

Школа ИШНПТ

Направление подготовки 18.04.01 Химическая технология

Отделение школы (НОЦ) НОЦ им Н.М. Кижнера

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Исследование возможности производства железорудных окатышей из железосодержащей фракции золы

УДК 622.788.36:662.613.11

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4ГМ92	Трушина Дарья Сергеевна		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Тихонов В.В.	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу: «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Кашук И.В.	к.т.н.		

По разделу: «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преподаватель	Скачкова Л.А.	-		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Казьмина О.В.	Д.т.н., профессор		

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Школа ИШНПТ

Направление подготовки 18.04.01 Химическая технология

Отделение школы (НОЦ) НОЦ им Н.М. Кижнера

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

_____ Казьмина О.В.

(Подпись) (Дата)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
Доцент	Трушиной Дарье Сергеевне

Тема работы:

**Исследование возможности производства железорудных окатышей из
железосодержащей фракции золы**

Утверждена приказом директора (дата, номер)

№ 29-62/с от 29.01.2021

Срок сдачи студентом выполненной работы:

07.06.2021

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	
	<p>Данные литературного анализа по вопросу переработки золошлаковых материалов и получение железорудных окатышей из магнитной фракции золы.</p> <p>Объект исследований – золошлаковые материалы после сжигания угля кузбасского бассейна на Северской теплоэлектроцентрали, сформировавшиеся в виде залежей.</p> <p>Предмет исследования – переработка золоотвала теплоэлектроцентрали, получение железорудных окатышей из железосодержащей фракции извлеченной из золы Северской ТЭЦ.</p> <p>В экспериментальной части описать использованное оборудование, предоставить методики проведения экспериментов,</p>

	проанализировать полученные результаты, сделать выводы.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	Реферат; Введение; 1. Теоретическая часть; 2. Экспериментальная часть; 3. Конструктивно –механический раздел; 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение. 5. Социальная ответственность; Заключение; Список использованной литературы.
Перечень графического материала	Презентация в MS PowerPoint; Лист 1 – Технологическая схема А1; Лист 2 – Общий вид тарельчатого гранулятора А1; Лист 3 – Общий вид тарельчатого гранулятора А1; Лист 4 – Результаты исследования А2.
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
1. Теоретическая часть. 2. Экспериментальная часть. 3. Конструктивно-механический раздел.	Тихонов Виктор Владимирович
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Кашук Ирина Вадимовна
Социальная ответственность	Скачкова Лариса Александровна
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Введение, теоретическая часть	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	24.02.2020
---	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Тихонов Виктор Владимирович	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4ГМ92	Трушина Дарья Сергеевна		

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ООП

Универсальные компетенции	
УК(У)-1	Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действия
УК(У)-2	Способен управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла
УК(У)-3	Способен организовывать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной цели
УК(У)-4	Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном(ых) языке(ах), для академического и профессионального взаимодействия
УК(У)-5	Способен анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия
УК(У)-6	Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки
Общепрофессиональные компетенции	
ОПК(У)-1	Готовность к коммуникации в устной и письменной формах на русском и иностранном языках для решения задач профессиональной деятельности
ОПК(У)-2	Готовность руководить коллективом в сфере своей профессиональной деятельности, толерантно воспринимая социальные, этнические, конфессиональные и культурные различия
ОПК(У)-3	Способность к профессиональной эксплуатации современного оборудования и приборов в соответствии с направлением и профилем подготовки
ОПК(У)-4	Готовность к использованию методов математического моделирования материалов и технологических процессов, к теоретическому анализу и экспериментальной проверке теоретических гипотез
ОПК(У)-5	Готовность к защите объектов интеллектуальной собственности и коммерциализации прав на объекты интеллектуальной собственности
Профессиональные компетенции	
ПК(У)-1	Способность организовывать самостоятельную и коллективную научно-исследовательскую работу, разрабатывать планы и программы проведения научных исследований и технических разработок, разрабатывать задания для исполнителей
ПК(У)-2	Готовность к поиску, обработке, анализу и систематизации научно-технической информации по теме исследования, выбору методик и средств решения задачи
ПК(У)-3	Способность использовать современные приборы и методики, организовывать проведение экспериментов и испытаний, проводить их обработку и анализировать их результаты
ПК(У)-4	Готовность к решению профессиональных производственных задач - контролю технологического процесса, разработке норм выработки, технологических нормативов на расход материалов, заготовок, топлива и электроэнергии, к выбору оборудования и технологической оснастки
ПК(У)-5	Готовность к совершенствованию технологического процесса - разработке мероприятий по комплексному использованию сырья, по замене дефицитных материалов и изысканию способов утилизации отходов производства, к исследованию причин брака в производстве и разработке предложений по его предупреждению и устранению

ПК(У)-6	Способность к оценке экономической эффективности технологических процессов, оценке инновационно-технологических рисков при внедрении новых технологий
ПК(У)-7	Способность оценивать эффективность новых технологий и внедрять их в производство
Профессиональные компетенции университета	
ДПК(У)-1	Готовность к разработке учебно-методическую документацию для реализации образовательных программ

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

Школа ИШНПТ

Направление подготовки 18.04.01 Химическая технология

Отделение школы (НОЦ) НОЦ им Н.М. Кижнера

Период выполнения (осенний / весенний семестр 2020/2021 учебного года)

Форма представления работы:

Магистерская диссертация

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы:	07.06.2021
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
07.06.2021	Основная часть	75
09.04.2021	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	15
05.04.2021	Социальная ответственность	10

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Тихонов В.В.	к.т.н.		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Казьмина О.В.	д.т.н, профессор		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
4ГМ92	Трушина Дарья Сергеевна

Школа	Инженерная школа новых производственных технологий	Отделение школы (НОЦ)	НОЦ Н.М.Кижнера
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	18.04.01 «Химическая технология»

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Стоимость материальных ресурсов и специального оборудования определены в соответствии с рыночными ценами г. Томска. Тарифные ставки исполнителей определены штатным расписанием НИ ТПУ
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	Норма амортизационных отчислений на специальное оборудование
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Отчисления во внебюджетные фонды 30 %

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого потенциала инженерных решений (ИР)</i>	Расчет конкурентоспособности SWOT-анализ
2. <i>Формирование плана и графика разработки и внедрения ИР</i>	Структура работ. Определение трудоемкости. Разработка графика проведения исследования
3. <i>Составление бюджета инженерного проекта (ИП)</i>	Расчет бюджетной стоимости НИ
4. <i>Оценка ресурсной, финансовой, социальной, бюджетной эффективности ИР и потенциальных рисков</i>	Интегральный финансовый показатель. Интегральный показатель ресурсоэффективности. Интегральный показатель эффективности

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка конкурентоспособности ИР
2. Матрица SWOT
3. Диаграмма Ганта
4. Бюджет ИП
5. Основные показатели эффективности ИП

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	01.02.21
---	----------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Кашук Ирина Вадимовна	к.т.н доцент		08.02.21

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4ГМ92	Трушина Дарья Сергеевна		08.02.21

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
4ГМ92	Трушина Дарья Сергеевна

Школа	Инженерная школа новых производственных технологий	Отделение (НОЦ)	НОЦ Н.М.Кижнера
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	18.04.01 «Химическая технология»

Тема ВКР:

Исследование возможности производства железорудных окатышей из железосодержащей фракции золы	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объект исследования: золошлаковые материалы после сжигания угля кузбасского бассейна на Северной теплоэлектростанции, сформировавшиеся в виде залежей. Область применения: переработка золоотвала теплоэлектростанции, получение железорудных окатышей из железосодержащей фракции извлеченной из золы Северной ТЭЦ,
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<ul style="list-style-type: none"> – РД 34.02.202-95 Рекомендации по рекультивации отработанных золошлакоотвалов тепловых электростанций; – ФЗ "Об охране окружающей среды" от 10.01.2002 N 7-ФЗ; – СанПиН 2.1.6.1032-01 Гигиенические требования к обеспечению качества атмосферного воздуха населенных мест; – "Трудовой кодекс Российской Федерации" от 30.12.2001 N 197-ФЗ
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	Опасные и вредные производственные факторы: <ul style="list-style-type: none"> – Повышенный уровень вибрации; – Повышенный уровень шума; – Отклонение показателей микроклимата в закрытом помещении; – Недостаточная освещенность рабочей зоны; – Электрический ток; – Зрительное напряжение.

<p>3. Экологическая безопасность:</p>	<p>Атмосфера: выбросы загрязняющих веществ в атмосферу при складировании золошлаковых материалов (их пыление). Гидросфера: влияние золоотвала на грунтовые воды. Литосфера: воздействие золоотвала на почву за счет осаждения пыли из атмосферного воздуха.</p>
<p>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</p>	<p>Возможные ЧС: наводнения, ураганы, осыпи, пожар, землетрясения, производственные аварии техногенного характера, антропогенные и социальные ЧС, связаны с общественными событиями. Наиболее типичная ЧС: пожарная и взрывная опасность при работе тарельчатого гранулятора с золошлаковым материалом.</p>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	01.02.21
--	----------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Скачкова Лариса Александровна	-		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4ГМ92	Трушина Дарья Сергеевна		

РЕФЕРАТ

Магистерская работа содержит 196 страниц, 58 рисунков, 32 таблиц, 82 источников литературы, 1 приложение, 3 листа графического материала формата А1, 1 лист графического материала формата А2.

Ключевые слова: ЖЕЛЕЗОРУДНЫЕ ОКАТЫШИ, ТАРЕЛЬЧАТЫЙ ГРАНУЛЯТОР, ЗОЛА, ЗОЛОШЛАКОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ, ОКАТЫВАНИЕ, СВЯЗУЮЩЕЕ.

Объектом исследования являются золошлаковые материалы после сжигания угля кузбасского бассейна на Северской теплоэлектростанции, сформировавшиеся в виде залежей.

Цель работы – доказательство возможности получения окатышей из железосодержащей фракции золы Северской ТЭЦ, и первичный подбор и определение влияния различных связующих на прочность окатышей.

Установлена принципиальная возможность получения железорудных окатышей методом окатывания из извлекаемой железосодержащей фракции золы. Определены физико-химические и физико-механические свойства исходного сырья, извлечённой магнитной фракции и полученных гранул: фракционный состав, химический состав, минералогический состав, прочность на раздавливание в статических условиях. В процессе проводились расчеты отдельных узлов тарельчатого, были рассчитаны и подобраны: подшипниковый узел, вал и муфта, электродвигатель и редуктор.

Степень внедрения: результаты данной выпускной квалификационной работы могут быть использованы в качестве теоретической основы для приготовления железорудных окатышей.

Область применения: изготовление железорудных окатышей для металлургического производства.

Экономическая эффективность/значимость работы: инвестиционный проект считается выгодным, NPV является положительной.

ABSTRACT

The master's work contains 196 pages, 58 figures, 32 tables, 82 literature sources, 1 annex, 3 sheets of graphic material in A1 format, 1 sheet of graphic material in A2 format.

Key words: IRON ORE PELLETS, DISC GRANULATOR, ASH, ASH AND SLAG MATERIALS, PELLETIZING, BINDER.

The object of research is ash and slag materials after the combustion of coal from the Kuzbass basin at the Severskaya combined heat and power plant, formed in the form of deposits.

The purpose of the work is to prove the possibility of obtaining pellets from the iron-containing fraction of the ash of the Severskaya TPP, and the initial selection and determination of the effect of various binders on the strength of the pellets.

The fundamental possibility of obtaining iron ore pellets by the method of rolling from the extracted iron-containing fraction of ash has been established. The physicochemical and physicommechanical properties of the feedstock, the extracted magnetic fraction and the resulting granules were determined: fractional composition, chemical composition, mineralogical composition, crushing strength under static conditions. In the process, calculations of individual poppet assemblies were carried out, the following were calculated and selected: bearing assembly, shaft and coupling, electric motor and gearbox.

Implementation degree: the results of this final qualifying work can be used as a theoretical basis for the preparation of iron ore pellets.

Field of application: production of iron ore pellets for metallurgical production.

Economic efficiency / significance of work: the investment project is considered profitable, NPV is positive.

Оглавление

Введение	15
1. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.....	17
1.1 Происхождение исходного сырья.....	17
1.2 Способ окусковывания железосодержащей фракции	21
1.3 Процесс гранулирования.....	25
1.4 Физико-химические основы процесса гранулирования	28
1.4.1 Коалесценция.....	28
1.4.2 Комкуемость	30
1.4.2 Сдвиговые характеристики	31
1.5 Связующие добавки	35
1.6 Свойства железорудных окатышей	38
1.7 Схема получения окатышей.....	42
2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ.....	47
2.1 Гранулометрический состав	47
2.2 Химический состав золы.....	51
2.3 Рентгеновская дифрактограмма.....	54
2.4 Извлечение железной фракции «мокрым» методом в лабораторных условиях.....	58
2.5 Исследование влияния связующего на процесс гранулирования железной фракции.....	61
2.5.1 Гранулирование железосодержащей фракции с использованием воды.....	63
2.5.2 Гранулирование железосодержащей фракции с использованием торфогеля	65
2.5.2 Гранулирование железосодержащей фракции с использованием метилцеллюлозы.....	67
2.6 Влияние связующих на прочность	69
3. КОНСТРУКТИВНО – МЕХАНИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ.....	75
3.1 Расчёт производительности	77

3.2	Расчёт тарели на прогиб	78
3.3	Расчёт балок на прогиб	82
3.4	Расчёт на сопряжение оболочек	85
3.4.1	Уравнения совместной деформации.....	85
3.4.2	Суммарные напряжения на краю цилиндрической оболочки	86
3.4.3	Суммарные напряжения на краю пластины.....	87
3.5	Подбор двигателя	89
3.6	Расчёт привода.....	91
3.7	Расчёт ременной передачи	93
3.8	Расчёт вала	99
3.9	Расчёт подшипникового узла.....	103
3.9.1	Расчёт на долговечность подшипников.....	103
3.9.2	Конструирование стакана	105
3.10	Расчёт рамы.....	107
3.10.1	Расчёт шарнира	107
3.11	Расчёт шпоночного соединения.....	109
4.	ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ	110
4.1	Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	111
4.1.1.	Анализ конкурентных технических решений	111
4.1.2	SWOT-анализ	112
4.2	Планирование научно-исследовательских работ.....	118
4.2.1.	Структура работ в рамках научного исследования	118
4.2.2	Определение трудоемкости выполнения работ	119
4.2.3.	График проведения работ.....	120
4.3	Бюджет научно-технического исследования	124
4.3.1.	Расчет материальных затрат научно-технического исследования... ..	124
4.3.2	Расчет амортизации специального оборудования	125
4.3.3	Расчет основной заработной платы исполнителей темы.....	126

4.3.4	Дополнительная заработная плата исполнителей темы	129
4.3.5	Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	129
4.3.6	Накладные расходы	130
4.3.7	Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта	131
4.4	Определение ресурсосберегающей, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности проекта	133
5.	СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ	136
5.1	Правовые и организационные основы обеспечения безопасности	137
5.2	Производственная безопасность.....	139
5.2.1.	Повышенный уровень шума	140
5.2.2	Повышенный уровень вибрации.....	141
5.2.3	Отклонение показателей микроклимата в закрытом помещении.....	142
5.2.4	Недостаточная освещенность рабочей зоны	143
5.2.5	Электрический ток.....	148
5.2.6	Зрительное напряжение.....	149
5.3	Экологическая безопасность.....	150
5.4	Безопасность в чрезвычайных ситуациях	152
5.4.1.	Пожарная безопасность.....	152
5.4.2	Безопасность при чрезвычайных антропогенных и природных ситуациях	153
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	155
	Список публикаций.....	158
	Список использованной литературы.....	160
	Приложение А	172

Введение

Металлургия России, обеспечивая производство и научно-техническое развитие практически всех отраслей промышленности, базируется на отечественных сырьевых ресурсах, ориентируясь на зарубежного и российского потребителя [1]. Чёрная металлургия обеспечивает до 10% промышленного производства страны. Текущее состояние металлургического комплекса отражает уровень научно-технического потенциала страны и определяет развитие всех отраслей народного хозяйства [2].

Металлургические предприятия, не испытывавшие в последние десятилетия проблем со снабжением рудным сырьем, пока недооценивают опасность дефицита и также воздерживаются от вложения средств в укрепление своей сырьевой базы.

Объектом исследования являются золошлаковые материалы после сжигания угля кузбасского бассейна на Северской теплоэлектростанции, сформировавшиеся в виде залежей суммарным расчётным объёмом 9,3 млн тонн. Суммарное содержание железа в пересчёте на Fe_2O_3 не превышает 16 % при среднем содержании 10 %. Таким образом, исследованное золоохранилище представляет собой техногенное образование, с суммарными запасами по оксиду железа 0,65 млн тонн. Технологическое опробование показало предварительно извлекаемый объём 0,51 млн тонн. При низком содержании вредных (в металлургии) примесей считаем целесообразным использовать извлекаемую железосодержащую фракцию золы как сырьё в производстве железорудных окатышей.

Окатыши – рудный материал, который получают из пылевидной руды или из мелкоизмельченных концентратов в виде плотных агломератов сферической формы размером от 5 до 18 мм, получаемые путём гранулирования методом окатыwania (окомкования). Благодаря высокой прочности, позволяющей без разрушения транспортировку с перегрузками, пористости и шаровидной формы окатыши являются эффективным сырьем для доменных

печей. Обоженные гранулы отличаются высоким содержанием железа, большой механической прочностью, удовлетворительной восстановимостью, а также однородностью химического и гранулометрического составов [3].

Целью исследования является доказательство возможности получения окатышей из железосодержащей фракции золы Северской теплоэлектроцентрали, и первичный подбор и определение влияние различных связующих на прочность окатышей. Для целей исследования были взяты три варианта связующего: вода, метилцеллюлоза марки «МС-100», торфогель. Воду брали как связующее, не обладающее прочностью для сухих окатышей. Метилцеллюлозу – как заведомо не приводящее к разубоживанию окатышей по железу. Торфогель – как местное сырьё, к тому же с частично восстановительными свойствами для окатышей.

Основными задачами дипломной работы являются:

1. Определить физико-химические свойства исходного материала.
2. Изучить подходы и методики комплексной переработки золошлаковых отходов.
3. Выявить влияние различных связующих на прочность железорудных окатышей.
4. Спроектировать единицу оборудования для получения продукта.

Целесообразность дипломной работы заключается в том, что без подобных исследований исходного материала невозможно проводить подготовку сырья для последующего эффективного протекания процесса.

1 ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

1.1 Происхождение исходного сырья

Одним из возможных источников сырья рассматривается техногенного месторождение золоотвала Северской ТЭЦ.

Техногенные месторождения - это скопления минеральных веществ, образовавшиеся в результате складирования отходов разных производств [4]. Состав и строение определяются геолого-промышленным типом исходного месторождения, способом добычи и технологической схемы переработки минерального сырья, условиями складирования отходов.

Накопление больших объемов техногенных образований приводит к изъятию из хозяйственного оборота земельных площадей, ухудшению экологической обстановки в районе, непроизводительным затратам на их хранение.

Использование техногенных минеральных ресурсов является важной частью государственной политики ресурсосбережения и охраны окружающей среды. Техногенные объекты характеризуются низкими содержаниями полезных компонентов и требуют применения новых прогрессивных технологий.

К основным задачам, стоящим перед технологическими исследованиями при изучении техногенных образований, относятся:

- Установление возможности промышленной переработки материала на рациональной экономической основе;
- Выделение технологических типов и сортов минерального сырья, установление возможности отработки и обогащения сортов;
- Разработка технических решений, обеспечивающих технико-экономические показатели переработки сырья за счет извлечения ценных компонентов.

Проблема использования отходов в качестве вторичного сырья является актуальной и требует разработки решений. Одной из важнейших проблем,

стоящих перед угольной энергетикой России, является накопление шлакозольных отходов (ЗШО) угольных электростанций. Для принятия решения об эффективности использования золоотвалов, необходимо проведение комплекса технологических и физико-механических испытаний.

Во многих странах мира доля угля в производстве электроэнергии значительно больше, чем в России, но, тем не менее, вопросом утилизации золы ТЭЦ уделяется должное внимание, степень ее использования для производства полезной продукции высокая, зависимость представлена на рисунке 1.

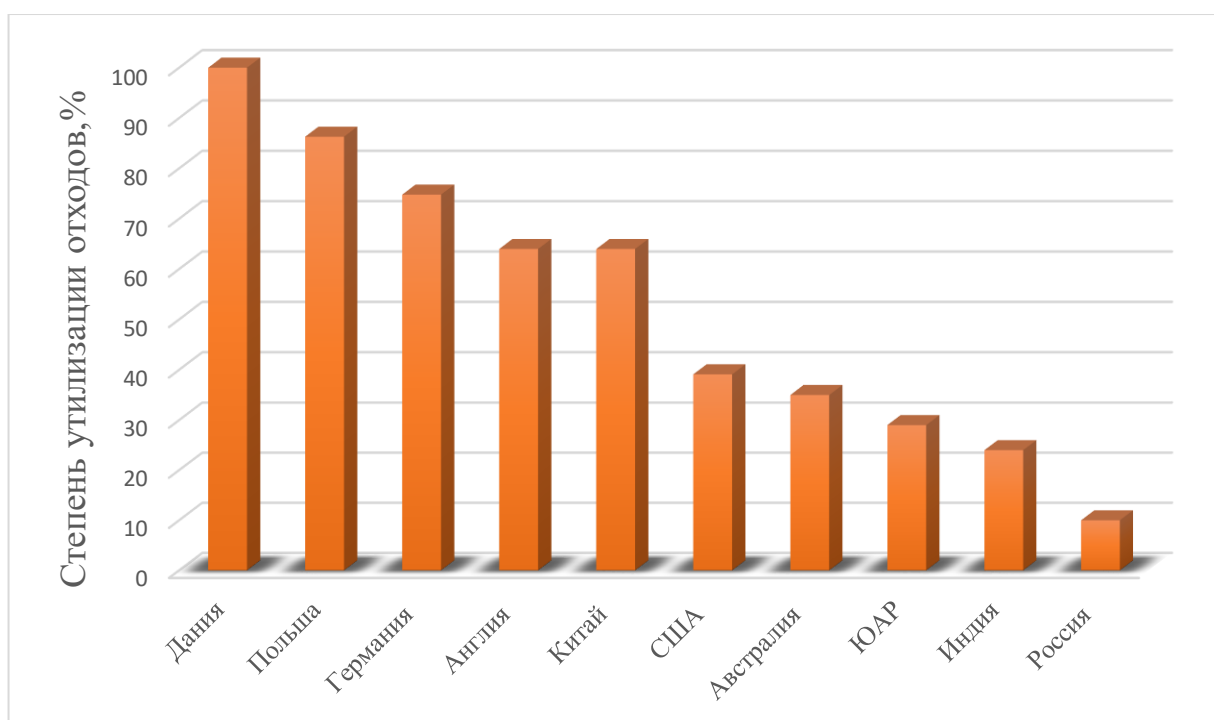


Рисунок 1 - Степень утилизации золошлаковых отходов в разных странах

На территории Томской области действуют 3 электростанций, работающих на твёрдом топливе, при сжигании которого образуются твёрдые минеральные отходы, представленные шлаком и летучей золой.

Электростанция расположена в г. Северске, основной источник теплоснабжения города и Сибирского химического комбината (СХК), крупнейшая по установленной мощности электростанция Томской области. Паротурбинная теплоэлектроцентраль, в качестве топлива использует каменный

уголь (преимущественно) и природный газ. Установленная электрическая мощность станции — 449 МВт, тепловая мощность — 1713,8 Гкал/час. Оборудование станции включает в себя 9 турбоагрегатов: два — мощностью по 12 МВт, три — по 25 МВт, один — 50 МВт и три — 100 МВт. Принадлежит АО «Объединённая теплоэнергетическая компания» [5].

Территориально золоотвалы располагаются в рамках муниципальных образований Томской области и являются источником неблагоприятной экологической обстановки. Эти отвалы постоянно пылят, подвижные формы элементов активно вымываются осадками, загрязняя окружающую среду. По физико-химическому и агрегатному состоянию золоотвалы являются уникальным ресурсом для полезного использования в различных отраслях с получением значительных экологических эффектов. Расположение золоотвала на территории города Северска Томской области приставлено на рисунке 2.



Рисунок 2 - Расположение золоотвала на территории г. Северска

Золоотвал № 2 Северской ТЭЦ расположен в С—З части города, в долине р. Томь. Золоотвал от реки отделен дамбой. Приблизительный размер 1,4x1,2 км.

Состав золошлакового материала определяют количественным соотношением входящих в него минералов. Главные составляющие золошлаковых материалов - это оксиды SiO_2 , Al_2O_3 , FeO , Fe_2O_3 , CaO , MgO . Небольшая доля приходится на сульфаты CaSO_4 , MgSO_4 , FeSO_4 . В меньших количествах присутствуют фосфаты, оксиды щелочных металлов, биогенные и токсичные микроэлементы.

Золы по виду сжигаемого угля подразделяют на [6]:

- Антрацитовые, образующиеся при сжигании антрацита полуантрацита и тощего каменного угля (А);
- Каменноугольные, образующиеся при сжигании каменного, кроме тощего, угля (КУ);
- Буроугольные, образующиеся при сжигании бурого угля (Б).

В зависимости от химического состава золы подразделяют на следующие типы:

- Кислые (К) антрацитовые, каменноугольные и буроугольные, содержащие оксид кальция до 10 %;
- Основные (О) - буроугольные, содержащие оксид кальция более 10% по массе.

В случае использования зол в технологии вяжущих материалов по активности золы они классифицируются на следующие типы [7]:

- Активные золы характеризуются значениями модуля основности (M_o), равным = 0,5 - 2, модуля кислотности (K_k), равным 1 - 3,6; содержанием общего оксида кальция $\text{CaO}_{\text{общ}}$ - 20-60%, свободного оксида кальция $\text{CaO}_{\text{своб.}}$ - до 30%.
- Скрытоактивные золы характеризуются значениями $M_o = 0,1 - 0,5$; $\text{CaO}_{\text{общ}}$ — 5-20 %; $\text{CaO}_{\text{своб.}}$ — до 0-2%; $K_k = 0,5 - 1,5$.
- Инертные золы - M_o менее 0,1; $\text{CaO}_{\text{общ}}$ - 0,5 - 5%; $\text{CaO}_{\text{своб.}}$ - до 0- 1%; $K_k = 0,4 - 0,9$.

1.2 Способ окусковывания железосодержащей фракции

Существуют три способа окусковывания мелких руд и концентратов: брикетирование, агломерация и окатывание.

К первой группе относятся способы получения брикетов с добавкой и без добавки связующих веществ, с последующим прессованием смеси в брикеты правильной, геометрической формы.

Ко второй группе относятся способы, основанные на нагреве руды до температуры плавления с последующей кристаллизацией из расплава и образованием новых минералов.

К третьей группе относятся способы, основанные на свойстве увлажненных тонкоизмельченных частиц руды слипаться в комочки большей или меньшей прочности, которым окатыванием придается необходимый размер [8].

Брикетирования (окатывания) смесей осуществляется следующим образом:

- Без добавки связующих веществ;
- С добавкой связующих веществ органического происхождения;
- С добавкой неорганических связующих.

Применение без добавки связующих возможно к рудам с прочной связностью частиц при увлажнении за счет содержащихся в них глинистых примазок, выполняющих роль связующего. Связность, при отсутствии глинистых составляющих, достигается иногда за счет тонкодисперсных частиц руды, обладающих свойствами коллоидов. В зависимости от степени пластичности увлажненной руды давление прессования колеблется в пределах 75—200 кг/см² и выше.

Основные недостатки сводятся к следующему:

- Брикеты (гранулы) не пригодны к использованию непосредственно после формирования, они нуждаются в длительной сушке и обжиге;

- Режим сушки и обжига требует сооружения громоздких и дорогих печей для обеспечения постепенного нагрева;
- Значителен расход топлива на сушку и обжиг брикетов (гранул), он составляет 4—8% от веса брикетов (гранул), т. е. равен расходу топлива при агломерации руд.

Гранулирование с добавкой связующих органического происхождения. Высокая стоимость и дефицитность продуктов не могли содействовать распространению процесса. По принципу действия связующих веществ способы этой группы можно разделить на шесть подгрупп:

А) Способы, основанные на цементирующем свойстве некоторых силикатов. Наиболее употребительными силикатами являются жидкое стекло, доменные шлаки, портландский цемент и др. Концентрация раствора жидкого стекла берется в зависимости от требующейся влажности смеси, расход стекла, считая на твердое, свыше 5%. После прессования брикеты сушатся и подвергаются обжигу при температуре 400—500°, благодаря чему приобретают хорошую прочность и водоустойчивость.

Б) Способы, основанные на получении цементирующего силиката. Для получения цементирующих силикатов типа $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ по схеме $\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{SiO}_2 + n\text{H}_2\text{O}$ употребляется тонкоизмельченный кварцевый песок и известь в количестве до 8—10%. Для ускорения образования силиката брикеты подвергаются обработке паром под давлением до 10 атм и после такой обработки приобретают хорошую механическую и термическую устойчивость.

В промышленной практике известен способ Шумахера, не получивший, однако, распространения в черной металлургии вследствие своей сложности и дороговизны. По этому способу к руде добавляется 1—3% кварцевого песка и 3—5% гашеной извести. Смесь тщательно перемешивается, увлажняется и прессуется в брикеты, которые на специальных платформах поступают в автоклавы, где подвергаются воздействию перегретого пара под давлением 8—10 атм.

В) Способы, основанные на образовании карбонатов. По способу Вейса руда увлажняется известковым молоком и формуется в брикеты, которые подвергаются двухстадийной обработке CO_2 под давлением.

Образование карбоната протекает по схеме:



Брикеты (гранулы) после обработки получаются прочными, но при нагревании растрескиваются с образованием мелочи вследствие протекания обратной реакции разложения полученных карбонатов.

Г) Способ, основанный на связующей силе гелей кремнекислоты. Этот способ предложен инженером Фоняковым. Гели выпадают из раствора жидкого стекла при обработке раствором хлористого кальция. Высокая прочность брикетов удовлетворяет предъявляемым требованиям.

Д) Способ гранулирования с железным цементом. Способ гранулирования с железным цементом (предложен инженером Ярхо) основан на цементирующем свойстве гидратов окиси железа, образующихся в процессе обработки и прессования руды за счет окисления измельченной чугунной стружки, добавляемой к брикетируемой руде в количестве 5—10%. Для ускорения окисления руда увлажняется раствором поваренной соли из расчета 0,5—1% соли к весу руды. Концентрация раствора соля берется в зависимости от исходной влажности руды. Она будет тем ниже, чем выше оптимальная влажность брикетирования руды.

При выплавке ответственных сортов металла из брикетов (гранул), полученных по способу Ярхо, необходимо следить за чистотой чугунной стружки в отношении содержания в ней вредных примесей. Для предохранения брикетов (гранул) от загрязнения вредными примесями чугунную стружку можно заменить губчатым железом, полученным путем прямого восстановления небольшой части гранулируемого сырья. При этом совершенно не обязательно восстанавливать до металла все содержащееся в руде железо, так как для этого требуется сложная и дорогая аппаратура. Можно ограничиться восстановлением 50—60% содержащихся железных окислов, что технически осуществляется

гораздо проще. Правда, расход восстановленной руды в этом случае будет несколько большим, так как в брикет (гранулу) нужно ввести 5—6% металлического железа. Замена чугунной стружки губчатым железом хотя несколько и усложняет способ Ярхо, но зато открывает возможность получения рудных брикетов высокой чистоты, пригодных для выплавки особо ответственных сортов металла.

Из краткого обзора способов брикетирования (окатывания) с применением неорганических связующих видно, что основным недостатком является сложность обработки. Наиболее перспективным из способов этой группы, но все же очень дорогим, является способ Ярхо.

Наиболее простыми и дешевыми являются способы брикетирования (окатывания) без добавки связующих веществ. Однако ограниченная область применения этих способов и, главное, необходимость длительной сушки и обжига брикетов, для чего при больших масштабах производства требуется сооружение громоздких складов и дорогих, но малопродуктивных печей, не могли содействовать их развитию.

1.3 Процесс гранулирования

Гранулирование - формирование твердых частиц определенных размеров и формы с заданными свойствами. Размер гранул зависит от вида материала, способа его дальнейшей переработки или применения [9].

Виды грануляции:

- Влажная грануляция – осуществляется продавливанием влажных масс с последующим распылительным или контактным высушиванием;
- Сухая грануляция – размол до определенной величины с предварительным уплотнением;
- Структурная грануляция (грануляция в псевдооживленном слое).

Эффективность процесса гранулирования зависит от механизма гранулообразования, который определяется способом гранулирования и его аппаратным оформлением. Методы гранулирования можно классифицировать следующим образом [10]:

- Окатывание (формирование гранул, достигаемое агломерацией или наслаиванием частиц);
- Диспергирование жидкости в свободный объем или нейтральную среду (образование и кристаллизация капель жидкости при охлаждении);
- Прессование сухих порошков с получением брикетов и т. п., с последующим их дроблением на гранулы требуемого размера;
- Диспергирование жидкости на поверхность частиц во взвешенном состоянии;
- Чешуирование (охлаждение жидкости на инородной поверхности);
- Формование или экструзия (продавливание пастообразной массы через отверстия).

Гранулирование методом окатывания состоит в предварительном образовании агломератов из равномерно смоченных частиц или в наслаивании сухих частиц на смоченные ядра — центры гранулообразования. Этот процесс

обусловлен действием капиллярно-абсорбционных сил сцепления между частицами и последующий уплотнением структуры, вызванным силами взаимодействия между частицами в плотном динамическом слое.

Гранулятор (окомкователь) — устройство для грануляции тонкоизмельченных материалов, способствующее увеличению производительности агломерационных машин, или производства сырых окатышей.

Грануляторы можно классифицировать по устройству и принципу действия на следующие типы [11]:

- Барабанные;
- Тарельчатые;
- Конусные;
- Многоконусные
- Ленточные;
- Вибрационные.

Принцип действия барабанного и тарельчатого грануляторов основан на вращении барабана, установленного горизонтально или под углом $1-3^\circ$, и тарели, размещенной под углом $45-55^\circ$, внутри которых перемещается слой материала, барабанные и тарельчатый грануляторы представлены на рисунках 4 и 5. Степень заполнения им аппаратов может изменяться от 10 до 15%. Окатывание в барабанном грануляторе происходит на боковой цилиндрической поверхности, в тарельчатом - на поверхности днища тарели [12].

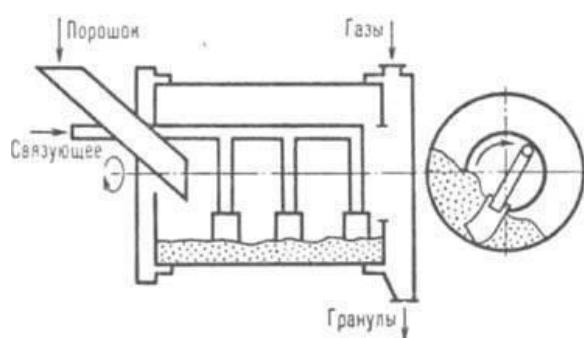


Рисунок 3 - Барабанный гранулятор

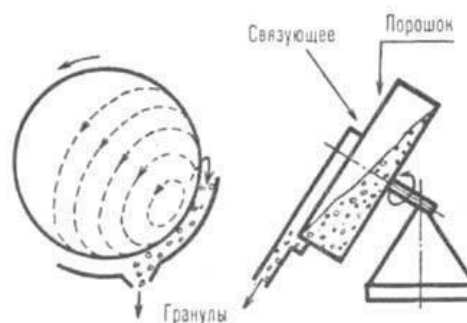


Рисунок 4 - Тарельчатый гранулятор

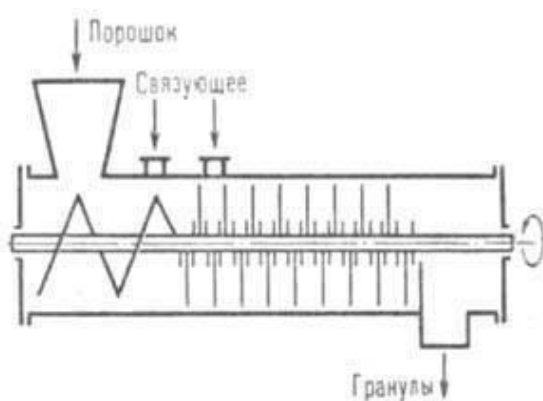


Рисунок 5 - Скоростной гранулятор

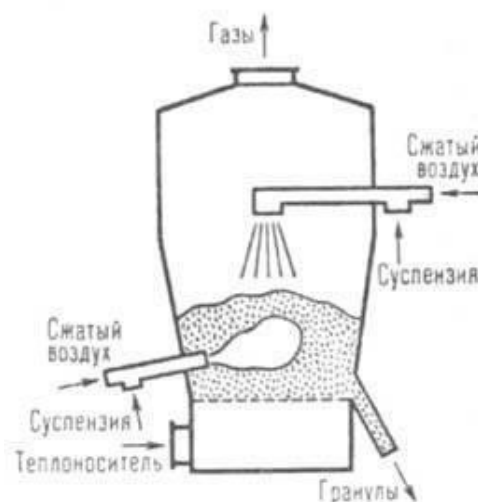


Рисунок 6 - Гранулятор с псевдоожиженным слоем

Для интенсификации окатывания применяют скоростные и вибрационные грануляторы, в которых получают более плотные и однородные по размерам гранулы. В скоростном грануляторе слой материала сильно перемешивается посредством и вала с насаженными на него штырями, который представлен на рисунке 5. Барабанные окомкователи для окатышей устанавливают в замкнутом цикле с грохотом и подрешетный продукт направляют обратно в барабан в рециркуляцию, что ускоряет образование окатышей [12].

Тарельчатые окомкователи применяют для окомкования однокомпонентных шихт с постоянными физико-химическими и минералогическими свойствами. В этом случае тарельчатые окомкователи могут давать классифицируемые по крупности окатыши, что позволяет вести технологический процесс без циркуляционной нагрузки и грохочения.

1.4 Физико-химические основы процесса гранулирования

1.4.1 Коалесценция

Коалесценция — слияние частиц внутри подвижной среды или на поверхности тела. Коалесценция сопровождается укрупнением капель и обусловлена действием сил межмолекулярного притяжения [13].

Скорость роста гранул зависит от объемного влагосодержания, размера частиц и гранулометрического состава материала, от числа оборотов и нагрузки тарели. При избытке влаги и наличии большого количества тонкодисперсного материала преобладает коалесценция.

Уравнение кинетики роста гранул в тарельчатом грануляторе в общем виде дал В.Г.Евдокимов [13]:

$$r = r_0 + \frac{\alpha \tau}{\rho} \quad (1.2)$$

где r и r_0 - радиусы гранул, конечный и начальный;

τ - время скатывания;

ρ - плотность гранул;

α - коэффициент скорости роста.

Исследуя зависимость скорости роста гранул от количества жидкого связующего, З.Н.Рахлин получил уравнение вида [13]:

$$d = d_0 e^{m(W-W_0)} \quad (1.3)$$

где d - средний размер гранул на выходе из гранулятора;

d_0 - средний размер исходных гранул;

W_0 - минимальное количество связующего;

W - фактическое количество связующего;

m - коэффициент, характеризующий чувствительность комкуемого материала к изменению содержания связующего.

Система обладает избыточной свободной энергии за счёт высокоразвитой поверхности. Способность дисперсных материалов к смачиванию проявляется при стремлении системы к уменьшению свободной энергии. Наибольшей поверхностной активностью в комкуемых материалах обладают тонкие полукolloидные и коллоидные фракции.

Формирование и рост гранул определяется механизмом и условиями протекания процесса гранулирования, т.е. характером распыления и свойствами связующего вещества (вязкость, плотность, поверхностное натяжение), условиями перемешивания в аппарате, фракционным (дисперсным) и химическим составами порошка и т.д. В результате перемещения гранул происходит их уплотнение под действием внешних деформирующих напряжений, следствием чего являются уменьшение размера и пористости гранул и увеличение их плотности. В результате уплотнения гранулы или при объемном течении мелкодисперсная составляющая твердой порошковой фазы пористой среды затекает в поры, сжимая поровую жидкость и вытесняя ее по непрерывной и незамкнутой системе поровых каналов [14].

1.4.2 Комкуемость

Комкуемость определяется как склонность дисперсного материала к мокрому гранулированию методом окатывания. Определение оптимального содержания влаги в окатышах начинается с окомкования увлажненного концентрата, способного на грануляторе образовывать комки.

Большое влияние на окомкование, оказывает влажность шихты. Различные материалы отличаются различной способностью к окомкованию, оцениваемой показателем комкуемости [15]:

$$K = \frac{W_{\text{ммВ}}}{W_{\text{мкВ}} - W_{\text{ммВ}}} \quad (1.4)$$

где $W_{\text{ммВ}}$ - максимальная молекулярная влагоемкость материала;

$W_{\text{мкВ}}$ - максимальная капиллярная влагоемкость, соответствующая капиллярному насыщению материала.

В.И. Коротич, предложил следующее расчетное уравнение прочности гранул [14]:

$$\sigma_z = K S_0 \gamma \frac{1-\varepsilon}{\varepsilon} \quad (1.5)$$

где σ_z - прочность гранулы;

K - коэффициент пропорциональности;

S_0 - удельная поверхность материала;

γ - удельный вес материала;

ε - пористость гранулы.

Процесс окомкования в основном зависит от взаимодействия твердых и жидких фаз, осуществляемого в результате накатывания шихты на локально переувлажненные её частицы – зародыши при грануляции под действием молекулярных и капиллярных сил.

На практике в производственных масштабах для планирования алгоритма процесса грануляции не рассчитывают показатель комкуемости, а пользуются параметром оптимальной влажности. Это происходит из-за недостаточной точности определения и отсутствия строгого научного обоснования.

1.4.3 Сдвиговые характеристики

Одна из важных характеристик сыпучих материалов — их трение, которое может быть, как внутренним (внутри минерального сырья), так и внешним (об ограждающие поверхности).

Трение в сыпучем сырье — явление, зависящее от факторов: истинной и насыпной плотности, минерального и гранулометрического состава, структуры и текстуры, замеров и формы зерен, внешних нагрузок, влажности, внутренних сил сцепления. Величину внутреннего трения выражают через угол внутреннего трения и сцепления [10]:

$$\tau = \sigma \cdot \operatorname{tg} \varphi + c \quad (1.6)$$

где τ — сопротивление сдвигу, Н/мм²;

σ — нормальное давление, МПа;

φ - коэффициент внутреннего трения, доли ед.;

c — сцепление, Н/мм².

Сцепление обуславливает такие явления, как сводообразование и зависание сырья в бункерах и силосах, образование вертикальной стенки и др., и характеризует слеживаемость сырья. С преодолением сил сцепления связано не только движение сырья при разгрузке емкостей, но и сопротивление при зачерпывании его перегрузочными машинами.

Пробы для определения сдвиговых характеристик отбирают от материала с крупностью зерен в пробе не более 3 мм. Если проба содержит и более крупные куски, то ее просеивают на сите с ячейкой 3 мм и для анализа отбирают подрешетный продукт (~3 мм), определив его массовую долю в пробе, необходимую для дальнейших расчетов.

Принимая во внимание конкретную массовую долю мелкой фракции в пробе материала, массу пробы рассчитывают таким образом, чтобы из нее можно было получить необходимую долю мелкой фракции для испытаний. Влажность пробы не должна изменяться на протяжении всего времени проведения испытаний.

Сдвиговые характеристики сырья необходимы для определения геометрических параметров силосов и бункеров по условию надежного истечения сыпучего материала (размеры выпускного отверстия, углы наклона его стенок и др.).

Испытание каждой отобранной навески на сдвиг состоит из трех стадий. На I и II стадиях производят подготовку навески к испытанию и ее уплотнение, а на III стадии — собственно сдвиг.

Проверяют горизонтальность установки прибора. Нижнюю неподвижную часть прибора со срезной обоймой устанавливают в рабочее положение и закрепляют винтом. Смазывают вазелином верхний торец нижней обоймы и устанавливают верхнюю подвижную обойму. Затем вставляют пористый вкладыш, на который укладывают бумажный фильтр, засыпают пробу, тщательно ее разравнивают и покрывают сверх бумажного фильтра и пористым вкладышем.

Устанавливают и закрепляют винтами верхнюю часть прибора. Прикладывают вертикальную нагрузку и выдерживают до прекращения усадки, которую фиксируют по индикатору вертикального смещения.

Затем устанавливают индикатор, фиксирующий горизонтальное смещение верхней подвижной обоймы. С помощью установочных винтов устанавливают зазор (1 — 1,2 мм) между подвижной и неподвижной обоймами и прикладывают горизонтальную сдвиговую нагрузку поэтапно в несколько ступеней. Каждая последующая нагрузка в 2 раза меньше предыдущей. Нагрузка среза должна не превышать 2—3% вертикальной нагрузки. После сдвига отбирают пробу на влажность.

Определение сопротивления сдвигу проводят для нормальных заданных нагрузок 0,1; 0,2; 0,3 и 0,4 Н/мм².

По результатам эксперимента рассчитывают сдвиговые характеристики — коэффициенты внутреннего трения и сцепления. Предельное напряжение сыпучего материала на поверхности свода (ордината функции истечения):

$$Z_c = 2c \cdot (\operatorname{tg} \varphi + \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \varphi}) \quad (1.7)$$

$$Z_1 = \frac{c + \sigma \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \varphi}}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \varphi} - \operatorname{tg} \varphi} - \frac{\sqrt{(c + \sigma \cdot \operatorname{tg} \varphi)^2 - \tau^2}}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \varphi} - \operatorname{tg} \varphi} \quad (1.8)$$

Главное уплотняющее давление (абсцисса функции истечения):

$$\sin \delta = \frac{Z_1 \cdot \operatorname{tg} \varphi + c}{Z_1 \cdot \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \varphi} - c} \quad (1.9)$$

где φ – угол внутреннего трения;

c – удельное сцепление.

Определение угла внешнего трения выполняют таким же образом, как и при определении внутреннего трения.

Коэффициент и угол трения связаны между собой:

$$K_{TP} = \operatorname{tg} \varphi \quad (1.10)$$

где K_{TP} – коэффициент трения;

φ – угол трения.

Погрешность между двумя параллельными определениями сдвиговых характеристик не должна превышать 5%.

Под углом естественного откоса сыпучего минерального сырья подразумевают наибольший угол, образованный свободной поверхностью сыпучего материала с горизонтальной плоскостью при насыпании сырья без толчков и динамических воздействий.

Угол естественного откоса относят к свойству минерального сырья, с которым связано условие предельного равновесия частиц на поверхности сыпучего материала. Он зависит от минерального и гранулометрического состава, степени влажности, формы и характера поверхности частиц и может изменяться от нескольких до 45°.

Угол естественного откоса определяют для сыпучего минерального сырья в воздушно-сухом состоянии или при заданной влажности. Степень влажности в тонкодисперсном сырье может изменять угол естественного откоса в больших

пределах, в то время как в кусковом сырье этого не наблюдается.

Угол естественного откоса всегда отличается от угла внутреннего трения даже для хорошо сыпучего минерального сырья. Для плохо сыпучего и связного сырья угол естественного откоса всегда больше угла внутреннего трения и зависит от способа формирования откоса.

Для испытаний применяют цилиндр без дна, изготовленный из металлического листа, не подвергающегося коррозии, с двумя ручками в верхней части. Диаметр цилиндра в зависимости от максимальной крупности материала 3; 25; 50 мм составляет соответственно 0,1; 0,5; 1 м; высота — 0,15; 1; 1,5 м. Необходимы также совочек и бюксы для отбора проб на влажность; весы технические с погрешностью взвешивания 0,001 г; угломер с погрешностью измерения 0,5°; совок или лопатка для заполнения цилиндра пробой. На горизонтальную поверхность устанавливают цилиндр и с помощью совка или лопаты заполняют его ранее отобранной пробой. Цилиндр медленно поднимают до полного высыпания пробы. Угломером измеряют угол θ естественного откоса сырья:

$$\operatorname{tg} \theta = 2H / D \quad (1.11)$$

где H — высота образовавшегося конуса, м;

D — его диаметр, м.

Угол естественного откоса сырья используют для количественной оценки коэффициента сыпучести [10]:

$$K = (1 - \sin \varphi) / (1 + \sin \varphi) \quad (1.12)$$

где φ — угол естественного откоса материала

1.5 Связующие добавки

Для улучшения процесса окатывания и повышения прочности вводят различные связующие добавки. В современной практике используют разные связующие: бентонит, буру, известняк, известь, доломит, $\text{Ca}(\text{OH})_2$, CaCl_2 , MgCl_2 , Na_2CO_3 , различные каучуки, резину гуар [16].

В черной металлургии в большинстве случаев в качестве связующего используют бентонит. Бентонит — природный глинистый минерал, гидроалюмосиликат, обладает свойством разбухать при гидратации. В ограниченном пространстве при свободном разбухании в присутствии воды образуется плотный гель, препятствующий дальнейшему проникновению влаги [17].

При взаимодействии с водой бентонитовая глина увеличивается в объеме и становится клейкой. Это свойство позволяет эффективно использовать ее в качестве связующего для производства окатышей из железорудного концентрата. Бентонит создает прочные межзерновые контакты, способствующие уменьшению образования трещин под воздействием высоких температур, придавая окатышам прочность.

При проведении экспериментов на с влияние связующего, на примере бентонита, была определена зависимость на прочность. Как видно из таблицы 2, прочность на раздавливание обожженных окатышей, изготовленных из чистого концентрата, является максимальной, в то же время прочность сырых — наименьшая. С увеличением количества добавляемого бентонита в шихту прочность обожженных окатышей снижается [18]. Зависимость добавки бентонита на прочность окатышей представлена в таблице 1.

Таблица 1– Зависимость добавки бентонита на прочность окатышей

№ п/п.	Добавка бентонита, %	Содержание влаги, %	Прочность на раздавливание окатышей, обожжённых при 1200 °С
1	0	6,90 - 7,10	300
2	0,5	7,20 – 7,36	240
3	1	7,80 – 7,90	200
4	1,5	8,05 – 8,28	200
5	2	8,77	200
6	2,5	9,27	180
7	3	9,56 – 9,6	160
8	5	9,9 – 10,25	140

Оптимальное количество связующего может быть установлено лишь при обязательном учете количества свободной воды в комкуемой шихте, степени набухаемости. Например, бентонит вводят в шихту окатыwania в виде водной суспензии при т: ж = 1:5 или 1:10. Добавка 0,25% бентонита к железной руде повышает сопротивление раздавливанию сырых, сухих и обожженных окатышей [19].

При окатыwании железных руд успешно применяют и другие добавки, например, окись кальция, хлористый кальций, хлористый натрий. Добавка хлористых солей, не влияя на прочность сырых окатышей, повышает сопротивление подсушенных окатышей раздавливанию и растрескиванию при быстром нагреве, а также улучшает их восстановимость.

Присутствие в шихтовых материалах оксидов кальция и магния повышает их восстановимость и прочность при восстановительно-тепловой обработке, уменьшает разрушение при низких и склонность к слипанию при высоких температурах. Требования к основности различаются в зависимости от свойств исходных железорудных материалов и типа последующего технологического процесса восстановления. Для доменных печей желательная основность окатышей выше 1,0. Выявлена тесная связь между основностью и

массовой долей FeO вследствие того, что SiO₂ стабилизирует двухвалентное железо, поскольку образует соединения с FeO.

Добавление в шихту CaO повышает горячую и холодную прочность окатышей. Влияние степени офлюсования на прочность носит экстремальный характер, который зависит от содержания кремнезема.

По мере увеличения доли MgO восстановимость окатышей уменьшается. Наибольшей восстановимостью обладают окатыши основностью 1,2, офлюсованные обычным известняком. Наилучшими металлургическими свойствами обладают окатыши, содержащие 3–5 % MgO, в которых в качестве флюса использован доломит [20].

1.6 Свойства железорудных окатышей

Окатыши – рудный материал, который получают из пылевидной руды или из мелкоизмельченных концентратов в виде сферических частиц размером от 0,5 – 1,8 см. Являются продуктом обогащения железосодержащих руд и последующего окомкования и обжига.

Железорудные окатыши в сравнении с агломератом имеют ряд преимуществ [21]:

- Характеризуются высоким содержанием железа, хорошо транспортабельны;
- Окатыши подлежат длительному хранению на складах, в то время как агломерат при хранении рассыпается;
- При использовании богатых железорудных окатышей в доменном переделе сокращается их расход и выход шлака;
- Окатыши обладают высокой восстановимостью, которая обусловлена большой пористостью. Это обеспечивает повышение степени использования газа в печи и снижение энергоемкости плавки.

Для получения сырых окатышей используют тарельчатые, барабанные или чашевидные окомкователи и упрочнение их с помощью обжига либо безобжигового способами. Используя различные добавки можно получить [22]:

- Железорудные окатыши;
- Железомарганцевые;
- Железоникелевые;
- Рудоугольные;
- Доломитизированные;
- Магнезиальные.

Качество окатышей выражают такими показателями, которые отражают их свойства и функциональные признаки: химико-минеральный состав, механические свойства, физико-химические свойства и стабильность

качественных параметров. По химико-минеральному составу окатыши подразделяют по степени и виду офлюсования на следующие типы [23]:

- Неофлюсованные (1-3 % SiO_2);
- Офлюсованные обычные ($\text{CaO}/\text{SiO}_2 = 0,4-0,8$);
- Офлюсованные магнезиальные ($\text{MgO}/\text{SiO}_2 = 0,4-0,8$).

Чёткой границы между офлюсованными и неофлюсованными окатышами нет. Условно можно считать офлюсованными окатыши с модулем основности CaO/SiO_2 более 0,5. Отсутствие чётко обозначенных границ между разными типами окатышей является результатом того, что окатыши с точки зрения химического состава являются однородными видами окомкованного металлургического сырья и могут взаимозаменяться в доменном переделе [23].

Параметрами качества, выражающих механические свойства окатышей являются: крупность, прочность на разрушаемость и истираемость, содержание лимитируемого класса <5 мм и пористость.

В группу физико-химических свойств входят следующие признаки:

- Восстановимость;
- Прочность при восстановлении;
- Газодинамические свойства расплава;
- Размягчаемость;
- Набухаемость.

Стабильность качественных параметров оценивают по их колебамости, которую регламентируют указанием двух величин: пределами и количество проб, укладываемых в обозначенные пределы.

Безобжиговые окатыши— это материал, упрочненный без применения высокотемпературного обжига. Для этого применяют такие связки как [22]:

- Портландцемент;
- Клей;
- Na_2SiO_3 ;
- Органические соединения.

Химико-каталитические способы упрочнения:

- Карбонизация извести при 100–105 °С;
- Затвердевание хлорида магния и т.д.;
- 2-ух или 5-ти часовая гидротепловая обработка при $T=180–220$ °С и

давлении от 1 до 1,5 МПа.

Сырые окатыши — шарообразные частицы различных размеров, предназначенные для упрочняющего обжига. Сырые окатыши производят из шихты (главный компонент — мелкоизмельченный концентрат от 74 до 90 % гранул которого имеют диаметры до семидесяти четырех микрометров). В качестве соединения используется вода, в качестве связующих примесей — 0,5–1 % глина, бентонит, а иногда и органические соединения (поливиниловый спирт, и др.), известковое молоко, соду и др. Для приобретения офлюсованных сырых концентратов в шихту внедряют флюс и добавочные примеси — сварочный шлак, кокс, уголь, мелочь и др. [22].

Качество производимых в настоящее время окатышей иногда не удовлетворяет требованиям доменной плавки. Недостаточно изучены причины и механизмы разупрочнения окатышей при восстановлении в условиях, приближенных к доменной плавке.

Повышение температуры и продолжительности термообработки нижних горизонтов слоя позволяет получать более однородные по химическому составу и металлургическим свойствам окатыши. Это достигается путем интенсификации прогрева слоя при повышении температурно-фильтрационного режима, либо использования твердого топлива.

Снижение разрушаемости обожженных окатышей при последующем переделе достигается при помощи применения различных добавок в шихту и режима термообработки для получения необходимого фазового состава, способного при высокой степени восстановления сохранять прочность окатышей.

Окислительный обжиг является одним из важнейших технологических этапов производства окатышей пиromеталлургическим способом. В

отечественном производстве окатышей используются концентраты, получаемые обогащением магнетитовых руд, что обусловлено достаточной простотой и относительно небольшими затратами на обогащение методом магнитной сепарации.

По требованиям доменщиков производимые окатыши в стране являются преимущественно офлюсованными, что усложняет их производство, снижает содержание железа и увеличивает расход энергоносителей.

Проведенные исследования доменных плавков позволили сформулировать основные требования:

- По химическим свойствам: максимальное содержание железа; высокая основность, способствующая снижению сырьевого известняка из состава шихты; стабильность химического состава.
- По физическим свойствам: высокая прочность на сжатие, низкая дробимость и истираемость в холодном состоянии и минимальное ухудшение этих показателей в процессе восстановления, высокая пористость.
- По металлургическим свойствам: высокая восстановимость, высокая температура начала размягчения и малый температурный интервал размягчения.

1.7 Схема получения окатышей

Схема получение железорудных окатышей представлена на рисунке 7.

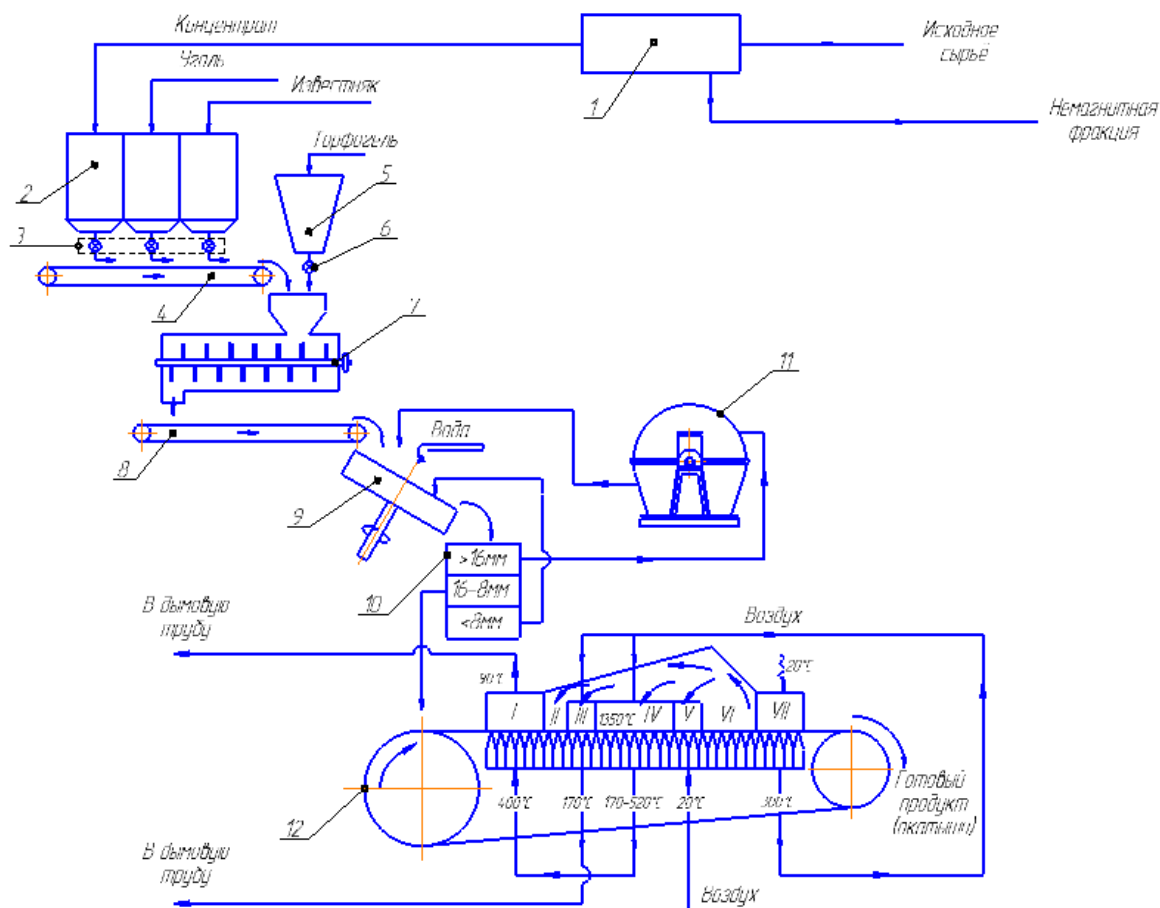


Рисунок 7 – Схема получения окатышей

- 1 - Магнитный сепаратор; 2 - Шихтовый бункер; 3 - Шихтовые дозаторы; 4 - Дозирующий конвейер; 5 - Бункер для связующего; 6 - Дозатор для связующего; 7 - Лопастной смеситель; 8 - Транспортный конвейер; 9 - Тарельчатый гранулятор; 10 - Грохот; 11 - Дезинтегратор; 12 - Конвейерная машина для обжига

Исходное сырьё поступает в магнитный сепаратор 1, где происходит извлечения магнитного концентрата. Концентрат поступает в один из шихтовых бункеров. Из шихтовых бункеров 2 на конвейере 4 при помощи дозатора 3 подаётся концентрат и измельченный до частиц крупностью 0–0,3 мм известняк.

Из бункера 5 подаётся связующее. Затем шихту и связующее смешивают в лопастном смесителе 7, смесь поступает на конвейер 8, которую потом подают на гранулятор 9. Он представляет собой круглый диск (тарель) с бортами, расположенный наклонно. При вращении тарели на её поверхности происходит накатывание окатышей. Образовавшиеся на грануляторе окатыши направляются в грохот 10, где происходит разделение и сортировка. Гранулы необходимого размера (16-8 мм) направляются в устройство для обжига 12. Гранулы размера меньше 8 мм возвращаются в гранулятор 9, а гранула размера более 18 мм поступаю в дезинтегратор 11, где измельчаются и возвращаются также в гранулятор. Дезинтегратор 11 состоит из двух вращающихся в противоположные стороны роторов, которые насажены на отдельные валы и заключены в кожух.

Для окомкования используют барабанные или тарельчатые грануляторы. Барабанный гранулятор аналогичен окомкователю агломерационной шихты. Тарельчатый гранулятор - плоская чаша 2 диаметром от 1 до 5,5 м с бортами, расположенную под углом к горизонтали [24]. Разновидность тарельчатого гранулятора представлено на рисунке 8.

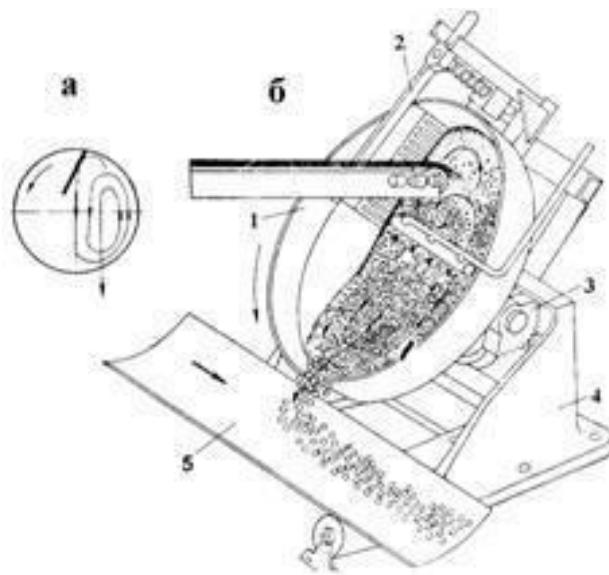


Рисунок 8 - Схемы перемещения материалов в грануляторе (а) и общий вид тарельчатого гранулятора (б)

1 – чаша; 2 – установка скребков; 3 – механизм изменения угла наклона чаши;
4 – рама гранулятора

Тарельчатые грануляторы производят окатыши определенного размера, что зависит от высоты борта чаши, угла наклона тарели, влажности материала, содержания бентонита в шихте и т.д [24].

Цель обжига окатышей – их упрочнение. Для этого высушенные окатыши подвергаются дальнейшему нагреву, при котором происходит их упрочнение. Оно является результатом спекания и слипания мелких частиц железорудных материалов, нагретых до температуры размягчения и плавления. Спекание объясняется проявлением одного из принципов термодинамики – стремлением любой системы к снижению ее термодинамического потенциала. При спекании происходит уменьшение поверхности частиц и свободной поверхностной энергии системы.

При наличии в окатыше оксидов или соединений, реагирующих с оксидами железа в твердых фазах с образованием химических соединений или твердых растворов, скорость спекания изменяется. Так, добавление оксидов кальция, магния или ферритов кальция к гематиту ускоряет процесс. Добавка оксида кремния (кварца) к гематиту снижает, скорость спекания.

Сущность физико-химических превращений по мере повышения температуры представляется следующей последовательностью [24]:

1. Окисление магнетита до гематита по реакции:



Скорость процесса зависит от температуры и содержания кислорода в газах. Процесс протекает при температуре до 1000–1050 °С.

2. Рекристаллизация гематита. При температуре свыше 1000–1050 °С возможна рекристаллизация гематите – мелкие зерна его объединяются в крупные за счет диффузии в твердом состоянии.

3. Термическая диссоциация гематита. При нагреве до 1300–1380 °С начинается процесс термической диссоциации гематита по реакции:



Это приводит к снижению прочности окатышей, но одновременно с этим появляются жидкие фазы и начинается процесс жидкофазного спекания.

4. Упрочнение за счет образования жидкой фазы. В неофлюсованных окатышах основной жидкой фазы являются SiO_2 , Fe_2O_3 и Fe_3O_4 . В офлюсованных окатышах основной жидкой фазы являются ферриты кальция с температурой плавления 1210–1230 °С.

Сушка окатышей осуществляется горячими газами, подаваемыми из зоны обжига снизу-вверх (I зона сушки) и из зоны охлаждения сверху вниз (II зона сушки). В зонах подогрева III и обжига IV установлены газовые горелки. Продукты сжигания газа просасываются сверху вниз и нагревают окатыши до нужной температуры. Выходящие из зон I, II и III газы нагреты до температуры 150–170 °С, поэтому они направляются в дымовую трубу. В зоне IV окатыши нагреваются до температуры около 1350 °С, тут проходят их жидкофазное спекание и упрочнение. Отходящие газы используются в зоне сушки I. В зоне V начинается охлаждение окатышей, которое осуществляется воздухом, подогретым при охлаждении окатышей в зоне VI [24]. Схема конвейерной машины для обжига окатышей представлена на рисунке 9.

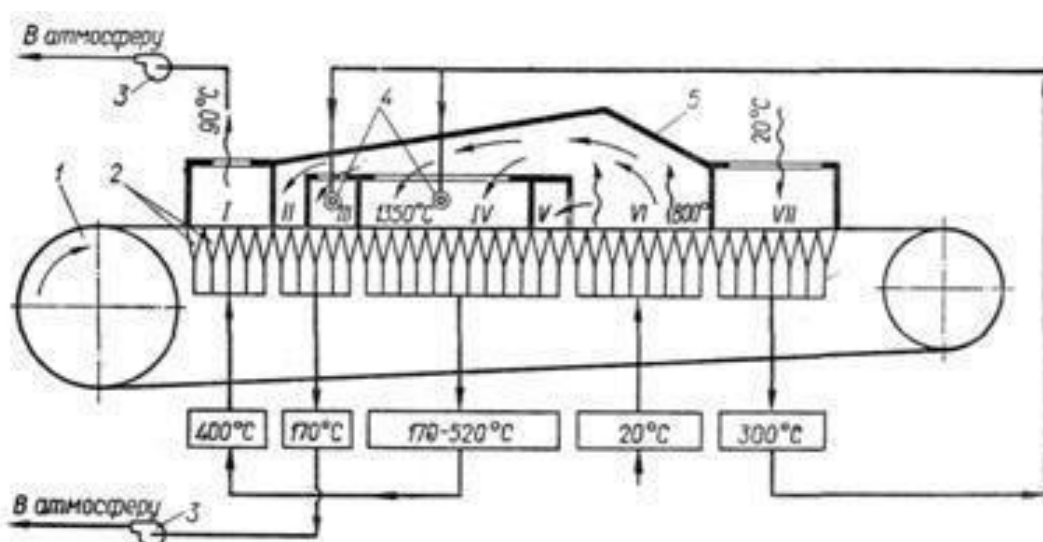


Рисунок 9 – Схема конвейерной машины для обжига окатышей

1 – привод машины; 2 – вакуум-камеры; 3 – высокотемпературные вентиляторы; 4 – горелки; 5 – горн машины

Выходящий из зоны V воздух присоединяется к продуктам горения, поступающим из зоны IV. Таким образом, используется теплота нагретых при обжиге окатышей, поэтому зона V называется зоной рекуперации. В зоне VI проходит основное охлаждение окатышей воздухом, просасываемым снизу-вверх. Завершается охлаждение в зоне VII. Нагретый при этом воздух из зон VI и VII направляется для сжигания газа в зонах III и IV [24].

Требования к качеству окускованных материалов для доменного производства сводятся к следующему [25]:

- По физическим свойствам: высокая механическая прочность, низкая дробимость и истираемость в обычном состоянии и в процессе восстановления, высокая пористость;
- По физико-химическим свойствам: высокая восстановимость, высокая температура начала размягчения и малый температурный интервал его;
- По химическому составу: максимальное содержание железа, высокая основность, стабильность химического состава.

2 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

2.1 Гранулометрический состав

Степень измельчения материалов является одной из важнейших характеристик, определяющей их технологические качества и области практического использования. Гранулометрический состав наиболее полно характеризует степень измельчения. Гранулометрический состав пробы и продуктов измельчения определяется с помощью ситового анализа.

Ситовый анализ предусматривает рассев пробы на ситах с различными размерами ячеек ручным или механическим способами. Ситовой анализ применим для материалов с размерами частиц 10-0,04 мм, что соответствует шкале сит [26].

Пробы рассеивают сухим или мокрым способом в зависимости от крупности материала и необходимой точности ситового анализа [27]. Пробу на рассев подают порциями, не допуская перегрузки сит. При разовом расसेве проба должна образовывать слой толщиной не более 2-кратного размера максимального куска пробы. При непрерывном рассеве верхнее сито следует разгружать таким образом, чтобы проба на нем располагалась не более чем в 1 слой толщиной, равной размеру максимального куска.

Продолжительность ручного сухого просева зависит от плотности, размеров и формы частиц, от объема просеиваемого материала, интенсивности просева, размеров отверстий сита, площади закупоренных отверстий сит и влажности воздуха [27]. Время просеивания класса крупности +5 мм при разовом рассеве: для ручного способа — 2 мин, для механического — 10 мин, класса крупности —5 мм — соответственно 10 и 30 мин. Анализатор ситовой ВП-30Т представлен на рисунке 10.



Рисунок 10 – Анализатор ситовой ВП-30Т

Методика выполнения работы: для определения фракционного состава золы используется метод ситового анализа. Зола просеивают через набор сит с размером ячеек от 0,002 до 10 мм. Сита устанавливаются на вибростенде и встряхиваются в течение 5 минут. Навеска с каждого сита взвешивается на аналитических весах и определяется выход каждой фракции. Результаты гранулометрического анализа осуществлённый при помощи ситового метода приведены в таблице 2.

Таблица 2 - Гранулометрический состав проб Северной золы

Номер образца	Содержание фракций , %										
	>10 мм	10-5 мм	5-2 мм	2-1 мм	1-0,5 мм	0,5-0,25 мм	0,25-0,1 мм	0,1-0,05 мм	0,05-0,01 мм	0,01-0,002 мм	< 0,002 мм
1	4,2	3,3	5,4	1,3	4,0	5,9	14,6	48,5	5,8	5,4	1,6
2	8,8	7,3	14,8	4,2	3,6	3,5	9,3	37,9	6,6	2,5	1,5
3	13,8	7,8	11,1	3,4	3,9	3,8	9,0	35,5	7,8	2,5	1,4

Результаты ситового анализа характеризуют содержание того или иного класса в продукте, характеристикой крупности материала служат частные и суммарные выходы класса. Данные ситового анализа можно изобразить графически, получим характеристику крупности материала. Обычно строят кривую суммарной характеристики «по плюсу», т.е. по суммарному остатку материала на ситах, начиная с самых крупных. По характеру кривой можно судить о крупности материала. При преобладании в материале крупных зёрен кривая имеет выпуклый характер, а при преобладании мелких зёрен - вогнутый характер. Данные ситового анализа золы с Северской ТЭЦ в графическом виде представлены на рисунках 11 – 13.

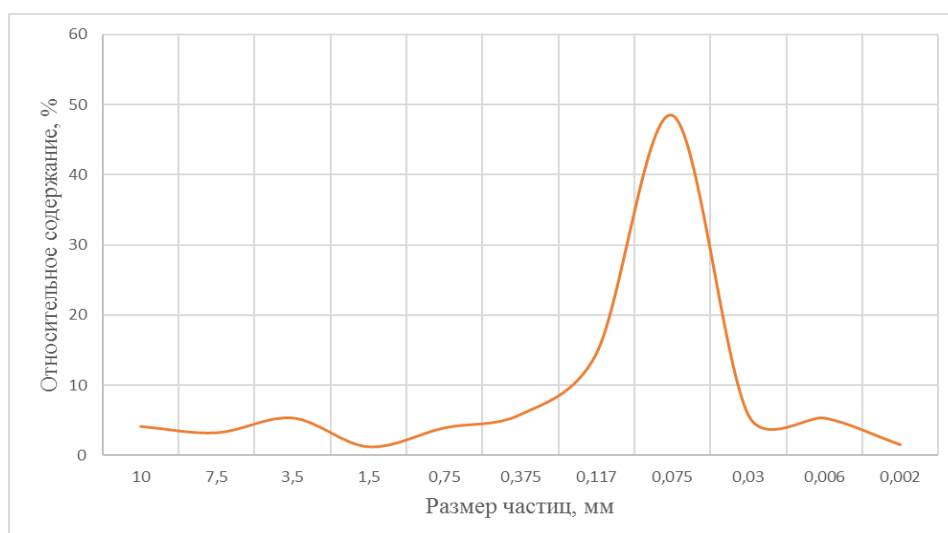


Рисунок 11 – Характеристика крупности материала образец №1

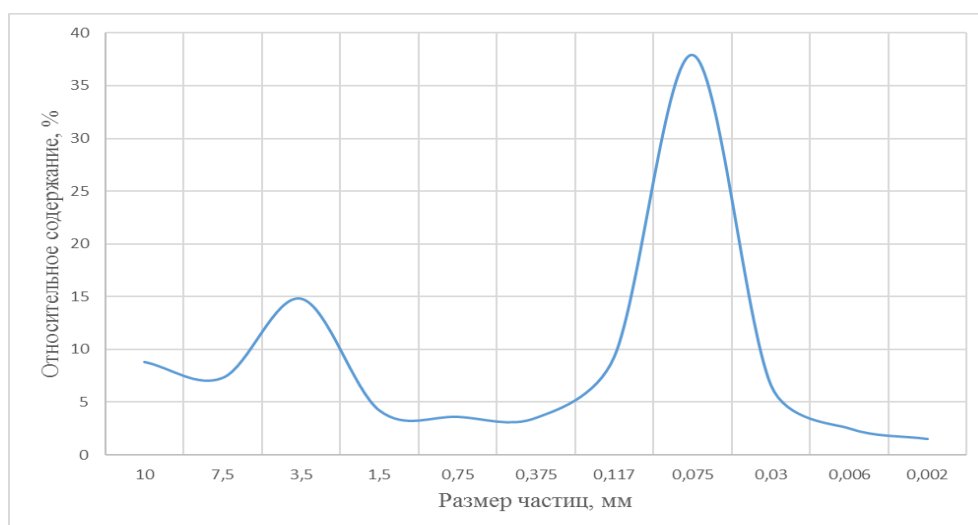


Рисунок 12 – Характеристика крупности материала образец №2

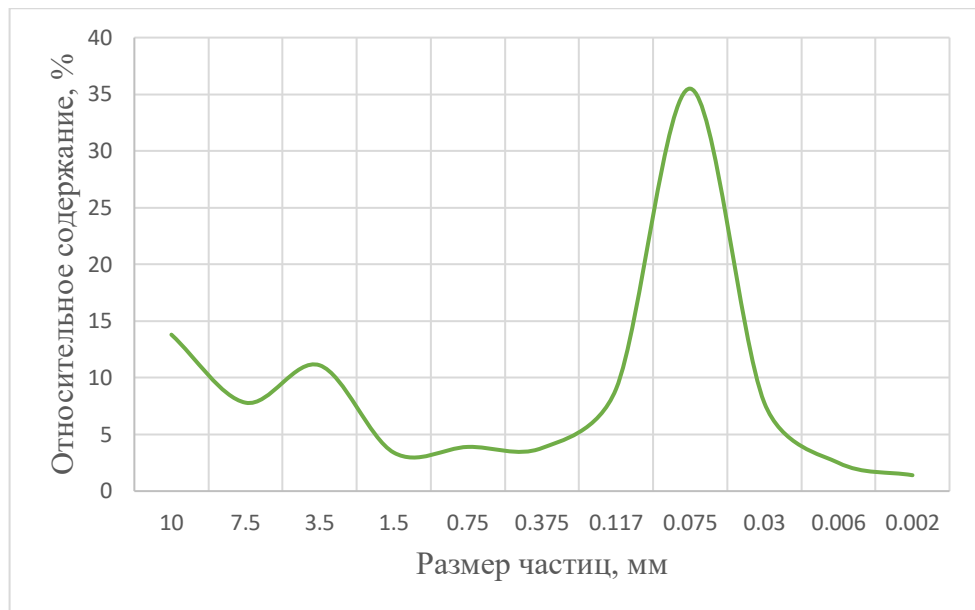


Рисунок 13 – Характеристика крупности материала образец №3

Из данных графиков видно, что в исходной пробе в основном преобладают частицы размером от 0,3 мм и до 0,05 мм. Наибольшее количество частиц из этого диапазона представлено размером 0,075 мм (в среднем около 37,3%). Таким образом, пользуясь графическим изображением результатов ситового анализа, определили промежуточные значения выходов классов крупности исходного материала, а также сравнили результаты нескольких ситовых анализов.

2.2 Химический состав золы

Распределение основных золообразующих макроэлементов распределено достаточно равномерно, но выделяются участки с повышенным и пониженным содержанием макрокомпонента, наблюдается как по латерита, так и в вертикальном разрезе.

Взятие проб лежалых ЗШМ осуществлялось по сетке 200x200 м с каждой 2 м глубины на всю глубину залежи. В скважине пробы отобраны по глубине с интервалом 2 м: 0-2, 2-4, 4-6 м соответственно. Масса каждой пробы составляет 15-20 кг. полиэтиленовый мешок. Всего отобрана 91 проба золошлаков. Схема опробования золоотвала показана на рисунке 14.



Рисунок 14 - Карта опробования золоотвала Северской ТЭЦ

В Томском политехническом университете были проведены также комплексные исследования золы с Северской ТЭЦ представленные в таблице 3.

Таблица 3 – Среднее содержание макроэлементов в золоотвале Северской ТЭЦ, масс. %

Макроэлемент	Среднее	Минимум	Максимум
SiO₂	53,25±0,24	47,01	59,53
TiO₂	0,72±0,003	0,63	0,83
Al₂O₃	18,30±0,12	15,61	21,83
Fe₂O₃	10,05±0,27	4,08	15,93
MgO	1,23±0,02	0,82	1,63
CaO	2,65±0,04	1,77	3,52
MnO	0,15±0,01	0,08	0,44
P₂O₅	0,23±0,01	0,14	0,42
Na₂O	0,68±0,01	0,42	0,86
K₂O	2,14±0,01	1,82	2,45
SO₃	0,13±0,07	0,065	0,186

Макроэлементный состав золошлаков характеризуется преобладанием кремнезема, что позволяет считать их кремнистыми. Содержание кремнезёма изменяется от 47 до 59%. Содержание Al₂O₃ изменяется от 15,61 до 21,83%. Содержание суммарного железа не превышает 16%, составляет в среднем около 10%. Содержание CaO и Na₂O не превышает 3,5 и 1,6% соответственно, что также указывает на кислый силикатный состав золошлаков. Щелочные элементы K₂O и Na₂O в сумме не превышают 3,17%, в основном за счёт Na₂O.

Содержание органического углерода отражает процент недожёга и изменяется снизу-вверх по разрезу, в нижней части сконцентрированы более ранние золошлаки, в верхней части более поздние, это соответствует усовершенствованию технологии сжигания угля. Количество органического углерода в золошлаках изменяется от 23,34 масс. %, в нижней части до 5,28 % масс. %, в верхней части золоотвала. Карты распределения Fe₂O₃ по горизонтам представлены на рисунке 15.

Карта распределения Fe_2O_3 по горизонту 0-2 м Карта распределения Fe_2O_3 по горизонту 2-4 м Карта распределения Fe_2O_3 по горизонту 4-6 м

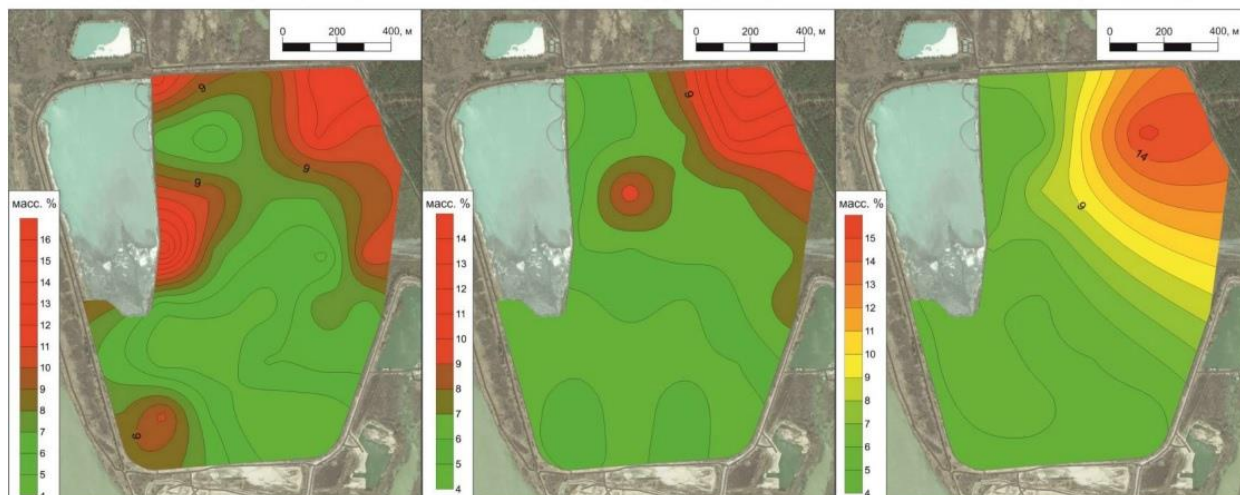


Рисунок 15 - Карты распределения Fe_2O_3 по горизонтам

Можно сделать вывод, что распределение элементов достаточно равномерное, но выделяются участки с повышенным и пониженным содержанием каждого из макрокомпонентов. Суммарное содержание железа в пересчёте на Fe_2O_3 не превышает 16 % при среднем содержании 10 %. Таким образом, обследованное золохранилище представляет собой техногенное образование, с суммарными запасами по оксиду железа 0,65 млн тонн. Технологическое опробование показало предварительно извлекаемый объём 0,51 млн тонн. Следовательно, считается целесообразным использовать извлекаемую железосодержащую фракцию золы как сырьё в производстве железорудных окатышей.

2.3 Рентгеновская дифрактограмма

Методика выполнения работы: необходимо получить на рентгеновском дифрактометре рентгенограмму образца в интервале углов 2θ от 10 до 100° с использованием селективно поглощающего фильтра. Используя положение линий, по формуле Вульфа – Брэггов, рассчитываются значения межплоскостных расстояний. Оценивается величина интенсивности, принимая за 100% наибольшую интенсивность. При помощи справочных данных или специальной программы идентифицируется фазовый состав изучаемого образца. Рентгеновская дифрактограмма золы Северской ТЭЦ представлена на рисунке 16.

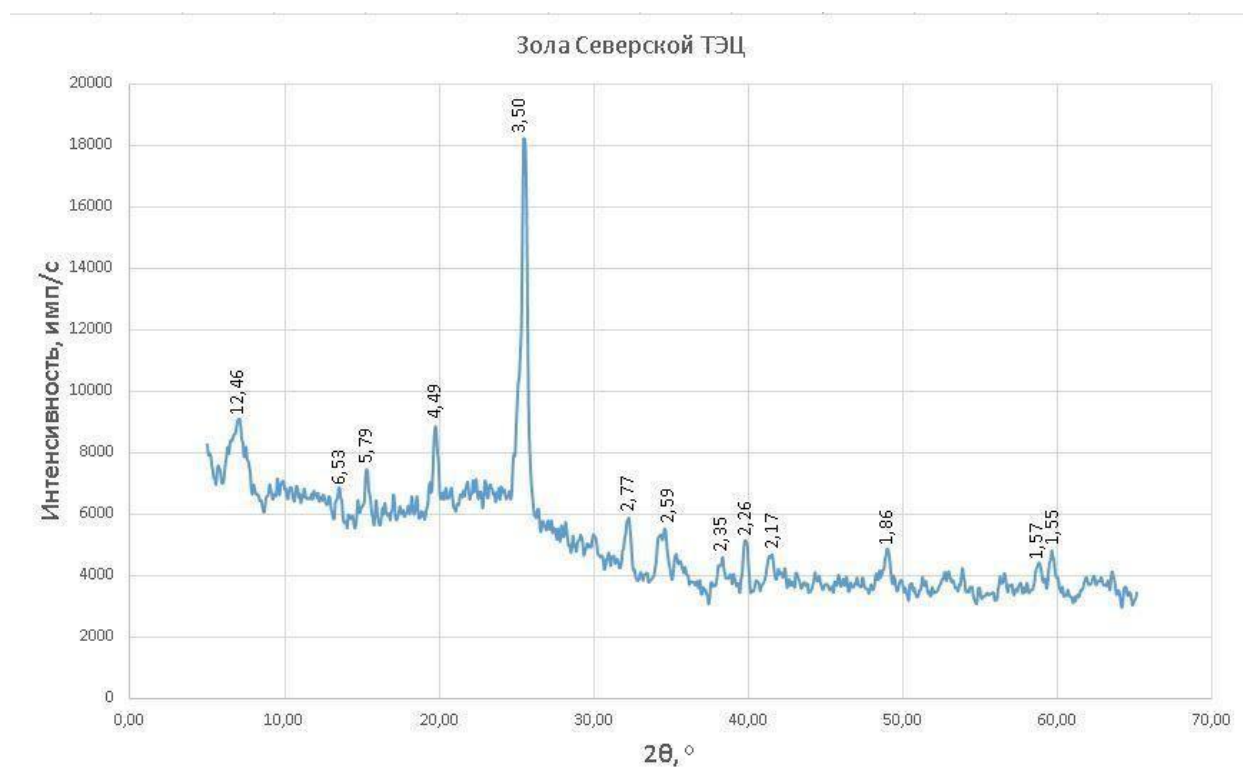


Рисунок 16 - Рентгеновская дифрактограмма золы Северской ТЭЦ

По данным рентгеноструктурного анализа с последующей расшифровкой дифрактограмм с использованием программного обеспечения DiffraC.eve установлено элементное содержание пробы. Результаты расшифровки рентгеновской дифрактограммы золы Северской ТЭЦ приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Элементарный состав золы Северской ТЭЦ

№ рефлекса	$2\theta, ^\circ$	I, мм	$I_{\text{отн}}, \%$	Интенсивность абсолютная, имп/с	Межплоскостное расстояние, Å	Минерал
1	7,09	21	21,9	9095	12,46	Биотит
2	13,56	8	8,3	6844	6,53	-
3	15,30	10	10,4	7446	5,79	$\text{Ca}(\text{Mg}, \text{Al}, \text{Fe})\text{Si}_2\text{O}_6$
4	19,75	18	18,8	8847	4,49	Альфа-кварц
5	25,45	96	100	18247	3,50	Гипс
6	32,27	15	15,6	5855	2,77	Магнезит
7	34,57	13	13,5	5511	2,59	Магнетит, гематит
8	38,33	10	10,4	4578	2,35	Ортоклаз
9	39,79	14	14,6	5127	2,26	Биотит
10	41,53	9	9,4	4662	2,17	Гипс, биотит
11	48,97	12	12,5	4855	1,86	Гипс
12	58,78	7	7,3	4402	1,57	-

Магнетит — широко распространённый минерал чёрного цвета из класса оксидов, природный оксид железа. Теоретический состав: FeO — 31,03 %; Fe_2O_3 — 68,97 %. По химическому составу магнетит можно разделить на чистый магнетит и кальциомагнетит, т. е. магнетит с содержанием CaO в значительных количествах, которая при высоких температурах входит в состав минерала в виде твердого раствора. Железо в углях содержится главным образом в составе минералов пирита и сидерита. При сжигании углей происходит термохимическое преобразование всех этих соединений в минерал магнетит. Находясь в расплавленном, распылённом и взвешенном в струе дымовых газов состоянии, капли магнетита приобретают форму шариков. Размеры магнетитовых шариков колеблются от 20 до 100 мкм.

Гематит — широко распространённый минерал, образует большие скопления и рудные залежи. В качестве продукта изменения или выветривания

образуется в виде вторичной примеси в железосодержащих минералах, как магнетит, лимонит, сидерит [26]. В отраженном свете гематит наиболее светлый из всех минералов, встречаемых в агломератах. Размеры зерен гематита изменяются от мельчайших вкрапленников, различаемых только при большом увеличении, до выделений, достигающих 0,1 мм в поперечнике.

Гипс – минерал, водный сульфат кальция. Его содержание в высококальцевых золах в значительных пределах от 1-2 до 18-20%. В процессе гидратации сначала образуется гипс, который затем связывается в эттрингит, и только после связывания всего гипса начинают выкристаллизовываться гидроалюминаты кальция и твердые растворы, структура которых обладает высокой симметрией [29].

Биотит является наиболее распространенным минералом слюд. Химический состав биотита очень изменчивый. В химическом составе находят оксиды калия, магния, железа, алюминия, кремния в самом различном процентном соотношении, а также множество примесей. В крупных кристаллах минерал наблюдается в пегматитовых жилах [30].

Пироксены — обширная группа цепочечных силикатов. Многие пироксены — породообразующие минералы. Пироксены являются исключительно распространенными минералами. В поверхностных условиях неустойчивы. С увеличением температуры они устойчивы вплоть до полного плавления пород [31].

На рисунках 17-19 представлены снимки золы Северской ТЭЦ с различным увеличением, выполненные про помощи электронного микроскопа.

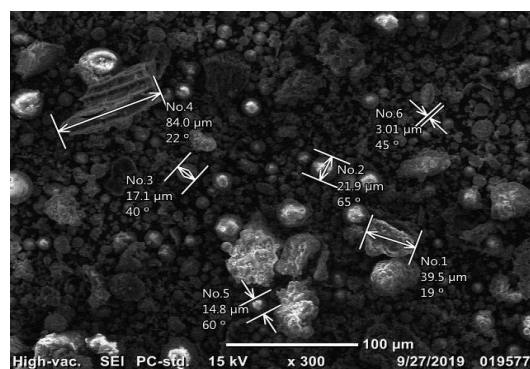
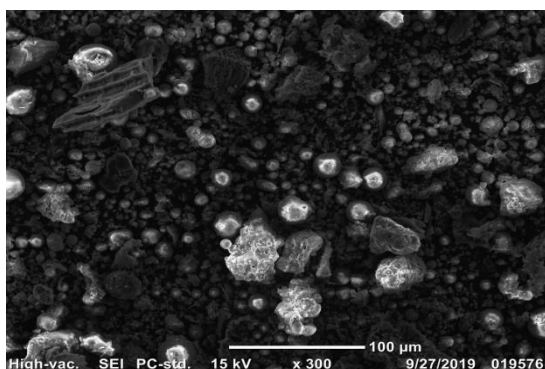


Рисунок 17 - Снимки золы с микроскопа с увеличением в 300 раз

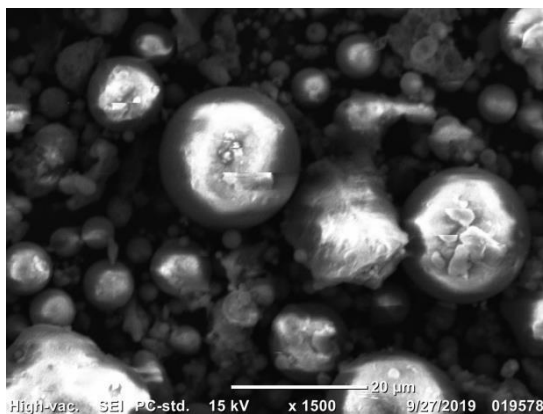
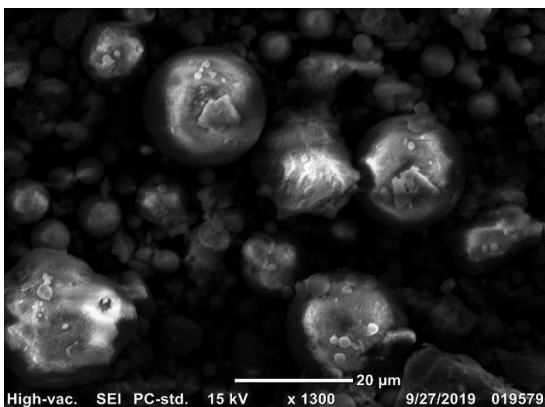


Рисунок 18- Снимки золы с микроскопа с увеличением в 1300 и 1500 раз

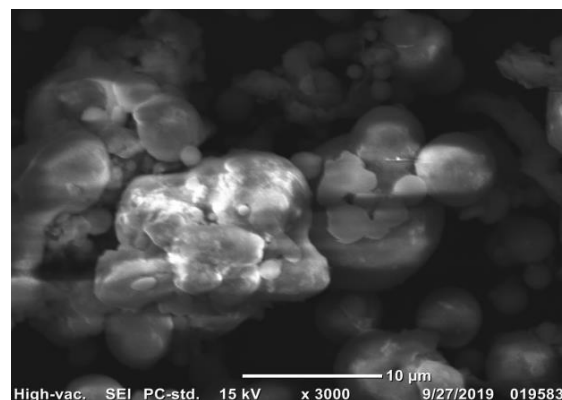
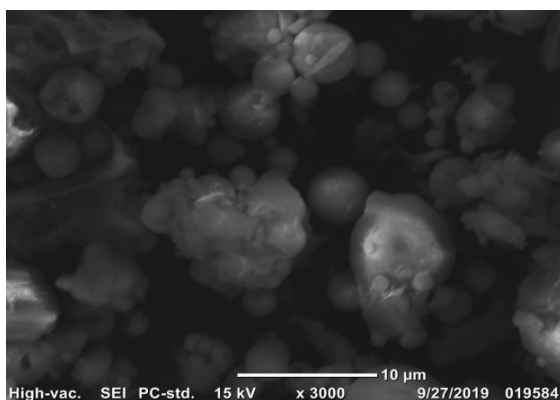


Рисунок 19 - Снимки золы с микроскопа с увеличением в 3000 раз

Таким образом, на основании вышеизложенного материала можно сделать вывод, что минералогический анализ золы, которая образуется после сгорания показывает, что основной компонентой золы является стекло с кристаллической фазой в виде кварца, гематита, магнетита и разнообразных силикатов кальция. В отраженном свете гематит наиболее светлый из всех минералов. Размеры зерен гематита изменяются от мельчайших вкрапленников, различаемых только при большом увеличении.

2.4 Извлечение железной фракции «мокрым» методом в лабораторных условиях

Методика выполнения работы: извлечение железной фракции из золы осуществляется при помощи магнита. Исходное сырьё засыпается в тарельчатый гранулятор и к нему добавляется вода. После включения гранулятора сырьё равномерно перемешивается по всей ёмкости. При помощи магнита происходит извлечение железной фракции, которая потом помещается в отдельную ёмкость. Затем необходимо повторить данную процедуру ещё раз, но уже с извлеченной фракцией для удаления немагнитных частиц. Тем самым содержание железа в пробе увеличивается.

Используемый прибор: Тарельчатый гранулятор (окомкователь).

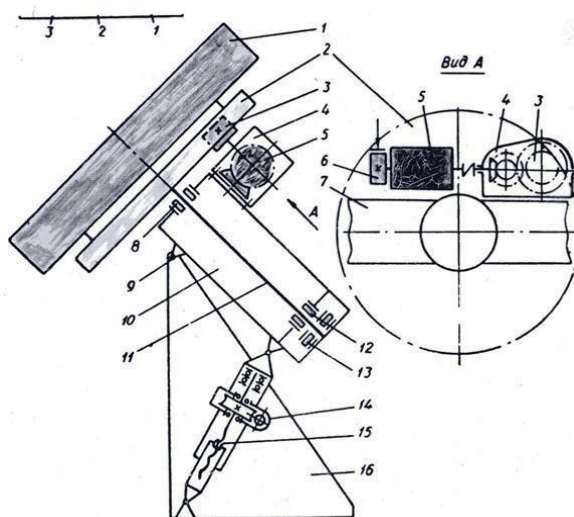


Рисунок 20 -Тарельчатый гранулятор

1 – тарель, 2 – зубчатый венец с внутренним зацеплением, 3 – шестерня, 4 – редуктор, 5 – электродвигатель постоянного тока, 6 – тормоз, 7 – рама привода, 8, 12 – радиально-сферические роликподшипники, 9 – ось поворота, 10 – труба, 11 – ось тарели, 13 – упорный подшипник, 14 – червячная передача, 15 – винтовая передача, 16 – опора

Характеристика гранулятора: угол наклона тарели — от 45°;

диаметр тарель — 0,5 м;

высота борта тарели — от 0,8 м;

частота вращения тарели — от 3 об/мин.

Ход выполнения работы представлен графически в виде фотографий на рисунках 21-24.



Рисунок 21– Высыпание сырья в гранулятор



Рисунок 22– Добавление воды к сырью



Рисунок 23– Перемешивание суспензии



Рисунок 24– Извлечение железной фракции

Таблица 5 - Процентное содержание железа в извлекаемой железной фракции

Номер образца	Количество промывания	Масса пробы, г	Содержание железа в пробе, %
1	1	50	45,5
2	2	50	51,6
3	3	50	52,2

На рисунках 25-27 представлены снимки извлеченной железной фракции с различным увеличением, выполненные про помощи электронного микроскопа.

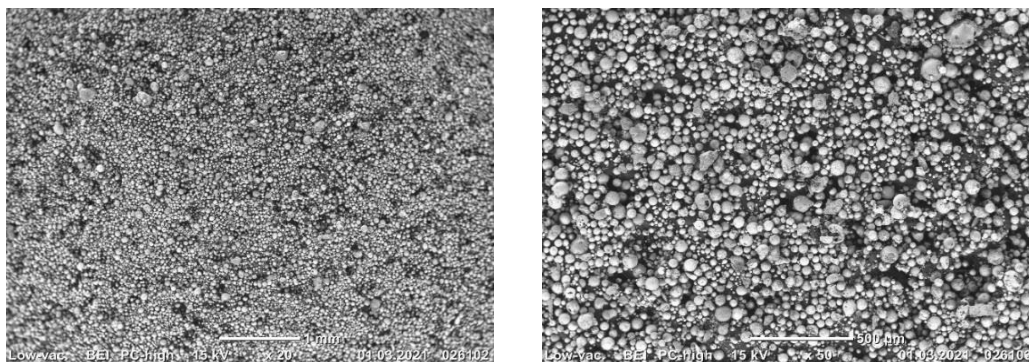


Рисунок 25 - Снимки пробы с микроскопа с увеличением в 20 и 50 раз

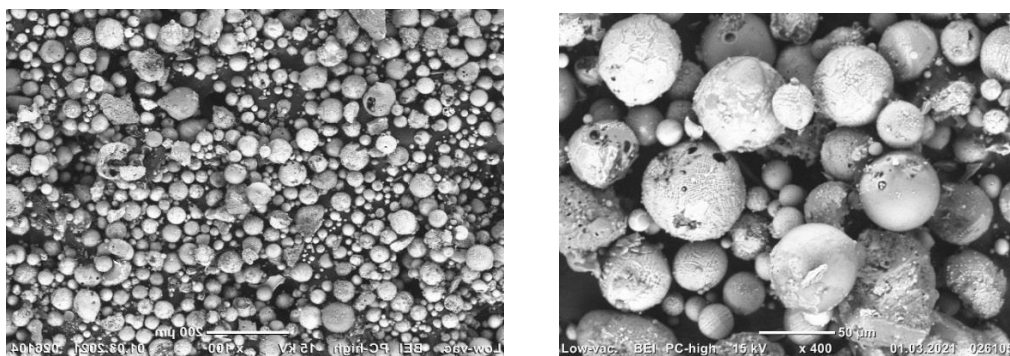


Рисунок 26 - Снимки пробы с микроскопа с увеличением в 100 и 400 раз

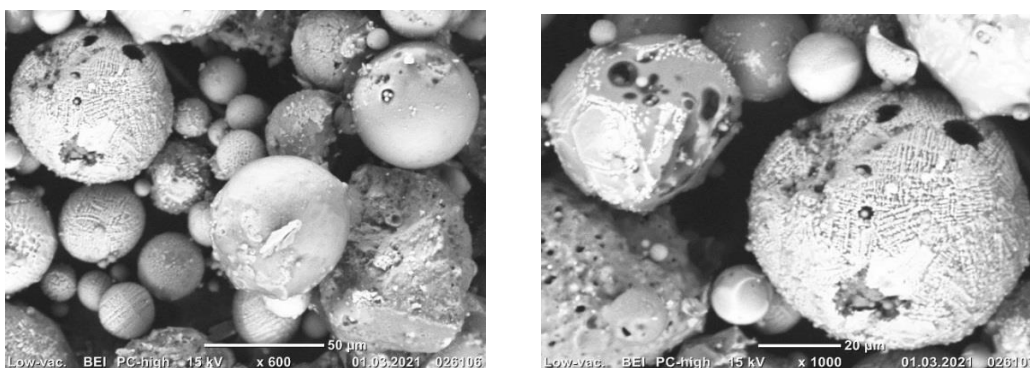


Рисунок 27 - Снимки пробы с микроскопа с увеличением в 600 и 1000 раз

Из полученных данных можно сделать вывод, что одного раза промывания недостаточно, необходимо ещё раз провести промывание для увеличения процентного количества железа в пробе. Целесообразнее выбрать количество промывания равное двум, т.к. большее количество увеличило содержание железо в пробе лишь на 0,6%, что в масштабах производства будет нерентабельно.

2.5 Исследование влияния связующего на процесс гранулирования железной фракции

Связующие вещества — материалы, обеспечивающие при определённых условиях (температура, давление и др.) связывание мелкодисперсных материалов (нарушенные горные породы, отходы и др.) в конгломерат. Функции связующего вещества:

- Соединять друг с другом одинаковые или различные материалы;
- Обеспечивать формирование системы наполнитель-связующее;
- При химических превращениях образовывать прочный монолит.

В качестве связующего вещества в дипломной работе были выбраны три следующие вещества:

- Вода;
- $[C_6H_7O_2(OH)_3-X(OCH_3)X]_n$. Метилцеллюлоза марки «МС-100»;
- Торфогель.

Вода - бинарное неорганическое соединение с химической формулой H_2O . Вода была взята как базовое связующее и самое распространённое и доступное. Она обладает сильным связующим эффектом за счёт капиллярных взаимодействий. Каждая молекула вещества окружается молекулами воды, причём положительно заряженные участки молекулы вещества притягивают атомы кислорода, а отрицательно заряженные — атомы водорода [32].

Метилцеллюлоза - эфир целлюлозы и метанола, белый аморфный порошок. Растворима в холодной (до 50 °С) воде, некоторых органических кислотах, спиртах и эфирах. Нерастворима в большинстве органических растворителей. Водные растворы метилцеллюлозы псевдопластичны, практически не обладают тиксотропными свойствами, характеризуются резко выраженной зависимостью вязкости от молекулярной массы и концентрации метилцеллюлозы, стабильны при рН 2-12 и 20 °С. При 55-56 °С растворы желатинизируются; ниже этой температуры гель разрушается [33].

Торфогель - является естественным природным связующим. Торфогель является продуктом кавитационной обработки натурального торфа, в котором

при этом переводятся в активную водорастворимую форму соединения азота, фосфора, калия, микроэлементы, а гуминовые кислоты из нерастворимых переведены в растворимые одновалентные соли. При прохождении исходной пульпы через кавитатор происходит формирование коллоидного раствора из вещества торфа, при этом синхронно протекают процессы экстракции, растворения, дезинтеграции клеточных структур, деструкция целлюлозы с последующей рекомбинацией на молекулярном уровне. Процесс протекает на фоне быстро растущей температуры, являющейся ускорителем переработки. Проявляет хорошие связующие свойства при правильной обработке [34].

2.5.1 Гранулирование железосодержащей фракции с использованием воды

Методика выполнения работы: извлечённая железная фракция смешивается с угольным порошком, тщательно перемешивается и высыпается в тарельчатый гранулятор. Перед работой необходимо смочить смесь водой, чтобы избежать пыление. После запуска гранулятора, смесь обильно смачивается (среднее значение влажности должно быть 20%). Гранулирование проводится до тех пор, пока гранулы не достигнут нужного размера.

Для исследования был отобран образец железной фракции массой 4300 гр. и угольной порошок массой 500 гр.

Окатыши получаются равномерными по грансоставу за счёт того, что борта не очень высокие. Угол наклона чаши переменный от 40° до 60° . Угол наклона устанавливается близким к углу естественного откоса. При малом угле происходит налипание толстого слоя гарнисажа на днище и борта.

Ход выполнения работы представлен графически в виде фотографий на рисунках 28-30.



Рисунок 28 - Смесь в тареле гранулятора



Рисунок 29 - Смесь сбрызгивается водой



Рисунок 30 - Процесс гранулирования железорудных окатышей

Полученный результат эксперимента представлен на рисунке 31:



Рисунок 31- Железорудные окатыши (связующие – вода)

В ходе данного эксперимента были получены железорудные окатыши в результате процесса гранулирования. В качестве связующего была использована вода, так как именно вода является самым распространённым и доступным связующим. Она обладает сильным связующим эффектом за счёт капиллярных взаимодействий.

2.5.2 Гранулирование железосодержащей фракции с использованием торфогеля

Методика выполнения работы: извлечённая железная фракция смешивается с угольным порошком в количественном соотношении 1:10, тщательно перемешивается. К полученной смеси порционно добавляется связующее (торфогель). При этом объём связующего берётся от минимального, при котором получался связанные окатыши и повышается пошагово до момента, когда уже невозможно получить связанные окатыши вследствие переизбытка связующего. Полученная смесь высыпается в тарельчатый гранулятор, тарель которого предварительно смазывается небольшим количеством связующего для лучшего сцепления частиц материала. Гранулирование проводится до тех пор, пока гранулы не достигнут нужного размера.

Для исследования был отобран образец железной фракции массой 1250 гр. и угольной порошок массой 140 гр.

Ход выполнения работы представлен графически в виде фотографий на рисунке 32.



Рисунок 32 - Смешение компонентов со связующим

Полученный результат эксперимента представлен на рисунке 33:



Рисунок 33 - Железорудные окатыши (связующие – торфогель)

В ходе данного эксперимента были получены железорудные окатыши на основе торфогеля. Окатыши достаточно прочны, даже во влажном состоянии. Торфогель обеспечивает достаточно высокую, малоизменяющуюся прочность окатышей. Технологический диапазон содержания связующего достаточно большой, что позволяет сглаживать небольшие погрешности при дозировании связующего на производстве.

2.5.3 Гранулирование железосодержащей фракции с использованием метилцеллюлозы

Методика выполнения работы: извлечённая железная фракция смешивается с угольным порошком в количественном соотношении 1:10, тщательно перемешивается. Предварительно необходимо приготовить связующее, раствор метилцеллюлозы 1%, т.е. смешивать 5 гр. твёрдой метилцеллюлозы с 500 мл. воды. К полученной смеси порционно добавляется связующее. При этом объём связующего повышается пошагово, от минимального, при котором получался связанные окатыши, и до момента, когда уже невозможно получить связанные окатыши вследствие переизбытка связующего. Полученная смесь высыпается в тарельчатый гранулятор. Гранулирование проводится до тех пор, пока гранулы не достигнут нужного размера.

Для исследования был отобран образец железной фракции массой 1250 гр. и угольной порошок массой 140 гр.

Ход выполнения работы представлен графически в виде фотографий на рисунках 34 и 35.

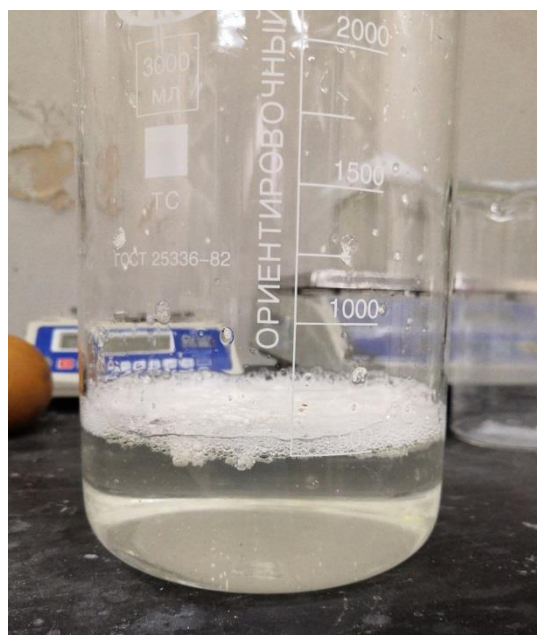


Рисунок 34 - Приготовление связующего (раствор метилцеллюлозы)



Рисунок 35 - Смешение компонентов со связующим

Полученный результат эксперимента представлен на рисунке 36:



Рисунок 36 - Железорудные окатыши (связующие – метилцеллюлоза)

Были получены железорудные окатыши на основе метилцеллюлозы. Метилцеллюлоза как связующее показала тоже неплохие результаты. Окатыши прочны во влажном состоянии, но немного уступают по прочности окатышам с торфогелем. Однако технологический диапазон содержания связующего меньше почти вдвое.

2.6 Влияние связующих на прочность

Методика проведения работы: прочность окатышей для каждого использованного связующего оцениваться измерением на раздавливание. Отбираются 5 окатышей для исследования на прочность во влажном состоянии, другие 5 окатышей отправляются на сушку, а затем также проводится измерения прочности на раздавливании. Проверка сырых окатышей на прочность осуществлялась на весах при помощи мерной колбы. Исследуемый образец помещается на весы и раздавливается мерной колбой, в то время, как весы фиксируют нагрузку, действующую на данный образец. Результаты исследований прочности окатышей в зависимости от связующего во влажном состоянии представлены в таблице 6.

Таблица 6 - Результаты анализа связывающей способности различных связующих во влажном состоянии

Название связующего	№ опыта	Размер окатышей, мм	Усилие на раздавливание, гр.	Прочность, Н/мм
Вода	1	10,2	48	0,0047
	2	9,4	44	0,0048
	3	8,5	43	0,0051
	4	10,1	40	0,0039
	5	9,8	46	0,0048
Торфогель	1	8,02	80	0,0099
	2	10,2	83	0,0081
	3	10,6	86	0,0081
	4	7,8	80	0,0102
	5	10,2	82	0,0080

Продолжение таблицы 6

Название связующего	№ опыта	Размер окатышей, мм	Усилие на раздавливание, гр.	Прочность, Н/мм
Метилцеллюлоза	1	9,8	77	0,0078
	2	10,2	72	0,0071
	3	9,9	70	0,0071
	4	10,1	69	0,0068
	5	8,5	71	0,0083

Проверка сухих окатышей на прочность осуществлялась после их подготовки. Для этого сырые окатыши помещаются в бюксы, на весах марки ВАЛТ-200 замерется их вес. Затем бюксы с образцами помещаются в сушильный шкаф и сушатся при температуре 100⁰ до тех пор, пока вес бюкса с образцом не становятся постоянным. Замеры на вес делаются каждые 12 часов.

Готовые сухие окатыши подвергаются проверки на прочность также при помощи весов и мерной колбы. Результаты исследований прочности окатышей в зависимости от связующего в сухом состоянии представлены в таблице 7.

Таблица 7 - Результаты анализа связывающей способности различных связующих в сухом состоянии

Название связующего	№ опыта	Размер окатышей, мм	Усилие на раздавливание, гр.	Прочность, Н/мм
Вода	1	9,8	225	0,0322
	2	10,1	231	0,0341
	3	9,7	219	0,0351
	4	9,1	224	0,0315
	5	10,3	230	0,0314

Продолжение таблицы 7

Название связующего	№ опыта	Размер окатышей, мм	Усилие на раздавливание, гр.	Прочность, Н/мм
Торфогель	1	10,5	715	0,0803
	2	8,9	710	0,0747
	3	9,5	694	0,0701
	4	9,9	705	0,0691
	5	10,2	731	0,0803
Метилцеллюлоза	1	9,1	605	0,0630
	2	9,6	598	0,0581
	3	10,3	615	0,0608
	4	10,1	608	0,0647
	5	9,4	586	0,0623

На следующем этапе исследования сухие окатыши необходимо обжечь. Сухие окатыши засыпаются в цилиндр выполненный из жаропрочного стекла, к дну цилиндра крепиться термостойкая сетка. Цилиндр помещается под тягу и закрывается пространство между вентиляцией и цилиндром асбестовым полотном. Начинается процесс обжига окатышей. Процесс горения окатышей представлен на рисунках 37 - 38.



Рисунок 37 - Процесс горение сухих окатышей (связующие - торфогель)



Рисунок 38 - Процесс горение сухих окатышей (связующие – метилцеллюлоза)

Готовые обожженные окатыши проверяются на прочность на специальном приборе следующей конструкции: металлическая пластина; фиксатор; весы товарные МАССА ТВ-S-60.2-A1 с АКБ; станина. Прибор данной конструкции представлен на рисунке 39.



Рисунок 39 - Прибор для измерения прочности окатышей

Исследуемый образец укладывается на металлическую пластину, которая расположена на весах. Затем подвижный фиксатор аккуратно закручивается до соприкосновения окатыша с поверхностью ползуна. После этого фиксатор закручивается до тех пор, пока образец не разрушится. Результаты исследований прочности обожжённых окатышей представлены в таблице 8.

Таблица 8 - Результаты анализа связывающей способности различных связующих в обожженном состоянии

Название связующего	№ опыта	Размер окатышей, мм	Усилие на раздавливание, гр.	Прочность, Н/мм
Торфогель	1	9,4	19270	2,050
	2	8,2	16180	1,973
	3	9,6	18330	1,909
	4	8,2	17140	2,090
	5	8,7	17460	2,007

Продолжение таблицы 8

Название связующего	№ опыта	Размер окатышей, мм	Усилие на раздавливание, гр.	Прочность, Н/мм
Метилцеллюлоза	1	9,6	16280	1,696
	2	8,8	14380	1,634
	3	8,6	17190	1,998
	4	9,8	15240	1,555
	5	8,2	14400	1,757

В результате проведенных работ можно сделать следующие выводы:

- Вода как связующее малопригодна. При использовании воды окатыши после сушки не обладали прочностью и рассыпались в порошок.
- Метилцеллюлоза как связующее показала тоже неплохие результаты. Прочность окатышей на её основе почти не уступает аналогичным окатышам на основе торфогеля. Прочность на раздавливание обожжённых окатышей, полученных на водном растворе метилцеллюлозы, показала результат от 14,38 до 17,19 кг на окатыш.
- Возможно применение местного сырья (торфогель) для получения окатышей из железосодержащей. Торфогель как связующее показал хорошие результаты. Прочность обожжённых окатышей на торфогеле оказалась самой значительной и составила от 16,18 до 19,27 кг на окатыш.

3 КОНСТРУКТИВНО – МЕХАНИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

Для осуществления метода окатывания применяют тарельчатые грануляторы. Тарельчатый гранулятор состоит из тарели, которая вращающаяся на валу, крепится на опорной стойке, представляющей собой жесткую сварную конструкцию. Через форсунку подается связующее. По форме днища грануляторы делятся на плоские, конические, сферические, эллиптические. Применение неплоских днищ позволяет избежать мертвого пространства в месте стыка с бортом и увеличить производительность аппарата. Борт тарели расположен перпендикулярно к днищу. Рабочая поверхность такого аппарата, в отличие от рабочей поверхности барабана, не боковая поверхность цилиндра, а торцовая, т. е. дно тарелки.

Гранулообразование в тарельчатом грануляторе имеет свои особенности, связанные со значительной величиной центробежных сил. На гранулы, находящиеся на вращающейся тарели, действует сила тяжести, центробежная сила и сила трения. Благодаря действию центробежной силы и силы трения, гранулы прижимаются ко дну тарели и поднимаются вместе с ним на определенную высоту, а затем под действием силы тяжести скатываются вниз. Общий вид тарельчатого гранулятора представлен на рисунке 40.

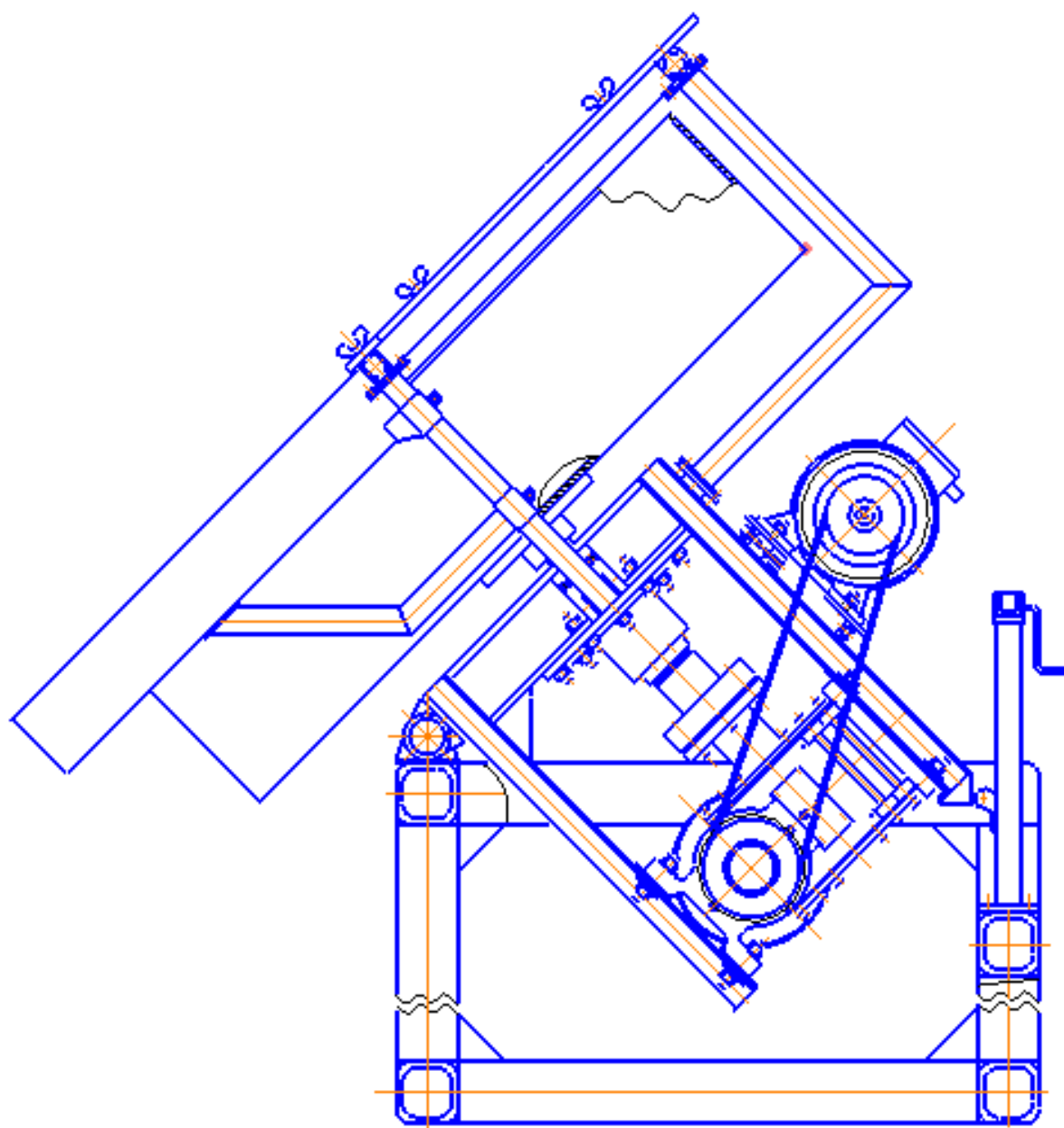


Рисунок 40 - Общий вид тарельчатого гранулятора

3.1 Расчёт производительности

Все режимно - конструкционные параметры работы тарели связаны между собой. Средняя производительность гранулятора определяется по эмпирической формуле [36]:

$$Q = 1,5 \cdot D^2 \quad (3.1)$$

где Q - средняя производительность гранулятора, т/ч:

D – диаметр тарели гранулятора, м.

Так как производительность известна, и она равна 2,25 т/ч, то диаметр тарели гранулятора равен:

$$D = \sqrt{\frac{Q}{1,5}} = \sqrt{\frac{2,25}{1,5}} = 1 \text{ м} \quad (3.2)$$

3.2 Расчет тарели на прогиб

Расчёт тарели на прогиб проводится согласно [37]. Исходные данные для дальнейшего расчёта предоставлены:

$R=0,08$ м - радиус опоры тарели;

$R=0,5$ м - внутренний радиус тарели;

$D=1$ м- внутренний диаметр тарели;

$H=0,2$ м - высота борта;

$\rho_{\Gamma} = 1540$ кг/м³ - насыпная плотность шихты.

Одна из главных деталей тарельчатого гранулятора – это тарель, на ней гранулируется исследуемый материал. Необходимо определять максимальные возможные нагрузки на чашу, которая находится под углом 45° к вертикальной оси. Расчётная схема тарели на прогиб для дальнейшего расчета представлен на рисунке 41.



Рисунок 41 - Расчётная схема для определения нагрузок

Определим массу шихты на тарели. В соответствии с литературными данными [37], максимально возможный коэффициент заполнения тарели при рабочем угле наклона 45±5 градусов составляет 0,4 (40%). Следовательно, максимальная возможная масса шихты, которую помещаем в тарель равна:

$$G := 0.4 \cdot \left(\pi \cdot \frac{D^2}{4} \cdot H \cdot \rho_{\Gamma} \right) \quad (3.3)$$

$$G := 0.4 \cdot \left(\pi \cdot \frac{1^2}{4} \cdot 0.2 \cdot 1540 \right) = 96.761 \text{ кг}$$

где G – максимально возможная масса шихты в тарели, кг.

Нагрузка, распределенная по периметру, определяется по следующей формуле:

$$P := \frac{4 \cdot G \cdot g}{\pi \cdot D^2} \quad P := \frac{4 \cdot 96.761 \cdot 9.81}{\pi \cdot 1^2} = 1.209 \times 10^3 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2} \quad (3.4)$$

где G – масса шихты на тарели, кг;

P - нагрузка, распределенная по периметру, Н/м².

Расстояние до линии прогиба определяется по следующей формуле:

$$p := R \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \ln(\alpha)}{\alpha^2 - 1}} \quad p := 0.5 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \ln(6.25)}{6.25^2 - 1}} = 0.155 \text{ м} \quad (3.5)$$

где $\alpha = \frac{R}{r} = \frac{0.5}{0.08} = 6,25$;

p - расстояние до линии прогиба, м.

Максимальное радиальное напряжение определяется по следующей формуле [37]:

$$\sigma_{r\max} := \left[\frac{3 \cdot (1 + \mu) \cdot P}{2 \cdot \pi \cdot \delta^2} \right] \cdot \left[\frac{1}{2} - \frac{\ln(\alpha)}{(\alpha^2 - 1)} - \frac{1}{2} \cdot \ln \left(\frac{\alpha^2 - 1}{2 \cdot \ln(\alpha)} \right) \right] \quad (3.6)$$

$$\sigma_{r\max.} := \left[\frac{3 \cdot (1 + 0.3) \cdot 1209}{2 \cdot \pi \cdot 0.006^2} \right] \cdot \left[\frac{1}{2} - \frac{\ln(6.25)}{(6.25^2 - 1)} - \frac{1}{2} \cdot \ln \left(\frac{6.25^2 - 1}{2 \cdot \ln(6.25)} \right) \right] = -1.551 \times 10^7 \text{ Па}$$

где δ – толщина тарели, которая равна $\delta = 0.006\text{м}$;

μ - коэффициент Пуассона, который равен $\mu = 0.3$;

$\sigma_{r\max}$ - максимальное радиальное напряжение, Па.

Максимальное кольцевое напряжение определяется по следующей формуле:

$$\sigma_{tmax} := \frac{[3 \cdot (1 + \mu) \cdot P]}{(2 \cdot \pi \cdot \delta^2)} \quad (3.7)$$

$$\sigma_{tmax.} := \frac{[3 \cdot (1 + 0.3) \cdot 1209]}{(2 \cdot \pi \cdot 0.006^2)} = 2.085 \times 10^7 \text{ Па}$$

где σ_{tmax} - максимальное кольцевое напряжение, Па.

Эквивалентное напряжение определяется по следующей формуле:

$$\sigma_{\text{э}} := \sqrt{\sigma_{rmax.}^2 + \sigma_{tmax.}^2} \quad (3.8)$$

$$\sigma_{\text{э.}} := \sqrt{(-1.551 \times 10^7)^2 + (2.085 \times 10^7)^2} = 2.599 \times 10^7 \text{ Па}$$

где $\sigma_{\text{э}}$ - эквивалентное напряжение, Па.

Определим расчётную температуру [38]:

$$t_p := \max(20, t_c) = 24 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (3.9)$$

где t_p – расчётная температура данного процесса, $^\circ\text{C}$:

t_c – температура среды, которая равна $24 \text{ } ^\circ\text{C}$.

Допускаемое напряжение для углеродистых или низколегированных сталей вычисляют по формуле [39]:

$$t := \begin{pmatrix} 20 \\ 100 \end{pmatrix} \quad [\sigma]_д := \begin{pmatrix} 154 \\ 148 \end{pmatrix} \quad (3.10)$$

$$[\sigma]_д. := \text{Floor}(\text{linterp}(t, [\sigma]_д, t_p), 0.5) = 153.5 \text{ МПа}$$

где $[\sigma]_д$ – допускаемое напряжение материала при расчетной температуре, МПа;

Проверка условия прогиба при рабочих условиях:

$$\text{Проверка} := \begin{cases} \text{"Условие прогиба выполняется"} & \text{if } \sigma_{\text{э.}} \leq [\sigma]_д. \\ \text{"Условие прогиба НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Проверка = "Условие прогиба НЕ выполняется"

При заданной нагрузке условие прогиба не выполняется. Напряжение, которое действует на тарель больше допустимого, что не будет удовлетворять рабочим условиям гранулятора.

Проверяем срез сварного шва [39]:

$$\text{Проверка}_2 := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{if } \sigma_{\text{э}} \leq 0.6 \cdot [\sigma]_{\text{д}} \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Проверка₂ = "Условие прочности НЕ выполняется"

По результатам проверки также выяснили, что сварной шов не будет выдерживать нагрузки, которые возникает при работе гранулятора, поэтому элемент тарель требует каких-либо изменений в конструкции.

Максимальный прогиб определяется по следующей формуле [37]:

$$\omega_{\text{max}} := \frac{1.037 \cdot \alpha^2 - 2.77 + \frac{2.428}{\alpha^2} - \frac{0.695}{\alpha^2} - 3.22 \cdot \ln(\alpha) \cdot \left(1 - \frac{1}{\alpha^2}\right) + 5.07 \cdot \ln(\alpha)^2}{(\alpha^2 - 1)} \cdot \frac{P \cdot R}{E \cdot \delta^3} = 0.018 \text{ м} \quad (3.11)$$

где ω_{max} - максимальный прогиб, м.

Так как действительная толщина тарели не удовлетворяет условию прогиба, а эквивалентное напряжение больше допустимого, то необходимо дополнительные опоры в виде балок.

3.3 Расчет балок на прогиб

Расчёт балок на прогиб проводится согласно [40]. Исходные данные для дальнейшего расчёта предоставлена длина балки, которая равна $l=0,42$ м.

Площадь сегмента определяется по следующей формуле:

$$S := \frac{\pi \cdot r^2 \cdot \alpha_c}{360} \quad S := \frac{\pi \cdot 0.5^2 \cdot 60}{360} = 0.131 \text{ м}^2 \quad (3.12)$$

где S - площадь сегмента, м^2 .



Рисунок 42 - Заполненная область тарели

Балки выполнены из того же материала, что и тарель, следовательно, нормативное допускаемое напряжение материала балок согласно [39] равно:

$$[\sigma] := 153.5 \text{ МПа}$$

где $[\sigma]$ - нормативное допускаемое напряжение, Па.

Масса шихты на сегменте определяется по следующей формуле:

$$M := S \cdot H \cdot \rho_T \quad M := 0.131 \cdot 0.2 \cdot 1540 = 40.348 \text{ кг} \quad (3.13)$$

где M - масса шихты на сегменте, кг.

Масса сегмента определяется по следующей формуле:

$$M_{\text{сег}} := S \cdot \delta \cdot \rho_M \quad M_{\text{сег}} := 0.131 \cdot 0.006 \cdot 2900 = 2.279 \text{ кг} \quad (3.14)$$

где $\rho_{\text{ме}}$ – плотность металла тарели, которая равна $\rho_{\text{ме}} = 2900 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$;

$M_{\text{сег}}$ - масса сегмента, кг.

Распределенная сила, действующая на балку, определяется по следующей формуле [40]:

$$q := \frac{(M + M_{\text{сег.}}) \cdot g}{l} \quad q := \frac{(40.348 + 2.279) \cdot 9.81}{0.42} = 995.645 \frac{\text{Н}}{\text{м}} \quad (3.15)$$

где q - сила, действующая на балку, Н/м.

Максимальный изгибающий момент определяется по следующей формуле [40]:

$$M_{\text{и}} := \frac{q \cdot l^2}{8} \quad M_{\text{и.}} := \frac{995.645 \cdot 0.42^2}{8} = 21.954 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (3.16)$$

где $M_{\text{и}}$ - максимальный изгибающий момент, Н·м.

Требуемый осевой момент сопротивления балки определяется по следующей формуле [40]:

$$W_{\text{хтреб}} := \frac{M_{\text{и.}}}{[\sigma]} \quad W_{\text{хтреб.}} := \frac{21.954}{153.5 \cdot 10^6} = 1.43 \times 10^{-7} \text{ м}^3 \quad (3.17)$$

где $W_{\text{хтреб}}$ - требуемый осевой момент сопротивления, см³.

В качестве балок выбираем сталь горячекатаную полосовую по [41] с характеристиками: толщина 14 мм, ширина 22 мм. Расположение балок с садней стороны тарели представлено на рисунке 43.

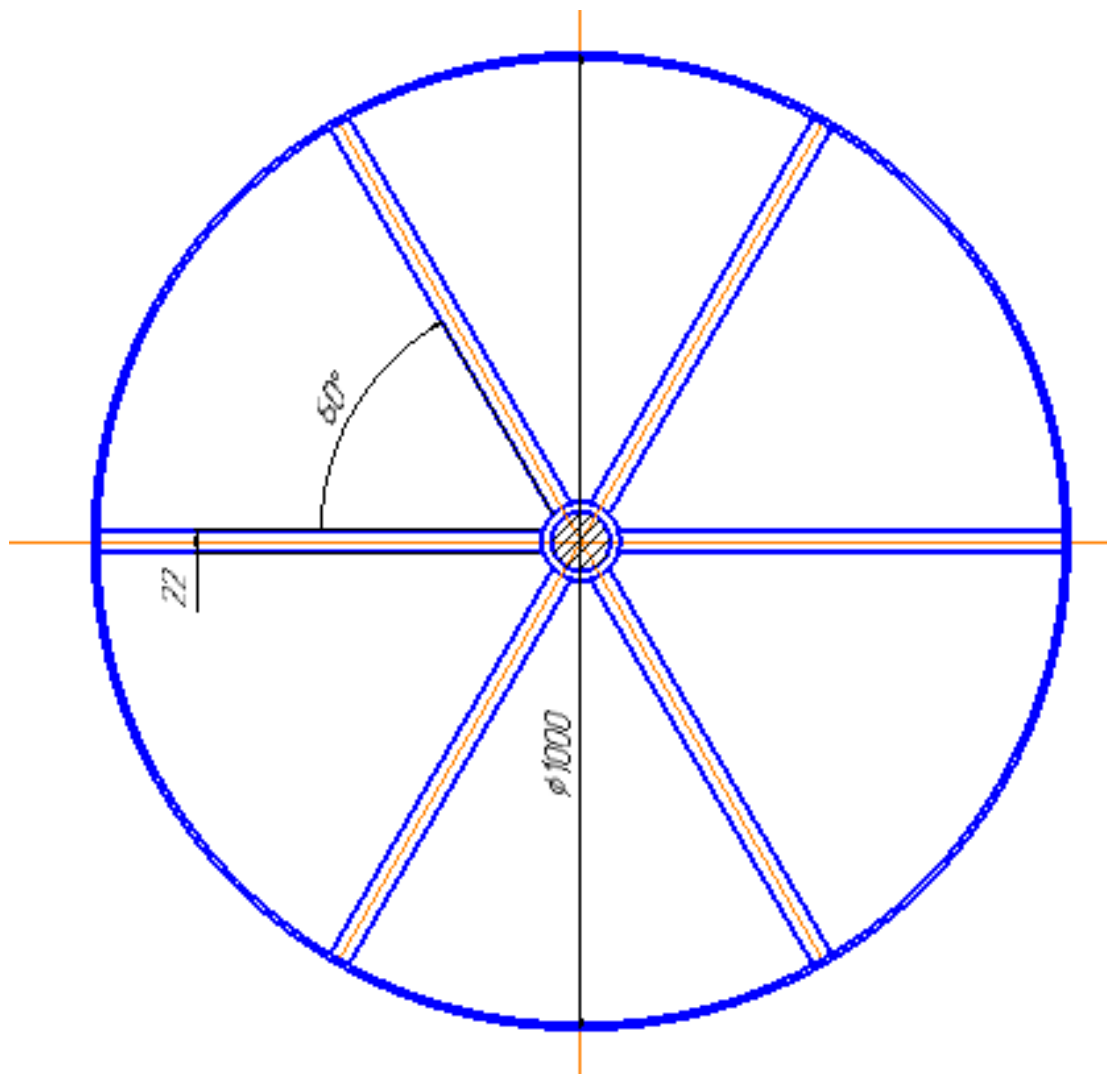


Рисунок 43 - Расположение балок с садней стороны тарели

3.4 Расчет на сопряжение оболочек

Расчёт на сопряжение оболочек проводится согласно [42]. Расчетная схема сопряжение оболочек представлена на рисунке 44.

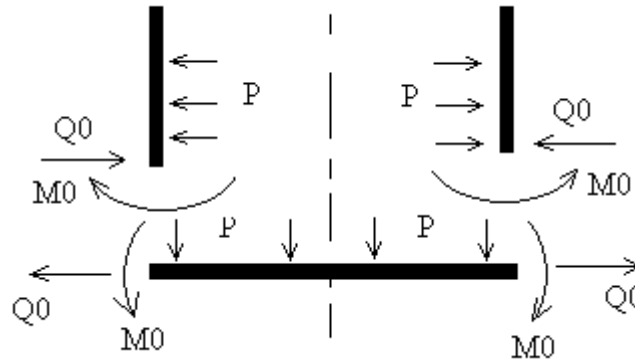


Рисунок 44 - Расчетная схема сопряжение оболочек

3.4.1 Уравнения совместной деформации

Составим систему уравнений совместности деформации с учетом направления нагрузок. Для упрощения расчета предварительно рассчитаем некоторые величины [42].

$$\Delta_{up} - \Delta_{uQ0} + \Delta_{uM0} = \Delta_{mP} + \Delta_{mQ0Q} + \Delta_{mM0} \quad (3.20)$$

$$-\Theta_u + \Theta_{uQ0} - \Theta_{uM0} = \Theta_{mP} + \Theta_{mQ0Q} + \Theta_{mM0}$$

Коэффициент затухания деформаций определяется по следующей формуле:

$$\beta := \frac{\sqrt[4]{3 \cdot (1 - \mu^2)}}{\sqrt{R \cdot \delta}} \quad (3.19)$$

$$\beta := \frac{\sqrt[4]{3 \cdot (1 - 0.3^2)}}{\sqrt{0.5 \cdot 0.006}} = 23.468 \frac{1}{\text{м}}$$

где β - коэффициент затухания деформаций, 1/м.

Подставим соответствующее выражение для деформаций:

$$\frac{R}{E \cdot \delta} \cdot P - \frac{2 \cdot \beta \cdot R}{E \cdot \delta} \cdot Q_0 + \frac{2 \cdot \beta^2 \cdot R^2}{E \cdot \delta} \cdot M_0 = \frac{(1 - \mu) \cdot R}{E \cdot \delta} \cdot Q_0 \quad (3.20)$$

$$\frac{2 \cdot \beta^2 \cdot R^2}{E \cdot \delta} \cdot Q_0 - \frac{4 \cdot \beta^3 \cdot R^2}{E \cdot \delta} \cdot M_0 = \frac{3 \cdot (1 - \mu) \cdot R^3}{2E \cdot \delta^3} \cdot P + \frac{6 \cdot (1 - \mu) \cdot R}{E \cdot \delta^2} \cdot Q_0 + \frac{12 \cdot (1 - \mu) \cdot R}{E \cdot \delta^3} \cdot M_0 \quad (3.21)$$

где Q_0 – краевая сила, Н;

M_0 – краевой момент, Н/м.

Выразим краевую силу Q_0 , и краевой момент M_0 по формулам 3.22 и 3.23.

$$Q_0 := \frac{12 \cdot P \cdot R - 3 \cdot P \cdot R^3 \cdot \beta^2 - 12 \cdot P \cdot R \cdot \mu + 3 \cdot P \cdot R^3 \cdot \mu \cdot \beta^2 + 4 \cdot P \cdot R^2 \cdot \beta^3 \cdot \delta^2}{4 \cdot R^2 \cdot \beta^4 \cdot \delta^2 - 4 \cdot R \cdot \beta^3 \cdot \delta^2 \cdot \mu - 12 \cdot R \cdot \beta^2 \cdot \delta \cdot \mu - 24 \cdot R \cdot \mu \cdot \beta + 4 \cdot R \cdot \beta^3 \cdot \delta^2 + 12 \cdot R \cdot \beta^2 \cdot \delta + 24 \cdot R \cdot \beta + 12 \cdot \mu^2 - 24 \cdot \mu + 12} = -740.127 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$$

$$M_0 := \frac{-6 \cdot P \cdot R^3 \cdot \beta - 6 \cdot P \cdot R^3 \cdot \beta \cdot \mu + 3 \cdot P \cdot R^2 \cdot \mu^2 - 6 \cdot P \cdot R^2 \cdot \mu - 4 \cdot P \cdot R^2 \cdot \beta^2 \cdot \delta^2 + 3 \cdot P \cdot R^2 - 12 \cdot P \cdot R \cdot \delta \cdot \mu + 12 \cdot \delta \cdot P \cdot R}{8 \cdot R^2 \cdot \beta^4 \cdot \delta^2 - 8 \cdot R \cdot \mu \cdot \beta^3 \cdot \delta^2 - 24 \cdot R \cdot \mu \cdot \beta^2 \cdot \delta - 48 \cdot R \cdot \mu \cdot \beta + 8 \cdot R \cdot \beta^3 \cdot \delta^2 + 24 \cdot R \cdot \beta^2 \cdot \delta + 48 \cdot R \cdot \beta + 24 \cdot \mu^2 - 48 \cdot \mu + 24} = -60.105 \text{ Н}$$

3.4.2 Суммарные напряжения на краю цилиндрической оболочки

Меридиональные напряжения определяются по следующим формулам [42]:

$$\sigma_{m0P} := P \cdot \frac{R}{2 \cdot \delta} \quad \sigma_{m0P} := 1.209 \times 10^3 \cdot \frac{0.5}{2 \cdot 0.006} = 5.037 \times 10^4 \text{ Па} \quad (3.24)$$

$$\sigma_{m0Q} := 0 \quad (3.25)$$

$$\sigma_{m0M} := 6 \cdot \frac{M_0}{\delta^2} \quad \sigma_{m0M} := 6 \cdot \frac{-60.105}{0.006^2} = -1.002 \times 10^7 \text{ Па} \quad (3.26)$$

$$\sigma_{m0} := |\sigma_{m0P} - \sigma_{m0Q}| + |\sigma_{m0M}| \quad (3.27)$$

$$\sigma_{m0} := |5.037 \times 10^4 - 0| + |-1.002 \times 10^7| = 1.007 \times 10^7 \text{ Па}$$

Кольцевые напряжения определяются по следующим формулам [42]:

$$\sigma_{k0P} := P \cdot \frac{R}{\delta} \quad \sigma_{k0P} := 1.209 \times 10^3 \cdot \frac{0.5}{0.006} = 1.008 \times 10^5 \text{ Па} \quad (3.28)$$

$$\sigma_{k0Q} := 2 \cdot \beta \cdot R \cdot \frac{Q_0 - \beta \cdot M_0}{\delta}$$

$$\sigma_{k0Q} := 2 \cdot 23.468 \cdot 0.5 \cdot \frac{-740.372 - 23.468 \cdot (-60.105)}{0.006} = 2.621 \times 10^6 \text{ Па} \quad (3.29)$$

$$\sigma_{k0M} := 6 \cdot M_0 \cdot \frac{\mu}{\delta^2} \quad \sigma_{k0M} := 6 \cdot (-60.105) \cdot \frac{0.3}{0.006^2} = -3.005 \times 10^6 \text{ Па} \quad (3.30)$$

$$\sigma_{k0} := |\sigma_{k0P} - \sigma_{k0Q}| + |\sigma_{k0M}| \quad (3.31)$$

$$\sigma_{k0} := |1.008 \times 10^5 - 2.621 \times 10^6| + |-3.005 \times 10^6| = 5.525 \times 10^6 \text{ Па}$$

Максимальное напряжение на краю цилиндрической оболочки определяется по следующей формуле:

$$\sigma_{\max 0} := \max(\sigma_{k0}, \sigma_{m0}) = 1.007 \times 10^7 \text{ Па} \quad (3.32)$$

где $\sigma_{\max 0}$ - максимальное напряжение на краю цилиндрической оболочки, Па.

3.4.3 Суммарные напряжения на краю пластины

Радиальные напряжения определяются по следующим формулам [42]:

$$\sigma_{rP} := 0 \text{ Па} \quad (3.33)$$

$$\sigma_{rQ0} := \frac{Q_0}{\delta} \cdot (1 + 3) \quad \sigma_{rQ0} := \frac{-740.372}{0.006} \cdot (1 + 3) = -4.936 \times 10^5 \text{ Па} \quad (3.34)$$

$$\sigma_{rM0} := \frac{6 \cdot M_0}{\delta^2} \quad \sigma_{rV0} := \frac{6 \cdot (-60.105)}{0.006^2} = -1.002 \times 10^7 \quad \text{Па} \quad (3.35)$$

Кольцевые напряжения определяются по следующим формулам [42]:

$$\sigma_{kP} := \frac{-3 \cdot (1 - \mu) \cdot R^2}{4 \cdot \delta^2} \cdot P \quad (3.36)$$

$$\sigma_{kP} := \frac{-3 \cdot (1 - 0.3) \cdot 0.5^2}{4 \cdot 0.006^2} \cdot 1.209 \times 10^3 = -4.408 \times 10^6 \text{ Па}$$

$$\sigma_{kQ0} := \frac{Q_0}{\delta} \cdot (1 + 3) \quad \sigma_{kQ0} := \frac{-740.372}{0.006} \cdot (1 + 3) = -4.936 \times 10^5 \text{ Па} \quad (3.37)$$

$$\sigma_{kM0} := \frac{6 \cdot M_0}{\delta^2} \quad \sigma_{kV0} := \frac{6 \cdot (-60.105)}{0.006^2} = -1.002 \times 10^7 \quad \text{Па} \quad (3.38)$$

Максимальное напряжение на краю пластины определяется по следующей формуле [42]:

$$\sigma_{\max M} := \max(|\sigma_{rP}|, |\sigma_{rQ0}|, |\sigma_{rM0}|, |\sigma_{kP}|, |\sigma_{kQ0}|, |\sigma_{kM0}|) = 1.002 \times 10^7 \text{ Па} \quad (3.39)$$

где $\sigma_{\max M}$ - максимальное напряжение на краю пластины, Па.

Максимальное напряжение определяется по следующей формуле:

$$\sigma_{\max} := \max(\sigma_{\max 0}, \sigma_{\max M}) = 1.007 \times 10^7 \text{ Па} \quad (3.40)$$

где σ_{\max} - максимальное напряжение, Па.

Для узла соединения с плоским днищем должно выполняться условие:

$$\sigma_{\max} \leq 1.3 \cdot [\sigma]$$

$$1.007 \times 10^7 \leq 1.3 \cdot 153.5 \cdot 10^6 \quad \text{Па}$$

Условие выполняется, следовательно, данная толщина стенки тарели и борта подходит.

3.5 Подбор двигателя

Масса шихты, заполняемая в тарель определяется по формуле:

$$Q := (\pi \cdot R^2 \cdot H \cdot \rho_T) \cdot 0.4 \quad Q := (\pi \cdot 0.5^2 \cdot 0.2 \cdot 1540) \cdot 0.4 = 96.761 \text{ кг} \quad (3.41)$$

где Q – масса шихты, кг;

0,4 – коэффициент заполнения.

Мощность необходимая для подъема шихты равна:

$$N_{1.} := \frac{Q \cdot \cos(\alpha_0) \cdot R \cdot \omega \cdot \sin(\psi_0)}{75} \quad (3.42)$$
$$N_{1.} := \frac{96.761 \cdot \cos(45) \cdot 0.5 \cdot 4.189 \cdot \sin(45)}{75} = 1.208 \text{ л.с.}$$

где α_0 - угол наклона тарели, который равен 45^0 ;

ψ_0 - угол естественного откоса, который равен 45^0 ;

ω - необходимая угловая скорость;

N_1 - мощность необходимая для подъема шихты, л.с. ($N_1 = 888,484$ Вт).

Мощность, расходуемая на трение вала в подшипниках равна:

$$N_{2.} := \lambda \cdot (M_m + Q) \cdot \omega_0 \cdot g \quad N_{2.} := 0.3 \cdot (90 + 96.761) \cdot 0.0035 \cdot 9.31 = 1.826 \text{ Вт} \quad (3.43)$$

где M_m - масса тарели, которая равна 90 кг;

ω_0 - окружная скорость вала, которая равна 0,0035 м/с;

N_2 - мощность, расходуемая на трение вала в подшипниках, Вт.

Следовательно, полный расход мощности равен:

$$N_n := N_{.1} + N_{2.} = 890.31 \text{ Вт} \quad (3.44)$$

где N_n - полный расход мощности, Вт.

Мощность с учетом КПД привода определяется по следующей формуле:

$$N := \frac{N_n}{\eta} \quad N := \frac{890.31}{0.8} = 1.113 \times 10^3 \text{ Вт} \quad (3.45)$$

где η - КПД привода, который равен 0,8.

Выбираем ближайший больший по мощности двигатель АИР 80 В6 с параметрами [43]:

1,1 кВт - мощность двигателя.

1000 об/мин - синхронная частота двигателя.

Размеры: l1, l31, l10, d1, d20, d22, b10, h - соответствуют стандартам [44] и [45]. Остальные указанные размеры носят информационный характер, и могут быть изменены производителем. Габаритно-присоединительные размеры представлены на рисунке 45 и в таблице 9.

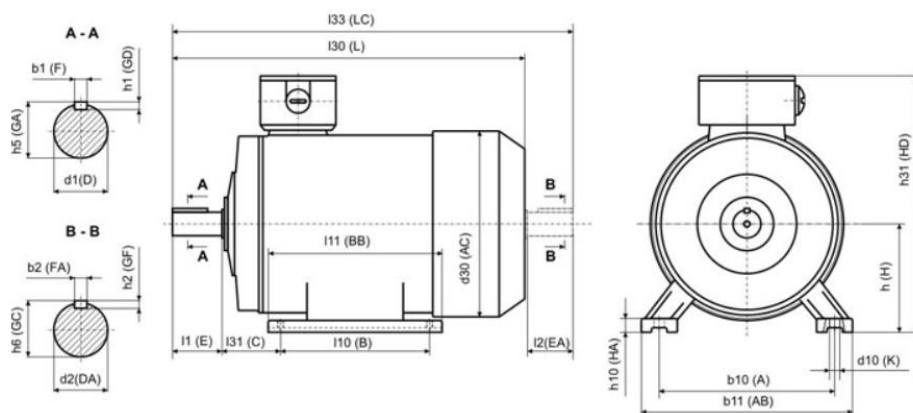


Рисунок 45 - Габаритно-присоединительные размеры электродвигателя общепромышленного АИР 80 В6

Таблица 9- Габаритно-присоединительные размеры

Типоразмер двигателя	Размеры двигателя, мм						
	l30	l33	h31	d30	b10	l10	l31
АИР 80 В6	321	374	205	180	125	100	50
	d1	d2	l1	l2	b1	b2	h5
	22	22	50	50	6	6	24,5
	h6	h1	h2	h	h10	d10	d20
	24,5	6	6	80	10	10	165
	d25	d24	l20	d22	l21	d25	
	130	200	3,5	12	12	10	

3.6 Расчет привода

Расчёт привода проводится согласно [46]. Привод выбираем исходя из максимальной частоты вращения тарели, и крутящего момента. Необходимое передаточное число равно:

$$i := \frac{n_d}{n} \qquad i := \frac{1000}{40} = 25 \qquad (3.46)$$

где n – необходимая частота вращения тарели, которая равна $n=40$ об/мин;

n_d - синхронная частота двигателя, об/мин;

i - передаточное число.

Необходимый пусковой крутящий момент определяется по следующей формуле [46]:

$$T_{в.} := \frac{P}{\omega} \qquad T_{в.} := \frac{1100}{4.189} = 262.593 \quad \text{Н}\cdot\text{м} \qquad (3.47)$$

где $T_{в.}$ - пусковой крутящий момент, Н · м.

Привод состоит из ременной передачи и червячного редуктора. Разобьем привод на передаточные отношения:

$$I := 20 \cdot 1.25 = 25 \qquad (3.48)$$

$i_1 = 1, 25$ - передаточное отношение ременной передачи;

$i_2 = 20$ - передаточное отношение редуктора.

Подберем червячный одноступенчатый редуктор типа Ч-100–40 с характеристиками [47]:

- Номинальный крутящий момент 720 Н · м;
- Передаточное отношение 20.

Габаритно-присоединительные размеры представлены редуктор типа Ч-100–40 на рисунке 46 и в таблице 10.

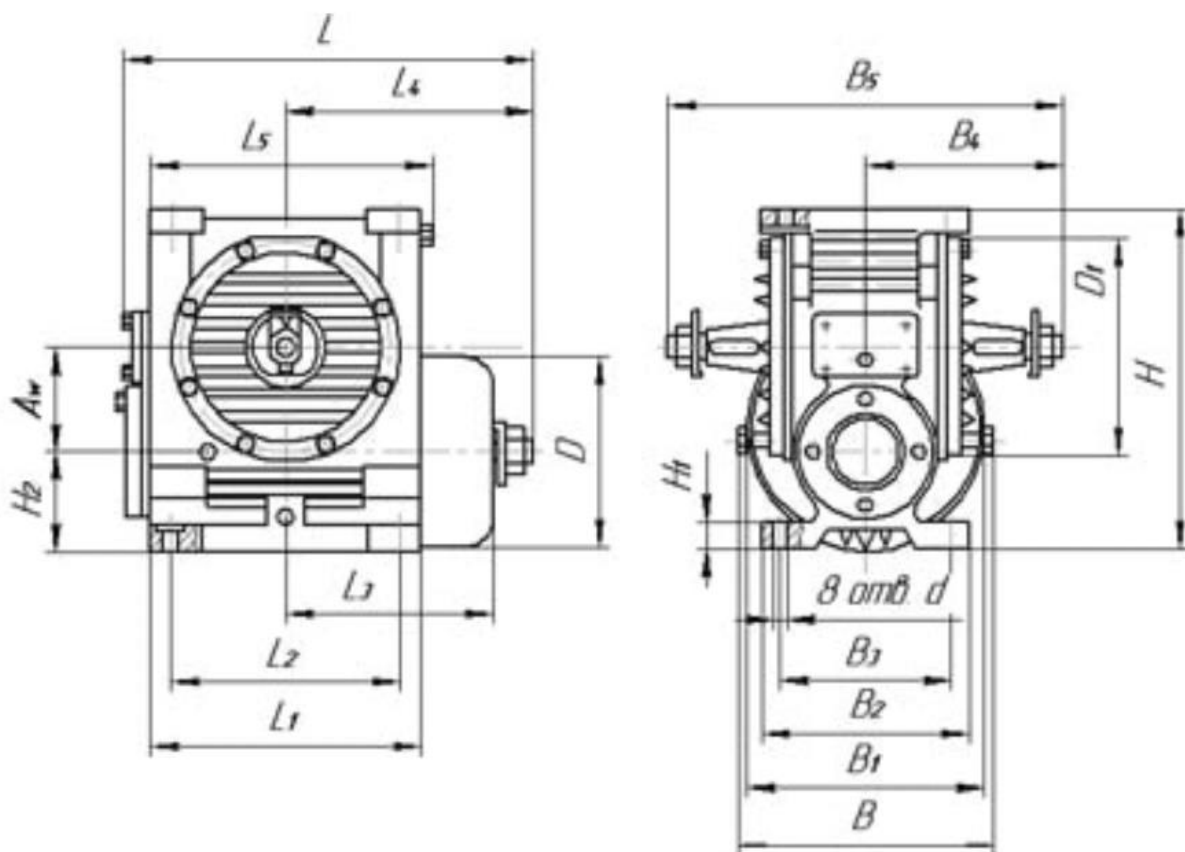


Рисунок 46 - Габаритные и присоединительные размеры Ч-100

Таблица 10 - Габаритные и присоединительные размеры Ч-100

Типоразмер редуктора	Размеры редуктора, мм						
	A_w	L	L_1	L_2	L_3	L_4	L_5
Ч-100	100	373	240	200	177	225	258
	B	B_1	B_2	B_4	B_5	H	H_1
	341	218	175	225	450	312	18
	H_2	D	D_1	D_2	d		
	100	140	220	150	18		

3.7 Расчет ременной передачи

Расчёт ременной передачи проводится согласно [46]. Необходимая угловая скорость ведомого вала равна 72 рад/с.

Угловая скорость редуктора определяется по следующей формуле:

$$\omega_d := \frac{n_d \cdot \pi}{30} \quad \omega_d := \frac{1000 \cdot \pi}{30} = 104.72 \frac{\text{м}}{\text{с}} \quad (3.49)$$

где ω_d – угловая скорость редуктора, м/с;

n_d - синхронная частота двигателя, об/мин.

Номинальный вращающий момент ведущего вала определяется по следующей формуле [46]:

$$M_1 := \frac{P}{\omega_d} \quad M_1 := \frac{1100}{104.72} = 10.504 \text{ Н}\cdot\text{м} \quad (3.50)$$

При таком значении M_1 рекомендуется выбрать [48] клиноременную передачу сечения ремня О с характеристиками:

$h=4$ мм - толщина ремня;

$A=47$ мм² - площадь сечения ремня.

Принимаем диаметр ведущего шкива больше минимального диаметра для обеспечения большей долговечности согласно [49]:

$$D_1=100 \text{ мм}$$

где D_1 - диаметр ведущего шкива, мм.

Находим диаметр ведомого шкива определяется по следующей формуле:

$$D_2 := i_1 \cdot D_1 \cdot (1 - \epsilon) \quad D_2 := 1.25 \cdot 100 \cdot (1 - 0.0015) = 124.813 \text{ мм} \quad (3.51)$$

где D_2 - диаметр ведомого шкива, мм;

ϵ - относительное скольжение, которое равно $\epsilon=0,0015$.

Стандартное ближайшее значение согласно [49]:

$$D_2=125 \text{ мм}$$

Уточняем передаточное отношение с учетом относительное скольжение по следующей формуле:

$$i_{y.} := \frac{D_2}{D_1 \cdot (1 - \epsilon)} \quad i_y := \frac{125}{100 \cdot (1 - 0.0015)} = 1.252 \quad (3.52)$$

где i_y - уточнённое передаточное отношение, м;

Пересчитываем частоту вращения по следующей формуле:

$$n_p. := \frac{n_d}{i_y} \quad n_p := \frac{1000}{1.252} = 798.722 \frac{\text{об}}{\text{мин}} \quad (3.53)$$

где n_p – частота вращения, об/мин.

При допускаемом расхождении до 3 %. Расхождение с заданным значением составляет:

$$\Delta := \frac{n_2 - n_p}{n_2} \cdot 100\% \quad \Delta := \frac{800 - 798.722}{800} \cdot 100 = 0.16 \% \quad (3.54)$$

Межосевое расстояние определяется по следующим формулам [50]:

$$a_{\min.} := 0.55 \cdot (D_2 + D_1) + h \quad (3.55)$$

$$a_{\min} := 0.55 \cdot (125 + 100) + 6 = 129.75 \text{ мм}$$

$$a_{\max.} := 2 \cdot (D_2 + D_1) \quad a_{\max} := 2 \cdot (125 + 100) = 450 \text{ мм} \quad (3.56)$$

Где a_{\min} – минимальное межосевое расстояние, мм;

a_{\max} – максимальное межосевое расстояние, мм.

Принимаем близкое к среднему значению:

$$a_{\text{ном}} = 300 \text{ мм}$$

Расчетная длина ремня определяется по следующей формуле [50]:

$$L_p. := 2 \cdot a_{\text{ном}} + \frac{\pi}{2} \cdot (D_2 + D_1) + \frac{(D_2 - D_1)^2}{4 \cdot a_{\text{ном}}} \quad (3.57)$$

$$L_p := 2 \cdot 300 + \frac{\pi}{2} \cdot (125 + 100) + \frac{(125 - 100)^2}{4 \cdot 300} = 953.95 \text{ мм}$$

где L_p - расчетная длина ремня, мм.

Стандартная ближайшая длина равна:

$$L_c = 1000 \text{ мм}$$

где L_c - стандартная длина ремня, мм.

Средний диаметр шкива определяется по следующей формуле:

$$D_{\text{ср.}} := \frac{(D_2 + D_1)}{2} \quad D_{\text{ср.}} := \frac{(125 + 100)}{2} = 112.5 \text{ мм} \quad (3.58)$$

где $D_{\text{ср}}$ - средний ведомого шкива, мм.

Определяем новое значение межосевого расстояния с учетом стандартной длины по формуле 10 [50]:

$$a := 0.25 \cdot \left[L_c - \pi \cdot D_{\text{ср}} + \sqrt{(L_c - \pi \cdot D_{\text{ср}})^2 - 2 \cdot (D_2 - D_1)^2} \right]$$
$$a := 0.25 \cdot \left[1000 - \pi \cdot 112.5 + \sqrt{(1000 - \pi \cdot 112.5)^2 - 2 \cdot (125 - 100)^2} \right] = 323.044 \text{ мм} \quad (3.59)$$

где a – межосевое расстояние, мм.

Для возможности монтажа межосевое расстояние должно уменьшаться на данную величину:

$$a_{\text{м.}} := 0.01 \cdot L_c \quad a_{\text{м.}} := 0.01 \cdot 1000 = 10 \text{ мм} \quad (3.60)$$

Для возможности натягивания ремней межосевое расстояние должно увеличиваться на данную величину:

$$a_{\text{н.}} := 0.025 \cdot L_c \quad a_{\text{н.}} := 0.025 \cdot 1000 = 25 \text{ мм} \quad (3.61)$$

Угол обхвата меньшего шкива определяется по формуле 5 [50]:

$$\alpha := 180 - 57 \cdot \frac{(D_2 - D_1)}{a} \quad \alpha := 180 - 57 \cdot \frac{(100 - 125)}{323.044} = 184.411 \text{ град} \quad (3.62)$$

где α - угол обхвата меньшего шкива.

Приведенная скорость ремней определяется по следующей формуле:

$$v := 0.5 \cdot \omega_d \cdot D_1 \quad v := 0.5 \cdot 104.72 \cdot 0.125 = 6.545 \frac{\text{м}}{\text{с}} \quad (3.63)$$

где v - приведенная скорость ремней, м/с.

Номинальную мощность в зависимости от сечения ремня, расчетных диаметров шкивов и частоты вращения следует выбирать по таблице 5 согласно [50]:

$$P_0 := 610 \text{ Вт} \quad (3.64)$$

где P_0 - номинальная мощность Вт.

Определяем коэффициенты для расчёта допускаемого окружного усилия. Коэффициент, учитывающий угол обхвата определяется по следующей формуле:

$$C_a := 1 - 0.003 \cdot (180 - \alpha) \quad C_a := 1 - 0.003 \cdot (180 - 184.411) = 1.013 \quad (3.65)$$

где C_a - коэффициент, учитывающий угол обхвата.

Коэффициент, учитывающий длину, определенный по таблице 19 согласно [50], равен:

$$C_L := 0.88 \quad (3.66)$$

где C_L - коэффициент, учитывающий длину.

Коэффициент, учитывающий окружное усилие, определенный по таблице 1 согласно [50], равен:

$$C_p := 1 \quad (3.67)$$

где C_p - коэффициент, учитывающий окружное усилие.

Коэффициент, учитывающий число ремней в передаче, определенный по таблице 20 согласно [50], равен:

$$C_0 := 0.85 \quad (3.68)$$

где C_0 - коэффициент, учитывающий число ремней в передаче.

Допускаемая мощность на один ремень определяется по следующей формуле [50]:

$$[P] := P_0 \cdot C_a \cdot C_L \cdot C_p \quad [P] := 610 \cdot 1.013 \cdot 0.88 \cdot 0.85 = 462.212 \text{ Вт} \quad (3.69)$$

где $[P]$ - допускаемая мощность, Вт.

Номинальная мощность, потребляемая приводом, определяется по формуле [50]:

$$P_{\text{ном.}} := \frac{P}{C_p} \quad P_{\text{ном}} := \frac{1100}{1} = 1.1 \times 10^3 \text{ Вт} \quad (3.70)$$

где $P_{\text{ном}}$ - номинальная мощность, потребляемая приводом, Вт.

Окружное усилие определяется по следующей формуле:

$$P_{\text{окр.}} := \frac{P}{v} \quad P_{\text{окр}} := \frac{1100}{6.545} = 168.067 \text{ Н} \quad (3.71)$$

где $P_{\text{окр}}$ - окружное усилие, Н.

Необходимое число ремней в приводе вычисляют по формуле [50]:

$$z := \frac{P_{\text{ном}} \cdot C_p}{P_0 \cdot C_L \cdot C_a \cdot C_0} \quad z := \frac{1100 \cdot 1}{610 \cdot 0.88 \cdot 1.013 \cdot 0.85} = 2.38 \quad (3.72)$$

где z - расчетное число ремней.

Число ремней в приводе, согласно [50], принимаем равным 2.

Напряжение от предварительного натяжения равно:

$$\sigma_0 := 1.6 \frac{H}{\text{мм}^2} \quad (3.73)$$

где σ_0 - напряжение от предварительного натяжения, Н/мм².

Предварительное натяжение каждой ветви определяется по следующей формуле:

$$S_0 := \sigma_0 \cdot F \quad S_0 := 1.6 \cdot 47 = 75.2 \text{ Н} \quad (3.74)$$

где S_0 - предварительное натяжение ветви, Н.

Рабочее натяжение каждой ветви определяется по следующей формуле:

$$S_1 := S_0 + \frac{[P]}{2 \cdot z} \quad S_1 := 75.2 + \frac{462.212}{2 \cdot 2} = 190.753 \text{ Н} \quad (3.75)$$

где S_1 - рабочее натяжение ветви, Н.

Рабочее натяжение ведомой ветви определяется по следующей формуле:

$$S_{2.} := S_0 - \frac{P_{\text{окр}}}{2 \cdot z} \quad S_2 := 75.2 - \frac{168.067}{2 \cdot 2} = 33.183 \text{ Н} \quad (3.76)$$

где S_2 - рабочее натяжение ведомой ветви, Н.

Усилие на валы определяется по следующей формуле [50]:

$$Q_{\text{в.}} := 2 \cdot S_0 \cdot z \cdot \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) \quad Q_{\text{в}} := 2 \cdot 75.2 \cdot 2 \cdot \sin\left(\frac{184.411}{2}\right) = -267.981 \text{ Н} \quad (3.77)$$

$$Q_{\text{,в}} := |-267.981| = 267.981 \text{ Н}$$

где $Q_{\text{в}}$ - усилие на валы, Н.

3.8 Расчет вала

Расчёт вала проводится согласно [40]. Вес тарели вместе с шихтой определяется по следующей формуле:

$$F_m := (M_m + Q) \cdot g \quad F_m := (90 + 96.761) \cdot 9.81 = 1.832 \times 10^3 \text{ Н} \quad (3.78)$$

где F_m - вес тарели вместе с шихтой, Н.

Так как рабочий орган аппарата располагается под углом к горизонту, то от веса тарели возникает радиальная и осевая нагрузка на вал. Радиальная нагрузка определяется по следующей формуле [40]:

$$F_r := F_m \cdot \cos(45) \quad F_r := 1.832 \times 10^3 \cdot \cos(45) = 962.39 \text{ Н} \quad (3.79)$$

где F_r - радиальная нагрузка, Н.

Осевая нагрузка определяется по следующей формуле [40]:

$$F_a := F_m \cdot \sin(45) \quad F_a := 1.832 \times 10^3 \cdot \sin(45) = 1.559 \times 10^3 \text{ Н} \quad (3.80)$$

где F_a - осевая нагрузка, Н.

Рассмотрим изгиб вала. Реакции опор:

$$\begin{aligned} \Sigma M_B &:= 0 \\ F_r \cdot (a + b) - R_A \cdot b &= 0 \end{aligned} \quad (3.81)$$

Откуда:

$$R_A := \frac{F_r \cdot (a + b)}{b} \quad R_A := \frac{962.39 \cdot (0.2 + 0.2)}{0.2} = 1.925 \times 10^3 \text{ Н} \quad (3.82)$$

где a, b – плечи силы, который равны $a=0,2$ и $b=0,2$ м.

$$\begin{aligned} \Sigma M_A &:= 0 \\ F_r \cdot a + R_B \cdot b &= 0 \end{aligned} \quad (3.83)$$

Откуда:

$$R_B := \frac{F_T \cdot a}{b} \quad R_B := \frac{962.39 \cdot 0.2}{0.2} = 962.39 \text{ Н} \quad (3.84)$$

Построим диаграмму изгибающих моментов:

Сечение 1: $0 \leq x \leq a$

$$M_{x1} := F_T \cdot a + R_B \cdot b \quad M_{x1} := 962.39 \cdot 0.2 + 962.39 \cdot 0.2 = 384.956 \text{ Н}\cdot\text{м} \quad (3.85)$$

где M_{x1} – изгибающий момент в сечении 1, Н·м.

Сечение 2: $0 \leq x \leq b$

$$M_{x2} := F_T \cdot (a + b) - R_A \cdot b \quad (3.86)$$

$$M_{x2} := 962.39 \cdot (0.2 + 0.2) - 1.925 \times 10^3 \cdot 0.2 = -0.044 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

где M_{x2} – изгибающий момент в сечении 2, Н·м.

Построим диаграмму крутящих моментов, которая представлена на рисунке 47:

$$M_1 = M_2 = 0.262 \text{ кН}\cdot\text{м} \quad (3.87)$$

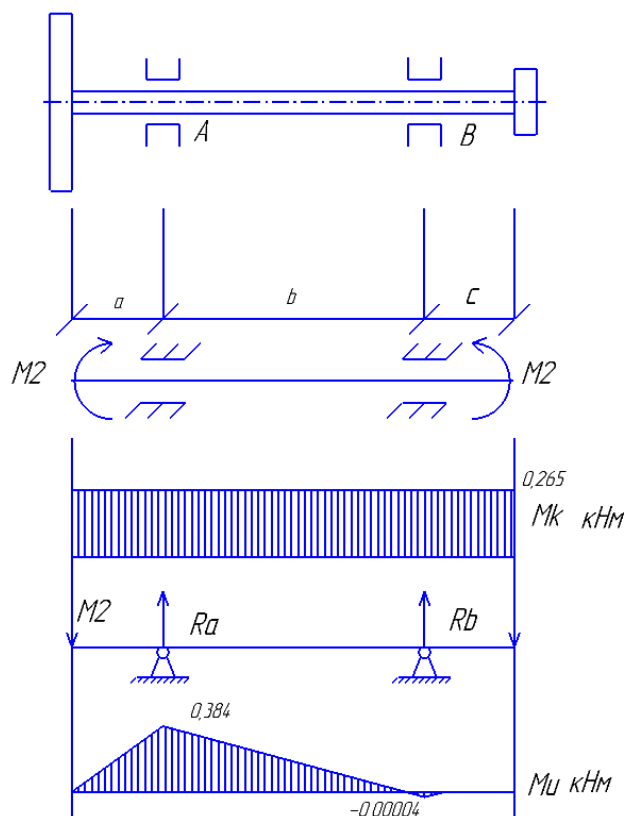


Рисунок 47 - Диаграмма крутящих моментов

Опасное сечение А. По 3 теории прочности определим эквивалентный диаметр. Эквивалентный момент определяется по следующей формуле:

$$M_{\text{э}} := \sqrt{M_{x1}^2 + M_1^2} \quad M_{\text{э}} := \sqrt{384.956^2 + 262.593^2} = 465.989 \text{ Н}\cdot\text{м} \quad (3.88)$$

где $M_{\text{э}}$ – эквивалентный момент, Н·м.

Определим диаметр вала из условия прочности:

$$\sigma \leq [\sigma]$$

Откуда

$$\sigma := \frac{M_{\text{э}}}{W_z} \quad (3.89)$$

где W_z - осевой момент сопротивления, м³;

$[\sigma]$ - допускаемое напряжение материала вала, Па.

Диаметр вала определяется по следующей формуле:

$$d := \sqrt[3]{\frac{32 \cdot M_{\text{э}}}{\pi \cdot [\sigma]}} \quad d := \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 465.989}{\pi \cdot 153.5 \cdot 10^6}} = 0.031 \text{ м} \quad (3.90)$$

где d - диаметр вала, мм.

Принимаем диаметр вала равным 32 мм, согласно [51].

Осевой момент сопротивления определяется по следующей формуле:

$$W_z := \frac{\pi \cdot d^3}{32} \quad W_z := \frac{\pi \cdot 0.032^3}{32} = 3.217 \times 10^{-6} \text{ м}^3 \quad (3.91)$$

Допускаемый изгибающий момент определяется по следующей формуле [40]:

$$[Mu] := W_z \cdot [\sigma] \quad [Mu] := 3.217 \times 10^{-6} \cdot 153.5 \cdot 10^6 = 493.809 \text{ Н}\cdot\text{м} \quad (3.92)$$

где $[Mu]$ - допускаемый изгибающий момент, Н·м.

Полярный момент сопротивления определяется по следующей формуле:

$$W_p := \frac{\pi \cdot d^3}{16} \quad W_p := \frac{\pi \cdot 0.032^3}{16} = 6.434 \times 10^{-6} \text{ м}^3 \quad (3.93)$$

где W_p - полярный момент сопротивления, м³.

Допускаемый крутящий момент определяется по следующей формуле [40]:

$$[M_k] := W_p \cdot [\sigma] \quad [M_k] := 6.434 \times 10^{-6} \cdot 153.5 \cdot 10^6 = 987.619 \text{ Н}\cdot\text{м} \quad (3.94)$$

где $[M_k]$ - допускаемый крутящий момент, Н·м.

Допускаемое касательное напряжение определяется по следующей формуле:

$$[\tau] := 0.5 \cdot [\sigma] \quad [\tau] := 0.5 \cdot 153.5 \cdot 10^6 = 7.675 \times 10^7 \text{ Па} \quad (3.95)$$

где $[\tau]$ допускаемое касательное напряжение, Па.

3.9 Расчет подшипникового узла

3.9.1 Расчет на долговечность подшипников

Расчёт подшипникового узла проводится согласно [46]. Выберем наиболее конструктивно простую схему установки подшипников враспор. Расчет подшипника необходимо произвести для опоры А так как эта опора является самой нагруженной.

В соответствии с рекомендацией для выбора типа подшипника нужно рассчитать соотношение осевой нагрузки к радиальной.

$$\frac{F_m}{R_A} = \frac{1.832 \times 10^3}{1.925 \cdot 10^3} = 0.952 \quad (3.96)$$

Выбираем подшипник согласно [52] с условным обозначением 346000 с характеристиками:

- $C=36800$ Н - динамическая грузоподъемность подшипника;
- $C_0=21300$ Н - статическая грузоподъемность подшипника.

Сдвоенные радиально-упорные шариковые подшипники 346000 представлены на рисунке 48.

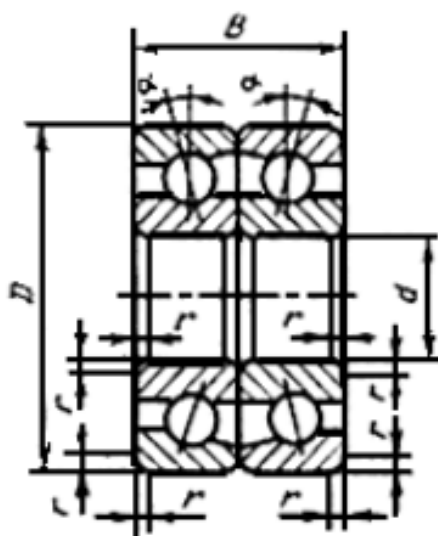


Рисунок 48 - Сдвоенные радиально-упорные шариковые подшипники 346000

Технические характеристики подшипника 346000 [52]:

- Внутренний диаметр 40 мм;
- Наружный диаметр 80 мм;
- Ширина 36 мм;
- Размер монтажной фаски 2 мм.

Найдем отношение:

$$\frac{F_a}{C_0} = \frac{1.559 \times 10^3}{21300} = 0.073 \quad (3.97)$$

По таб. 7.3 согласно [53] определим параметр осевого нагружения:

$$e_1 = 0,68 \quad (3.98)$$

Осевая составляющая радиальной нагрузки в долях определяется по следующей формуле:

$$S_{\Pi} := R_A \cdot e_1 \quad S_{\Pi} := 1.925 \cdot 10^3 \cdot 0.68 = 1.309 \times 10^3 \text{ Н} \quad (3.99)$$

где S_{Π} - осевая составляющая радиальной нагрузки, Н.

Осевая сила определяется по следующей формуле:

$$F_{\text{ос.}} := F_a + S_{\Pi} \quad F_{\text{ос.}} := 1.559 \times 10^3 + 1.309 \times 10^3 = 2.868 \times 10^3 \text{ Н} \quad (3.100)$$

где $F_{\text{ос.}}$ - осевая сила, Н.

Определим коэффициенты осевой и радиальной нагрузки [53]:

$$\frac{F_{\text{ос.}}}{V \cdot R_A} = \frac{2.868 \times 10^3}{1 \cdot 1.925 \cdot 10^3} = 1.49 \quad (3.101)$$

$X = 0,40$ - радиальный коэффициент.

$Y = 0,83$ - осевой коэффициент.

Эквивалентная нагрузка определяется по следующей формуле:

$$P_o := (X \cdot V \cdot R_A + Y \cdot F_{\text{ос.}}) \cdot K_o \cdot K_T \quad (3.102)$$
$$P_o := (0.4 \cdot 1 \cdot 1.925 \cdot 10^3 + 0.83 \cdot 2.868 \times 10^3) \cdot 1.2 \cdot 1 = 3.781 \times 10^3 \text{ Н}$$

где V - коэффициент, учитывающий вращение колец, который равен 1;

K_T - температурный коэффициент, который равен 1 [53];

K_C - коэффициент безопасности, который равен 1,2 [53].

Расчетная долговечность определяется по следующей формуле:

$$L := \frac{10^6 \cdot C}{60 \cdot n \cdot P_0} \quad L := \frac{10^6}{60 \cdot 40} \cdot \frac{46100}{3781} = 5.08 \times 10^3 \text{ ч} \quad (3.103)$$

где L - расчетная долговечность, ч.

Полученный результат лежит в пределах от 3500 до 7500 ч., следовательно, данный тип подшипников подходит.

3.9.2 Конструирование стакана

Расчётная схема для конструирования стакана представлена на рисунке 49.

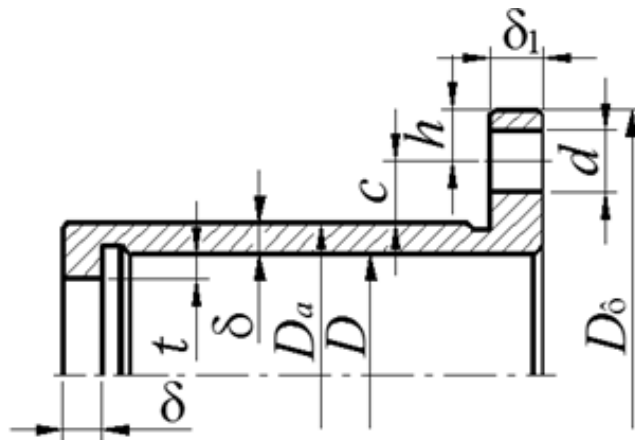


Рисунок 49 - Расчётная схема для конструирования стакана

Толщину стенки стакана принимаем в зависимости от диаметра отверстия под подшипник, и она равно:

$$\delta_c := 15 \text{ мм} \quad (3.104)$$

где δ_c - толщина стенки стакана, мм.

Толщина фланца равна:

$$\delta_1 := 1.2 \cdot \delta_c \quad \delta_1 := 1.2 \cdot 15 = 18 \text{ мм} \quad (3.105)$$

где δ_1 - толщина фланца, мм.

Диаметр и число отверстий под болты для крепления стакана к корпусу n назначаем в зависимости от диаметра отверстия под подшипник:

$$d_1 := 10 \text{ мм} \\ n_1 := 6 \quad (3.106)$$

Чтобы обеспечить сопряжение торцов фланца стакана и корпуса по плоскости, на наружной цилиндрической поверхности стакана перед торцом фланца делаем канавку.

Конструкция подшипникового узла спроектирована так, что она обеспечивает следующее:

- Необходимые условия для работы подшипника, то есть смазку и предохранение от пыли и грязи;
- Удобства монтажа и демонтажа подшипников;
- При установке подшипников на вал и в корпус осевая сила передается на то кольцо, которое напрессовывается или снимается.

Кроме того, все детали узла обладают достаточной прочностью и жесткостью.

3.10 Расчет рамы

В соответствии с рекомендацией рама изготавливается из профильных труб. Размер трубы выбран так, чтобы выполнялись условия:

- Условие создания необходимой жесткости;
- Условие обеспечения критерия работоспособности рамы;
- Условие свободного размещения гайки или головки болта.

В проектируемой конструкции действуют минимальные изгибающие моменты вследствие того, что агрегаты располагаются, так что они не образуют плеч. Поэтому основным критерием в определении профиля является условие свободного размещения гаек и головок болта.

3.10.1 Расчет шарнира

Расчёт шарнира проводится согласно [46]. На шарнирах располагается поворотная рама с закрепленной на ней тарелью, редуктором и двигателем. Вращение рамы будет производиться в редких случаях из сходя из этого шарнир рассчитывается на среднее давление. Схема нагружения шарнира представлена на рисунке 50.

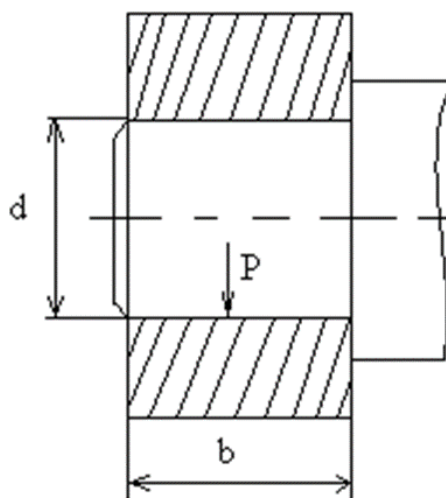


Рисунок 50 - Схема нагружения шарнира

Нагрузка на каждый шарнир определяется по следующей формуле:

$$P_p := \frac{F_m + (M_p + M_d + M_b + M_{рам}) \cdot g}{2} \quad (3.108)$$

$$P_p := \frac{1.832 \times 10^3 + (55 + 15.3 + 26 + 45) \cdot 9.81}{2} = 1.609 \times 10^3 \text{ Н}$$

где M_p - масса редуктора;

M_d - масса двигателя;

M_b - масса подшипникового узла с муфтой;

$M_{рам}$ - масса рамы.

В качестве материала шарнира выберем Ст.3. Допускаемое среднее давление материала равно:

$$[p] := 5 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2} \quad (3.109)$$

где $[p]$ - допускаемое среднее давление, Н/мм².

Действующее среднее давление определяется по следующей формуле [46]:

$$p := \frac{P_p}{b \cdot d} \quad p := \frac{1.609 \times 10^3}{60 \cdot 60} = 0.447 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2} \quad (3.110)$$

где b и d - размеры шарнира, мм;

p - действующее среднее давление, Н/мм².

Условие работоспособности шарнира:

$$p \leq [p] \\ 0.447 \leq 5 \quad (3.111)$$

Условие выполняется, следовательно, данные размеры шарнира подходят.

3.11 Расчет шпоночного соединения

Для соединения валов с деталями, передающими вращение, применяют призматические шпонки, изготавливаемой из стали, имеющей $\sigma_B \geq 590 \frac{H}{мм^2}$.

Принимаем допускаемое напряжение смятия равным:

$$[\sigma]_{см} \leq 100 \frac{H}{мм^2} \quad (3.112)$$

где $[\sigma]_{см}$ - допускаемое напряжение смятия, Н/мм².

Проверка шпонки на смятие определяется по следующей формуле:

$$\sigma_{см} = \frac{2 \cdot M_1}{d_c \cdot (h_{ш} + t_1) \cdot l_p} \leq [\sigma]_{см} \quad (3.113)$$

где h-высота шпонки, мм;

l_p - рабочая длина шпонки, мм;

t_1 -глубина паза, мм.

Примем, для соединения вала с тарелью [55]: h = 6 мм, $t_1=4$ мм, $l_p=32$ мм.

Для соединения необходимо 2 шпонки. Определим напряжение смятия для каждой шпонки по следующим формулам:

$$\sigma_{см1} := \frac{2 \cdot M_1}{d_c \cdot (h_{ш} + t_1) \cdot l_p} \quad \sigma_{см1} := \frac{2 \cdot 262.593}{0.032 \cdot (0.006 - 0.004) \cdot 0.028} = 2.931 \times 10^8 \frac{H}{м^2} \quad (3.114)$$

$$\sigma_{см2} := \frac{2 \cdot M_1}{2 \cdot d_c \cdot (h_{ш} + t_1) \cdot l_p} \quad \sigma_{см2} := \frac{2 \cdot 262.593}{0.032 \cdot (0.006 - 0.004) \cdot 0.028} = 2.931 \times 10^8 \frac{H}{м^2} \quad (3.115)$$

Примем, для соединения вала с муфтой, h = 8 мм, $t_1= 6$ мм, $l_p=60$ мм [55].

$$\sigma_{см3} := \frac{2 \cdot M_1}{2 \cdot d_c \cdot (h_{ш} + t_1) \cdot l_p} \quad \sigma_{см3} := \frac{2 \cdot 262.593}{0.032 \cdot (0.008 - 0.006) \cdot 0.06} = 1.368 \times 10^8 \frac{H}{м^2} \quad (3.116)$$

Действующие напряжения смятия меньше, следовательно, данный ряд шпонок удовлетворяет условию.

4 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. Коммерческая ценность определяется наличием более высоких технических характеристик над конкурентными разработками и отвечает на такие вопросы как– будет ли продукт востребован на рынке, какова будет его цена, каков бюджет научного исследования, какое время будет необходимо для продвижения разработанного продукта на рынок.

Данный раздел, предусматривает рассмотрение следующих задач:

- Оценка коммерческого потенциала разработки;
- Планирование научно-исследовательской работы;
- Расчет бюджета научно-исследовательской работы;
- Определение ресурсной, финансовой, бюджетной эффективности исследования.

С учетом решения данных задач была сформирована структура и содержание раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение».

4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

4.1.1 Анализ конкурентных технических решений

В ходе исследования были рассмотрены две конкурирующие разработки различного состава:

- Связующая добавка в виде бентонитовой глины;
- Связующее, включающее смесь бентонита и присадки (смесь содержит в качестве присадки мел).

Детальный анализ необходим, т.к. каждое связующее имеет свои достоинства и недостатки. В таблице 11 показано сравнение разработок конкурентов и разработки данного НИ с точки зрения технических и экономических критериев оценки эффективности.

Таблица 11 – Сравнение конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкуренто-способность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Актуальность исследования	0,14	5	3	4	0,7	0,42	0,56
2. Прочность при раздавливании	0,22	4	5	4	0,88	1,1	0,88
3. Доступность	0,15	5	3	3	0,75	0,45	0,45
4. Эффективность работы	0,05	5	5	5	0,25	0,25	0,25
5. Безопасность использования	0,08	4	4	4	0,32	0,32	0,32
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Цена сырья	0,18	5	3	4	0,9	0,54	0,72

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
2. Предполагаемый срок эксплуатации	0,08	4	4	4	0,32	0,32	0,32
3. Финансирование научной разработки конкурентных товаров и разработок	0,1	5	4	4	0,5	0,4	0,4
Итого	1	37	31	32	4,62	3,8	3,9

Расчет конкурентоспособности, на примере стабильности срабатывания, определяется по формуле:

$$K = \sum V_i \cdot B_i \quad (4.1)$$

где K – конкурентоспособность проекта;

V_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл показателя.

Проведенный анализ конкурентных технических решений показал, что исследование является наиболее актуальным и перспективным, имеет конкурентоспособность.

4.1.2 SWOT-анализ

SWOT - анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта. Итогом SWOT-анализа считается описание сильных и слабых сторон рассчитанного аппарата, выявление возможностей и опасностей для его реализации, которые проявились или же имеют все шансы возникнуть в его внешней среде.

Первый этап заключается в описании сильных и слабых сторон проекта, в выявлении возможностей и угроз для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде.

Таблица 12 – SWOT-анализ

	<p>Сильные стороны проекта</p> <p>С1. Экологичность технологии.</p> <p>С2. Низкая цена исходного сырья.</p> <p>С3. Квалифицированный персонал.</p> <p>С4. Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии.</p>	<p>Слабые стороны проекта</p> <p>Сл1. Отсутствие прототипа научной разработки.</p> <p>Сл2. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по работе с научной разработкой.</p> <p>Сл3. Отсутствие необходимого оборудования для проведения испытания опытного образца.</p> <p>Сл4. Отсутствие ссылок и материалов для соответствующих научных исследований.</p>
<p>Возможности</p> <p>В1. Использование оборудования ИНШПТ ТПУ.</p> <p>В2. Появление потенциального спроса на новые разработки.</p> <p>В3. Внедрение на мировой рынок, экспорт за рубеж.</p>		
<p>Угрозы</p> <p>У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства</p> <p>У2. Появление зарубежных аналогов и более ранний их выход на рынок.</p> <p>У3. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства</p>		

В рамках второго этапа необходимо построить интерактивную матрицу проекта. Ее использование помогает разобраться с различными комбинациями взаимосвязей областей матрицы SWOT.

Таблица 13 - Интерактивная матрица проекта «Возможности проекта и сильные стороны»

Сильные стороны проекта					
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4
	B1	+	+	-	+
	B2	+	+	+	-
	B3	-	+	+	+

Таблица 14 – Интерактивная матрица проекта «Возможности проекта и слабые стороны»

Слабые стороны проекта					
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
	B1	+	+	+	+
	B2	+	+	+	-
	B3	+	-	-	-

Таблица 15 – Интерактивная матрица проекта «Угрозы проекта и сильные стороны»

Сильные стороны проекта					
Угрозы проекта		C1	C2	C3	C4
	У1	+	+	-	-
	У2	+	+	+	+
	У3	-	+	+	+

Таблица 16 – Интерактивная матрица проекта «Угрозы проекта и слабые стороны»

Слабые стороны проекта					
Угрозы проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
	У1	+	-	+	+
	У2	0	+	+	-
	У3	+	+	-	+

В рамках третьего этапа должна быть составлена итоговая матрица SWOT анализа. Результаты анализа представлены в итоговую таблицу 17.

Таблица 17 – Итоговый SWOT-анализ

	Сильные стороны проекта	Слабые стороны проекта
	<p>С1. Экологичность технологии.</p> <p>С2. Низкая цена исходного сырья.</p> <p>С3. Квалифицированный персонал.</p> <p>С4. Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии.</p>	<p>Сл1. Отсутствие прототипа научной разработки.</p> <p>Сл2. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по работе с научной разработкой.</p> <p>Сл3. Отсутствие необходимого оборудования для проведения испытания опытного образца.</p> <p>Сл4. Отсутствие ссылок и материалов для соответствующих научных исследований</p>

Продолжение таблицы 17

<p>Возможности</p> <p>V1. Использование оборудования ИНШПТ ТПУ.</p> <p>V2. Появление потенциального спроса на новые разработки.</p> <p>V3. Внедрение на мировой рынок, экспорт за рубеж.</p>	<p>Сильные стороны и возможности</p> <p>1. Возможность внедрять технологию за счёт экологичности в энергетическую промышленность.</p> <p>2. Низкая цена исходного сырья и высокое содержание железа в готовой продукции являются основой для экспорта за рубеж и выхода на мировой рынок.</p> <p>3. Развитие торговых отношений.</p>	<p>Слабые стороны и возможности</p> <p>1. Использование новейшего оборудования для исследований может уменьшить экспериментальную ошибку и предотвратить появление брака.</p> <p>2. Появление дополнительного спроса увеличивает количество изготавливаемой продукции.</p> <p>3. Возможность выхода на внешний рынок.</p>
<p>Угрозы</p> <p>У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства.</p> <p>У2. Появление зарубежных аналогов и более ранний их выход на рынок.</p> <p>У3. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства.</p>	<p>Сильные стороны и угрозы</p> <p>1. Несмотря на снижение стоимости разработок конкурентов, данная продукция имеет больше перспектив развития, так как имеет большое содержание железа и окатыши имеют высокую механическую прочность из-за выбранного связующего.</p> <p>2. Низкая стоимость готовой продукции может решить проблему с конкуренцией.</p> <p>3. Наличие долгосрочных контрактов, могут решить проблему отсутствия спроса.</p>	<p>Слабые стороны и угрозы</p> <p>1. Введение систем совершенствования производственных процессов для снижения погрешности и неопределенности.</p> <p>2. Замена связующего материала может повысить себестоимость продукции.</p> <p>3. Повышение цен на выпускаемую продукцию.</p>

Результаты SWOT-анализа учитываются при разработке структуры работ, выполняемых в рамках научно-исследовательского проекта.

Определенные в ходе анализа сильные и слабые стороны производства дают возможность определить те параметры, которые нужно развивать и поддерживать на необходимом уровне свести к минимуму возможность аспекты ухудшения производства. Результаты анализа учтены в дальнейшей научно-исследовательской разработке.

Исходя из SWOT – анализа можно сказать, что для поддержания конкуренции необходимо создать следующие мероприятия:

- Продвижение новых технологий, которые бы заинтересовали иностранных инвесторов;
- Полный переход на отечественное оборудование, которое, свою очередь, будет разработана по новым технологиям.

4.2 Планирование научно-исследовательских работ

4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- Определение структуры работ в рамках научного исследования;
- Определение участников каждой работы;
- Установление продолжительности работ;
- Построение графика проведения научных исследований.

Для оптимизации работ удобно использовать классический метод линейного планирования и управления. Результатом такого планирования является составление линейного графика выполнения всех работ. В состав рабочей группы входят:

- Инженер (Трушина Дарья Сергеевна);
- Научный руководитель темы (Тихонов Виктор Владимирович).

Перечень этапов, работ и распределение исполнителей в таблице 18.

Таблица 18 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика	Научный руководитель
	2	Календарное планирование выполнения НИР	Инженер, научный руководитель
Выбор направленности исследований	3	Обзор научной литературы	Инженер
	4	Выбор направления исследований	Инженер
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Планирование эксперимента	Инженер, научный руководитель

Продолжение таблицы 18

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
	6	Подготовка образцов для эксперимента	Инженер
	7	Проведение эксперимента	Инженер
Обобщение и оценка результатов	8	Обработка полученных данных	Инженер
	9	Оценка правильности полученных результатов	Инженер, научный руководитель
Разработка технической документации и проектирование	10	Выбор и расчет конструкции	Инженер
	11	Оценка эффективности производства и применения проектируемого изделия	Инженер
	12	Проверка чертежей	Научный руководитель
Оформление отчета по НИР	13	Составление пояснительной записки	Инженер

4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ

При проведении научных исследований основную часть стоимости разработки составляют трудовые затраты, поэтому определение трудоемкости проводимых работ является важным этапом составления бюджета. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ожі}$ используется следующая формула:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{mini} + t_{maxi}}{5} \quad (4.2)$$

где $t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения из 12 работ чел.-дн.;

t_{mini} – минимально возможная трудоемкость выполнения работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

$t_{\max i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Данная работа выполняется 6 месяца (январь - июнь) количество рабочих дней при пятидневной рабочей недели составляет 120 дней. Поэтому 120 дней необходимо распределить на 12 работ это будет максимально возможная трудоемкость. Кратчайший срок на дипломную работу составляет в сумме 89 дня.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях:

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{ч_i} \quad (4.3)$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, раб. дн.;

$t_{ожi}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.;

$ч_i$ - численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

4.2.3 График проведения работ

Наиболее удобным и наглядным является построение ленточного графика проведения научных работ в форме диаграммы Ганта. Длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}} \quad (4.4)$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения каждой работы в календарных днях;

T_{pi} – продолжительность выполнения каждой работы в рабочих днях;

$k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - (T_{\text{вых.}} - T_{\text{пр.}})} = \frac{365}{365 - 48 - 14} = 1,205 \quad (4.5)$$

где $T_{\text{кал}}$ – количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых.}}$ – количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр.}}$ – количество праздничных дней в году (14 дней).

Таблица 19 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях T_{pi}	Длительность работ в календарных днях T_{ki}
	t_{min} , чел-дни		t_{max} , чел-дни		$t_{\text{ожг}}$, чел-дни			
	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1. Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика	2	-	4	-	3	-	3	3
2. Календарное планирование выполнения ВКР	1	3	3	4	2	3	3	2
3. Обзор научной литературы	-	7	-	9	-	8	8	9
4. Выбор направления исследований	-	4	-	5	-	4	4	4
5. Планирование эксперимента	2	7	4	8	3	7	7	6
6. Подготовка образцов для эксперимента	-	8	-	14	-	11	11	13
7. Проведение эксперимента	-	20	-	28	-	24	24	28
8. Обработка полученных данных	-	10	-	14	-	12	12	14
9. Оценка правильности полученных результатов	4	4	7	6	5	5	5	6
10. Выбор и расчет конструкции	-	15	-	20	-	17	17	20

Продолжение таблицы 19

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях T_{pi}	Длительность работ в календарных днях T_{ki}
	t_{min} , чел-дни		t_{max} , чел-дни		$t_{ожг}$, чел-дни			
	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
11. Оценка эффективности и применения проектируемого изделия	-	10	-	14	-	12	12	14
12. Проверка чертежей	2	-	4	-	3	-	3	3
13. Составление пояснительной записки	-	11	-	13	-	12	12	14
Итого:	11	89	22	135	16	115	121	137

Примечание: Исп. 1 – научный руководитель, Исп. 2 – инженер.

На основе таблицы 19 строится календарный план-график. График строится для максимального по длительности исполнения работ.

Таблица 20 – План-график проведения работы по теме «Исследование возможности производства железорудных окатышей из железосодержащей фракции золы»

№ работ	Вид работ	Исполнители	T_{ki} кал. дн	Продолжительность выполнения работ											
				Янв	Февр.	Март	Апр	Май	Июнь						
1	Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика	Научный руководитель	3												
2	Календарное планирование выполнения ВКР	Инженер, научный руководитель	2												

Продолжение таблицы 20

№ работ	Вид работ	Исполнители	T _{кi} кал. дн	Продолжительность выполнения работ							
				Янв	Февр.	Март	Апр	Май	Июнь		
3	Обзор научной литературы	Инженер	9	■							
4	Выбор направления исследований	Инженер	4		■						
5	Планирование эксперимента	Инженер, научный руководитель	6		■						
6	Подготовка образцов для эксперимента	Инженер	13		■						
7	Проведение эксперимента	Инженер	28			■					
8	Обработка полученных данных	Инженер	14				■				
9	Оценка правильности полученных результатов	Инженер, научный руководитель	6				■				
10	Выбор и расчет конструкции	Инженер	20					■			
11	Оценка эффективности производства и применения проектируемого изделия	Инженер	14						■		
12	Проверка чертежей	Научный руководитель	3							■	
13	Составление пояснительной записки	Инженер	14								■

■ - руководитель;

■ - инженер.

4.3 Бюджет научно-технического исследования

При планировании бюджета научно-технического исследования учитывались все виды расходов, связанных с его выполнением. В этой работе использовать следующую группировку затрат по следующим статьям:

- Материальные затраты научно-исследовательской работы (НИР);
- Затраты на специальное оборудование для экспериментальных работ;
- Основная заработная плата исполнителей темы;
- Дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- Накладные расходы НИР.

4.3.1 Расчет материальных затрат научно-технического исследования

Данный пункт включает стоимость всех материалов, используемых при разработке проекта. Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{рас\ x_i} \quad (4.6)$$

где m – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении работы ($m=1$);

$N_{рас\ x_i}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, m^2 и т.д.);

C_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./ m^2 и т.д.);

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы (15% от цены материалов).

Таблица 21 – Материальные затраты с учетом коэффициента k_T

Наименование основных материалов и сырья	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, Зм, руб.
Зола	кг	150	0,19	32,8
Торф	кг	10	1,23	14,2
Вода	м ³	20	49,81	996,4*
Метилцеллюлоза	л	10	634	7291
Халат лабораторный	шт.	1	730	839,5
Перчатки резиновые, технические	пар	10	12	138
Итого:				9311,9

*- без учета коэффициента k_T

4.3.2 Расчет амортизации специального оборудования

Расчет сводится к определению амортизационных отчислений, так как оборудование было приобретено до начала выполнения данной работы и эксплуатировалось ранее, поэтому при расчете затрат на оборудовании учитываем только рабочие дни по данной теме. При выполнении научно-исследовательского проекта использовался ПЭВМ - Asus. Срок полезного использования данного ноутбука по паспорту составляет 3 года.

Норма амортизации рассчитывается по формуле:

$$H_A = \frac{1}{n} \quad (4.7)$$

где H_A - норма амортизации, %;

n – срок полезного использования в количестве лет.

Расчет амортизационных отчислений будем вести по следующей формуле:

$$A = \frac{H_A I}{12} \cdot t \quad (4.8)$$

где А - амортизация оборудования;

И – итоговая сумма, тыс. руб.;

t – время использования, мес.

Таблица 22 – Расчет амортизационных отчислений

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во ед.	Срок полезного	Время использования, мес.	Н _А , %	Цена оборудования, руб.	Амортизация	
1	2	3	4	5	6	7	8	
1	Просвечивающий электронный микроскоп (ПЭМ) JEM-2100F	1	20	0,1	5	18000000	7500	
2	Тарельчатый гранулятор	1	10	0,37	10	265160	817,6	
3	РФА- установка ДРОН-3М	1	20	0,1	5	18000000	7500	
4	ИП-500М - пресс лабораторный испытательный универсальный 500 тн	1	15	0,27	7	715500	1126,9	
5	Шкаф сушильный ШС-160-02 СПУ	1	15	0,16	7	125000	116,7	
6	ПЭВМ	1	3	3	33	30000	2475	
Итого:								19536,2 руб.

4.3.3 Расчет основной заработной платы исполнителей темы

В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 –30 % от тарифа или оклада.

Расчет основной заработной платы сводится в таблицу 24.

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НИИ, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату:

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп} \quad (4.9)$$

где $Z_{осн}$ – основная заработная плата;

$Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата (12-20 % от $Z_{осн}$).

Основная заработная плата научного руководителя (инженера) от предприятия рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p \quad (4.10)$$

где $Z_{осн}$ – основная заработная плата одного работника;

T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.;

$Z_{дн}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d} \quad (4.11)$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

- при отпуске в 24 раб. дня $M = 11,2$ месяца, 5-дневная неделя;
- при отпуске в 48 раб. дней $M = 10,4$ месяца, 6-дневная неделя;

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн., представлено в таблице 23.

Таблица 23 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Научный руководитель	Инженер
Календарное количество дней	365	365
Количество не рабочих дней:		
- выходные дни	48	48
- праздничные дни	14	14

Продолжение таблицы 23

Показатели рабочего времени	Научный руководитель	Инженер
Издержки рабочего времени: - отпуск - невыходы по болезни	56	28
Действительный фонд рабочего времени	251	223

Месячный должностной оклад работника:

– для научного руководителя:

$$Z_m = Z_{пс} \cdot (1 + k_{пр} + k_q) \cdot k_p = 33664 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 65644,8 \text{ руб.} \quad (4.12)$$

– для инженера:

$$Z_m = Z_{пс} \cdot (1 + k_{пр} + k_q) \cdot k_p = 17000 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 33150 \text{ руб.} \quad (4.13)$$

где $Z_{пс}$ – заработная плата, согласно тарифной ставке, руб.;

$k_{пр}$ – премиальный коэффициент, равен 0,3;

k_q – коэффициент доплат и надбавок, равен 0,2;

k_p – районный коэффициент, равен 1,3 (для г. Томска).

Среднедневная заработная плата научного руководителя для шестидневной рабочей недели рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{65644,8 \cdot 10,4}{251} = 2719,9 \text{ руб.} \quad (4.14)$$

Среднедневная заработная плата инженера для пятидневной рабочей недели рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{33150 \cdot 11,2}{223} = 1664,9 \text{ руб.} \quad (4.15)$$

Основная заработная плата руководителя (преподавателя ТПУ) с учетом должности доцента и степени кандидата технических наук, и заработная плата инженера в роли студента без районного коэффициента, руб.:

Основная заработная плата рабочих:

- при 16 рабочих днях руководителя: 47819,2 руб.;

- при 118 рабочих днях инженера: 190994,8 руб.

Таблица 24 – Расчет основной заработной платы исполнителей

Исполнители НИ	$Z_{пс}$, руб.	$k_{пр}$	k_q	k_p	Z_m , руб.	$Z_{дн}$, руб.	T_p , раб. дн.	$Z_{осн}$, руб
Научный руководитель	33664	0,3	0,2	1,3	65644,8	2719,9	16	43518,4
Инженер	17000	0,3	0,2	1,3	33150	1664,9	115	196458,2
Итого:								239976,6

4.3.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{доп} = Z_{осн} \cdot k_{доп} \quad (4.16)$$

где $k_{доп}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15).

Дополнительная заработная плата определяется по формуле:

– для научного руководителя:

$$Z_{доп} = Z_{осн} \cdot k_{доп} = 43518,4 \cdot 0,15 = 6527,8 \text{ руб.} \quad (4.17)$$

– для инженера:

$$Z_{доп} = Z_{осн} \cdot k_{доп} = 196458,2 \cdot 0,15 = 29468,7 \text{ руб.} \quad (4.18)$$

где $k_{доп}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимаем равным 0,15).

4.3.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данном пункте расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и

медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников. Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

– для руководителя:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}}(Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) = 0,3(43518,4 + 6527,8) = 15013,9 \text{ руб.} \quad (4.19)$$

– для инженера:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}}(Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) = 0,3(196458,2 + 29468,7) = 67778,1 \text{ руб.} \quad (4.20)$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд ОМС и социальное страхование). Общая ставка взносов составляет в 2021 году – 30% (ст. 425, 426 НК РФ).

Таблица 25– Отчисления во внебюджетные фонды

Участник	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
Научный руководитель	43518,4	6527,8
Инженер-дипломник	196458,2	29468,7
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	30 %	
Итого, руб.	руководитель: 15013,9 ; инженер: 67778,1	
В сумме	82792 руб.	

4.3.6 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по следующей формуле:

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей}/5) \cdot k_{\text{пр}} \quad (4.21)$$

где $k_{пр}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы. Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

4.3.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции. В таблице также представлено определение бюджета затрат двух конкурирующих научно-исследовательских проектов. Определение бюджета затрат на проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 26.

Таблица 26 – Расчет бюджета затрат проекта

Наименование статьи	Сумма, руб.			Примечание
	Текущий Проект	Исп.2	Исп.3	
1. Материальные затраты	9311,9	11295,3	12345,1	Пункт 3.1
2. Амортизация оборудования	19536,2	22325,0	23053,3	Пункт 3.2
3. Затраты по основной заработной плате	239976,6			Пункт 3.3
4. Затраты по дополнительной заработной плате	35996,5			Пункт 3.4
5. Отчисления во внебюджетные фонды	82792			Пункт 3.5
6. Накладные расходы	62018,1			Пункт 3.6
7. Бюджет затрат проекта	449631,3	454403,5	456181,6	

Примечание: Исп.2 – Аналог 1 ; Исп.3- Аналог 2

В качестве аналогов данной НИР рассмотрены:

- Связующая добавка в виде бентонитовой глины;
- Связующее, включающее смесь бентонита и присадки (смесь содержит в качестве присадки мел).

Исходя из таблицы 26 можно сказать, что текущий проект наиболее выгодное по затратам, по сравнению с другими исполнениями.

4.4 Определение ресурсосберегающей, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности проекта

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{фин}} = \frac{\Phi_p}{\Phi_{\text{max}}} \quad (4.22)$$

где $I_{\text{фин}}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_p – стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

$$I_{\text{фин.исп,1}} = \frac{449631,3}{456181,6} = 0,987, \quad (4.23)$$

$$I_{\text{фин.исп,2}} = \frac{454403,5}{456181,6} = 0,996, \quad (4.24)$$

$$I_{\text{фин.исп,2}} = \frac{456181,6}{456181,6} = 1. \quad (4.25)$$

В результате расчета консолидированных финансовых показателей по трем вариантам разработки вариант 1 (текущий проект) с меньшим перевесом признан считается более приемлемым с точки зрения финансовой эффективности.

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i \quad (4.26)$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i -го варианта исполнения разработки;

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

b_i – бальная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности проводим в форме таблицы.

Таблица 27 – Сравнительная оценка характеристик данных разновидностей исполнения проекта

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Исп.2	Исп.3
1. Безопасность при использовании установки	0,1	5	5	5
2. Удобство в эксплуатации (соот. требованиям потребителей)	0,15	5	4	3
3. Технические характеристики	0,15	4	4	4
4. Энергосбережение	0,20	5	3	4
5. Надежность	0,25	4	4	4
6. Материалоемкость	0,15	5	3	3
ИТОГО	1			

Интегральный показатель ресурсоэффективности для каждого исполнения:

$$I_{р.исп1} = 0,1 * 5 + 0,15 * 5 + 0,15 * 4 + 0,20 * 5 + 0,25 * 4 + 0,15 * 5 = 4,6, \quad (4.27)$$

$$I_{р.исп2} = 0,1 * 5 + 0,15 * 4 + 0,15 * 4 + 0,20 * 3 + 0,25 * 4 + 0,15 * 3 = 3,75, \quad (4.28)$$

$$I_{р.исп3} = 0,1 * 5 + 0,15 * 3 + 0,15 * 4 + 0,20 * 4 + 0,25 * 4 + 0,15 * 3 = 3,8. \quad (4.29)$$

Определяем интегральный показатель эффективности вариантов исполнения на основании выше рассчитанных показателей:

$$I_{исп,1} = \frac{I_{р.исп1}}{I_{фин,исп1}} = \frac{4,6}{0,987} = 4,66, \quad (4.30)$$

$$I_{исп,2} = \frac{I_{р.исп2}}{I_{фин,исп2}} = \frac{3,75}{0,996} = 3,77, \quad (4.31)$$

$$I_{\text{исп,3}} = \frac{I_{\text{р.исп3}}}{I_{\text{фин,исп3}}} = \frac{3,8}{1} = 3,8 . \quad (4.32)$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта определяется по следующей формуле:

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{исп,i}}}{I_{\text{исп,1}}} \quad (4.33)$$

Сравнительная эффективность разработки представлена в таблице 28.

Таблица 28 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Текущий проект	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,987	0,996	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности	4,6	3,75	3,8
3	Интегральный показатель эффективности	4,66	3,77	3,8
4	Сравнительная эффективность разновидностей исполнения	1	0,810	0,815

5 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Целью дипломной работы является получения окатышей из железосодержащей фракции золы Северской теплоэлектростанции, и первичный подбор и определение влияния различных связующих на прочность окатышей. Данное предприятие относится к энергетической промышленности. Кузнецкий бассейн главный поставщик угля для Северской ТЭЦ. В разделе социальной ответственности будут затронуты производственная, экологическая безопасность, безопасность в чрезвычайных ситуациях, а также правовые и организационные вопросы по обеспечению безопасности не производства в целом.

Утилизация ЗШО теплоэлектростанций актуальна и занимает первое место среди главных проблем в основных угледобывающих странах мира. В последнее время наиболее актуальны вопросы, связанные с ухудшением экологической ситуации не только в России, но и за ее пределами. Ежегодно российская энергетика производит около 27 млн тонн золошлаковых отходов. В России и мире образовалось огромное количество отходов, которые требуют большого внимания с целью переработки или утилизации для улучшения экологической обстановки в стране и комплексного решения производственных проблем с получением материалов и определенного вида сырья [57].

Возможности применения золошлаковых отходов многообразны, и они могут быть полностью использованы для производства полезной продукции. Но, чтобы стать полноценным сырьем для различных отраслей промышленности, золошлаковые отходы должны быть подвергнуты некоторой предварительной переработке.

5.1 Правовые и организационные основы обеспечения безопасности

Для обеспечения безопасности создаются системы безопасности Российской Федерации. Систему безопасности образуют органы законодательной, исполнительной и судебной властей, государственные, общественные и иные организации, объединения, граждане, принимающие участие в обеспечении безопасности в соответствии с законом, а также законодательство, регламентирующее отношения в сфере безопасности.

Правовую основу обеспечения безопасности жизнедеятельности составляют законы и постановления, принятые представительными органами РФ и входящих в нее республик. Среди них, прежде всего Министерство природных ресурсов РФ, Государственный комитет РФ по охране окружающей среды, Министерство здравоохранения РФ, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, и их территориальные органы [58]. Комплекс вопросов, связанных с обеспечением безопасных условий жизнедеятельности граждан РФ, регулируется рядом законов и кодексов:

- Закон РФ «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения»;
- Закон РФ «Об охране окружающей природной среды»;
- Закон РФ «О пожарной безопасности»;
- Закон РФ «Об основах охраны труда в Российской Федерации» и др.

Правовые гарантии в части обеспечения производственной безопасности регламентирует Трудовой кодекс РФ. Целями трудового законодательства являются установление государственных гарантий трудовых прав и свобод граждан, создание благоприятных условий труда, защита прав и интересов работников и работодателей [59]. Трудовой Кодекс РФ устанавливает права и обязанности работника и работодателя, регулирует вопросы охраны труда, профподготовки и повышения квалификации, трудоустройства, социального партнерства. Продолжительность рабочего дня работников не должна превышать 40 часов в неделю. Возможно, сокращение рабочего времени. Для работников, возраст которых меньше 16 лет – не более 24 часа в неделю, от 16

до 18 лет – не более 35 часов, как и для инвалидов I и II группы [59]. Согласно ТК РФ, не менее 30 минут должно выделяться для отдыха и приема пищи.

В соответствии с [60] «Система стандартов безопасности труда», в рабочее время работники могут выполнять сидячие работы как в операторных помещениях и стоячие работы у оборудования. Согласно [61], рабочее место для выполнения работ сидя организуют при легкой работе, не требующей свободного передвижения работающего, а также при работе средней тяжести в случаях, обусловленных особенностями процесса. Конструкция рабочего места и взаимное расположение всех его элементов должны соответствовать антропометрическим, физиологическим и психологическим требованиям [62].

Рабочий стол может быть любой конструкции, отвечающей современным требованиям эргономики и позволяющей удобно разместить на рабочей поверхности оборудование с учетом его количества, размеров и характера выполняемой работы. Выполнение требований на рабочем месте отражено в таблице 29, согласно [63] и [58].

Таблица 29 – Требования к организации рабочего места при работе с ПЭВМ

Требование	Требуемое значение	Значение параметров в помещении
Высота рабочей поверхности стола	Регулируемая высота (680-800 мм) Нерегулируемая высота (725 мм)	Нерегулируемая высота (700 мм)
Рабочий стул	Подъемно-поворотный, регулируемый по высоте и углу наклона спинки	Не соответствует
Расположение монитора от глаз пользователя	600-700 мм	Соответствует

Кресло должно создавать условия для поддержания корпуса человека в физиологически рациональном положении с сохранением естественных изгибов позвоночника. Конструкция кресла не должна затруднять рабочих движений [64]. Основное требование к рабочей позе – прямая осанка [65].

5.2 Производственная безопасность

Производственная безопасность — система организационных мероприятий и технических средств, предотвращающих или уменьшающих вероятность воздействия на работающих опасных травмирующих производственных факторов, возникающих в рабочей зоне в процессе трудовой деятельности. Технические методы и средства, обеспечивающие производственную безопасность, называются техникой безопасности. Необходимо выявить вредные и опасные производственные факторы, которые могут возникать при проектировании, изготовлении и эксплуатации проектируемого аппарата. Выявленные факторы перечислены в таблице 30.

Таблица 30 - Опасные и вредные факторы при проектировании, изготовлении и эксплуатации тарельчатого гранулятора

Факторы [72]	Этапы работ			Нормативные документы
	Проектирование	Изготовление	Эксплуатация	
1.Повышенный уровень вибрации	-	+	+	ГОСТ 12.1.012-2004 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Вибрационная безопасность. Общие требования [66]
2.Повышенный уровень шума	-	+	+	ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности [67]
3. Отклонение показателей микроклимата в закрытом помещении	+	+	+	СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений [68]
4. Недостаточная освещенность рабочей зоны	-	+	+	ГОСТ Р 55710-2013 Освещение рабочих мест внутри зданий. Нормы и методы измерений [69]

Продолжение таблицы 30

Факторы [72]	Этапы работ			Нормативные документы
	Проектирование	Изготовление	Эксплуатация	
				СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95* [70]
5.Электрический ток	+	+	+	ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов. [71]
6.Зрительное напряжение	+	+	+	СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы» [63]

При выполнении дипломной работы требуется высокое интеллектуальное напряжения, а также статичное положение тела в течение продолжительного времени, что позволяет отнести эту работа ко второй категории тяжести. Данная дипломная работа выполнялась в аудитории 127, расположенная на первом этаже 2-го учебного корпуса ТПУ. Работа в аудитории относится к категории 1б – работы, производимые сидя или стоя и сопровождающиеся некоторыми физическими напряжениями.

5.2.1 Повышенный уровень шума

Особенностью ультразвука является возможность получать фокусированный пучок большой энергии. Ультразвук, особенно высокочастотный, практически не распространяется в воздухе. В твердых и жидких средах ультразвук вызывает механические и химические эффекты: явление кавитации в среде "жидкость-газ". Различают низкочастотный

ультразвук (11-100 кГц) и высокочастотный (100кГц - 1000мГц). Ультразвук широко используется в технологических процессах: очистка деталей, коагуляция частиц, механическая обработка сверхтвердых материалов и т.п. Под действием локального ультразвука при непосредственном контакте с ультразвуковым инструментом возникает явление вегетативного полиневрита рук (ног). Длительное воздействие низкочастотного ультразвука через воздух вызывает изменения нервной, сердечно-сосудистой системы.

Нормирование ультразвука производится согласно [73], при этом ограничиваются уровни звукового давления на рабочих местах в октавных полосах в зависимости от частоты. Для контактного ультразвука устанавливается пиковое значение виброскорости $1,6 \cdot 10$ м/с или 100дБ.

Источником ультразвука являются машины, имеющие поверхности больших размеров, совершающие низкочастотные колебания. Инфразвук имеет большую амплитуду колебаний, распространяется на большие расстояния, вызывает вибрацию крупных объектов. У человека инфразвук вызывает неприятные ощущения, изменения в ЦНС, сердечно-сосудистой и дыхательной системах. Предельно допустимые нормы установлены "Гигиеническими нормами инфразвука на рабочих местах" 2274-80. Общий уровень звукового давления не должен превышать 110 дБ Лин.

В учебной аудитории №127, в которой пишется данная дипломная работа, не располагается оборудование способное превысить допустимый порог шума в 50 дБ.

5.2.2 Повышенный уровень вибрации

Режим труда должен устанавливаться при показателе превышения вибрационной нагрузки на оператора не менее 1 дБ (в 1,12 раза), но не более 12 дБ (в 4 раза). При показателе превышения более 12 дБ (в 4 раза) запрещается проводить работы и применять машины, генерирующие такую вибрацию [66].

Рациональная организация труда в течение смены должна предусматривать: длительность рабочей смены не более 8 ч; установление 2 регламентированных перерывов, учитываемых при установлении нормы выработки: обеденный перерыв длительностью не менее 40 мин.

Вибрация относится к факторам, обладающим значительной биологической активностью. Характер, глубина и направленность функциональных сдвигов со стороны различных систем организма определяются прежде всего уровнем, спектральным составом и продолжительностью воздействия вибрации. Нарушения здоровья работающего, обусловленные локальной или общей вибрацией, складываются из поражения нейрососудистой, нервно-мышечной систем, опорно-двигательного аппарата, изменений обмена веществ и др. При всех видах вибрационной болезни нередко наблюдаются изменения со стороны центральной нервной системы, которые связаны с комбинированным действием вибрации и интенсивного шума.

Основными методами и средствами защиты от вибрации являются устранение непосредственного контакта с вибрирующим оборудованием путем применения дистанционного управления, промышленных роботов, автоматизации; рациональная организация режима труда и отдыха; использование средств индивидуальной защиты; уменьшение интенсивности вибрации непосредственно в источнике и др [74].

5.2.3 Отклонение показателей микроклимата в закрытом помещении

Для обеспечения нормальных условий деятельности человека параметры микроклимата нормируются. Нормы производственного микроклимата установлены ССПТ «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны» [75]. Они едины для всех производств и всех климатических зон. Параметры микроклимата в рабочей зоне должны соответствовать оптимальным или допустимым микроклиматическим условиям. Оптимальные условия

обеспечивают нормальное функционирование организма без напряжения механизмов терморегуляции. При допустимых микроклиматических условиях, возможно некоторое напряжение системы терморегуляции без нарушения здоровья человека.

Показатели микроклимата должны обеспечивать сохранение теплового баланса человека с окружающей средой и поддержание оптимального или допустимого теплового состояния организма. Они обеспечивают общее и локальное ощущение теплового комфорта в течение 8-часовой рабочей смены при минимальном напряжении механизмов терморегуляции, не вызывают отклонений в состоянии здоровья, создают предпосылки для высокого уровня работоспособности и являются предпочтительными на рабочих местах. В соответствии с [68] в аудитории поддерживаются следующие допустимые параметры метеорологической среды, представленные в таблице 31.

Таблица 31- Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочем месте

Период года	Температура воздуха, °С;	Температура поверхностей, °С;	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	21-23	20-24	60-40	0,1
Теплый	22-24	21-25	60-40	0,1

Учебная аудитория №127 оборудована водяной системой отопления и естественной вентиляцией, что в свою очередь позволяет поддерживать необходимые параметры.

5.2.4 Недостаточная освещенность рабочей зоны

Освещение в образовательных учреждениях должно быть безопасным и комфортным для обучающихся, способствовать созданию оптимальной

визуальной среды, которая помогает концентрации в процессе написании дипломной работы. Естественное и искусственное освещение в помещениях регламентируется СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» [76]. Санитарные нормы являются обязательными для всех организаций на территории РФ, вне зависимости от форм собственности, подчинения и принадлежности.

Основной задачей светотехнических расчётов для искусственного освещения является определение требуемой мощности электрической осветительной установки для создания заданной освещённости. Согласно [76] освещенность на рабочих местах составляет 400 лк, КЕО при естественном освещении составляет 3.5%, а при совмещенном 2.1%.

Основными профилактическими мероприятиями являются: правильно спроектированное и рационально выполненное освещение производственных помещений, рациональные режимы труда и отдыха, лечебно-профилактические меры, а также организация и проведение обязательных предварительных и периодических медицинских осмотров.

Расчет освещения. В учебной аудитории площадью 56 м² располагается 12 ПЭВМ. Окна в помещении оборудованы регулируемыми жалюзи, мониторы находятся от оператора на расстоянии 60-70 см примерно на 20⁰ ниже уровня глаз.

Рекомендуется применение системы комбинированного освещения в помещениях общественных зданий, где выполняется напряженная зрительная работа. В зданиях с боковым освещением, в дневное время суток применяют совмещенное освещение, то есть искусственное и естественное, поэтому целесообразно применять люминесцентные лампы, они позволяют создать в помещении искусственный свет, приближающийся к естественному. В аудитории искусственное освещение обеспечивается восьмью люминесцентными лампами и освещенность $E = 400$ люкс [76].

Геометрические размеры лаборатории № 127, следующие:

Ширина $A=5$ м;

Длина $B=11,2$ м;

Высота $H=4$ м.

Коэффициент отражения стен $R_c = 30$ %, потолка $R_n = 50$ %. Минимальное освещение:

$$E_T=400 \text{ люкс}$$

Коэффициент запаса для помещения с малым выделением пыли при люминесцентных лампах равен $k=1,5$. Размещение светильников в помещении определяется следующими параметрами, представленные на рисунке 51.

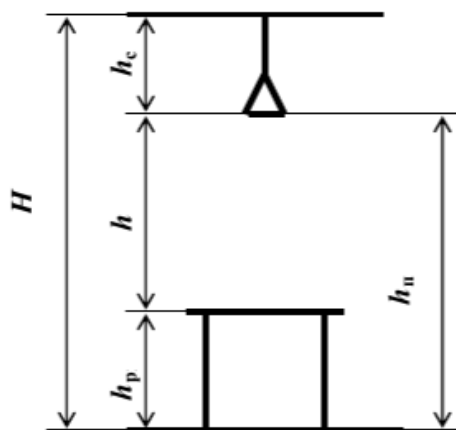


Рисунок 51 - Основные расчетные параметры

Расчетная освещенность определяется по следующей формуле:

$$E_p = E_T \cdot k = 400 \cdot 1,5 = 600 \text{ люкс} \quad (5.1)$$

Свес светильников с потолка равен:

$$h_c = 0,5 \text{ м} \quad (5.2)$$

Высота рабочей поверхности над полом равна:

$$h_p = 0,8 \text{ м} \quad (5.3)$$

Высота подвеса светильников над рабочим местом равна:

$$h = H - h_c - h_p = 4 - 0,5 - 0,8 = 2,7 \text{ м} \quad (5.4)$$

Для создания благоприятных зрительных условий на рабочем месте, для борьбы со слепящим действием источников света введены требования

ограничения наименьшей высоты светильников над полом для двухламповых светильников ШЛД, ШОД равна 2,5 м [77].

Площадь помещения равна:

$$S=A \cdot B=5 \cdot 11,2=56 \text{ м}^2 \quad (5.5)$$

Мощность одного светильника равна:

$$P_i=80 \text{ Вт} \quad (5.6)$$

Для равномерного общего освещения светильники располагаются в коридорном порядке. Размеры светильника типа ШОД -2-80 согласно [77] равна: ширина 284 мм (0,284 м); длина 1530 мм (1,53 м).

Интегральным критерием оптимальности расположения светильников является величина $\lambda = L/h$, уменьшение которой удорожает устройство и обслуживание освещения, а чрезмерное увеличение ведёт к резкой неравномерности освещённости. Согласно табл, 7 [77] λ для люминесцентных ламп с защитной решёткой ОДР, ОДОР, ШЛД, ШОД равен 1,2.

Расстояние между светильниками определяется как:

$$L=\lambda \cdot h=1,2 \cdot 2,7=3 \text{ м} \quad (5.7)$$

где L – расстояние между соседними светильниками или рядами,

Оптимальное расстояние от крайнего ряда светильников до стены рекомендуется принимать равным:

$$l = \frac{L}{3} = \frac{3}{3} = 1 \text{ м} \quad (5.8)$$

где l – расстояние от крайних светильников или рядов до стены.

Размещаем светильники в два ряда. В каждом ряду можно установить 4 светильников типа ШОД мощностью 80 Вт (с длиной 1,53 м), при этом разрывы между светильниками в ряду составят 30 см. Изображаем в масштабе план помещения и размещения на нем светильников представлено на рисунке 52. Учитывая, что в каждом светильнике установлено две лампы, общее число ламп в помещении $N = 20$. Индекс помещения определяется по формуле:

$$i = \frac{S}{h(A+B)} = \frac{56}{3(11,2+5)} = 1,2 \quad (5.9)$$

По таблице 11 согласно [77] определяем коэффициент использования светового потока, который равен $\eta = 0,35$.

Расчёт общего равномерного искусственного освещения горизонтальной рабочей поверхности выполняется методом коэффициента светового потока, учитывающим световой поток, отражённый от потолка и стен. Световой поток лампы определяется по формуле:

$$\Phi = \frac{E \cdot S \cdot k \cdot z}{N \cdot \eta} = \frac{400 \cdot 1,5 \cdot 56 \cdot 1,1}{20 \cdot 0,35} = 5280 \text{ лм} \quad (5.10)$$

По таблице 1 согласно [77] выбираем ближайшую стандартную лампу – ЛТБ 80 Вт с потоком 5200 лм. Делаем проверку выполнения условия:

$$-10 \leq \frac{\Phi_{\text{стан}} - \Phi_{\text{расч}}}{\Phi_{\text{стан}}} \cdot 100\% \leq +20\% \quad (5.11)$$

$$-10 \leq -1,5\% \leq +20$$

Определяем электрическую мощность осветительной установки:

$$P = N \cdot P_i = 20 \cdot 80 = 1600 \text{ Вт} \quad (5.12)$$

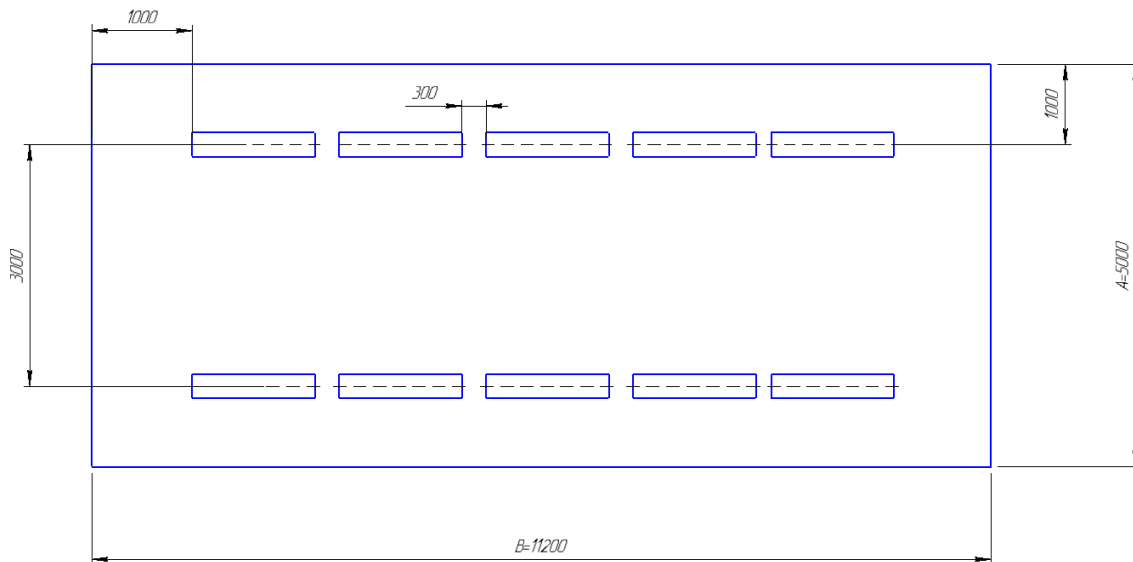


Рисунок 52 - Схема размещения светильников в помещении для люминесцентных ламп (размеры указаны в мм)

Правильное цветовое оформление интерьера помещения является очень важным фактором улучшения условий жизнедеятельности человека. Потолки помещений окрашиваются в белый цвет. В светлые тона окрашиваются

перекрытия. Нижняя часть стен окрашивается в спокойные тона. Металлорежущие станки окрашиваются в светло-серый цвет, литейное оборудование в бежевый, термическое в серебристый, транспортные механизмы в зеленый. Таким образом, оптимально подобранное цветовое решение в интерьере учебной аудитории помогает студентам концентрироваться на необходимой в процессе обучения информации. При выполнении заданий светлые рабочие поверхности не привлекают к себе лишнего внимания.

5.2.5 Электрический ток

Электробезопасность представляет собой систему организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от опасного воздействия электрического тока, электромагнитного поля и статического электричества. Уровень электротравматизма среди всех травм не высок и составляет не более 1 %. По числу случаев со смертельным исходом электротравматизм занимает одно из первых мест (до 80 % случаев со приходится на электроустановки напряжением 127... 380 В [78]).

При выполнении дипломной работы используются компьютеры и оргтехника, работающие под напряжением 220 В, в следствии чего возникает опасность поражения электрическим током. Все помещения делятся по степени поражения электрическим током на три класса: особо опасные, с повышенной опасностью и без повышенной опасности. Помещение аудитории №127 относится к категории 3 – помещение без повышенной опасности. Поражающим фактором компьютеров является электромагнитные поля. Напряженность электромагнитного поля составляет 20 В/м вследствие чего присутствие людей в рабочей зоне разрешается в течении 8 часов.

Таким образом, при эксплуатации электрического оборудования, аппаратуры и приборов большое значение приобретают вопросы защиты людей от опасности поражения электрическим током.

5.2.6 Зрительное напряжение

Работа на ПК сопровождается постоянным и значительным напряжением функций зрительного анализатора. Одной из особенностей является иной принцип чтения информации, чем при обычном чтении.

Чтобы снизить зрительное напряжение нужно соблюдать визуальные параметры экрана (яркость белого поля должна быть не менее 35 кд/кв.м; неравномерность яркости рабочего поля не более $\pm 20\%$; контрастность (для монохромного режима должно соответствовать соотношению 3:1) . Сидеть от экрана на расстоянии 60-65 см и в такой позиции, чтобы взор был обращен к экрану как-бы сверху вниз. Уменьшайте ослепляющий эффект экрана увеличивая освещенность в помещении. Для уменьшения яркости экрана можно также использовать экранный фильтр. Делайте регулярные перерывы при длительной работе с компьютером [79].

5.3 Экологическая безопасность

В РФ регулирование отношений, связанных с обеспечением экологической безопасности, осуществляется на основе Конституции РФ, Закона РФ от 05.03.1992 № 2446-1 «О безопасности», других федеральных НПА, а также законодательных актов субъектов РФ.

Накопление огромной массы промышленных отходов является актуальной природоохранной проблемой, требующей срочного решения. Отвалы золошлаковых материалов Северской ТЭЦ занимают большие площади, уход за ними требует значительных эксплуатационных расходов. Размещение золошлаков на золоотвале в Северске сопряжено с определенным воздействием на окружающую природную среду и значительными затратами. Срок службы золоотвала ограничен технической возможностью, условием надежности и экологической безопасностью.

Защита атмосферы. В связи с незначительными выбросами загрязняющих веществ в атмосферу при складировании золошлаков специальных мер по контролю над загрязнением атмосферного воздуха не предусмотрено. Предприятием осуществляется только визуальное наблюдение за степенью запыленности. В случае обнаружения высокого содержания пыли дежурный карьера по телефону через диспетчера вызывает поливомоечную машину для смачивания пылевывделяющих источников. Проектируемый проект по переработки золоотвала Северской ТЭЦ решит данную проблему.

Защита гидросферы. На ТЭЦ, сжигающих твердое топливо, зола и шлак обычно удаляются водой на золоотвалы. Используют прямоточные и обратные системы гидрозолоудаления (ГЗУ). В прямоточных системах грубодисперсные примеси отстаивают на золоотвалах, а осветленная вода сбрасывается в водоемы. Такие системы применяют, если в воде не растворяются токсичные примеси золы и шлака. Для контроля за загрязнением подземных вод оборудованы две режимные сети наблюдательных скважин, расположенных ниже по потоку

подземных вод от каждого золоотвала. Проектируемый проект по переработки золоотвала Северной ТЭЦ может решить данную проблему.

Защита литосферы. Почвы испытывают воздействие золоотвала за счет осаждения пыли из атмосферного воздуха. Так как загрязнение почвенного покрова имеет вторичный характер, предприятием выполняется экологический мониторинг литосферы, с целью обеспечения нормативных требований при эксплуатации полигонов для захоронения токсичных отходов IV класса опасности золоотвалов. Экологический мониторинг почвенного покрова предусматривает периодический контроль качественного химического состава почв в зоне техногенного воздействия золоотвалов, в соответствии с утвержденным графиком и схемой аналитического контроля, утвержденной Государственной службой охраны окружающей среды. Следует отметить, что проектируемый проект может решить данную проблему.

В ходе дипломной работы были проанализированы и определены оптимальные методы утилизации ЗШО, также разработана программа переработки и использования золошлаковых отходов для улучшения экологической обстановки.

5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

5.4.1 Пожарная безопасность

Основным документом о пожарной безопасности, регламентирующим деятельность противопожарной службы государства и всех его элементов, является ФЗ «О пожарной безопасности», принятый Государственной думой 18 ноября 1994 года. В данном законе определена деятельность государственной противопожарной службы (ГПС) и всех ее элементов [80].

К организационным мероприятиям относятся запрещение курения и пользования открытым огнем в пожароопасных помещениях; ограничение запасов сгораемого сырья, полуфабрикатов, готовой продукции; удаление из помещений легковоспламеняющихся материалов и веществ, способных к самовозгоранию; разработка планов эвакуации людей; организация добровольных пожарных дружин; обучение рабочих мерам пожарной безопасности. Мероприятиями, направленными на ликвидацию очага пожара, предусматриваются устройство специальных дорог и подъездов к зданиям и проходов к труднодоступным местам; устройство противопожарных лестниц, водопровода, сигнализации и связи; оборудование первичными пунктами пожаротушения с набором пожарных средств и техники.

При проведении химических опытов с огнем и взрывоопасными компонентами соблюдать технику безопасности. Не перегружать электросеть энергоемкими приборами при проведении опытов, занятий в компьютерном классе. Запрещается эксплуатировать неисправные электроустановки.

В данной аудитории не обнаружено предпосылок к пожароопасной ситуации. Это обеспечивается соблюдением норм при монтаже электропроводки, отсутствием электрообогревательных приборов и дефектов в розетках. Учебная аудитория №127 (2 корпус ТПУ) обеспечена следующими средствами противопожарной защиты [63]: «План эвакуации людей при пожаре»; памятка соблюдения правил техники пожарной безопасности; системы

вентиляции для отвода избыточной теплоты от ЭВМ; углекислотный огнетушитель; система автоматической противопожарной сигнализации.

В случае поступления сигнала об эвакуации необходимо: обесточить все электроприборы, находящиеся на рабочем месте, перекрыть кран подачи воды, выключить освещение. В случае пожара люди и имущество должны быть эвакуированы по плану, представленному на рисунке 53.

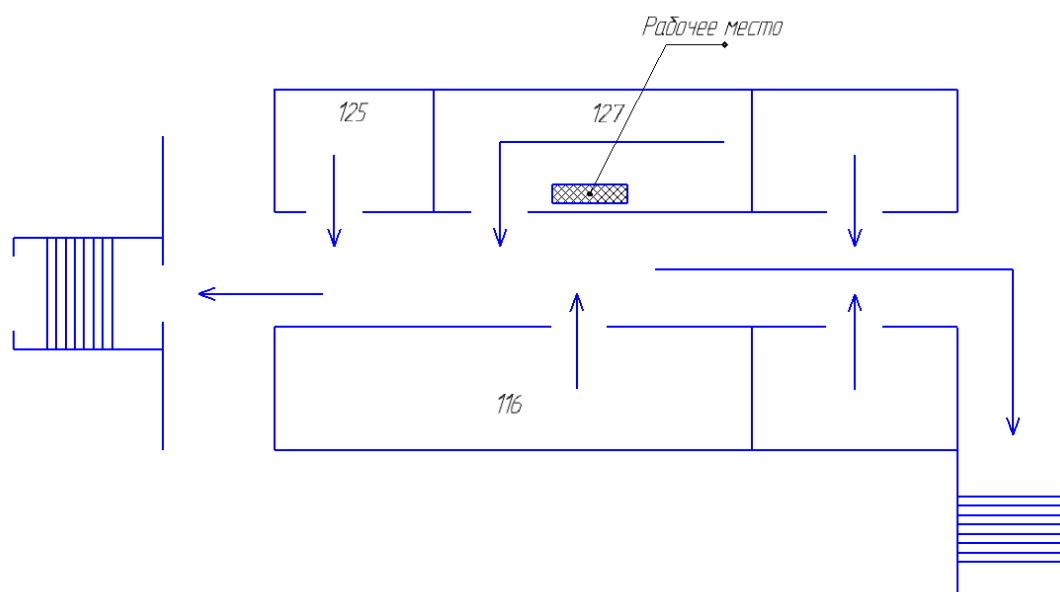


Рисунок 53 - План эвакуации 2 корпуса ТПУ (1 этаж)

Для предупреждения возникновения пожара необходимо соблюдать следующие правила пожарной безопасности [81]: правильная эксплуатация оборудования; правильное содержание зданий и территорий; противопожарный инструктаж рабочих и служащих; издание инструкций, плакатов, наличие плана эвакуации; своевременный осмотр, ремонт и испытание оборудования.

5.4.2 Безопасность при чрезвычайных антропогенных и природных ситуациях

Согласно [82], который устанавливает основные положения национальных стандартов и ликвидаций чрезвычайных ситуаций, необходимо

провести мероприятия в следующей последовательности: эвакуация персонала из зоны поражения; локализация источника аварии; ремонтные работы; устранения причин аварии.

Географическое расположение г. Томска такового, что опасные явления, приводящие к нарушению нормальной деятельности, гибели людей и разрушению, такие как оползни, лавины в подобной местности исключены. Тогда как возможно возникновение пожаров, взрывов, разрушение зданий в результате разрядов атмосферного электричества, ураганов, землетрясений. Здание защищаются от прямых ударов молнии молниеприемниками, воспринимающими разряд на себя, заземлителями, служащими для отвода тока в землю и токопроводами, соединяющими молниеприемники и заземлители. В случае стихийного бедствия необходимо отключить воду, электричество и покинуть помещение согласно плану эвакуации.

В связи с нестабильной международной обстановкой, массовыми террористическими актами, нужно предусмотреть возможности начала военных действий и связанных с ними нападений на объекты с использованием средств массового поражения. По сигналу «воздушная тревога» производится отключение воды и электроэнергии, затем организованная эвакуация работающих согласно плану эвакуации.

Для 2 корпуса ТПУ одна из наиболее вероятная ЧС это опасные гидрологические явления в виде затопления подвальных помещений, подъездных и эвакуационных путей, а также образование оползня в весенний период из-за таяния снегов. Данные вредоносные факторы могут повлиять на целостность сооружения и привести к разрушению здания. Для предотвращения ЧС разработаны инженерно-технические меры: ливневые коммуникации; плановый вывоз снега; укрепления грунта насаждениями.

Заключение

Основные научные результаты, выводы и рекомендации, полученные при выполнении исследований, заключаются в следующем:

1. В результате проведенных исследований изложены научно обоснованные технические и технологические решения. Обоснованы мероприятия по снижению техногенного влияния на природную среду. Разработан подход переработки техногенных отходов.

2. Исследован процесс агломерации золы Северской ТЭЦ методом окатывания, влияние связующих на прочность окатышей.

Обследованное золоохранилище представляет собой техногенное образование, с суммарными запасами по оксиду железа 0,65 млн тонн. Суммарное содержание железа в пересчёте на Fe_2O_3 не превышает 16 % при среднем содержании 10 %. При низком содержании вредных примесей считаем целесообразным использовать извлекаемую железосодержащую фракцию золы как сырьё в производстве железорудных окатышей.

Железосодержащая фракция была выделена из золошлаковых материалов методом магнитной сепарации. Гранулометрические исследования показали, что практически вся железосодержащая фракция золы имеет крупность менее 100 мкм (85 % – менее 63 мкм). Микроскопические исследования выявили, что частички имеют идеальную шарообразную форму с гладкой стеклообразной (затвердевший расплав) поверхностью интенсивно чёрного цвета.

Результаты исследований по определению рабочей влажности окатывания показали, что наибольшая рабочая влажность характерна для воды – 25 ... 26 %, для раствора метилцеллюлозы (концентрации 1 %) – 19...23 % и торфогеля (содержание сухого вещества от 10 до 20 %) – 16 ... 18 %. Специальной обработкой торфогеля удалось понизить рабочую влажность окатывания до 14 ... 15%.

По результатам исследований влияние связующих на прочность окатышей можно сделать следующие выводы:

1. Вода как связующее малопригодна. Окатыши на её основе теряют прочность при высушивании. Наличие водорастворимого или гелеобразного вещества в связующем снижает рабочую влажность окатывания по отношению к воде;

2. Торфогель как связующее показал весьма неплохие качества. Окатыши на его основе достаточно прочны, а главное усиливают прочность при высушивании.

3. Метилцеллюлоза как связующее показала тоже неплохие результаты. Прочность на её основе почти не уступает аналогичным окатышам на основе торфогеля.

В целом, по требуемым нормативам прочности, для окатывания могут хорошо подойти как торфогель, так и метилцеллюлоза. Однако с экономической точки зрения использование торфогеля выгоднее вследствие его относительно низкой стоимости.

В результате написания «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» раздела в дипломной работе можно сделать следующие выводы:

1. В ходе планирования для научного руководителя и инженера был разработан график реализации этапа работ, который позволяет оценивать и планировать рабочее время исполнителей;

2. Для оценки затрат на реализацию проекта разработан проектный бюджет, который составляет 449631,3 руб.;

3. Исходя из расчетов, представленных в данном разделе, следует заметить, что наилучшим исполнением считается текущий проект. В данном варианте решения поставленной задачи в работе сравнительная эффективность более чем в последних двух исполнениях это свидетельствует тому, что в данном варианте наблюдается оптимальное обеспечение материалами и специальным оборудованием, необходимым для решения и оформления данной работы. Следовательно, достигается наилучшая эффективность проделанного проекта.

Данный проект конкурентоспособный в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

В социальной ответственности были рассмотрены все возможные опасные и вредные факторы, которые возникают при проектировании, изготовлении и эксплуатации тарельчатого гранулятора. Были рассмотрены мероприятия по обеспечению минимального воздействия производственных факторов на рабочего, а также на окружающую среду. Приведены меры безопасности при типичной ЧС, которые должны выполняться сотрудниками данного высшего учебного заведения.

Результаты данной работы можно использовать как техническую информацию и рекомендацию при переработке техногенного сырья.

Список публикаций

№	Наименование научного труда	Руко- писн. или печ.	Издательство, журнал (номер, год)	Но мер стр.	Кол- во стр.	Фамилии соавторов
1	Полупроводниковые материалы для прямого преобразования энергии	Печ.	Материалы XXI Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых имени выдающихся химиков Л. П. Кулёва и Н. М. Кижнера, посвященной 110-летию со дня рождения профессора А. Г. Стромберга. — Томск : Изд-во ТПУ, 2020.	43- 44		Белякова Е. О.
2	Металлургические окатыши из железосодержащей фракции золы	Печ.	Труды XXIV Международного симпозиума имени академика М. А. Усова студентов и	380- 381		

			МОЛОДЫХ учёных, посвященного 75- летию Победы в Великой Отечественной войне. — Томск : Изд-во ТПУ, 2020.			
--	--	--	--	--	--	--

Список использованной литературы

1. Металлургическая промышленность: сайт. – Москва, 2017-2021. – URL: https://vuzlit.ru/1056030/metallurgicheskaya_promyshlennost (дата обращения: 03.02.2021). – Текст: электронный.
2. Metallurgiya v Rossii: obzor chernoy i cvetnoy metallurgicheskoy promyshlennosti: сайт. – Москва, 2021. – URL: <https://заводы.рф/publication/metallurgiya-v-rossii-obzor-chernoy-i-cvetnoy-metallurgicheskoy-promyshlennosti> (дата обращения: 03.02.2021). – Текст: электронный.
3. Волкова Т.Н. Особенности использования железорудных окатышей / Т.Н. Волкова; науч. рук. С.Н. Федосеев // Прогрессивные технологии и экономика в машиностроении: сборник трудов VII Всероссийской научно-практической конференции для студентов и учащейся молодежи, г. Юрга, 7–9 апреля 2016 г.: в 2 т. – Томск: Изд-во ТПУ, 2016. – Т. 1. – С. 35 – 37.
4. Архипов, А. В. Техногенные месторождения. Разработка и формирование: монография / А. В. Архипов, С. П. Решетняк; под науч. ред. акад. Н. Н. Мельникова. — Апатиты: КНЦ РАН, 2017 — 175 с. - ISBN 978-5-91137-355-9.
5. Теплоэлектростанция (ТЭС): сайт. – Северск. – 1998-2021. - URL: <http://atomsib.ru/component/content/article/2-uncategorised/3882-теплоэлектростанция-тэс> (дата обращения: 10.02.2021). – Текст: электронный.
6. ГОСТ 25818-91 Золы-уноса тепловых электростанций для бетонов. Технические условия. – Текст: электронный // Электронно-библиотечная система. - URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200000733> (дата обращения: 10.02.2021).
7. Использование отходов ТЭС в производстве строительных материалов. – Новосибирск. – URL: https://www.sts54.ru/new_tech/ (дата обращения: 10.02.2021).

- 10.02.2021). – Текст: электронный.
8. Способы окускования руд: сайт. – Москва. – 2021. - URL: <https://metallolome.ru/sposoby-okuskovaniya-rud/> (дата обращения: 12.02.2021). – Текст: электронный.
 9. Сыпучие материалы. Порошки. Свойства порошков. Устойчивость. Практическое применение. Реферат, 2013 – 12 с.
 10. Классен П.В., Гришаев И.Г. Основы техники гранулирования (Процессы и аппараты химической и нефтехимической технологии). — М., Химия, 1982. — 272 с. – Текст: электронный // Национальная электронная библиотека. - URL: https://rusneb.ru/catalog/002178_000020_BGUNB-BEL%7C%7C%7CBIBL%7C%7C%7C0000530058/ (дата обращения: 15.02.2021).
 11. Коротич В. И. Теоретические основы окомкования железорудных материалов. — Москва: Metallurgiya, 1966. — 152 с. – Текст: электронный // Электронно-библиотечная система. - URL: <https://docplayer.ru/117631655-U-v-i-korotich-teoreticheskie-osnovy-okomkovaniya-zhelezorudnyh-materialov-metallurgiya.html> (дата обращения: 15.02.2021).
 12. Колпашников А. И. Гранулированные материалы, А. И. Калашников, А. В. Ефремов, Москва, 1977. – Текст: электронный // Электронно-библиотечная система. - URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-bentonita-na-svoystva-zhelezorudnyh-okatyshey> (дата обращения: 15.02.2021).
 13. Рахлин З.Н., Автореферат кандидатской диссертации, М., МИХМ, 1974.
 14. Коротич В.И., Теоретические основы окомкования железорудных материалов. Metallurgiya, 1966. - 151 с. – ISBN 66-44034.
 15. Получение окатышей из железорудных концентратов: сайт. – Москва. – 2017-2021. - URL:

- https://vuzlit.ru/755384/poluchenie_okatyshey_zhelezorudnyh_kontsentrato_y (дата обращения: 20.02.2021). – Текст: электронный.
16. Специальная часть. Выбор связующих добавок для производства обожженных окатышей: сайт. – Москва. – 2013-2021. - URL: https://studbooks.net/571142/geografiya/spetsialnaya_chast_vybor_svyazuyuschih_dobavok_proizvodstva_obozhzhennykh_okatyshey (дата обращения: 21.02.2021). – Текст: электронный.
17. Витюгин В. М. Влияние бентонита на свойства железорудных окатышей, В. М. Витюгин, Т. Г. Леонтьева, В. А. Трофимов // Известия Томского политехнического института [Известия ТПИ]. — 1975. — Т. 254: Геология, химия. — [С. 100-103]. – Текст: электронный // Электронно-библиотечная система. - URL: <http://earchive.tpu.ru/handle/11683/12773> (дата обращения: 21.02.2021).
18. Черная металлургия: сайт. – Москва. – URL : <http://bentonitrnd.ru/index.php?page=d0007&speek=rus> (дата обращения: 23.02.2021). – Текст: электронный.
19. Окатывание со связующими добавками: сайт. – Москва, 2020-2021. – URL: <http://metal-archive.ru/osnovy-metallurgii/1950-okatyvanie-so-svyazuyuuschimi-dobavkami.html> (дата обращения: 02.03.2021). – Текст: электронный.
20. Никитченко Т.В., ВЛИЯНИЕ МОДИФИЦИРУЮЩИХ ДОБАВОК НА ФОРМИРОВАНИЕ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ ОКАТЫШЕЙ, Никитченко Т.В., Тимофеева А.С., Кожухов А. А., Национального исследовательского технологического университета “МИСиС”), Москва, 2018. - 68-72 с. – Текст: электронный // Электронно-библиотечная система. - URL: http://cirtec.ranepa.ru/stats/spz/neicon/chermetinfo/stats_b/y:2018:i:4:p:67-72.html (дата обращения: 23.02.2021).
21. Новиков В.С. Применение высокоосновного агломерата и неофлюсованных окатышей в доменной плавке / В.С. Новиков, Н.Н. Бабарыкин, Б.А. Марсуверский и др. // Черная металлургия. – 1972. –14

- с. (дата обращения: 25.02.2021).
22. Окатыши: сайт. – Москва. – URL: <https://metallplace.ru/about/stati-o-chernoy-metalurgii/okatyshi/> (дата обращения: 25.02.2021). – Текст: электронный.
 23. Волкова Т. Н. Особенности использования железорудных окатышей/ Т. Н. Волкова ; науч. рук. С. Н. Федосеев // Прогрессивные технологии и экономика в машиностроении: сборник трудов VII Всероссийской научно-практической конференции для студентов и учащейся молодежи, г. Юрга, 7-9 апреля 2016 г.: в 2 т. — Томск: Изд-во ТПУ, 2016. — Т. 1. — [С. 35-37]. – Текст: электронный // Электронно-библиотечная система. - URL: <http://earchive.tpu.ru/handle/11683/26370> (дата обращения: 26.02.2021).
 24. Производство железорудных окатышей: сайт. – Москва. – 2017-2021. - URL: https://studopedia.ru/19_407391_proizvodstvo-metallurgicheskikh-okatishey.html (дата обращения: 01.03.2021). – Текст: электронный.
 25. Менковский М.А. Металлургия, технология угля и неметаллических полезных ископаемых: учебник для студентов вузов, обучающихся по специальности "Обогащение полезных ископаемых" / М. А. Менковский, И. Ю. Кожевников, Б. М. Равич. - Москва: Недра, 1971. - 399 с. - УДК 663
 26. ГОСТ 3584-73 Сетки проволочные тканые с квадратными ячейками контрольные и высокой точности. Технические условия. – Текст: электронный // Электронно-библиотечная система. - URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200004296> (дата обращения: 05.03.2021).
 27. Ситовой анализ: сайт. – Москва. – URL : <http://www.spec-kniga.ru/obuchenie/tekhnika-laboratornyh-rabot/tekhnika-laboratornyh-rabot-sitovoj-analiz.html> (дата обращения: 05.03.2021). – Текст: электронный.
 28. Добровольский В. В. Геология, минералогия, динамическая геология, петрография. — Москва: ВЛАДОС, 2001. — С. 69—70. — 320 с. -

ISBN 5-691-00782-3

29. Использование отходов ТЭС в производстве строительных материалов: сайт. – Новосибирск. – 2008-2021. - URL: https://www.sts54.ru/new_tech/ (дата обращения: 06.02.2021). – Текст: электронный.
30. Левинсон-Лессинг Ф. Ю. Биотит // Энциклопедический словарь Брокгауза и Ефрона : в 86 т. (82 т. и 4 доп.). — СПб., - 1998. - VI с., С. 473-938 с. - ISBN 5-900741-01-X.
31. Добрецов Н.Л. Породообразующие пироксены [Текст] / Н. Л. Добрецов, Ю. Н. Кочкин, А. П. Кривенко, В. А. Кутолин; [Отв. ред. акад. В. С. Соболев]. - Москва: Наука, 1971. - 454 с. - ISSN 1681-9004.
32. Петрянов И.В. Самое необыкновенное вещество // Химия и жизнь. — 1965. — № 3. — С. 2—14. – Текст: электронный // Электронно-библиотечная система. - URL: <http://www.barius.ru/biblioteka/book/5075> (дата обращения: 10.03.2021).
33. Брацыхин Е. А., Шульгина Э. С. Технология пластических масс: Учебное пособие для техникумов. — 3-е изд., перераб. и доп.. — Л.: Химия, 1982. — 328 с. - УДК 667.661(075.8).
34. Короткова, Ю. А. Использование торфа и торфогеля как органического удобрения / Ю. А. Короткова, 2015. — № 1 (81). — С. 158-161. – Текст: электронный // Электронно-библиотечная система. - — URL: <https://moluch.ru/archive/81/14587/> (дата обращения: 10.03.2021).
35. Генералов М.Б. Расчёт оборудования для гранулирования минеральных удобрений. Генералов М.Б., Классен П.В., Степанова А.Р., Шомин И.П. – Москва.: Машиностроение, 1984. – 192 с. - Текст: электронный // Электронно-библиотечная система. - — URL: <https://2lib.org/book/2388634/0e6d25?id=2388634&secret=0e6d25> (дата обращения: 18.03.2021).
36. Витюгин А.В., Исследование процесса гранулирования дисперсных материалов окатыванием в тарельчатых аппаратах [Текст]: Автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук. - Томск: [б. и.], 1979. - 21 с. -

ВВК-код К323.101.3-1,0.

37. Конторович Л.Б., «Расчет химических машин и аппаратов»: Машгис 1960 г.
38. ГОСТ 14249-89 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. – Текст: электронный // Электронно-библиотечная система. - URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200004365> (дата обращения: 18.03.2021).
39. ГОСТ Р 52857.1-2007 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Общие требования. – Текст: электронный // Электронно-библиотечная система. - URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200063255> (дата обращения: 18.03.2021).
40. Степин П.А., Сопротивление материалов : [Учеб. для немашиностроит. спец. вузов] / П. А. Степин. - 8-е изд. – Москва, 1988. - 366с. - ISBN (В пер.) (В пер.).
41. ГОСТ 103-76 Полоса стальная горячекатаная. Сортамент. – Текст: электронный // Электронно-библиотечная система. - URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200004017> (дата обращения: 22.03.2021).
42. Расчет и конструирование машин и аппаратов химических производств: Примеры и задачи. Под общей редакцией д – ра техн. Наук проф. М. Ф. Михалева. Ленинград «Машиностроение» 1984 г.
43. ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЬ АИР80В6 (АДМ80В6): сайт. – Екатеринбург. – 2014-2021. URL: http://www.esbk.ru/products_info/ed/101_ed_as_obprom/elektrodrigatel_air_80b6.html (дата обращения: 22.03.2021). – Текст: электронный.
44. ГОСТ 183-74 (СТ СЭВ 1346-78) Машины электрические вращающиеся. Общие технические условия. – Текст: электронный // Электронно-библиотечная система. - URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200004973> (дата обращения: 22.03.2021).
45. ГОСТ 31606-2012 Машины электрические вращающиеся. Двигатели асинхронные мощностью от 0,12 до 400 кВт включительно. Общие

- технические требования. – Текст: электронный // Электронно-библиотечная система. - URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200102305> (дата обращения: 22.03.2021).
46. Гурин В.В. Детали машин. Курсовое проектирование: учебник / В.В. Гурин, В.М. Замятин, А.М. Попов; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009 – Кн. 1 – 378 с., 330 ил., 91 табл. ISBN 978-5-982-98-551-4
47. Редуктор Ч-100: сайт. – Москва. – 2011-2021. - URL: <https://www.europrivod.com/articles/reduktor-ch-100.html> (дата обращения: 25.03.2021). – Текст: электронный.
48. ГОСТ 1284.1-89 (ИСО 1081-80, ИСО 4183-80, ИСО 4184-80) Ремни приводные клиновые нормальных сечений. Основные размеры и методы контроля. – Текст: электронный // Электронно-библиотечная система. - URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200017856> (дата обращения: 25.03.2021).
49. ГОСТ 17383-73 Шкивы для плоских приводных ремней. Технические условия. – Текст: электронный // Электронно-библиотечная система. - URL: <https://docs.cntd.ru/document/464617430> (дата обращения: 25.03.2021).
50. ГОСТ 1284.3-96 Ремни приводные клиновые нормальных сечений. Передаваемые мощности. – Текст: электронный // Электронно-библиотечная система. - URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200017858> (дата обращения: 29.03.2021).
51. ГОСТ 12080-66 (СТ СЭВ 537-77) Концы валов цилиндрические. Основные размеры, допускаемые крутящие моменты. – Текст: электронный // Электронно-библиотечная система. - URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200011939> (дата обращения: 29.03.2021).
52. ГОСТ 832-78 Подшипники шариковые радиально-упорные сдвоенные. Типы и основные размеры. – Текст: электронный // Электронно-

- библиотечная система. - URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200012725>
(дата обращения: 05.04.2021). – Текст: электронный.
53. ГОСТ 520-2011 Подшипники качения. Общие технические условия. –
Текст: электронный // Электронно-библиотечная система. - URL:
<https://docs.cntd.ru/document/1200086914> (дата обращения: 05.04.2021).
54. ГОСТ 25603-83 (СТ СЭВ 599-77) Шарниры. Типы и основные размеры. –
Текст: электронный // Электронно-библиотечная система. - URL:
<https://docs.cntd.ru/document/1200016804> (дата обращения: 07.04.2021).
55. ГОСТ 23360-78 Основные нормы взаимозаменяемости. Соединения
шпоночные с призматическими шпонками. Размеры шпонок и сечений
пазов. Допуски и посадки. – Текст: электронный // Электронно-
библиотечная система. - URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200012266>
(дата обращения: 05.04.2021).
56. Криницына З.В., Видяев И.Г. Финансовый менеджмент,
ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое
пособие /Криницына З.В., Видяев И.Г.; Томский политехнический
университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета,
2014. – 73 с.
57. Микроэлементы и редкие металлы в составе минеральной части угля
месторождения ШИВЭ-ОВОО / Коврижкина К.А. – Текст: электронный //
XXI Международная научная конференция «СОВРЕМЕННЫЕ
ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ». – 2015. – С. 82-84. – URL :
<https://portal.tpu.ru/science/konf/ctt/proceedings/2015> (дата обращения:
07.03.2021).
58. Российская Федерация. Законы. О безопасности: Федеральный закон "О
безопасности" N 390-ФЗ: [принят Государственной думой 7 декабря 2010
года]. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_108546/
(дата обращения: 11.03.2021). – Текст: электронный.
59. Российская Федерация. Законы. Трудовой кодекс Российской Федерации
N 197-ФЗ: [принят Государственной думой 30 декабря 2001 года]. – URL:

- <http://docs.cntd.ru/document/901807664> (дата обращения: 11.03.2021). – Текст: электронный.
60. ГОСТ 12.2.032-78. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования: дата введения 1979-01-01 - URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200003913> (дата обращения: 11.03.2021). – Текст: электронный.
61. ГОСТ 12.2.033-78. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования. : дата введения 1979-01-01 - URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200005187> (дата обращения: 12.03.2021). – Текст: электронный.
62. ГОСТ 12.2.003-91. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Оборудование производственное. Общие требования безопасности: дата введения 1992-01-01 - URL: <http://docs.cntd.ru/document/901702428> (дата обращения: 12.03.2021). – Текст: электронный.
63. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы. URL: <http://docs.cntd.ru/document/901865498> (дата обращения: 12.03.2021). – Текст: электронный.
64. ГОСТ 21889-76. Система "Человек-машина". Кресло человека-оператора. Общие эргономические требования: дата введения 1977-07-01 - URL: <http://docs.cntd.ru/document/gost-21889-76> (дата обращения: 12.03.2021). – Текст: электронный.
65. ГОСТ 12.2.003-91. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Оборудование производственное. Общие требования безопасности: дата введения 1977-07-01 - URL: <http://docs.cntd.ru/document/901702428> (дата обращения: 12.03.2021). – Текст: электронный.
66. ГОСТ 12.1.012-2004. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Вибрационная безопасность. Общие требования: дата введения 2008-07-

- 01 - URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200059881> (дата обращения: 15.03.2021). – Текст: электронный.
67. ГОСТ 12.1.003-2014. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Шум. Общие требования безопасности (Переиздание) : дата введения 2015-11-01 - URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200118606> (дата обращения: 15.03.2021). – Текст: электронный.
68. СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. URL: <http://docs.cntd.ru/document/901704046> (дата обращения: 15.03.2021). – Текст: электронный.
69. ГОСТ Р 55710-2013. Освещение рабочих мест внутри зданий. Нормы и методы измерений: дата введения 2014-07-01 - URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200105707> (дата обращения: 15.03.2021). – Текст: электронный.
70. СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*: дата введения 2017-05-08 - URL: <http://docs.cntd.ru/document/456054197> (дата обращения: 15.03.2021). – Текст: электронный.
71. ГОСТ 12.1.038-82. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов: дата введения 1983-07-01 - URL: <http://docs.cntd.ru/document/5200313> (дата обращения: 15.03.2021). – Текст: электронный.
72. ГОСТ 12.0.003-2015. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация: дата введения 2017-03-01 - URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200136071> (дата обращения: 15.03.2021). – Текст: электронный.
73. ГОСТ 12.1.001-89. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Ультразвук. Общие требования безопасности: дата введения 1991-01-01 -

- URL: <http://docs.cntd.ru/document/5200273> (дата обращения: 15.03.2021). – Текст: электронный.
74. Защита от повышенного уровня вибрации: сайт. – Москва, 2021. – URL: <https://www.protrud.com/обучение/учебный-курс/защита-от-повышенного-уровня-вибрации> (дата обращения: 16.02.2021). – Текст: электронный.
75. ГОСТ 12.1.005-88. Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны: дата введения 1989-01-01 - URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200003608> (дата обращения: 16.03.2021). – Текст: электронный.
76. СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания". URL: <https://docs.cntd.ru/document/573500115> (дата обращения: 17.03.2021). – Текст: электронный.
77. Расчёт искусственного освещения. Методические указания к выполнению индивидуальных заданий для студентов дневного и заочного обучения всех направлений и специальностей ТПУ. – Томск: Изд. ТПУ, 2008 – 20 с. – URL : https://stud.lms.tpu.ru/pluginfile.php/1246294/mod_resource/content/1/МУ%20Расчет%20искусственного%20освещения.pdf (дата обращения: 17.03.2021). – Текст: электронный.
78. Электробезопасность на предприятии: сайт. – Москва. – URL : <http://dvkuot.ru/index.php/proizvod/88-elbez> (дата обращения: 17.03.2021). – Текст: электронный.
79. Как уменьшить зрительное напряжение и утомление при работе за компьютером: сайт. – Москва. – URL : <http://mc-zrenie.kz/article/kak-umenshit-zritelnoe-napryazhenie-i-utomlenie-pri-rabote-za-kompyuterom> (дата обращения: 17.03.2021). – Текст: электронный.
80. Российская Федерация. Законы. О пожарной безопасности: Федеральный закон "О пожарной безопасности" N 69-ФЗ: [принят Государственный

- думой 18 ноября 1994 года]. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_5438/ (дата обращения: 18.03.2021). – Текст: электронный.
81. Правила поведения при пожаре: сайт. – Москва. – URL: <https://68.mchs.gov.ru/deyatelnost/poleznaya-informaciya/rekomendacii-naseleniyu/pamyatka-po-pozharnoy-bezopasnosti/pravila-povedeniya-pri-pozhare> (дата обращения: 19.03.2021). – Текст: электронный.
82. ГОСТ Р 22.0.01-2016. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Основные положения: дата введения 2017-06-01 - URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200136692> (дата обращения: 20.03.2021). – Текст: электронный.

Приложение А

(обязательное)

Investigation of the Possibility of Production of Iron Oscillators from the Iron-Containing Fraction of Ash

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4ГМ92	Трушина Дарья Сергеевна		

Руководитель ВКР:

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

Консультант – лингвист отделения иностранных языков ШБИП:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Утятина Янина Викторовна			

Contents

1. Origin of raw materials	174
2. Method of agglomeration of the iron-containing fraction.....	178
3. Granulation.....	182
4. Physicochemical fundamentals of the granulation process.....	185
4.1 Coalescence	185
4.2 Lumpiness.....	186
4.3 Shear characteristics	187
5. Properties of iron ore pellets	191
References.....	195

1 Origin of raw materials

One of the possible sources of raw materials is the technogenic deposit of the ash dump of the Severskaya CHPP.

Man-made deposits are accumulations of mineral substances formed as a result of the storage of waste from various industries [1]. The composition and structure are determined by the geological and industrial type of the original deposit, the method of extraction and the technological scheme for processing mineral raw materials, and the conditions for waste storage.

The accumulation of large volumes of technogenic formations leads to the withdrawal of land areas from the economic turnover, a deterioration of the ecological situation in the area, and unproductive costs of their storage.

The use of man-made mineral resources is an important part of the state policy on resource conservation and environmental protection. Man-made objects are characterized by low contents of useful components and require the use of new advanced technologies.

The main tasks facing technological research in the study of technogenic formations include:

- establishing the possibility of industrial processing of material on a rational economic basis;
- the selection of technological types and varieties of mineral raw materials, the establishment of the possibility and economic feasibility of joint or separate mining and enrichment of varieties;
- development of technical solutions that provide technical and economic indicators of raw materials processing by extracting valuable components.

The problem of using waste as a secondary raw material is urgent and requires the development of solutions. One of the most important problems facing the coal power industry in Russia is the accumulation of ash waste (ASW) from coal-fired power plants. To make a decision on the efficiency of using ash dumps, it is necessary to carry out a set of technological and physical-mechanical tests.

In many countries of the world, the share of coal in electricity production is much higher than in Russia, but, nevertheless, due attention is paid to the issue of utilizing ash from thermal power plants, the degree of its use for the production of useful products is quite high (Table 1).

Table 1 - The degree of utilization of ash and slag waste in different countries

1	Denmark (100%)	6	USA (39.1%)
2	Poland (86.3%)	7	Australia (35%)
3	Germany (74.8%)	8	South Africa (29%)
4	England (64%)	9	India (24%)
5	China (64%)	10	Russia (10%)

On the territory of the Tomsk region there are 3 power plants operating on solid fuel, the combustion of which produces solid mineral waste, represented by slag and fly ash.

The power plant is located in the city of Seversk, the main source of heat supply for the city and the Siberian Chemical Combine (SCC), the largest power plant in the Tomsk region in terms of installed capacity. The steam-turbine combined heat and power plant uses coal (mainly) and natural gas as fuel. Installed power plant capacity - 449 MW, heat capacity - 1713.8 Gcal / hour. The plant's equipment includes 9 turbine units: two - 12 MW each, three - 25 MW each, one - 50 MW and three - 100 MW. Belongs to the United Heat and Power Company JSC [2].

Geographically, ash dumps are located within the municipalities of the Tomsk region and are a source of unfavorable environmental conditions. These dumps are constantly dusty, the mobile forms of the elements are actively washed out by precipitation, polluting the environment. In terms of physical, chemical and aggregate state, ash dumps are a unique resource for beneficial use in various industries with significant environmental effects.



Figure 1 - Location of the ash dump in the city of Seversk

Ash dump No. 2 of the Severskaya CHPP is located in the north-west of the city, in the valley of the river. Tom. The ash dump is separated from the river by a dam. Approximate size 1.4x1.2 km.

The composition of the ash and slag material is determined by the quantitative ratio of the minerals included in it. The main components of ash and slag materials are oxides SiO_2 , Al_2O_3 , FeO , Fe_2O_3 , CaO , MgO . A small proportion is accounted for by sulfates CaSO_4 , MgSO_4 , FeSO_4 . Phosphates, alkali metal oxides, biogenic and toxic microelements are present in smaller amounts.

Ashes are subdivided according to the type of coal being burnt into [3]:

- anthracite, formed during the combustion of anthracite semi-anthracite and lean coal (A);
- hard coal, formed during the combustion of hard coal, except for lean coal (KU);
- lignite, formed during the combustion of brown coal (B).

There are a number of chemical classifications of ashes. This feature is the most important, because ashes have high hydraulic activity and the ability to harden independently.

Depending on the chemical composition, ash is divided into the following types:

- acidic (K) anthracite, coal and lignite, containing calcium oxide up to 10%;
- basic (0) - lignite, containing more than 10% calcium oxide by weight.

In the case of using ashes in the technology of binders according to the activity of ash, they are classified into the following types [4]:

- Active ashes are characterized by the values of the basicity modulus (M_o) equal to $= 0.5 - 2$, the acidity modulus (K_k) equal to $1 - 3.6$; content of total calcium oxide CaO_{total} - 20-60%, free calcium oxide CaO_{free} . - up to 30%.

- Latent ashes are characterized by the values of $M_o = 0.1 - 0.5$; CaO_{tot} - 5-20%; CaO_{free} . - up to 0-2%; $K_k = 0.5 - 1.5$.

- Inert ash - M_o less than 0, 1; CaO_{total} - 0.5 - 5%; CaO_{svob} - up to 0-1%; $K_k = 0.4 - 0.9$.

The full use of ash becomes possible if you remove from it components that are limited by technical conditions, or obtain concentrates enriched with individual minerals necessary for its further processing.

2 Method of agglomeration of the iron-containing fraction

There are three ways to agglomerate small ores and concentrates: briquetting, agglomeration and pelletizing.

The first group includes methods for producing briquettes with and without the addition of binders, followed by pressing the mixture into briquettes of regular, geometric shape.

The second group includes methods based on heating the ore to the melting temperature, followed by crystallization from the melt and the formation of new minerals.

The third group includes methods based on the property of moist finely ground ore particles to stick together into lumps of greater or lesser strength, which are given the required size by rounding [5].

Briquetting (pelletizing) mixtures is carried out as follows:

- without the addition of binders;
- with the addition of organic binders;
- with the addition of inorganic binders.

Application without the addition of binders is possible for ores with strong particle bonding when moistened due to the clay fillers contained in them, which act as a binder. Connectivity, in the absence of clay components, is sometimes achieved due to fine particles of ore, which have the properties of colloids. Depending on the degree of plasticity of the moistened ore, the pressing pressure ranges from 75-200 kg / cm² and higher. The main disadvantages are as follows:

- Briquettes (granules) are not suitable for use immediately after formation, they need long-term drying and firing.
- The drying and firing regime requires the construction of bulky and expensive kilns to ensure gradual heating.

- Significant fuel consumption for drying and roasting of briquettes (granules), it is 4-8 % of the weight of briquettes (granules), ie, equal to the fuel consumption during the agglomeration of ores.

Granulation with the addition of organic binders. The high cost and scarcity of products could not contribute to the spread of the process. In addition, they are thermally unstable: in the high temperature zone, after the combustion of the organic additive. According to the principle of action of binders, the methods of this group can be divided into six subgroups:

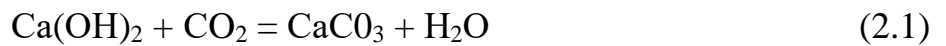
A) Methods based on the cementitious properties of certain silicates. The most common silicates are liquid glass, blast furnace slags, Portland cement, etc. The concentration of the liquid glass solution is taken depending on the required moisture content of the mixture, the consumption of glass, counting on solid, is more than 5%. After pressing, the briquettes are dried and fired at a temperature of 400-500 °, due to which they acquire good strength and water resistance.

B) Methods based on the production of cementitious silicate. To obtain cementitious silicates of the $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ type according to the $\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{SiO}_2 + n\text{H}_2\text{O}$ scheme, finely ground quartz sand and lime are used in an amount of up to 8-10%. To accelerate the formation of silicate, the briquettes are subjected to steam treatment under a pressure of up to 10 atm and after this treatment they acquire good mechanical and thermal stability.

In industrial practice, the Schumacher method is known, which, however, has not received widespread use in ferrous metallurgy due to its complexity and high cost. According to this method, 1-3% of quartz sand and 3-5% of slaked lime are added to the ore. The mixture is thoroughly mixed, moistened and pressed into briquettes, which are supplied to autoclaves on special platforms, where they are exposed to superheated steam under a pressure of 8-10 atm.

C) Methods based on the formation of carbonates. According to the Weiss method, the ore is moistened with milk of lime and formed into briquettes, which are subjected to a two-stage pressure treatment with CO_2 .

Carbonate formation proceeds according to the following scheme:



Briquettes (granules) after processing are durable, but when heated, they crack with the formation of fines due to the reverse decomposition reaction of the resulting carbonates.

D) A method based on the binding strength of silicic acid gels. This method was proposed by engineer Fonyakov. Gels fall out of the liquid glass solution when treated with a solution of calcium chloride. The high strength of the briquettes meets the requirements.

E) A method of granulating with iron cement. The method of granulation with iron cement (proposed by engineer Yarkho) is based on the cementing property of iron oxide hydrates formed during ore processing and pressing due to oxidation of crushed iron shavings added to the briquetted ore in an amount of 5-10%. To accelerate oxidation, the ore is moistened with a solution of sodium chloride at the rate of 0.5-1% salt to the weight of the ore. The concentration of the salt solution is taken depending on the initial moisture content of the ore. The higher the optimum moisture content for ore briquetting, the lower it will be.

When smelting critical grades of metal from briquettes (granules) obtained by the Yarkho method, it is necessary to monitor the purity of the cast iron shavings in relation to the content of harmful impurities in it. To protect the briquettes (granules) from contamination with harmful impurities, cast iron shavings can be replaced with spongy iron obtained by direct reduction of a small part of the granulated raw materials. In this case, it is absolutely not necessary to reduce all the iron contained in the ore to metal, since this requires complex and expensive equipment. You can limit yourself to the reduction of 50-60% of the contained iron oxides, which is technically much easier. True, the consumption of the reduced ore in this case will be somewhat higher, since 5-6% of metallic iron must be added to the briquette (granule). The replacement of cast iron shavings with spongy iron, although somewhat complicates the Yarkho method, opens up the possibility of obtaining high-purity ore briquettes, suitable for smelting especially critical grades of metal.

From a brief overview of briquetting (pelletizing) methods using inorganic binders, it can be seen that the main disadvantage is the complexity of processing. The most promising of the methods of this group, but still very expensive, is the Yarkho method.

The simplest and cheapest methods are briquetting (pelletizing) without the addition of binders. However, the limited area of application of these methods and, most importantly, the need for long-term drying and firing of briquettes, which requires the construction of bulky warehouses and expensive, but low-performance furnaces at a large scale of production, could not contribute to their development.

3 Granulation

Granulation is the formation of solid particles of certain sizes and forms with specified properties. The size of the granules depends on the type of material, the method of its further processing or application [6].

Granulation types:

- Wet granulation - is carried out by melting wet masses with subsequent spray or contact drying;
- Dry granulation - grinding to a certain value with a preliminary seal;
- Structural granulation (pseudo-liquid granulation).

The effectiveness of the granulation process depends on the granulo formation mechanism, which is determined by the granulation method and its instrumentation. Granulation methods can be classified as follows [7]:

- Pastening (the formation of granules, achieved by agglomeration or laying particles);
- dispersion of fluid into a free volume or neutral medium (formation and crystallization of liquid drops during cooling);
- pressing dry powders to obtain briquettes, etc., followed by their crushing on the granules of the required size;
- dispersion of the fluid on the surface of the particles in suspension;
- scratching (cooling fluid on a foreign surface);
- molding or extrusion (the maintenance of the paste-shaped mass through the holes).

Granulation by peeping is in the preliminary formation of agglomerates from uniformly moistened particles or in laying dry particles to moistened kernels - granuoforming centers. This process is due to the action of capillary-absorption forces of adhesion between particles and the subsequent compaction of the structure caused by the interaction for the particles in a dense dynamic layer.

Pawing includes the following steps: wetting particles of the material binder, resulting in separate lumps - agglomerates of particles and laying small particles to larger; Sealing agglomerates in the material layer.

The granulator (occupitor) is a device for granulation of finely divided materials, which contributes to an increase in the performance of agglomeration machines, or the production of raw pellets.

Granulators can be classified according to the device and the principle of operation into the following types [8]:

- drum;
- Tarbed;
- conical;
- Multiconus
- tape;
- Vibration.

The principle of operation of the drum and a plate granulators are based on the rotation of the drum installed horizontally or at an angle of 1-3 °, and special. The plate placed at an angle of 45-55 °, inside of which the material layer moves. The degree of filling of the devices can vary from 10 to 15%. Pawing in the drum granulator occurs on the side cylindrical surface, in the plate - on the surface of the bottom of the plate [9].

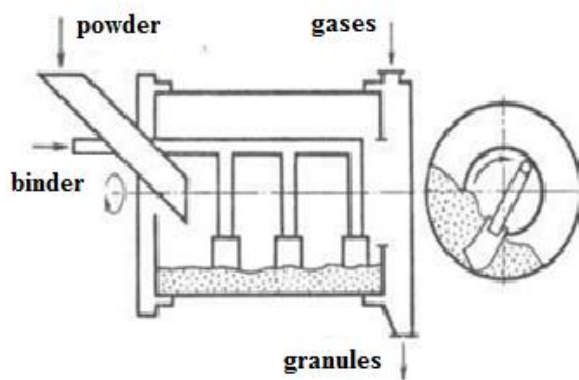


Figure 2- Drum Granulator

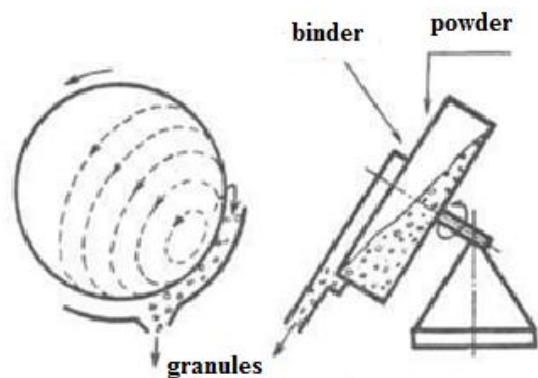


Figure 3- Celebration Granulator

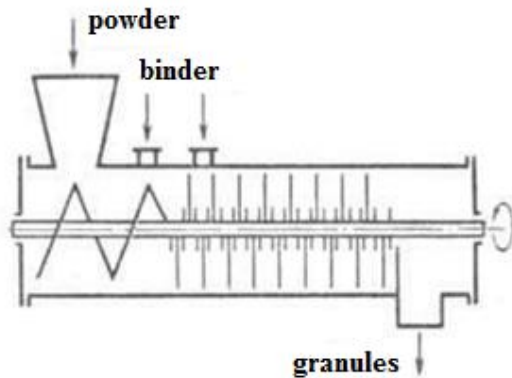


Figure 4- high-speed granulator

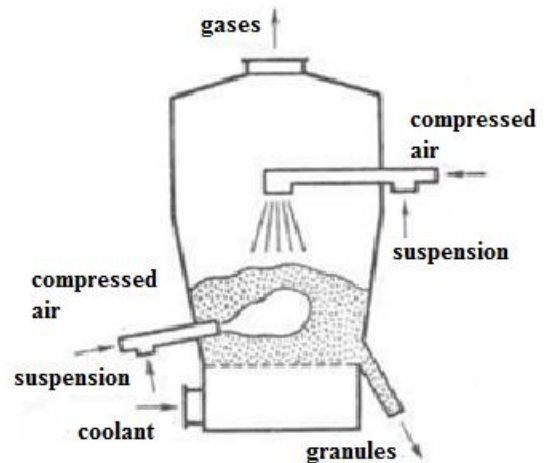


Figure 5-granulator with Fluidized bed

For the intensification of peadaths, high-speed and vibration granulators are used, in which more dense and homogeneous granules are obtained. In the high-speed granulator, the material layer is strongly mixed with and shaft with pins planned on it [9]. The drum grocers for the pellets are installed in a closed cycle with a roar and the adjacent product are sent back to the drum into recycling, which speeds up the formation of the pellets.

Poppet pelletizers are used to ponder one-component charge with constant physicochemical and mineralogical properties. In this case, the cups may produce classified pellets, which makes it possible to conduct a technological process without circulating load and screaming.

4 Physicochemical fundamentals of the granulation process

4.1 Coalescence

Coalescence is the fusion of particles inside a moving medium or on the surface of a body. Coalescence is accompanied by droplet enlargement and is caused by the action of intermolecular attraction forces [10].

The growth rate of granules depends on the volumetric moisture content, particle size and particle size distribution of the material, on the number of revolutions and the load of the drum. With an excess of moisture and a large amount of finely dispersed material, coalescence predominates.

The equation of the kinetics of growth of granules in a disc granulator in general form was given by VG Evdokimov [10]:

$$r = r_0 + \frac{\alpha\tau}{\rho} \quad (4.1)$$

Studying the dependence of the growth rate of granules on the amount of liquid binder, ZN Rakhlin obtained an equation of the form [10]:

$$d = d_0 e^{m(W-W_0)} \quad (4.2)$$

The system has excess free energy due to its highly developed surface. The ability of dispersed materials to wet is manifested when the system tends to decrease the free energy. Thin semi-colloidal and colloidal fractions have the highest surface activity in lumped materials.

The formation and growth of granules is determined by the mechanism and conditions of the granulation process, i.e. the nature of the spraying and the properties of the binder (viscosity, density, surface tension), mixing conditions in the apparatus, fractional (dispersed) and chemical compositions of the powder, etc. As a result of the movement of the granules, they are compacted under the action of external deforming stresses, which results in a decrease in the size and porosity of the granules and an increase in their density [11].

4.2 Lumpiness

Clumping is defined as the tendency of particulate material to be wet granulated by the pelletizing method. Determination of the optimal moisture content in the pellets begins with the pelletizing of the moist concentrate, which is capable of forming lumps on the granulator.

The moisture content of the charge has a great influence on pelletizing. Different materials differ in their ability to pelletize, assessed by the lumpiness index [12]:

$$K = \frac{W_{\text{MMB}}}{W_{\text{MKB}} - W_{\text{MMB}}} \quad (4.3)$$

Korotich, proposed the following calculation equation for the strength of granules [11]:

$$\sigma_z = KS_0 \gamma \frac{1-\varepsilon}{\varepsilon} \quad (4.4)$$

The pelletizing process mainly depends on the interaction of solid and liquid phases, carried out as a result of rolling the charge onto its locally waterlogged particles - embryos during granulation under the influence of molecular and capillary forces.

In practice, on a production scale, for planning the granulation process algorithm, the lumpiness index is not calculated, but the optimum moisture parameter is used. This is due to the insufficient accuracy of the determination and the absence of a rigorous scientific substantiation of the lumpiness index, according to the calculations of which the process of obtaining raw pellets can be significantly improved. To reveal the effect of residual moisture of bentonite on lumpiness, experiments were carried out in the laboratory of the Department of Metallurgy.

4.3 Shear characteristics

One of the important characteristics of bulk materials is their friction, which can be both internal (inside mineral raw materials) and external (about enclosing surfaces).

Friction in bulk raw materials is a complex phenomenon, depending on factors: true and bulk density, mineral and particle size distribution, structure and texture, measurements and shape of grains, external loads, moisture, internal adhesion forces. The value of internal friction is expressed through the angle of internal friction and adhesion [7]:

$$\tau = \sigma \cdot \operatorname{tg}\varphi + c \quad (4.5)$$

The coefficient of internal friction characterizes the friction between the particles of mineral raw materials, increases with an increase in its density and the size of the particles themselves, and decreases with an increase in the degree of their roundness. The adhesion determines such phenomena as bridging and hanging of raw materials in bunkers and silos, the formation of a vertical wall, etc., and characterizes the caking of raw materials. Overcoming the adhesion forces is associated not only with the movement of raw materials when unloading containers, but also resistance when scooping it up by reloading machines.

Samples for determining the shear characteristics are taken from material with a grain size of no more than 3 mm in the sample. If the sample also contains larger pieces, then it is sieved on a sieve with a mesh of 3 mm and an undersize product (~ 3 mm) is taken for analysis, having determined its mass fraction in the sample, which is necessary for further calculations.

Taking into account the specific mass fraction of the fines in the material sample, the mass of the sample is calculated so that the required fraction of the fines for testing can be obtained from it. The moisture content of the sample should not change during the entire test period.

Shear characteristics of raw materials are necessary to determine the geometric parameters of silos and bunkers on the condition of reliable outflow of bulk material (dimensions of the outlet, angles of inclination of its walls, etc.).

The shear test of each selected sample consists of three stages. At stages I and II, the sample is prepared for testing and compacted, and at stage III - the actual shift.

Check the horizontal position of the device. The lower non-movable part of the device with a shear holder is set in the working position and fixed with a screw. Lubricate the upper end of the lower holder with Vaseline and install the upper movable holder. Then a porous insert is inserted, on which a paper filter is placed, the sample is poured, carefully leveled and covered over the paper filter and a porous insert.

Install and secure the upper part of the device with screws. Apply a vertical load and hold it until shrinkage stops, which is recorded by the vertical displacement indicator.

Then an indicator is installed that fixes the horizontal displacement of the upper movable holder. Using the set screws, a gap (1-1.2 mm) is established between the movable and fixed clips and a horizontal shear load is applied in stages in several steps. Each subsequent load is 2 times less than the previous one. The shear load should not exceed 2-3% of the vertical load. After the shift, a moisture test is taken.

Determination of shear resistance is carried out for normal specified loads 0.1; 0.2; 0.3 and 0.4 N / mm².

According to the results of the experiment, shear characteristics are calculated - the coefficients of internal friction and adhesion. Ultimate stress of bulk material on the surface of the arch (ordinate of the expiration function) [7]:

$$Z_c = 2c \cdot (\operatorname{tg} \varphi + \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \varphi}) \quad (4.5)$$

$$Z_1 = \frac{c + \sigma \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \varphi}}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \varphi} - \operatorname{tg} \varphi} - \frac{\sqrt{(c + \sigma \cdot \operatorname{tg} \varphi)^2 - \tau^2}}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \varphi} - \operatorname{tg} \varphi} \quad (4.6)$$

Main sealing pressure (abscissa of the outflow function):

$$\sin \delta = \frac{Z_1 \cdot \operatorname{tg} \varphi + c}{Z_1 \cdot \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \varphi} - c} \quad (4.7)$$

Determination of the angle of external friction is performed in the same way as when determining the internal friction.

The coefficient and angle of friction are related [7]:

$$K_{TP} = \operatorname{tg} \varphi \quad (4.8)$$

The error between two parallel determination of shear characteristics should not exceed 5%.

The angle of repose of bulk mineral raw materials means the largest angle formed by the free surface of the bulk material with a horizontal plane when the raw material is poured without jolts and dynamic influences.

The angle of repose refers to the property of mineral raw materials, which is associated with the condition of the limiting equilibrium of particles on the surface of the bulk material. It depends on the mineral and granulometric composition, the degree of moisture, the shape and nature of the surface of the particles and can vary from several to 45 °.

The angle of repose is determined for free-flowing mineral raw materials in an air-dry state or at a given humidity. The degree of moisture in finely dispersed raw materials can change the angle of repose within wide limits, while this is not observed in lumpy raw materials.

The angle of repose is always different from the angle of internal friction, even for well-flowing minerals. For poorly free-flowing and cohesive raw materials, the angle of repose is always greater than the angle of internal friction and depends on the method of forming the slope.

For the tests, a bottomless cylinder made of non-corrosive metal sheet with two handles at the top is used. Cylinder diameter depending on the maximum material size 3; 25; 50 mm is respectively 0.1; 0.5; 1m; height - 0.15; one; 1.5 m. A scoop and weighing cups are also required for moisture sampling; technical scales with a weighing error of 0.001 g; goniometer with a measurement error of 0.5 °; scoop or

spatula for filling the cylinder with sample. A cylinder is installed on a horizontal surface and, using a scoop or shovel, it is filled with a previously selected sample. Raise the cylinder slowly until the sample is completely poured out. A protractor measures the angle θ of the natural slope of the raw material:

$$\operatorname{tg} \theta = 2H / D \quad (4.9)$$

The angle of repose of raw materials is used to quantify the flowability coefficient [7]:

$$K = (1 - \sin \varphi) / (1 + \sin \varphi) \quad (4.10)$$

5 Properties of iron ore pellets

Pellets are ore material obtained from pulverized ore or from finely ground concentrates in the form of spherical particles ranging in size from 0.5 to 1.5 cm. They are the product of enrichment of iron-containing ores and subsequent pelletizing and roasting.

Iron ore pellets in comparison with sinter have a number of advantages [13]:

1. They are characterized by a high iron content, are well transportable, in contrast to the agglomerate;
2. Pellets are subject to long-term storage in warehouses, while the agglomerate crumbles during storage;
3. With a smaller proportion of silica in the pellets, there is also less need for limestone for fluxing the pellets;
4. When using rich iron ore pellets in blast-furnace processing, their consumption and slag output are reduced;
5. The pellets are highly recoverable due to their high porosity. This provides an increase in the degree of gas utilization in the furnace and a decrease in the energy intensity of the smelting.

To obtain raw pellets, dish-shaped, drum-shaped or cup-shaped pelletizers are used and their hardening by means of firing or non-firing methods. Using various additives, you can get [14]:

- Iron ore pellets;
- Ferromanganese;
- Iron-nickel;
- Ore-coal;
- Dolomitized;
- Magnesians.

The quality of the pellets is expressed by such indicators that reflect their properties and functional characteristics: chemical and mineral composition,

mechanical properties, physicochemical properties and stability of quality parameters. According to the chemical and mineral composition, the pellets are subdivided according to the degree and type of fluxing into the following types [15]:

- non-fluxed (1-3% SiO₂);
- fluxed conventional (CaO / SiO₂ = 0.4-0.8);
- fluxed magnesia (MgO / SiO₂ 0.4-0.8).

There is no clear boundary between fluxed and non-fluxed pellets. Pellets with a CaO / SiO₂ basicity modulus of more than 0.5 can be conventionally considered fluxed. The lack of clearly marked boundaries between different types of pellets is a result of the fact that the pellets, in terms of chemical composition, are homogeneous types of pelletized metallurgical raw materials and can be interchangeable in the blast-furnace processing [15].

The quality parameters expressing the mechanical properties of the pellets are: size, fracture and abrasion strength, content of the limited class <5 mm and porosity.

The group of physical and chemical properties includes the following signs:

- Recoverability;
- Strength at restoration;
- Gas-dynamic properties of the melt;
- Softening;
- Swelling.

The stability of the qualitative parameters is assessed by their fluctuations, which are regulated by indicating two quantities: the limits and the number of samples that fit within the indicated limits.

Non-fired pellets are material hardened without the use of high-temperature firing. To do this, use such bundles as [14]:

- Portland cement;
- Glue;
- Na₂SiO₃;
- Organic compounds.

Chemical-catalytic strengthening methods:

- Lime carbonation at 100–105 ° C;
- Solidification of magnesium chloride, etc .;
- 2 or 5-hour hydrothermal treatment at $T = 180\text{--}220$ ° C and pressure from 1 to 1.5 MPa.

Raw pellets are spherical particles of various sizes intended for strengthening by firing. Raw pellets are produced from a charge (the main component is a finely ground concentrate from 74 to 90% of granules of which diameters are up to seventy four micrometers). As a compound, water is used, as lumping impurities - 0.5-1% clay, bentonite, and sometimes organic compounds (polyvinyl alcohol, etc.), milk of lime, soda, etc. flux and additional impurities - welding slag, coke, coal, fines, etc.

Phosphorite pellets are a product made of dusty minerals in the form of spherical particles, produced by agglomeration of the charge and subjected to hardening (in particular, by firing). Phosphoric pellets are used in the production of phosphorus (P) and FeP in electric cookers. Mn and Cr ores, as well as fluxes (alumina, quartzite) can be used as impurities in the manufacture of phosphorite pellets [14].

The quality of the currently produced pellets sometimes does not meet the requirements of blast-furnace smelting. The reasons and mechanisms of pellet softening during reduction under conditions close to blast-furnace smelting have not been sufficiently studied.

An increase in the temperature and duration of heat treatment of the lower horizons of the layer makes it possible to obtain pellets that are more homogeneous in chemical composition and metallurgical properties. This is achieved by intensifying the heating of the layer with an increase in the temperature and filtration regime, or by using solid fuel.

A decrease in the destructibility of fired pellets during subsequent processing is achieved by using various additives in the charge and a heat treatment mode to obtain the required phase composition capable of maintaining the strength of the pellets at a high degree of recovery.

Oxidative roasting is one of the most important technological stages in the production of pellets by the pyrometallurgical method. In the domestic production of pellets, concentrates are used, obtained by beneficiation of magnetite ores, which is due to the sufficient simplicity and relatively low cost of beneficiation by the method of magnetic separation.

According to the requirements of blast furnaces, the pellets produced in the country are predominantly fluxed, which complicates their production, reduces the iron content and increases the consumption of energy carriers.

The conducted studies of blast-furnace smelting with the use of roasted iron ore pellets made it possible to formulate the basic requirements for the quality indicators of the pellets:

a) by chemical properties: maximum iron content; high basicity, contributing to the reduction of raw limestone from the composition of the charge; chemical stability.

b) by physical properties: high compressive strength, low crushing and abrasion in the cold state and minimal deterioration of these indicators during the recovery process, high porosity.

c) in terms of metallurgical properties: high reducibility, high temperature of the beginning of softening and a small temperature range of softening.

References

1. Arkhipov, A.V. Technogenic fields. Development and formation: monograph / A. V. Arkhipov, S. P. Reshetnyak; under scientific ed. Acad. N. N. Melnikova. - Apatity: KNC RAS, 2017 - 175 p. - ISBN 978-5-91137-355-9
2. Heat and power plant (CHP): site. - Seversk. - 1998-2021. - URL: <http://atomsib.ru/component/content/article/2-uncategorized/3882-terelectro-central-TEC> (date of handling: 13.02.2021). - Text: electronic.
3. GOST 25818-91 ash-under thermal power plants for concrete. Technical conditions. - Text: electronic // Electronic library system. - URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200000733> (Date of handling: 02/15/2021).
4. The use of TPP waste in the production of building materials. - Novosibirsk. - URL: https://www.sts54.ru/new_tech/ - Text: electronic.
5. Methods of locked ore: site. - Moscow. - 2021. - URL: <https://metallolome.ru/sposoby-okuskovaniya-rud/> (Date of handling: 15.02.2021). - Text: electronic.
6. Bulk materials. Powders. Properties of powders. Stability. Practical use. Abstract, 2013 - 12 p.
7. Class P.V., Grishaev I.G. Basics of granulation techniques (processes and devices of chemical and petrochemical technology). - M., Chemistry, 1982. - 272 p. - Text: Electronic // National Electronic Library. - URL: https://rusneb.ru/catalog/002178_000020_bgunbel%7C%7C%7Cbibl%7C%7C%7C0000530058/ (Date of handling: 21.02.2021).
8. Korotich V. I. Theoretical foundations of the ping of iron ore materials. - Moscow: Metallurgy, 1966. - 152 p. - Text: electronic // Electronic library system. - URL: <https://docplayer.ru/117631655-u-v-i-korotich-teoreticheskie-osnovy-okomkovaniya-zhelezorudnyh-materialov-metallurgiya.html> (Date of handling: 21.02.2021).

9. Collnikov A.I. Granulated materials, A. I. Kalashnikov, A. V. Efremov, Moscow, 1977. - Text: electronic // Electronic library system. - URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-bentonita-na-svoystva-zhelezorudnyh-okatyshey> (reference date: 21.02.2021).
10. Rakhlin Z.n., Abstract of the Ph.D., M., MIKM, 1974.
11. Korotich V.I., Theoretical foundations of the reproach of iron ore materials. Metallurgy, 1966. - 151 p. - ISBN 66-44034.
12. Obtaining pellets from iron ore concentrates: site. - Moscow. - 2017-2021. - URL: <https://vuzlit.ru/755384/poluchenie-okatyshey-zhelezorudnyh-kontsentratov> (Date of handling: 26.02.2021). - Text: electronic.
13. Novikov V.S. The use of highly international agglomerate and non-polluted pellets in domain melting / V.S. Novikov, N.N. Babarykin, B.A. Marsver and others // Black metallurgy. - 1972. -14 p. (Reference date: 01.03.2021).
14. Popadsi: site. - Moscow. - URL: <https://metallplace.ru/about/stati-o-chernoy-metalurgii-okatyshi/> (Date of handling: 01.03.2021). - Text: electronic.
15. Volkova T. N. Features of the use of iron ore pellets / T. N. Volkov; Scientific Hands. S. N. Fedoseev // Progressive technologies and economics in mechanical engineering: a collection of works by the VII All-Russian Scientific and Practical Conference for Students and Students of Youth, Yurga, April 7-9, 2016: 2 t. - Tomsk: Publishing House TPU, 2016. - T. 1. - [S. 35-37]. - Text: electronic // Electronic library system. - URL: <http://earchive.tpu.ru/handle/11683/26370> (Date of handling: 05.03.2021).