,119) = 1\,098 \text{ тонн.}$$

Из графика (рис 5.8) видно, что безубыточность данного производства составляет 1390 т/год.

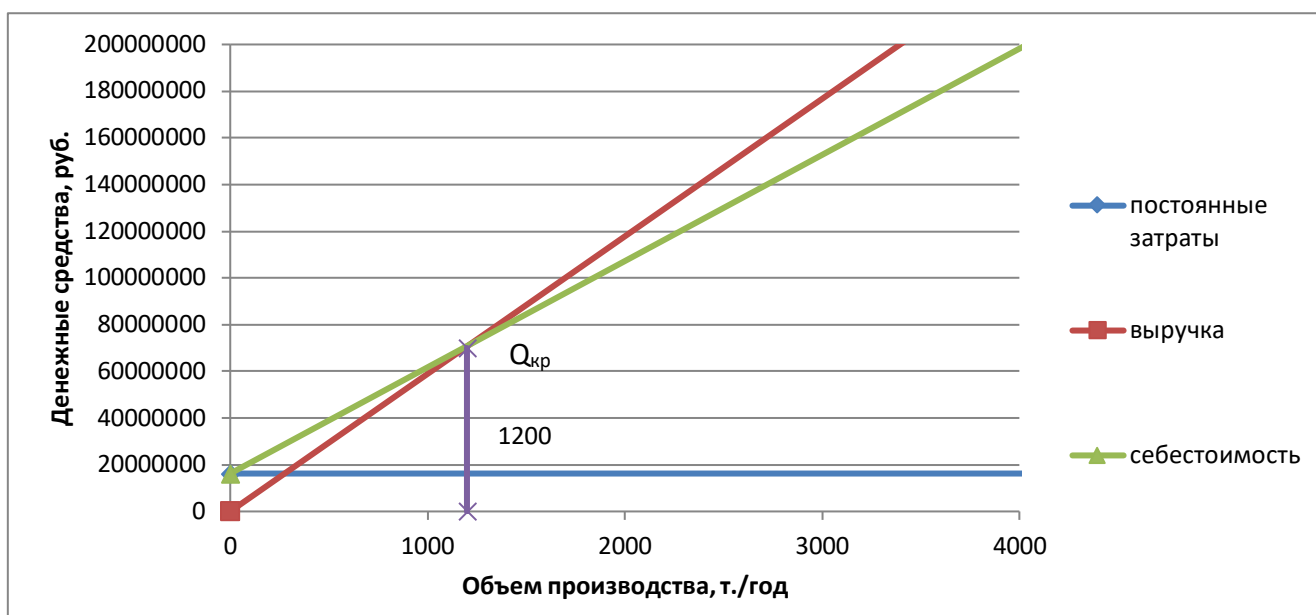


Рисунок 5.3 – График безубыточности.

Таблица 5.9 - Техничко - экономические показатели

Наименование показателя	Ед. изм.	Отчетный год
1. Объем производства	тыс. т	10
2. Объем продаж	тыс. т	10
3. Цена 1 тонны	руб.	58 900
4. Выручка от продажи	руб.	589 000 000
5. Суммарные издержки	руб.	471 147 093
5.1.Издержки переменные	руб.	441 195 610
5.2.Издержки постоянные	руб.	16 228 752
6. Операционная прибыль	руб.	117 852 907
7. Налог на прибыль	руб.	23 570 582
8. Чистая прибыль	руб.	94 282 325
9. Себестоимость 1 тонны	руб.	47 114
10. Стоимость основных средств	руб.	112 032 600
11. Численность основных рабочих	чел.	19

12. Фондовооруженность	руб./чел.	5 896 453
13. Фондоотдача	руб./руб.	5,23
14. Фондоемкость	руб./руб.	0,0007
15. Производительность труда	руб./чел.	31 000 000
16. Рентабельность производства	%	20
17. Рентабельность продаж	%	16
18. Критический объем продаж	т	1 200
19. Критический объем продаж	руб.	70 680 000

Вывод в результате произведен готовый продукт с конкурентоспособной ценой, поскольку имеет следующие экономические показатели:

- 1. Себестоимость – 47 119 руб/т**
- 2. Рент. производства – 10 %**
- 3. Рент. продаж – 16 %**
- 4. Фондоотдача – 5,23**

График безубыточности при $N_{\text{год}} = 1\,200$ т/год

6 Социальная ответственность

Производственная безопасность представляет собой систему организационных мероприятий и технических средств, уменьшающие вероятность воздействия на персонал опасных производственных факторов, вредных воздействий технологических процессов, энергии, веществ, условий и режимов труда до приемлемого уровня.

Данное производство состоит из двух стадий последовательного процесса. На первой стадии происходит разделение золошлаков на фракцию с диаметром частиц до 1 мм на виброситовом грохоте, далее золу фракцией 1 мм смачивают до пульпы и направляют в гидродинамический сепаратор. В сепараторе происходит разделение алюмосиликатных микросфер-тяжёлых (АСМ) фракции 40 мкм от загруженной пульпы. После отделения АСМ направляется в сушильную камеру. На второй стадии происходит смешение всех компонентов в реакторе, каждый компонент при поступлении в реактор дозируется вручную по рецепту приведенного исследования. Смешение длится в течение часа, поскольку процесс периодический. После готовая смесь фасуется как готовый продукт.

В 2018 году тема применения АСМ для нужд лакокрасочной промышленности заинтересовался «Инжиниринговый центр неорганических материалов» г. Томск. Его основные виды работ, это проектирование новых химических производств и производство партий новых химических продуктов. На основе данной работы Инжиниринговый центр неорганических материалов готов предоставить лабораторное оборудование для получения экспериментальных данных по извлечению АСМ из золоотходов, а также оборудование для приготовления опытных образцов силикатной краски на основе АСМ.

С точки зрения социальной значимости данная работа позволяет решить следующие задачи:

- 1) уменьшить площади золоотвалов;
- 2) снизить нагрузку на окружающую среду;
- 3) создать новые рабочие места.

6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Специальные правовые нормы безопасности

1) Режим труда и отдыха:

Баланс времени одного рабочего устанавливает число дней подлежащих отработке одним среднесуточным рабочим в год, в зависимости от принятого режима работы цеха, продолжительности работы цеха и продолжительности рабочего дня. Цех будет работать в 2 смены продолжительностью по 8 часов. Работа будет производиться четырьмя производственными бригадами график сменности рабочих бригад представлен в таблице 6.1.

Таблица 6.1 - График сменности рабочих бригад

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

где, А,Б,В,Г — смены.

1. Обеспечение персонала спецодеждой:

Работодатель, в соответствии со ст. 221 Трудового кодекса РФ обязан обеспечить приобретение и выдачу за счет собственных средств специальной одежды, специальной обуви и других СИЗ работникам, занятым на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, а также на работах, выполняемых в особо температурных условиях или связанных с загрязнением. На работодателе также лежит обязанность по обеспечению хранения, стирки, сушки, дезинфекции, дегазации, дезактивации и ремонту выданных работникам спецодежды, спецобуви и других СИЗ.

2. Порядок медосмотров:

В статье 214 ТК РФ определено, что прохождение обязательного предварительного и периодических медосмотров — обязанность работника. Вместе с тем в ст. 219 ТК РФ сказано, что прохождение внеочередного медицинского осмотра в соответствии с медицинскими рекомендациями является уже правом работника, которое он может реализовывать по своему усмотрению. Обеспечение и обязательных, и внеочередных

медосмотров, а также сохранение за работником места и среднего заработка на время таких медицинских осмотров — обязанность работодателя.

4. Оплата труда в выходные и нерабочие дни:

Работа в соответствии со статьей 153 Трудового кодекса РФ в выходной и нерабочий праздничный день оплачивается не менее чем в двойном размере:

Сдельщикам - не менее чем по двойным сдельным расценкам;

Работникам, труд которых оплачивается по дневным и часовым ставкам, - в размере не менее двойной дневной или часовой ставки; работникам, получающим месячный оклад, - в размере не менее одинарной дневной или часовой ставки сверх оклада, если работа в выходной и нерабочий праздничный день производилась в пределах месячной нормы рабочего времени, и в размере не менее двойной часовой или дневной ставки сверх оклада, если работа производилась сверх месячной нормы.

По желанию работника, работавшего в выходной или нерабочий праздничный день, ему может быть предоставлен другой день отдыха. В этом случае работа в нерабочий праздничный день оплачивается в одинарном размере, а день отдыха оплате не подлежит.

6.1.1 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

1. Общие эргономические требования к оборудованию [36]:

Элементы конструкции производственного оборудования не должны иметь острые углы кромок, заусенцев и поверхностей с неровностями, представляющих опасность травмирования рабочих, если их наличие не определяется функциональным значением. В последнем случае должны быть предусмотрены меры защиты рабочих. Части производственного оборудования (в том числе и трубопроводы, кабели и др.), механическое повреждение которых может вызвать возникновение опасности, должны быть защищены ограждениями или расположены так, чтобы предотвратить их случайное повреждение работающими или средствами технического обслуживания[36].

Конструкция производственного оборудования должна исключать самопроизвольное ослабление или разъединение креплений сборочных единиц и деталей, а также исключать перемещение подвижных частей за пределы, предусмотренной конструкцией, если это может повлечь за собой создание опасной ситуации[35].

2. Требования к панели управления пультом [35]:

1) Панели пультов управления не должны иметь посторонних элементов, затрудняющих работу оператора (неоправданные функциональным назначением пульта выступы, углубления, разноплоскостность, выступающие элементы наружного крепежа и т.п.).

2) Расположение и углы наклона панелей информации и панелей управления на пультах должны соответствовать указанным на черт.1 и 2.

3) При работе оператора в положении сидя средства отображения информации и органы управления, уместающиеся в зоне, ограниченной снизу плоскостью, отстоящей от пола не менее чем на 700 мм и не более чем на 1500 мм по фронту, располагают на фронтальной панели. Если располагаемые на панели элементы не уместаются в указанных пределах, используют трапециевидную, многогранную или полукруглую форму панелей. Диаметр полукруглой и многогранной панелей должен быть не менее 1200 мм [38].

3. Техника безопасности при работе в аналитических лабораториях [39]:

1) На работу в химико-аналитические лаборатории принимаются лица не моложе 18 лет, прошедшие медицинское освидетельствование для решения вопроса о возможности работы в лаборатории.

2) Вновь поступающие на работу допускаются к исполнению своих обязанностей только после прохождения *вводного инструктажа* о соблюдении мер безопасности, инструктажа на рабочем месте и после собеседования по вопросам техники безопасности.

3) Прохождение инструктажа обязательно для всех принимаемых на работу независимо от их образования, стажа работы и должности, а также для проходящих практику или производственное обучение.

4) При переводе сотрудника на новые виды работ, незнакомые операции, перед работой с новыми веществами, а также в случае нарушения работником правил техники безопасности проводится *внеплановый инструктаж*.

5) Распоряжением по лаборатории в каждом рабочем помещении назначаются ответственные за соблюдением правил техники безопасности, правильное хранение легковоспламеняющихся, взрывоопасных и ядовитых веществ, санитарное состояние помещений, обеспеченность средствами индивидуальной защиты и аптечками первой помощи с необходимым набором медикаментов.

6) Проведение вводного инструктажа, контроль выполнения правил техники безопасности во всей лаборатории и ведение журнала инструктажа осуществляет назначенное начальником лаборатории должностное лицо, в подчинении которого находятся ответственные рабочих помещений.

7) Все работающие в лаборатории должны быть обеспечены необходимой спецодеждой и средствами индивидуальной защиты.

4. Техника безопасности при проведении ремонтных работ

К проведению ремонтных работ допускаются лица, достигшие восемнадцатилетнего возраста, годные по состоянию здоровья, прошедшие обучение и аттестацию на право проведения ремонтных работ, а также обучение и аттестацию по охране труда.

При выполнении ремонта большая доля приходится на слесарные операции. Поэтому основные правила безопасности относятся к обеспечению безопасного выполнения слесарных работ.

До начала работы должна быть проверена исправность инструментов и приспособлений: молотки и кувалды должны быть слегка выпуклы, не косую и не сбитую, без трещин поверхность бойка и должны быть надежно закреплены на ручках путем расклинивания металлическими завершенными клиньями. Ручки молотков и кувалд должны быть с гладкой поверхностью, без трещин и сучков.

Гаечные ключи должны быть параллельны. Применять прокладки при наличии зазора между плоскостями губок и головок болтов не допускается.

Разборка аппарата, остановленного для внутреннего осмотра, чистки, ремонта, может производиться только после освобождения его от продукта производства. Приступать к ремонту без разрешения механика цеха или мастера механической службы не разрешается.

При ремонте запрещается загромождать рабочим площадки, установки и территорию вокруг них. После окончания работ проводится уборка строительных отходов, материалов и оборудование.

При возникновении опасности на территории ремонтируемого оборудования, ремонтные работы прекращаются, рабочие удаляются в безопасное место и принимают меры к ликвидации опасности. Возобновление ремонтных работ разрешается после выяснения и устранения причин опасности.

К работам внутри ёмкости допускаются лица мужского пола, достигшие двадцатилетнего возраста. Работа внутри емкости без подстраховки не допускается. Рабочий внутри емкости должен быть в спецодежде, поверх которой надевается пояс с

крестообразными лямками, к которым крепится спасательная веревка. Работать внутри емкости допускается только в шланговом противогазе, свободный конец которого должен находиться за пределами цеха в зоне чистого воздуха. Инструмент подается в сумке только после спуска рабочего. Светильники должны быть во взрывозащищенном исполнении, включать который нужно вне емкости. Работать внутри емкости 15 минут и столько же отдыхать.

К сварочной работам допускаются лица, сдавшие экзамен и получившие удостоверение на право выполнения этих работ. Сварщик должен быть одет в спецодежду, брюки должны быть одеты поверх ботинок, должны быть одеты верхонки, а также маска или очки. Место для сварочных работ должно быть ограждено сплошной перегородкой. Включение в сеть электросварочных аппаратов должно производиться посредством рубильников. Длина провода между питающей сетью и передвижному сварочным агрегатом не должно превышать 10 м. Провода должны иметь защитную от механических повреждений оболочку. Провода должны иметь защитную от механических повреждений оболочку. Корпуса электросварочных агрегатов, сварочные стволы, плиты, а также обратные провода должны быть заземлены.

Перед началом сварочных работ ведут подготовку помещения. Из помещения удаляют всё сырье, тару и горючих газов. Перед началом электросварочных работ аппарат должен быть заполнен водой или инертным газом. При проведении сварочных работ внутри аппарата необходимо иметь наряд-допуск, утвержденный техническим директором завод.

6.2 Производственная безопасность

6.2.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования.

Таблица 6.2 – Основные элементы производственного процесса, формирующие опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработк	Изготовле	Эксплуата	
1.Отклонение показателей микроклимата	+	+	+	1.СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений 2. СП 52.13330.2016 <i>Естественное и искусственное освещение</i> .Актуализированная редакция СНиП 23-05-95* 3. СН 2.2.4/2.1.8.566–96. Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий. 4. СН 2.2.4/2.1.8.562–96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки. 5. ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
2.Недостаточная освещенность рабочей зоны		+	+	
3. Превышение уровня шума и вибрации		+		
4.Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	+	+	+	

5. Превышение ПДК вредных веществ в рабочей зоне			+	6. ГН 2.2.5.3532–18. Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны.
--	--	--	---	--

6.2.2 Мероприятия по защите персонала предприятия от действия опасных и вредных факторов.

1) Отклонение показателей микроклимата:

Для производственных условий в большинстве случаев характерно суммарное действие климатических факторов помещения. Климатические условия производственных помещений складывается из температуры воздуха, его влажности и скорости движения воздуха. Под действием метеорологических условий производственной среды согласно ГОСТ 12.1.005 – 88 понимается сочетание температуры, влажности, скорости движения и запыленности воздуха. Метеорологические условия производственной среды регламентируются «санитарными нормами промышленных предприятий» СанПиН 2.2.4.548-96.

Климатические условия оказывают значительное влияние на самочувствие человека, его работоспособность и здоровье. По степени тяжести работы, производимые в цеху, относятся к работам средней тяжести. Оптимальные и допустимые значения характеристики микроклимата приведены в таблице 3.

Таблица 6.3 – Значение температуры, относительной влажности для рабочей зоны помещения

Параметры			
Оптимальные		Допустимые	
Температура, °С	Влажности, %	Температура, °С	Влажности, %
20-22 зимой	50-60	15-25 зимой	45-70
20-25 летом	50-60	28-27 летом	45-75

Для поддержания нормальных условий труда в помещении пульта управления широко применяется система кондиционирования, а также для поддержания теплового равновесия между человеческом и окружающей средой проводятся ряд мероприятий, основные из которых:

-дистанционное управления теплоизлучающими процессами процессами и аппаратами.

-источники интенсивного влаговыделения с открытой поверхностью испарения снабжают крышками или же оборудуют местными отсосами.

2) Недостаточная освещенность рабочего места:

Один из важнейших элементов благоприятных условий труда является рациональное освещение помещений и рабочих установок. На производстве применяется естественное и искусственное освещение. Недостаточная или неправильная освещённость территории, дорог, установок, подходов к аппаратам и лестничным пролётом может привести к утомлению и несчастным случаям. Естественное освещение создается в производственных помещениях через оконные и другие остеклённые проёмы. Искусственное освещение создается светильниками и может быть: общее, предназначенное для освещения всего рабочего помещения, а местное освещает только рабочее место.

Нормирование естественного освещения промышленных зданий сводится к нормированию коэффициента естественного освещения. По СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03.

Для работ, выполняемых в лабораториях и относящимся к точным работам, при боковом освещении коэффициент естественной освещенности должен быть не менее 1,5%.

Искусственное освещение нормируется в единицах освещенности – люксах (лк). Выбор освещенности производится в соответствии с СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03. По санитарным нормам на ПУ освещенность должна быть 300 лк, при этом используются светодиодные лампы ЛЕД-Эффект серии КЕДР ССП Х. Они позволяют создать искусственный свет, приближенный к 300 лк.

3) Превышение уровня шума и вибрации:

Источниками интенсивного шума и вибрации являются машины и механизмы с неуравновешенными вращающимися массами (мешалки), в отдельных кинематических парах которых возникает трение и соударения. Повышение вибрации на рабочих местах неблагоприятно сказывается на организм человека.

Допустимые уровни параметров шума согласно ГОСТ 12.1.003 – 2014 уровень звукового давления в производственном помещении не должен превышать 85 дБ. К источникам вибрации в цехе относятся: электродвигатели оборудования, насосы, вентиляторы, оборудование. Допустимые значения вибрации на рабочем месте

определяются согласно ГОСТ 12.1.012-90 и составляют: виброскорость – 92 дБ; виброускорение – 58 дБ.

Реализованные средства защиты путём введения в колебательную систему дополнительной упругой связи (пружинные опоры для «вибрационного грохота» и прорезиненное покрытие пола вокруг данного оборудования), препятствующей передаче вибрации от источника колебаний на основание или смежные конструкции.

4) Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может пройти через тело человека:

Источники опасного фактора: электропривод реактора смешения, электромоторы насосного и сушильного оборудования.

Электробезопасность в соответствии с ГОСТ 12.2.003-91 ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности, обеспечивается:

1. конструкцией электроустановок;
2. техническими способами и средствами защиты;
3. организационными и техническими мероприятиями.

Отдельно или в сочетании с другими применяется:

- 1) защитное заземление;
- 2) зануление;
- 3) защитное отключение;
- 4) изоляция токоведущих частей;
- 5) электрическое разделение сетей;
- 6) предупредительная сигнализация, блокировка;
- 7) использование знаков безопасности;
- 8) электрозащитные средства.

Для обеспечения безопасной работы в электроустановках выполняется комплекс организационных мероприятий:

- 1) организуется инструктаж и обучение безопасным методам работы;
- 2) проверка знаний правил безопасности;
- 3) доступ к работе оформляется в соответствующем наряд-допуске.

Основными причинами поражения электрическим током являются:

а) случайные прикосновения к токопроводящим частям под напряжением возможно в результате:

- ошибочных действий при проведении работ;
- неисправности защитных средств, которыми пострадавший касался;
- токоведущих частей.

б) появление напряжения на отключенных токоведущих частях в результате:

- ошибочного включения отключенной установки;
- замыкание между отключенными и находящимися под напряжением токоведущих частей оборудования и др.

в) появление напряжения на металлических конструктивных частях оборудования в результате:

- повреждения изоляции токоведущих частей;
- замыкание фазы сети на землю;

г) возникновение напряжения шага на участке земли, где находится человек в результате:

- замыкания фазы на землю;
- выноса потенциала протяженным токопроводящим предметом.

Вероятность исключения указанных причин зависит от обучения персонала.

Основными мероприятиями по защите работников от электротравм являются:

- 1) обеспечение недоступности токопроводящих частей путем изоляции, ограждений.
- 2) применение малых напряжений в местных и переносных источников света;
- 3) использование изоляции токоведущих частей;
- 4) применение коллективных средств защиты от поражения электрическим током, таких как заземление, зануление, защитное отключение;
- 5) обучение и аттестация персонала.

Для защиты от статического электричества и вторичных проявлений молний, аппараты, трубопроводы и металлоконструкций должны быть заземлены.

В случае проведения ремонтных работ необходимо применять средства индивидуальной защиты: диэлектрические перчатки, коврики, сапоги и прорезиненные костюмы, инструмент с изолированными ручками.

5) Превышение ПДК вредных веществ в рабочей зоне

Под предельно допустимой концентрацией (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны понимают такую максимальную концентрацию, которая при ежедневной (кроме выходных дней) работе в течение 8 часов или другой продолжительности (но не больше 40 часов в неделю) в течение всего трудового стажа не вызывает профессиональных заболеваний или отклонений в состоянии здоровья, обнаруживаемых современными методами исследований в процессе работы или в отдаленные сроки жизни настоящего и последующих поколений.

На данном производстве основные вещества, загрязняющие рабочую зону, являются зольная пыль и сажа. Зольную пыль и сажу относят к 4-му классу опасности ПДК = 120 мг/м³. Методы снижения воздействия пыли на организм работников включают [43]:

- 1) Оснащение цеха вентиляционной вытяжкой;
- 2) Предварительные и периодические медицинские осмотры работающих во вредных условиях, профилактическое питание, соблюдение правил личной гигиены;
- 3) Использование средств индивидуальной защиты: респираторы

6.3 Экологическая безопасность

6.3.1 Анализ влияния объекта исследования на атмосферу

К газообразным отходам производства, загрязняющим окружающую среду, относятся пыль золошлаков ТЭЦ и сажа, участвующая в процессе перемешивания и силикатизации как инертный наполнитель. Для снижения воздействия на окружающую среду производственный процесс ведется в закрытом помещении, оборудованном системой вентиляции оснащенной рукавным фильтрам.

6.3.2 Анализ влияния производственного процесса на гидросферу и литосферу

В цехе предусмотрена ливневая и хоз – бытовая канализация. В неё поступают сточные воды от мытья полов в цеху. Основной загрязнитель сточных является зола уноса, однако, её ПДК сброса не превышает предельно допустимый ПДК, менее 50 мг/м³.

Объем технологической воды участвующей в процессе гидросепарирования находится в замкнутом цикле и проходит ежесуточное очищение и не взаимодействует с литосферой.

Во время процесса получения алюмосиликатных микросфер из золошлаков ТЭЦ, остается большое количество твердых отходов (остаток золы ТЭЦ). Зола продается или утилизируется на Томском полигоне ТБО.

6.4 Безопасность при чрезвычайных ситуациях

6.4.1 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть при производстве объекта исследования на производстве

Аварии на данном производстве маловероятны, так как вещества участвующие в производстве не взрывоопасны, а аппаратура не работает под избыточным давлением. Наиболее вероятно возникновение пожара, из-за короткого замыкания неплотности оборудования и бункера хранения глицерина, несоблюдения норм технического режима при обслуживании емкости хранения глицерина, повреждения оборудования, замыкание электрооборудования и др.

При возникновении пожара обслуживающему персоналу необходимо:

- 1) Локализовать очаг возгорания;
- 2) Сообщить начальнику смены, позвонить в пожарную часть;
- 3) Не входить в зону задымления при видимости менее 10 м;
- 4) При движении через горящее пространство накрыться с головой мокрым куском плотной ткани;
- 5) Тушение электрооборудования и электропроводок осуществляется только после их обесточивания, либо использовать углекислотный огнетушитель;
- 6) При утечке вредных веществ необходимо быстро покинуть зону выброса перпендикулярно направлению ветра. При необходимости использовать самоспасатель.

6.4.2 Мероприятия по предотвращению ЧС при Стихийных бедствиях

Возможные стихийные бедствия:

- 1) Ураганы – это ветры большой силы и скоростью более 32 м/сек;
- 2) Наводнение;
- 3) Снежные заносы и обледенения;
- 4) Оползни;
- 5) Пожары;
- 6) Землетрясение.

Стихийные бедствия – это явления природы, которые вызывают экстремальные ситуации, нарушающие жизнедеятельность людей и работы объектов.

Наиболее опасным для данного региона (Томская область) является землетрясение и ураганы. Снегопады, которые могут длиться от нескольких часов до нескольких суток. Бури и ураганы несут большие разрушения.

В случае перечисленных стихийных бедствий необходимо произвести аварийную остановку и срочно эвакуироваться согласно плану эксплуатации цеха.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе написания квалификационной работы было проведено исследование по применению алюмосиликатных микросфер в силикатном покрытии. С разработкой установка для получения силикатной краски на основе зольных отходов с разработкой основного оборудования.

Произведены основные расчеты двух аппаратов, такие как:

- 1) Технологический расчет;
- 2) Расчет толщины стенки цилиндрической и коническое обечайки, а также плоской крышки;
- 3) Расчет фланцевого соединения;
- 4) Расчет укрепления отверстий;
- 5) Выбор и расчет опор аппаратов

В разделе теоретического анализа были описаны 3 эксперимента по применению АСМ в качестве наполнителя для силикатной краски.

В разделе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» был произведен расчет затрат на проектирование и постройку производства по выпуску силикатной износостойкой краски. Была посчитана себестоимость продукта и точка безубыточности.

В разделе «Социальная ответственность», рассмотрена безопасность и нормативная деятельность для рабочих цеха производства силикатной краски, а также разобраны мероприятия по предотвращению воздействия на здоровье опасных и вредных и вредных факторов для работников предприятия.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СТУДЕНТА

опубликованных и приравненных к ним научных
и учебно-методических работ

№ п/п	Наименование работы, ее вид	Форма работы	Выходные данные	Объем работы	Фамилии со авторов
1	Закладочные материалы для Краснокаменского ГОКа на основе золошлаковых материалов	Печ.	Материалы XVII Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых имени профессора Л.П.Кулева, посвященной 120-летию Томского политехнического университета, Томск, 17-20 Мая 2016.	48-49	-
2	Применение термического бура для бурения твердых горных пород	Печ.	Труды XXII Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых ученых, посвященного 155-летию со дня рождения академика В.А. Обручева, 135-летию со дня рождения академика М.А. Усова, основателей Сибирской горно-геологической школы, и 110-летию первого выпуска горных инженеров в Сибири, Томск, 2-7 Апреля 2018. - Томск: Изд-во ТПУ, 2018	496-497	-
3	Перспектива использования	Печ.	Научная мысль. - 2017 - №. 5.	16-20	-

	геотермальной энергии для выработки электроэнергии и горячего водоснабжения регионов Сибири				
4	Технология переработки отходов полиэтилентерефталата в пленочные изделия	Печ.	Вестник науки. - 2019 - Т. 3 - №. 1	142-145	-
5	Побочные реакции, протекающие при синтезе и переработке полиэтилентерефталата	Печ.	Вестник науки. - 2019 - Т. 3 - №. 1	138-141	-
6	Микроскопический анализ болгарской золы	Печ.	Вестник науки. - 2019 - Т. 3 - №. 1	129-131	-

Список литературы

1. Сиротинкина Н.В. Алюмосиликатные микросферы в качестве регуляторов пористости эластомеров / Давудова М.Г., Омельчука Ю.В. // Журнал: Каучук и резина - №3. 2010 – с. 30-32.
2. Баёва М.А. Исследование свойств облегченных тампонажных растворов с добавлением алюмосиликатных полых микросфер. // Журнал: Булатовские чтения - №3. 2018 – с. 32-34.
3. Ефимова Б.А. Морозостойкость тяжелых и мелкозернистых бетонов с добавкой полых алюмосиликатных микросфер. // Журнал: Перспективы науки - №6. 2017 – с. 40-45.
4. Логанина В.М., Фролова М.В. Использование зольных алюмосиликатных микросфер в известковых сухих строительных смесях для отделки. // Журнал: Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова - №3. 2017 – с. 6 – 10.
5. Делицын Л. М., Власов А. С. Необходимость новых подходов к использованию золы угольных ТЭС // Теплоэнергетика. – 2010. – № 4.
6. «Обогащение руд в тяжелых средах»: И.Н. Плаксин., Академия наук СССР, 1962 110с.
7. «Современная техника и технология тяжелосреднего обогащения»: Учеб.пособие / Зарубин Л. Г, Благова З. С., Москва 1982 (обл. 1983), 102с.
8. Самойлук В.Г. Конструктивные особенности сепаратора CrossFlow / Иващенко Г.В. // Фундаментальные и прикладные проблемы в горном деле. – 2016. –с. 114 – 115.
9. Корнеев В.И., Данилов В.В. Растворимое и жидкое стекло. Санкт-Петербург: Строй-издат. СПб., 1996. – 216 с.
10. Логанина В.М, Фролова М.В. // Журнал. Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г Шухова. 2017. №3. с. 6 – 10.
11. Казьмина О.В, Лебедева Е.Ю. Композиция одноупаковочная силикатная краска. Патент №2645502. Рос. Федерация.
12. ГОСТ 12.1.1044 – 89. Пожаровзрывоопасность веществ их определения. Номенклатура показателей и методов их определения.

13. Шевченко А.А. Химическое сопротивление неметаллических материалов и защита от коррозии. -М.: Химия, КолосС, 2004. -248 с.
14. ГОСТ 20811 – 75. Материалы лакокрасочные. Методы испытаний покрытий на истирание.
15. Касаткин В.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии: учебник для вузов / А. Г. Касаткин.— 15-е изд., стер. — М.: Альянс, 2009.— 750 с.
16. Лащинский А.А. Толчинский А.Р. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры. – Ленинград: «Машиностроение», 1970. – 752 с.
17. АКТ 24.201.17 – 90. Мешалки, типы параметры, конструкция, основные размеры и технические требования.
18. Соколов В.Н., Доманский И.В., Островский Г.М. Машины и аппараты химических производств: Примеры и задачи. Учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности «Машины и аппараты химических производств. «Л.: Машиностроение, Ленингр. отделение, 1982. – 384 с., ил.
19. ОСТ 26-01-1247-75. Уплотнения валов для аппаратов с перемешивающими устройствами. Уплотнения сальниковые. Типы, параметры, конструкции и основные размеры. Технические требования.
20. В.А. Лукьянов, С.С. Круглов. Гидромеханические процессы. Руководство к практическим занятиям в лаборатории процессов и аппаратов нефтегазо переработки. - М.: РГУ нефти и газа, 2012, 60 с.
21. Романков П.Г., Фролов В.Ф., Флисюк О.М. Методы расчета процессов и аппаратов химической технологии: Учеб. Пособие для вузов. – 2-е изд., испр. – СПб.: ХИМИЗДАТ, 2009. – 544 с.
22. ГОСТ 34233.1-2017 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Общие требования (утв. приказом Росстандарта от 14.12.2017 N 1989-ст).
23. Беляев В.М., Миронов В.М. «Конструирование и расчет элементов оборудования отрасли. Часть I».: Тонкостенные сосуды и аппараты химических производств: Учеб. пособие. – Томск: Изд – во Томского политехнического университета, - 2011. – 300 с.
24. ГОСТ 34233.2-2017 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет цилиндрических и конических обечаек, выпуклых и плоских днищ и крышек (утв. приказом Росстандарта от 14.12.2017 N 1990-ст).
25. 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 (утв. приказом Росстандарта от 14.12.2017 N 1991-ст).
26. ГОСТ 28759.2 – 90. Фланцы сосудов и аппаратов стальные плоские приварные. Конструкции и размеры.
27. ГОСТ 34233.5-2017 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет обечаек и днищ от воздействия опорных нагрузок (утв. приказом Росстандарта от 14.12.2017 N 1993-ст).
28. ГОСТ 34233.4-2017 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет на прочность и герметичность фланцевых соединений (утв. приказом Росстандарта от 14.12.2017 N 1992-ст).
29. Беляев В.М. Конструирование и расчет элементов оборудования отрасли. Ч.II: В.М. Беляев, В.М. Миронов; Томский политехнический университет. – 2-е изд. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – 163 с.
30. Бизнес-план. Методические материалы. Изд.-3 – М.: Финансы и статистика, 2001.– 208 с.
31. Экономика и управление производством, расчет экономического эффекта дипломного проекта. Методические указания к выполнению экономической части дипломного проекта для студентов ИПР заочной форм обучения. Рыжакина Т.Г. 2011 г.
32. Объявления в России "FLAGMA" [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://flagma.ru/iznosostoykaya-kraska-so1385811-1.html/> (Дата обращения 10.05.19).
33. Гаврикова Н.А. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие / Н.А. Гаврикова, Л.Р. Тухватулина, И.Г. Видяев, Г.Н. Серикова, Н.В. Шаповалова; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 73 с.
34. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий.
35. СанПин 2.2.4.548-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений».
36. ГОСТ 12.2.003 – 91 ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности.

37. ГОСТ 12.2.049-80 ССБТ. Оборудование производственное. Общие эргономические требования.
38. ГОСТ 23000-78. Система «человек-машина». Пульты управления. Общие эргономические требования.
39. ПНД Ф 12.13.1-03. Методические рекомендации. Техника безопасности при работе в аналитических лабораториях (общие положения).
40. СН 2.2.4/2.1.8.562–96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки.
41. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*
42. ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
43. ГН 2.2.5.3532–18. Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны.

Приложение А

The objects and methods of research

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4KM71	Боровой Виталий Юрьевич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Тихонов Виктор Владимирович	к.т.н		

Консультант – лингвист Отделения иностранных языков ШБИП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Ажель Юлия Петровна	-		

The objects and methods of research

The object of study is: aluminosilicate microspheres, a silicate coating.

The applied physical – chemical methods are as follows: determination of the coefficient of thermal conductivity on the device ITP – MG4, GOST 12.1.044-89. Installing OTM "Ceramic tube", GOST 20811 – 75. Methods for testing coatings for abrasion.

• Theoretical foundations

Aluminosilicate hollow microspheres (ASM) are aluminosilicate glass-ceramic beads, which are formed during high flaring coal. It is the most valuable component of the ash wastes of thermal power plants.

In this paper, the characteristics of the composition, structures and properties of ASM, which means that the microspheres contain a high (up to 55 SiO_2 and 19% Al_2O_3) amount of refractory oxide, have a spherical shape (diameter 5 to 400 μm , with a wall thickness of 7 μm on average), and a melting point above 1350 $^{\circ}\text{C}$ are taken into account. Due to the combination of these properties, the idea that the introduction of the ASM in a liquid glass composition will improve its characteristics was suggested.

Liquid soluble glass is produced by melting silica with an alkaline components; the name of the liquid glass is trivial and includes aqueous alkaline solutions of silicates, regardless of the cation, the concentration of silica, its polymer structure and method for producing such solutions. Liquid glass can be potassium, sodium, lithium, and also high-silica, passing decreasing alkalinity in the area stabilized silica. Both soluble and liquid glasses are the large circulation products inorganic synthesis. Interest in these technical foods is high in recent years, which is determined along with their valuable properties: environmental-friendly manufacture and apply, non-flammable and non-toxic components, and in many cases the cheapness and availability of raw materials.

2.2 Influence of aluminosilicate microspheres on the coefficient of thermal conductivity of silicate coating

The goal is to determine the influence of the amount of aluminosilicate microspheres of thermal power plants (TPP) on the thermal conductivity as a component for obtaining silicate thermal insulation coating.

Object of study: aluminosilicate microspheres.

• Theory

The use of microspheres as a component of composite coating gives the material insulating properties. Such composite coatings have high insulating qualities, good adhesion and high strength despite their very low thickness. When comparing the glass with aluminosilicate microspheres it becomes obvious that the latter have the following advantages: low cost, average cost of ASM from 200 rub/kg, glass microspheres from 700 rub/kg. According to technical specifications, ASM are hollow or floating microspheres, which are not much heavier than glass ones and have the density of $0.2 - 0.7 \text{ g/cm}^3$, but they are much stronger: 50 MPa to 30 MPa. They have a higher melting temperature -1300 °C. ASM is light with low thermal conductivity of $0.08 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ at 20 °C. Therefore it is possible to use microspheres as an insulating additive for production of construction industry.

• The sequence of the operation

- 1) For this study the following composition based on the liquid stackola consisting of 6% of ZnO and 5% talc, 8% chalk, 5% glycerine and 66% water glass was prepared. In this composition ASM in an amount from 5 to 20% was introduced.
- 2) Dry composition part was mixed in a planetary mill; the liquid portion in the form of liquid glass with glycerol (in H₂O subsequent turn if necessary) was added. After mixing, ASM was introduced manually. During a day in the composition the process of paint silication occurred; then it was applied to the samples; after drying the coefficient of thermal conductivity by means of a measuring device ITP – MG4 was measured.

The research was conducted on 2 samples in the form of concrete tiles with the size of (10x10x15) mm, with coating silicate paint with the contents of ASM in the amount from 5 to 20% by weight and without covering. The results of the experiment are presented in Figure 1.

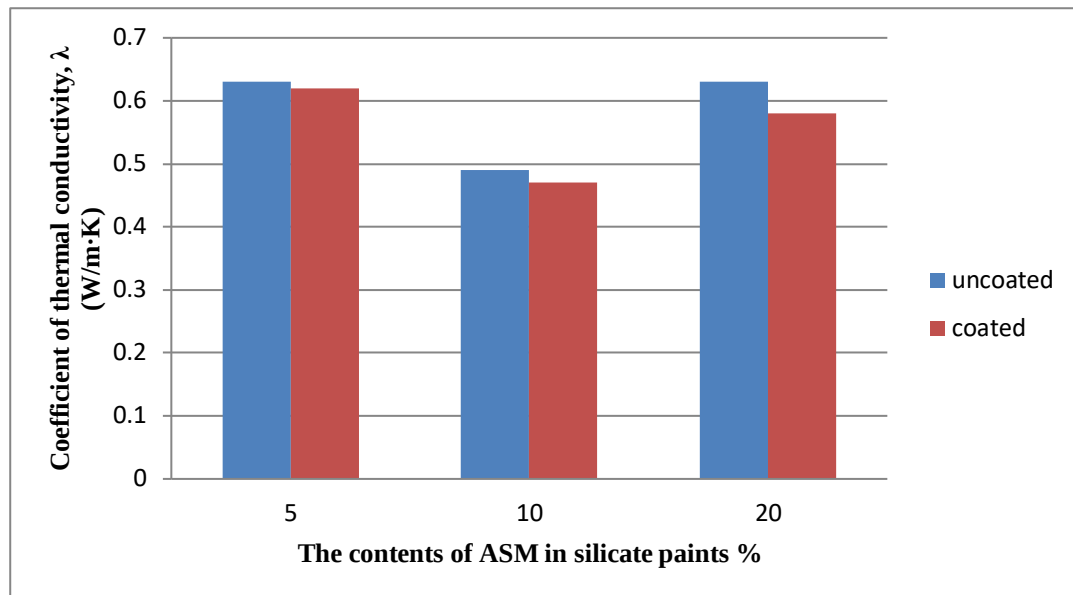


Figure 1. The value of thermal conductivity coefficients of the samples with coating and without coating

The Conclusion: during the experiment it was established that the introduction of aluminosilicate microspheres ($\rho=0,2 - 0,7 \text{ g/cm}^3$) in an amount of 20% by weight in the composition of the liquid glass of the composition (silicate paint), when applied to the surface of the concrete sample thickness of 2 mm coefficient of thermal conductivity of the material decreased from $0.6 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ to $0.5 \text{ W/m} \cdot \text{K}$, corresponding to the reduction ratio of $\Delta\lambda$ to 7 %.

As a result of this study, it was proven that the introduction of the ASM light fraction in the filler really gives improved thermal insulation properties of silicate coatings. However, a significant effect was achieved only with increase in the thickness of the insulating layer, while simultaneously increasing the amount of content of AFM in thin-film coating is not made of the positive dynamics of reduction of the coefficient of thermal conductivity.

In the future we plan to conduct an experiment to establish the influence of aluminosilicate microspheres on the properties of the plaster mix, applying to the surface a thickness of 15 mm, this should effectively decrease the conductivity in comparison with thin-layer coating.

1.2 The Influence of aluminosilicate microspheres on flame retardant properties of the silicate coating containing ASM – light fraction

The goal is to establish the possibility of using TPP aluminosilicate microspheres as a filler in obtaining fire-resistant coating.

Object of the study: aluminosilicate microspheres.

- **Theory**

Fire-retardant paints are often a mixture with potassium liquid (silicate) glass. The composition of the flame retardant silicate paints includes flame retardant fillers, white pigments, colored pigment, liquid potassium glass and special additives in appropriate proportions. Ground expanded (not expanded), vermiculite, perlite, talc, fibers, kaolin wool, asbestos fluff. Fire retardant paint produced by factories is available in two-tones packaging.

Fireproof paints, varnishes, enamels protect building structures from inflammation, reduce the flame spread over the surface. They perform the following functions: form a protective layer on the surface of the polyurethane foam, they absorb the heat as a result of decomposition, secrete inhibitory gases, release water, accelerate the formation of a coke layer on the surface. They are divided into two groups — non-bloating and bloating paints, varnishes, and enamels from various manufacturers.

When heated, the thickness of the expanding layer of paint, lacquer, enamel is increased 10-40 times. Typically, intumescent paints, varnishes, enamels more effective as thermal effects the formation of the foamed layer, which is coked melt non-combustible substances (mineral residue). The formation of this layer occurs due to the heat released during gas - and vaporous substances. The coke layer has a very high thermal insulation property.

- **The sequence of the operation**

The studies were conducted using two wooden beams with a length (60 ± 1) mm, height (150 ± 3) mm and the actual thickness of 30 mm, coated with silicate paints containing ACM in the amount of 20% by weight and coated silicate paints of less ASM.

1) For this study the following composition based on liquid glass was prepared (See Table 1):

Table 1 – The composition of the fireproof silicate coating

Components	Amount, %
ZnO	5
Chalk	8
Hydromagnesite	5
Glycerin	5
ASM – лёгкая	20
Liquid glass	76

2) Dry part was mixed in a planetary mill, added to the liquid portion in the form of liquid glass with glycerin. After mixing, the resulting mass was divided into two portions. Then ASM was manually introduced in one portion. During one day in the composition there was a process of paint silication. The paint was applied on the samples after drying; then the samples were sent to the "Judicial – expert establishment of Federal fire service. Test fire laboratory", Tomsk, where the test on flame retardant properties using the method for experimental determination of combustible and flammable solid substances and materials for installing OTM "Ceramic tube" was carried out (Figure 2).

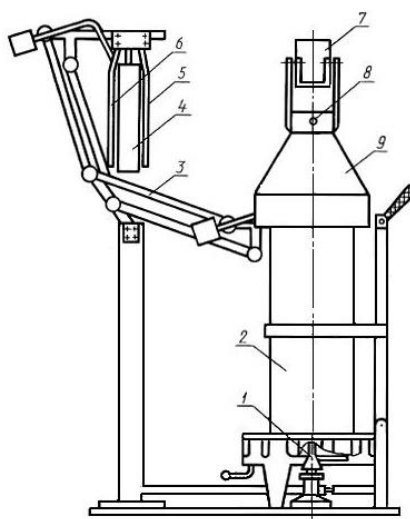


Figure 2. Installing OTM "Ceramic tube". 1 – burner; 2 – reaction chamber; 3 – sample entry mechanism; 4 – sample; 5, 6 – sample holders; 7 – mirror; 8 – thermoelectric converter; 9 – canopy

3) The samples were kept in the burner for 2 minutes. The gas flow in the testing process was to be permanent. After 2 minutes the flow of gas to the burner was stopped, the sample was left in the device for cooling.

4) After cooling (the temperature of the exhaust gas in the upper tube area equaled to the room one), the remaining part of the sample was removed from ceramic tubes and weighed, the result was rounded up to 0.1 g.

5) The test Specimens is presented in Figure 3 (a, b, c).

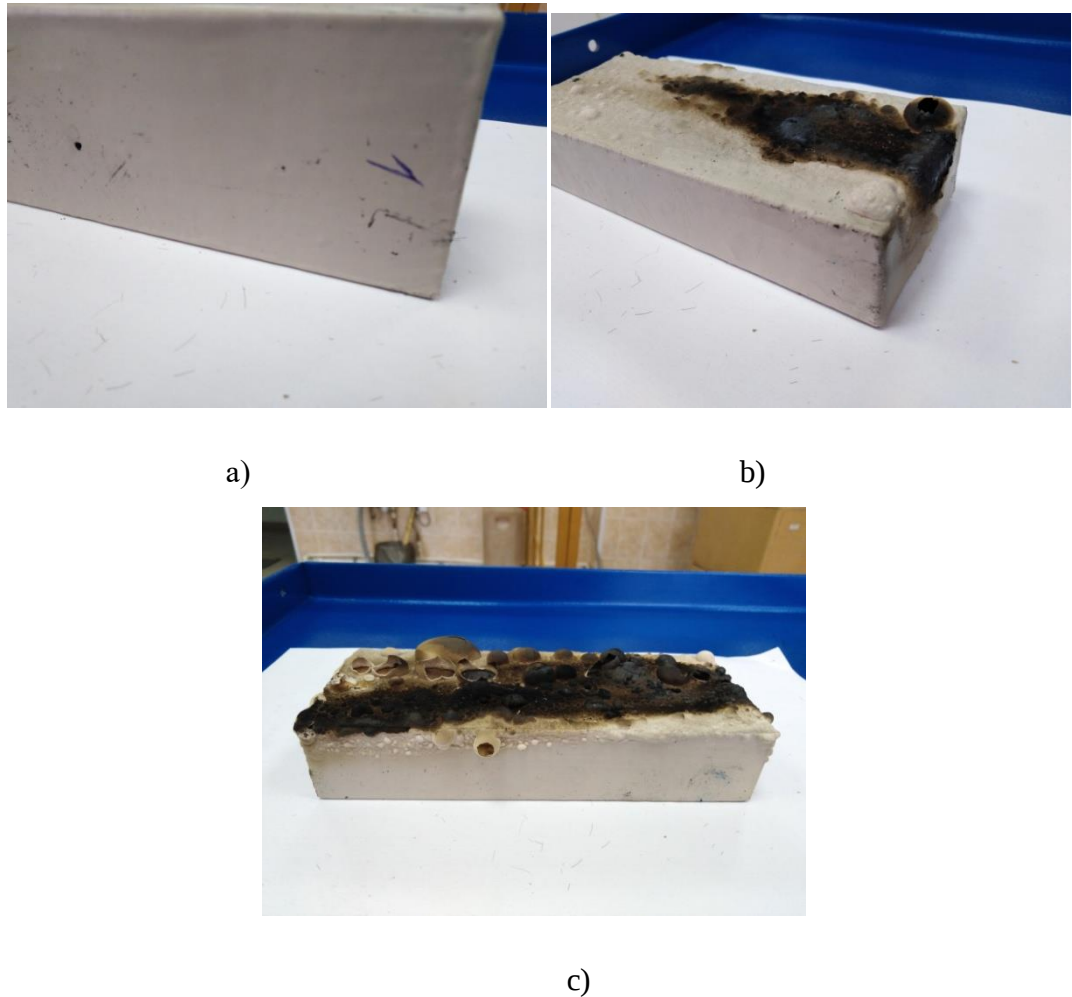


Figure 3. The Samples to test – a; The samples after the test without ASM – b; The sample after the test with the content of ASM – c

- **Methodology for the evaluation of the results**

According to GOST 12.1.044-89, the evaluation of the results of the group of not easily combustible and flammable solid substances and materials is determined using the following algorithm [5]:

1. The mass loss of the tested sample P_i , %, is calculated according to the formula:

$$P_i = \frac{(m_{1i} - m_{2i})100}{m_{1i}}, \quad (1)$$

where m_{1i} is the mass of specimen before test, g;

m_{2i} is the mass of sample after test, g;

i – sample number.

The results are presented in Table 2

Table 2 – Results of the tests on fire-retardant properties, g

Samples	<i>Samples to test</i>	<i>The samples after the test</i>	Classoffireprotection
The samples coated without ASM	150,6	148,3	1
	159,3	155,42	
Samples with a coating containing ASM	133,9	130,7	1
	131,2	126,62	

Weight loss:

Samples without ASM:

$$P_1 = 1,5 \%$$

$$P_2 = 2,3 \%$$

$$P_{cp} = 1,9 \%$$

Samples with ASM:

$$P_3 = 2,4 \%$$

$$P_4 = 3,5 \%$$

$$P_{cp} = 2,9 \%$$

2. After the test, let us determine the arithmetic mean value of the mass loss of the tested samples. The samples that fail the inequality (2) and (3), new samples are tested and the average mass is re-determined.

$$|P_{cp} - P_i| < 3 \text{ при } P_{cp} < 9; \quad (2)$$

$$|P_{cp} - P_i| < 5 \text{ при } 9 < P_{cp} < 25 \quad (3)$$

where P_{cp} – the arithmetic mean value of the mass loss of the tested samples, %

3. According to the test results there was a group of fire retardant efficiency of a tested fire retardant coating (FRC) with this method of application established. The loss of mass was not more than 9% for FRC installs of the 1st group of fireproof efficiency. When the weight loss was 9%, but not more than 25% for FRC, the 2nd group of fire protection was set. When the weight loss is more than 25%, it is believed that this composition does not provide fire protection of wood and is not fire resistant [5].

Conclusion: during the experiment it has been established that the introduction of aluminosilicate microspheres ($\rho=0,2 - 0,7 \text{ g/cm}^3$) in the amount of 20% by weight in the liquid glass composition (hydro magnesite silicate paint), when applied to a wood surface after the fire test, and the comparison of fire protection degree with the same coverage without ASM, are not effective. It has been recorded that the coating has the first group of fire protection, but the ASM does not affect the degree of fire protection, and the coating containing the ASM is slightly inferior to the coating of filler, when compared to the average mass loss of samples $\Delta P_{cp}= 2,9 - 1,9 = 1 \%$.

1.3 The effect of the microspheres of the wear resistance of the silicate coating

The goal is to determine the influence of the amount of aluminosilicate microspheres TPP durability of the silicate coating.

Object of the study: aluminosilicate microspheres.

- **Theory**

For the protection of various transport steel structures from corrosive and erosive destruction, the products obtained by the primer due to the use of liquid rubber compounds based on a polymer rubbers are widely used. Polymeric anticorrosion mastics based on the thermoplastic elastomers are more progressive, but have the following disadvantages: high production, environmentally safe. Therefore, the hypothesis on the application of the silicate coating with the additive of ASM – heavy for priming and painting the metal was proposed. In addition to high strength, ASM is heavy and has high hardness up to 7 on the Mohs scale, therefore, the introduction of ASM in the silicate coating should increase the material resistance to abrasive wear.

- **The sequence of the operation**

The tests were carried out according to GOST 20811 – 75:

The essence of the method consists in determining the weight loss of the coatings in grams, as a result of the coating surface abrasion by a moving belt of abrasive paper at a predetermined load on the specimen.

The testing equipment is shown in Figure 4:



Figure 4. Corvette 51 grinding machine

1. To conduct this study with the composition based on the liquid glass composition was prepared, in which hydromagnesite was replaced by carbon black in the same amount (See Table 3).

2. Dry part was mixed in a planetary mill, added to the liquid component in the form of liquid glass with glycerin. After mixing, the resulting mass was divided into two portions; then ASM was introduced - heavy program in one portion. During one day in the composition there was a process of paint silication. The paint was applied to samples in 3 portions without ASM, for the next three 3- with portions containing ACM. After drying, the samples were sent for testing.

3. The samples were studied on six metallic plates of sheet steel according to GOST 16523-89 or GOST 9045-80 and black tin GOST 13345-85 size 70x100 mm of a thickness not exceeding 1 mm. The plates should not be curved.

4. Before the test the correction factor of the sandpaper was determined:

$$K = \frac{0,013}{m_K}, \quad (4)$$

where m_K is the mass loss of the control of the zinc plate, wasting away of abrasive paper, g

5. The samples were mounted on a wooden plate and double-sided tape, the plate on the iron rim was fixed, the plate with a weight of 1 kg was placed, on the machine for 1 minute was kept. After testing each sample, the tape cleaned from paint residues.

6. To determine the mass loss of the samples during the tests the laboratory scales with the greatest limit of weighing of 200 g and a maximum permissible error of $\pm 0,0002$ g were used. A soft brush was used to clean the sanding belt.

7. The strength of the coating to abrasion was determined by the mass loss in grams; it was calculated by the formula:

$$M = K \cdot (m_1 - m_2), \quad (5)$$

where K - correction factor of the sandpaper;

m_1 – weight of specimen before test, g

m_2 – weight of sample after test, g

Table 3 – Results of the tests on the wear resistance, g

№ Sample	Samples without ASM	№ Sample	Samples with ASM
1	0,082	4	0,0174
2	0,079	5	0,0168
3	0,079	6	0,016
ΔC_p	0,081	ΔC_p	0,0167

where ΔC_p - the arithmetic average of the test results

The difference in mass loss of samples is as follows:

$$\frac{\Delta \text{ without ASM}}{\Delta \text{ with ASM}} = 4,8$$

Snapshots of the study on durability of silicate coatings

Table 4. Images of the surface of the samples with silicate coating before and after abrasion without aluminosilicate microspheres:

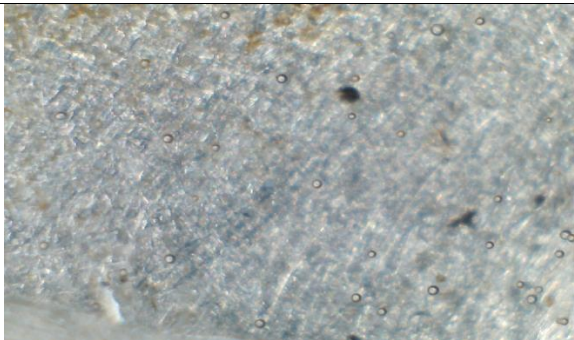
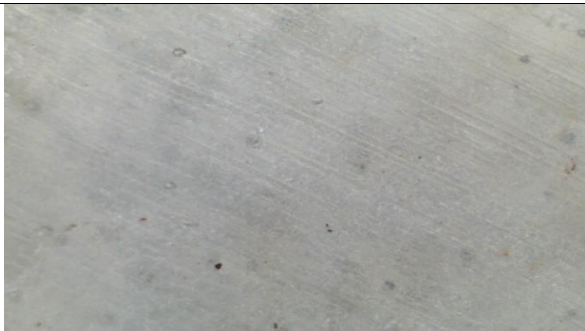
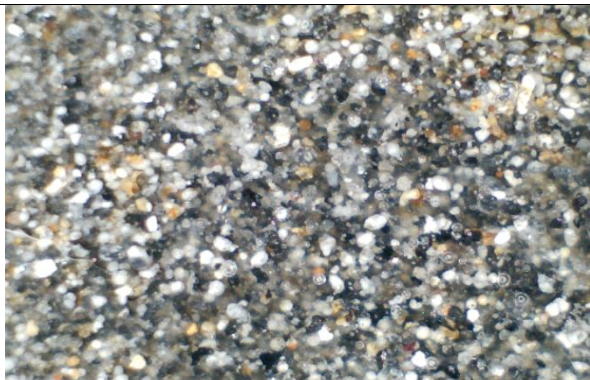
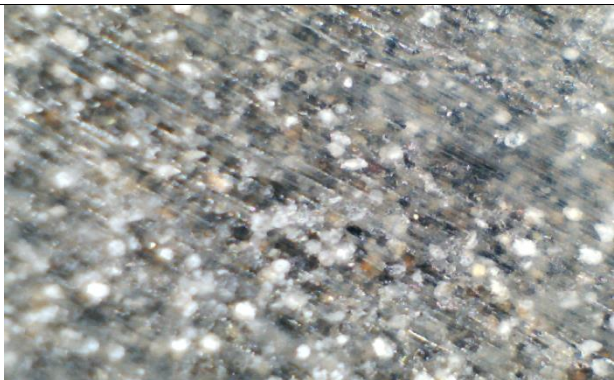
Sample №1	Sample №2
	

Table 5. Images of the surface of the samples with silicate coating before and after abrasion of aluminosilicate microspheres:

Sample №4	Sample №5
	

Conclusion: during the experiment it has been established that the introduction of aluminosilicate microspheres ($\rho=1,2 - 2,2 \text{ g/cm}^3$) in an amount of 20% by weight in the composition of the liquid glass of the composition applied to the metal surface, after testing the abrasion resistance increases the durability of the paint 5 times.

The General conclusion

In the result of the scientific research work on the application of aluminosilicate microspheres in silicate coating for a variety of industries it was determined:

1) Introduction of microspheres in the amount of 20 % silicate coating reduces the coefficient of thermal conductivity 0.1 W/m•K.

2) Ash microspheres do not lower the first class of fire retardant efficiency, but reduce the cost of coverage. It is recommended to apply a silicate coating more cheap components of ash CHP.

3) The introduction of fly ash microspheres in the amount of 20 % by 5 times increases the durability of the silicate coating.

4) It is recommended to use ash microspheres as filler a silicate composition to improve wear resistance.