

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

Инженерная школа новых производственных технологий (ИШНПТ) _____
Научно-образовательный центр Н.М. Кижнера (НОЦ Н.М. Кижнера) _____
Направление: 18.04.01 «Химическая технология» _____
Профиль: «Химическая технология неорганических веществ и материалов» _____

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
«Получение сероасфальтобетона на основе золы Северской ТЭЦ»

УДК 665.775.4:621.182.9:661.21

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4ГМ6В	Бедрицкая Ульяна Васильевна		

Руководитель

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

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Черепанова Н. В.	к.ф.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

Томск – 2018 г.

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

Запланированные результаты обучения по программе
18.04.01 «Химическая технология»

Планируемые результаты обучения

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Профессиональные компетенции</i>		
P1	Применять <i>глубокие</i> естественно-научные, математические и инженерные знания для создания <i>новых</i> материалов	Требования ФГОС (ПК-2, 10, 12), Критерий 5 АИОР (п. 5.2.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P2	Применять <i>глубокие</i> знания в области современных технологий химического производства для решения <i>междисциплинарных</i> инженерных задач	Требования ФГОС (ПК-2, 4-7, ОК-4), Критерий 5 АИОР (пп. 5.2.1, 5.2.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P3	Ставить и решать <i>инновационные</i> задачи <i>инженерного анализа</i> , связанные с созданием материалов и изделий, с использованием системного анализа и моделирования объектов и процессов химической технологии	Требования ФГОС (ПК-2), Критерий 5 АИОР (пп. 5.2.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P4	Разрабатывать химико-технологические процессы, <i>проектировать</i> и использовать <i>новое</i> оборудование для создания материалов, конкурентоспособных на <i>мировом</i> рынке	Требования ФГОС (ПК-1, 17), Критерий 5 АИОР (п. 5.2.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P5	Проводить теоретические и экспериментальные <i>исследования</i> в области создания <i>новых</i> материалов, современных химических технологий, нанотехнологий	Требования ФГОС (ПК-14-16, ОК-2-6), Критерий 5 АИОР (п. 5.2.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P6	Внедрять, <i>эксплуатировать</i> современные высокотехнологичные линии автоматизированного производства, обеспечивать их <i>высокую эффективность</i> , соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда на химическом производстве, выполнять требования по защите окружающей среды	Требования ФГОС (ПК-1, 10), Критерий 5 АИОР (п. 5.2.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>

<i>Универсальные компетенции</i>		
P7	Использовать <i>глубокие знания по проектному менеджменту</i> для ведения <i>инновационной инженерной деятельности</i> с учетом юридических аспектов защиты интеллектуальной собственности	Требования ФГОС (ПК-3, 8, 13), Критерий 5 АИОР (п. 5.3.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P8	<i>Активно владеть иностранным языком</i> на уровне, позволяющем работать в иноязычной среде, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты инновационной инженерной деятельности	Требования ФГОС (ПК-7, ОК-3) Критерий 5 АИОР (п. 5.3.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P9	Эффективно работать индивидуально, в качестве <i>члена и руководителя группы</i> , состоящей из специалистов различных направлений и квалификаций, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность <i>следовать корпоративной культуре</i> организации	Требования ФГОС (ПК-9, ОК-4, 5), Критерий 5 АИОР (п. 5.3.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P10	Демонстрировать <i>глубокие знания социальных, этических и культурных аспектов</i> инновационной инженерной деятельности, компетентность в вопросах <i>устойчивого развития</i>	Требования ФГОС (ПК-5, 6, 10), Критерий 5 АИОР (п. 5.3.4, 5.3.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P11	<i>Самостоятельно учиться</i> и непрерывно <i>повышать квалификацию</i> в течение всего периода профессиональной деятельности	Требования ФГОС (ПК-11, ОК-1, 2, 6), Критерий 5 АИОР (5.3.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> , ПС рег. 853 от 19.09.2016

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

Инженерная школа новых производственных технологий (ИШНПТ) _____
 Научно-образовательный центр Н.М. Кижнера (НОЦ Н.М. Кижнера) _____
 Направление: 18.04.01 «Химическая технология» _____
 Профиль: «Химическая технология неорганических веществ и материалов» _____

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП

 (Подпись) (Дата) Казьмина О. В.
 (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ
 на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

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

Студенту:

Группа	ФИО
4ГМ6В	Бедрицкой Ульяне Васильевне

Тема работы:

«Получение сероасфальтобетона на основе золы Северской ТЭЦ»	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	от 21.02.2018 № 1199/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Объекты исследования: зола гидроудаления Северской ТЭЦ, попутный продукт – сера Норильского горно-металлургического комбината и битумная эмульсия марки ЭБК-1 компании ООО «Битумная эмульсия». Режим работы – периодический. Исходные данные – литературные источники.</p>
<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>Введение, литературный обзор, методы исследования, результаты исследований, финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение, социальная ответственность, заключение</p>
<p>Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Слайды презентации</p>

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы*(с указанием разделов)*

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Черепанова Наталья Владимировна, доцент школы инженерного предпринимательства, доцент отделения социально-гуманитарных наук, кандидат философских наук
Социальная ответственность	Волков Юрий Викторович, доцент отделения контроля и диагностики, кандидат технических наук
Раздел на иностранном языке	Парнюгин Александр Сергеевич, ведущий тестолог центра обеспечения качества образования, доцент отделения иностранных языков, кандидат педагогических наук
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Литературный обзор	

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Фролова Ирина Владимировна	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4ГМ6В	Бедрицкая Ульяна Васильевна		

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

Студенту:

Группа 4ГМ6В	ФИО Бедрицкая Ульяна Васильевна
------------------------	---

Подразделение	ИШНПТ	Отделение	НОЦ Н.М.Кижнера
Уровень образования	Магистр	Направление/специальность	18.04.01 Химическая технология неорганических веществ и материалов

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

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

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	Оценочная карта конкурентных технических решений
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	SWOT-анализ Календарный план-график реализации проекта
3. <i>Оценка ресурсной, финансовой, социальной, бюджетной эффективности научного исследования</i>	Определение ресурсоэффективности проекта

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

1. *Оценочная карта конкурентных технических решений*
2. *Матрица SWOT*
3. *Календарный план проекта*
4. *Бюджет проекта*

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент школы инженерного предпринимательства, Доцент отделения социально-гуманитарных наук	Черепанова Наталья Владимировна	Кандидат философских наук		

Задание принял к исполнению студент:

Группа 4ГМ6В	ФИО Бедрицкая Ульяна Васильевна	Подпись	Дата
------------------------	---	----------------	-------------

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
4ГМ6В	Бедрицкая Ульяна Васильевна

Подразделение	ИШНПТ	Отделение	НОЦ Н.М.Кижнера
Уровень образования	Магистр	Направление/специальность	18.04.01 Химическая технология, Химическая технология неорганических веществ и материалов

Тема диссертации: Получение сероасфальтобетона на основе золы Северской ТЭЦ

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования и области его применения	Объектом исследования являются зола Северской ТЭЦ, попутный продукт – сера Норильского горно-металлургического комбината и битумная эмульсия марки ЭБК-1.
2. Описание рабочего места (рабочей зоны) на предмет возникновения: - вредных проявлений факторов производственной среды (метеоусловия, вредные вещества, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения) - опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, термического характера, электрической, пожарной и взрывной природы) - негативного воздействия на окружающую природную среду (атмосферу, гидросферу, литосферу) - чрезвычайных ситуаций (техногенного, стихийного, экологического и социального характера)	Работа проводилась в лаборатории первого этажа во втором корпусе Национального исследовательского Томского политехнического университета. Процесс заключается в получении вяжущего на основе золы, серы и битумной эмульсии. Могут возникнуть: - вредные факторы (метеоусловия, вредные вещества, освещение, шумы, вибрация); - опасные факторы (термического характера, электрической и пожарной природы); - негативное воздействие на окружающую среду (атмосферу, гидросферу, литосферу); - чрезвычайные ситуации (техногенного, экологического и социального характера).

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Профессиональная и социальная безопасность</p> <p>1.1. Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования.</p> <p>1.2. Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований.</p> <p>1.3. Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов.</p>	<p>1.1. Вредные и опасные факторы, которые может создать объект исследования: - запыленность рабочей зоны;</p> <p>1.2. Вредные и опасные факторы, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований: –Нарушение микроклимата; –Химическая опасность; –недостаточность освещения рабочей зоны; –поражение электрическим током.</p> <p>1.3. Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов.</p>
---	---

<p>2. Экологическая безопасность</p> <p>2.1. Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду.</p> <p>2.2. Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду.</p> <p>2.3. Обоснование мероприятий по защите окружающей среды.</p>	<p>2.1 Влияние объекта исследования на окружающую среду: -Загрязнение атмосферы.</p> <p>2.2 Влияние процесса исследования на окружающую среду: -Возможность выделения вредных газов;</p> <p>2.3 Мероприятия по защите окружающей среды.</p>
<p>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях</p>	<p>3.1 Возникновение пожара</p> <p>3.2 Меры по ликвидации чрезвычайных ситуаций и последствий</p>
<p>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности</p>	<p>4.1 Организационные мероприятия обеспечения безопасности;</p> <p>4.2 Особенности законодательного регулирования проектных решений.</p>

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Волков Юрий Викторович	Кандидат технических наук		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4ГМ6В	Бедрицкая Ульяна Васильевна		

Реферат

Выпускная квалификационная работа включает в себя: 154 страницы машинописного текста, 21 рисунок, 51 таблицу, 73 источника, 1 приложение.

Ключевые слова: зола, золошлак, вяжущее, битумная эмульсия, сера, серозолобитумное вяжущее, характеристики золы, механическая прочность, водопоглощение, влажность, асфальтобетон.

Объектами исследования являются: техническая сера – попутный продукт Норильского горно-металлургического комбината, зола гидроудаления Северной ТЭЦ и битумная эмульсия марки ЭБК-1 компании ООО «Битумная эмульсия».

Цель работы: получение асфальтобетона из гранулированного вяжущего на основе золы, серы и битумной эмульсии.

Метод или методология проведения работы (исследования) и аппаратура: жидкостная пикнометрия, метод ситового анализа, гранулирование методом окатывания; определение характеристик золы, влажности, водопоглощения, механической прочности; сушильный шкаф, аналитические весы, термостат, прибор для определения прочности при раздавливании, тарельчатый гранулятор; подбор оптимального состава смеси на основе золы, серы и битумной эмульсии.

Полученные результаты и их новизна: получено модифицированное вяжущее на основе золы, серы и битумной эмульсии для дорожного строительства.

В процессе исследования определены основные характеристики золы, массовая доля воды в сере; подобран оптимальный состав смеси на основе золы, серы и битумной эмульсии; определены влажность, водопоглощение и механическая прочность полученного продукта.

В результате исследования разработано серозолобитумное вяжущее, соответствующее требованиям; на основе вяжущего получен асфальтобетон из гранулированного серозолобитумного вяжущего.

Степень внедрения: результаты исследования могут быть использованы в качестве теоретической основы для подбора состава серозолобитумного вяжущего и последующего его внедрения на практике в области дорожного строительства.

Апробация: по теме исследования представлены тезисы на VI Международной научно-технической молодежной конференции «Высокие технологии в современной науке и технике» и получен диплом I степени за доклад «Получение гранулированного серозолобитумного вяжущего для ремонта дорожных покрытий»; представлены тезисы на XXII Международном научном симпозиуме студентов и молодых ученых имени академика М. А. Усова «Проблемы геологии и освоения недр».

Область применения: дорожное строительство.

Экономическая эффективность/ значимость работы: в результате использования техногенных отходов и избыточной серы решается экологическая проблема, улучшается экономическая ситуация, а также в результате получается модифицированный продукт с улучшенными эксплуатационными характеристиками.

В будущем планируется: внедрение серозолобитумного вяжущего и асфальтобетона на его основе в дорожное строительство в качестве верхнего покрытия дорог.

Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки

ТЭС – тепловая электростанция

ТЭЦ – теплоэнергоцентр

СБВ – серобитумное вяжущее

ЭБК – эмульсия битумная катионная

ГОСТ – Государственный стандарт

В настоящей работе использованы ссылки на следующие стандарты:

1. ГОСТ 12.0.003-2015 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация
2. ГОСТ 12.1.007–76 «ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности».
3. ГОСТ 12.1.005-88 «ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны».
4. ГОСТ Р 55420-2013 Дороги автомобильные общего пользования. Эмульсии битумные дорожные катионные. Технические условия.
5. ГОСТ 30108-94. Материалы и изделия строительные. Определение удельной эффективной активности естественных радионуклидов (с Изменениями N 1, 2).
6. СанПиН 2.2.4.548-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений».
7. ГОСТ 12.1.003-83 «ССБТ. Шум. Общие требования безопасности».
8. ГОСТ 12.1.012-2004 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Вибрационная безопасность. Общие требования.
9. СП 51.13330.2011 Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003 (с Изменением N 1).
10. СП 52.13330.2011 «Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95».
11. ГОСТ Р 12.1.019-2009 «ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты».

12. ГОСТ 12.1.038-82 «ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов».
13. СНиП 21-01-97 «Пожарная безопасность зданий и сооружений (с Изменениями N 1, 2)».
14. ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования (с Изменением N 1)
15. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 30.12.2015).
16. ГОСТ 127.1-93.Сера техническая. Технические условия.
17. ГОСТ 9758-2012. Заполнители пористые неорганические для строительных работ. Методы испытаний.
18. ГОСТ 30355.3-96 (ИСО 3426-75) Сера техническая. Определение потери массы при температуре 80 °С.
19. ГОСТ 21560.2-82. Удобрения минеральные. Метод определения статической прочности гранул.
20. ГОСТ 25818-91 Золы-уноса тепловых электростанций для бетонов. Технические условия (с Изменением N 1).
21. ГОСТ 9128-2013 Смеси асфальтобетонные, полимерасфальтобетонные, асфальтобетон, полимерасфальтобетон для автомобильных дорог и аэродромов. Технические условия.

Оглавление

Введение	14
1 Литературный обзор	16
1.1 Основные характеристики золы	16
1.2 Основные характеристики серы	24
1.3 Области применения золы и шлаков	25
1.4 Асфальтобетонные смеси на основе серобитумных вяжущих	36
1.5 Битумные эмульсии	42
1.6 Гранулирование	46
2 Объекты и методы исследования	52
2.1 Объекты исследования	52
2.2 Методы исследования	53
3 Результаты исследования	73
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	85
4.1 Предпроектный анализ	86
4.2 Инициация проекта	90
4.3 Планирование управления научно-техническим проектом	92
5 Социальная ответственность	104
5.1 Профессиональная социальная безопасность	104
5.2 Экологическая безопасность	121
5.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	121
5.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	123
Заключение	125
Список публикаций	127
Список использованных источников	128
Приложение А Application of sulfur and ash in road construction: literature review	136

Введение

В настоящее время тепловые электростанции (ТЭС) являются главной составляющей производственного потенциала российской электроэнергетики. На их долю приходится до 2/3 установленной мощности всех электростанций страны и 65 % производимой электроэнергии. Более половины совокупной мощности ТЭС составляют станции с комбинированным циклом производства электрической и тепловой энергии (ТЭЦ), которые обеспечивают около 46% всей потребности страны в централизованном тепле. Вместе с тем, что теплоэнергоцентраль вырабатывают потребное количество энергии для страны, они также представляют ощутимую экологическую опасность для окружающей среды. Первостепенную опасность представляет химическое загрязнение, обусловленное значительными выбросами в окружающую среду таких опасных загрязнителей, как оксидов углерода, азота, различные оксиды серы (серный и сернистый газы) и т.д. Также опасными являются выделения в атмосферу зольных остатков, поскольку они представляют собой мелкодисперсную пыль. К химическим загрязнениям следует отнести загрязнители гидросферы, это: органические и взвешенные вещества, которые поступают со сточными водами. Немаловажным является аспект и физических опасностей в виде теплового и акустического воздействий. Значительную часть отходов ТЭЦ составляют золошлаковые отходы.

На территории России находится весьма значительное количество золошлаковых захоронений (золоотвалов), где в настоящее время хранится около полутора миллиарда золошлаковых отходов, и под эти золоотвалы отведено более 22 тыс. га территории. Также ежегодное производство золы Российскими электростанциями превосходит значение в 30 млн. тонн, которые оказывают неблагоприятное воздействие на окружающую среду.

Помимо вредного воздействия и отходов теплоэнергоцентралей, существует проблема все возрастающего количества производимой серы по сравнению с ее потребным количеством. В связи с этим существует необходимость найти ей применение. В настоящее время идет тенденция

превышения производства серы над ее потреблением в ряде стран (Россия, Казахстан, США, Канада). Также увеличивается количество золы уноса Северской ТЭЦ, которая представляет собой экологическую опасность. Рост интенсивности движения автотранспорта приводит к существенному увеличению износа и разрушения дорожных покрытий. Исходя из этого, большое значение для долговечности верхнего дорожного покрытия имеет качество дорожного битума, который должен обладать повышенной прочностью, морозостойкостью и трещиностойкостью. Поэтому **актуальным** вопросом по сей день остается вопрос об использовании серы и золы в дорожном строительстве с целью улучшения дорожно-транспортного покрытия.

Основные причины применения золы уноса для изготовления битума:

- возможность снизить стоимость асфальтобетонной смеси;
- улучшение экологии, поскольку зола-унос представляет собой мелкодисперсную пыль, вредную при вдыхании;
- улучшение эксплуатационных качеств дорожных покрытий.

Основные причины применения технической серы для изготовления серобитумного вяжущего (СБВ):

- возможность снижения расхода битума для приготовления СБВ;
- улучшение эксплуатационных качеств дорожных покрытий.

Целью работы явилось получение асфальтобетона из гранулированного вяжущего на основе золы, серы и битумной эмульсии.

Объектами исследования являются: техническая сера – попутный продукт Норильского горно-металлургического комбината, зола гидроудаления Северской ТЭЦ и битумная эмульсия марки ЭБК-1 компании ООО «Битумная эмульсия».

Экономическая эффективность: в результате использования техногенных отходов и серы решается экологическая проблема, улучшается экономика страны, а также в результате получается модифицированный продукт с улучшенными эксплуатационными характеристиками.

1 Литературный обзор

1.1 Основные характеристики золы

Образование золы происходит в процессе сжигания твердого топлива в топках тепловых электростанций, при этом зола преобладает в виде пылевидных остатков. Также при сжигании образуются кусковой шлак и различные золошлаковые смеси.

Золы с размером частиц более 5 мм являются шлаковым щебнем, от 0,16 мм до 5 мм – шлаковым песком, от 0,16 мм и меньше – зольным остатком (золой). Зола в различном виде и золошлаковые смеси являются продуктами высокотемпературной (1200 – 1600 °С) обработки минеральной части топлива.

Зола – несгораемый остаток с зернами, размерами от 0,16 мм и меньше, который образуется из минеральных примесей топлива в процессе его полного сгорания, а также осажденный из дымовых газов устройствами, называемые золоулавливающими. В зависимости от вида топлива золы делятся на антрацитовые, каменноугольные, буроугольные, сланцевые, торфяные и др. [1]. Содержание золы в процессе сгорания топлива может быть различно: в горючих сланцах – от 50 до 80 %, в каменных и бурых углях – от 1 до 45 %, в топливном торфе – от 2 до 30 % [2,3].

Топливный шлак – материал, скапливаемый в нижней части топочного пространства тепловых аппаратов и удаляемый в жидком или спекшемся виде. При совместном удалении шлака и золы образуется золошлаковая смесь [1].

1.1.1 Классификация зол и золошлаков.

По содержанию влаги и других включений:

1. Сухая зола-уноса, которая получается из циклонов и электрофильтров. Представляет собой сухую золу, чистую, без посторонних включений. По фракционному составу доля крупных фракций (размерами около 1 мм) в такой

золе больше, чем в той, которая образуется в электрофильтрах или уловителях мокрой очистки.

2. Шлаки, образующиеся после очистки печей обжига угля, которые представляют собой крупные комки, глыбы в виде стекловидной массы, не содержащей влагу.

3. Шлам золы-уноса образуется после мокрой очистки, которая в большинстве случаев является последней стадией пылеулавливания, и хранится в шламо-накопителях. Шлам золы представляет собой водную суспензию тонкодисперсной золы-уноса.

4. Зола и шлаки, которые увлажняются атмосферными осадками при хранении в золоотвалах. *Золоотвалы* – как правило, одновременно место захоронения твердых бытовых отходов населенных пунктов и промышленных предприятий [4].

По химическому составу:

Золы-уноса и шлаки значительно отличаются по химическому, минералогическому и фазовому составу:

1. В зависимости от места добычи углей: зольность углей из разных шахт даже одного угольного бассейна всегда отличается.

2. От способа улавливания и хранения: химический и фракционный состав сухой золы-уноса отличается по этапам очистки (циклоны, электрофильтры, мокрое пылеулавливание) [4].

Также по химическому составу золы и шлаки подразделяются на основные, кислые и нейтральные. Основные золы содержат гидравлически активные компоненты и могут являться самостоятельным вяжущим. Кислые золы обладают свойствами типичных пуццоланов (пылевидный продукт, смесь вулканического пепла, пемзы, туфа) и могут быть применены как активные минеральные добавки [1].

Золы также делятся на:

– высококальциевые ($\text{CaO} > 10 \%$) – преобладающими являются кристаллические фазы;

- низкокальциевые ($\text{CaO} < 10 \%$) – преобладающими являются стекло и аморфизованное глинистое вещество.

Важными физическими характеристиками золошлаков являются:

- зерновой состав;
- насыпная плотность;
- истинная плотность (удельный вес);
- водонасыщение;
- способность к морозному пучению [1].

Зерновой состав, как правило, определяется видом топлива, его подготовкой к сжиганию, режимом сжигания, способом улавливания золы, а также местом его отбора. Чем зерна золы крупнее, тем больше в ней содержание агрегированных, шероховатых и пористых частиц. Насыпная плотность золы зависит от зернового, химического и фазового составов золы. Эта плотность может составлять от 0,6 до 1,3 г/см³. Истинная плотность (удельный вес) золы варьируется от 1,75 до 3,5 г/см³, и в среднем составляет около 2,1 – 2,4 г/см³ [5].

Характерным является то, что зола может содержать значительное количество частиц с мелкими замкнутыми порами, являющиеся результатом вспенивания (вспучивания) расплавленной минеральной массы газами, которые выделяются при обезвоживании (дегидратации) глинистых минералов, а также диссоциации частиц известняка, гипса и различных органических веществ. Общий объем пор в золе может достигать 60 % от объема частиц золы [6]. Высокое содержание микропор в золе обуславливает высокое значение ее действительной удельной поверхности [7].

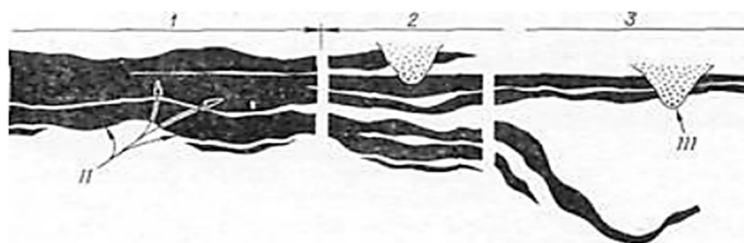
Химическая активность золы – является одним из важных ее свойств, от которого зависит возможность использования золы в качестве самостоятельных вяжущих или как компонента комплексных вяжущих [1].

1.1.2 Минерально-фазовый состав золы.

Минерально-фазовый состав золы, как правило, включает в себя неорганическую и органическую составляющие. В то же время, неорганическая фаза обычно может состоять из следующих составляющих:

- аморфная фаза, которая представлена стеклом и аморфизированным глинистым веществом;
- кристаллическая фаза, которая включает в себя слабоизмененные зерна минералов исходного топлива (это может быть кварц, полевые шпаты и другие, а также термически устойчивые минералы) и кристаллические новообразования, которые могут возникнуть при сжигании топлива (муллит, гематит, алюмосиликат кальция и др.) [1].

Наличие минерального вещества в золе обусловлено морфологией угольного пласта и технологией угледобычи [8]. На рисунке 1.1 представлена схема основных элементов неоднородности морфологического облика угольного пласта.



I – крупная (региональная) зональность, обусловленная чередованием зон (мегаблоков) с однородным типом разреза: 1 – слитный (компактный) разрез, 2 – расслоенный разрез, 3 – расщепленный разрез; II – изменения мощности синхронных слоев и горизонтов; III – локальное нарушение слоев; показаны размыты. Вертикальный и горизонтальный масштабы сильно искажены.

Рисунок 1.1 – Схема основных элементов неоднородности морфологического облика угольного пласта

Обычно минеральные компоненты ухудшают качество угля как топлива, потому как не сгорают и образуют золошлаковые материалы [8].

Зольность – это масса минерального остатка после сжигания угля, выраженная в процентах к массе сожжённого. Для энергетики зольность составляет не более 40 – 45 %, а для углей Кузбасского происхождения, которые применяются для сжигания в виде топлива на Северной ТЭЦ в находится в пределах 8 – 12 %.

При сжигании углей минеральные компоненты преобразуются в золу и шлак (термическое воздействие при температуре сжигания угля в пределах температур от 1400 до 1800 °С), подлежащие бесперебойной эвакуации. Полученные зола и шлаки складываются в золоохранилищах (золоотвалах) как отходы энергетического производства. Основной способ эвакуации – гидроудаление в виде пульпы [8].

Стекло в золах может быть различного состава: от силикатного до алюмосиликатного и железисто-алюмосиликатного. Аморфизированные глинистые вещества представлены в виде метакаолинита и слабоспекшегося аморфизированного глинистого вещества. Спекшиеся и частично остеклованные частицы определяют химическую активность золы, форму и характер поверхности зольных частиц [9].

Частицы большинства зол зачастую имеют неправильную угловатую форму, также некоторые имеют сферическую форму и гладкую остеклованную структуру поверхности. Однородность частиц также различна. Более однородные частицы в основном состоят полностью из стекла. Имеются также частицы, внутренняя часть которых не расплавилась и состоит из мельчайших минеральных и коксовых зерен. Также могут встречаться и полые шарики, которые образовались в результате вспенивания стекла в момент образования частицы. Размер частиц колеблется в пределах от нескольких микрон до 50 – 60 микрон [10, 11].

Также возможно образование стекловидных частиц неправильной формы. Некоторые поверхности частиц губчатые из-за различного количества

пузырьков. Они также могут содержать во внутренней части большое количество кристаллических веществ [11].

Если температура сгорания топлива недостаточно высокая, а также при высокой тугоплавкости его зольной части, могут образовываться золы, которые состоят из аморфизированного глинистого вещества, который представлен в виде пористых частиц неправильной формы. Эти частицы имеют высокую способность впитывать и удерживать воду в порах и капиллярах. В крупных фракциях золы содержатся агрегаты, которые образовались в результате спекания большого числа мелких зерен. Они неоднородны, а также имеют низкую прочность.

Шлаки, по сравнению с золами, содержат меньшее количество органических остатков и аморфизированного глинистого вещества, но также содержат больше стеклянной фазы (до 95 %). Такое явление обусловлено тем, что шлаки более длительное время находятся в высокотемпературной зоне топки. В таких шлаках кристаллическая фаза представлена в виде кварца, муллита и магнетита [11].

1.1.3 Химический состав золы.

В зольных отходах концентрируется достаточно большое количество таких соединений как, соединения железа, алюминия, хрома, никеля, марганца, а также редких и рассеянных элементов: ванадия, германия, галлия. В зольных отходах также могут присутствовать (обычно присутствуют) ферромагнитные компоненты, которые возможно отделить от немагнитных компонентов методом магнитной сепарации [9]. В таблице 1.1 представлено содержание элементов в зольных отходах.

Таблица 1.1 – Содержание элементов в зольных отходах

№	Наименования	Содержание, %
1	Оксида кремния	60,00 – 65,00
2	Оксида алюминия	21,32 – 21,94
3	Оксида железа	3,54 – 7,25
4	Оксида кальция	1,52 – 4,93
5	Оксида калия	2,50 – 3,24
6	Оксида магния	1,51 – 2,00
7	Оксида натрия	0,92 – 0,95
8	Оксида титана	0,79 – 0,84
9	Оксида марганца	0,04 – 1,2
10	Оксида фосфора	0,23 – 0,24
11	Стронция	0,07
12	Бария	0,05
13	Циркония	0,022
14	Хрома	0,008 – 0,01
15	Ванадия	0,010
16	Никеля	0,004 – 0,006
17	Рубидия	0,01
18	Меди	0,007
19	Свинца	0,0024 – 0,0028
20	Цинка	0,004
21	Кобальта	0,0015 – 0,002
22	Иттрия	0,0028
23	Галлия	0,0011
24	Молибдена	0,0005
25	Бериллия	0,00035

Химический анализ зольных отходов также показывает, что большая часть состоит из оксидов кремния и алюминия. Также наличие оксидов железа и соединений микроэлементов делает из золы материал, который является ценным химическим сырьем для черной и цветной металлургии, сельского хозяйства в качестве минерального удобрения [10].

Микроэлементы, которые находятся в зольных отходах (йод, медь, фтор и т.д.), необходимы растениям для нормального развития и способствуют

повышению активности биохимических процессов, протекающих в растениях. Большинство микроэлементов, входящих в состав ферментов, способствуют синтезу сахара, крахмала, белков, нуклеиновых кислот, витаминов. Все эти необходимые для жизнедеятельности растений элементы присутствуют в золе каменного угля, которые относятся к горным породам растительного происхождения [10].

По химическим свойствам золошлаки можно разделить на три группы: активные, скрыто активные и инертные. Данная классификация была выведена на основании многочисленных исследований различных золошлаковых отходов электро- и теплостанций, которые сжигают топливо различных месторождений [12]. Данные о классификации золошлаков представлены в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Классификация золошлаков по химическим свойствам

Классификация	M_o	M_c	K	Золы углей
I Активные	0,5 – 2,8	1,5 – 7,8	1,0 – 3,6	Эстонский сланец, угли Канско-Ачинского бассейна, ангренский уголь, некоторые виды торфа.
II Скрыто активные	Не более 0,5	1,4 – 3,6	0,5 – 1,3	Львовско-волынские, райчихинские, боголовские, азейские и другие угли.
III Инертные	< 0,1	1,3 – 3,2	0,4 – 0,9	Экибастузские, подмосковные, кузнецкие, донецкие и карагандинские угли.

1.2 Основные характеристики серы

Основные свойства технической серы сведены в таблицу 1.3.

Таблица 1.3 – Основные свойства технической серы

Показатель	Температура, °С		
	20	122	150
Теплоемкость, кДж/кг	0,7	1,47	1,84
Вязкость (динамическая), Па·с	-	0,011 – 0,012	0,0065 – 0,0070
Плотность, кг/м ³	2100,0	1960,0 – 1990,0	1600,0 – 1810,0
Твердость по шкале Мооса	1 – 2	-	-
Прочность при сжатии, кгс/см ² (МПа)	122,4 – 224,4 (12,0 – 22,0)	-	-
Поверхностное натяжение, Н/м	-	-	0,055
Температура кипения, °С	444,67		
Температура плавления, °С	110 – 119		
Растворимость: - в воде: - неорганические кислоты: - сероуглерод: - безводный аммиак: - анилин:	нерастворима нерастворима хорошо растворяется хорошо растворяется хорошо растворяется		

Для того, чтобы перевести серу в расплавленное состояние, необходимы большие энергетические затраты в пределах 190 кДж/кг на 1 кг твердой серы, поскольку теплопроводность ее незначительна [13].

В зависимости от значения температуры сера может существовать в трех состояниях: твердом, жидком и газообразном. От температуры также зависят строение и реакционная способность серы. По физико-химическим показателям техническая сера должна соответствовать нормам ГОСТа 127.1-93 (сера техническая, технические условия) [14], которые указаны в таблице 1.4.

Таблица 1.4 – Нормативные физико-химические показатели технической серы

Наименование показателя	Норма				
	Сорт 9998	Сорт 9995	Сорт 9990	Сорт 9950	Сорт 9920
1. Массовая доля серы, %, не менее	99,98	99,95	99,90	99,50	99,20
2. Массовая доля золы, %, не более	0,02	0,03	0,05	0,2	0,4
3. Массовая доля органических веществ, %, не более	0,01	0,03	0,06	0,25	0,05
4. Массовая доля кислот в пересчете на серную кислоту, %, не более	0,0015	0,003	0,004	0,01	0,02
5. Массовая доля мышьяка, %, не более	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,03
6. Массовая доля селена, %, не более	0,000	0,000	0,000	0,000	0,04
7. Массовая доля воды, %, не более	0,25	0,25	0,25	0,25	1,0
8. Механические загрязнения (бумага, песок и др.)	Не допускается				

1.3 Области применения золы и шлаков

В строительной индустрии:

- производство силикатного кирпича;
- производство газосиликатобетонных блоков и изделий, в том числе и армированных;
- производство сухих строительных смесей более 20 видов по области применения;
- производство гидравлических вяжущих и добавок к портландцементу (гидравлическое вяжущее вещество, которое получают путем измельчения цементного клинкера, основными составляющими которого являются известняк и глина);

- производство теплоизоляционных материалов;
- производство строительных шпатлевок, герметизирующих материалов, а также в качестве наполнителя [4].

В химической промышленности:

- производство катализаторов;
- производство наполнителей (производство резинотехнических изделий реактопластов и термопластичных материалов, производство герметиков в качестве наполнителей).

В других областях:

- производство тонких ультрадисперсных наполнителей;
- производство фильтров тонкой очистки промышленного назначения [4].

Применение золы и шлаков по их классификационным признакам:

1. Сухая зола-уноса (без лишних, посторонних включений), которая только что образовалась в циклонах-уловителях, является идеальным сырьем для производства:

- силикатного кирпича, стеновых строительных материалов;
- сухих строительных смесей;
- тонкомолотых наполнителей.

2. Шлаки, которые образуются в печах обжига, – сырье для производства:

- гидравлических вяжущих: пуццоланового цемента, золошлако-известкового вяжущего, добавки к портландцементу;
- теплоизоляционных материалов, аналогичных стекловате, базальтовым или муллитовым ватам различного технического назначения;
- тонкомолотых наполнителей [4].

3. Шлам, который образуется после мокрой очистки, содержит в своем составе более тонкодисперсную золу-уноса в виде водной суспензии, также является хорошим сырьем для производства:

- газосиликатобетонных блоков, изделий автоклавного твердения – теплоизоляционного стенового строительного материала;
- шпатлевок и клеевых составов строительного и технического назначения на вододисперсионной вяжущей основе.

4. Зола и шлаки, которые находятся в золоотвалах, сильно увлажнены, а также содержат различный промышленный и бытовой мусор и металлические включения. Поэтому, переработка золы и шлаков из золоотвалов требует установки дополнительно технологического оборудования для осуществления их предварительной сушки, измельчения, помола, просеивания, а также магнитной сепарации [4].

1.3.1 Опыт использования золы в зарубежных странах.

Опыт работы китайских энергогенерирующих компаний.

Около 80 % энергогенерирующих компаний Китая работает на угле. При каждой такой энергогенерирующей компании в непосредственной близости расположен завод по производству силикатного кирпича, причем производимый силикатный кирпич состоит в основном почти на 90 % из золы. То есть зола в Китае почти полностью используется в производстве различных строительных материалов (в том числе силикатного кирпича), тем самым не занимая огромные территории золоотвалами.

Компания HAIYUAN-GROUP производит и поставляет гидравлические прессы для производства силикатного, огнеупорного, шамотного кирпича, кирпича методом гиперпрессования, в целом готовые заводы «под ключ» для энергогенерирующих компаний Китая, и заводам других стран, производящих силикатный кирпич [4]. На рисунке 1.2 изображен Гидравлический пресс для производства стенового кирпича HF1100C, который производится компанией HAIYUAN-GROUP и его характеристики.



Усилие прессования (кН):	11000
Тип прессования:	Реверсивный
Давление (кг/см ²):	240
Размеры пресс-формы (мм.):	1340X820
Максимальная глубина засыпки (мм.):	400
Содержание золы-уноса (%):	70
Годовая производительность(кирпич размером 250x120x65) (шт.):	30,000,000
Годовое потребление золы-уноса (тн.):	80,000 — 100,000
Общая мощность (кВт):	97
Вес (тн.):	45
Частота срабатывания воздуха в одном цикле:	3

Рисунок 1.2 – Гидравлический пресс для производства стенового кирпича HF1100С и его характеристики

Руководители, технические специалисты стройиндустрии России, которые посетили заводы силикатного кирпича энергогенерирующих компаний в Китае, комплектованные и построенные компанией HAIYUAN-GROUP очень высоко оценивают уровень производимого ими технологического оборудования [15].

Опыт утилизации золы в европейских странах.

В 1990 году европейские производители электроэнергии основали Европейскую Ассоциацию продуктов сжигания угля (ЕСОВА), чтобы гарантировать выгодное и высококачественное использование золы. Сегодня ассоциация включает в себя 18 полноценных членов от 11 европейских стран и тесно сотрудничает со смежными ассоциациями на других континентах.

Большая часть произведенной золы используется в строительной индустрии, в гражданском строительстве, а также как строительные материалы. Общее производство золы-уноса, которая образуется на электростанциях, в Европейском Союзе в 1999 году составило 37,1 млн. тонн, при этом большая

часть данной золы активно используется в производстве строительных материалов [4].

Опыт утилизации золы в США.

Ежегодно на территории США производится 70 млн. тонн золы, и США активно внедряет производство силикатного кирпича из золы. Агентство по защите окружающей среды США вынесло такой вердикт: кирпич из золы является безопасным. Впервые в США зола использовалась в 1930 году как наполнитель в асфальтовой смеси. А уже в 1946 году была создана зольная компания в Чикаго, которая занималась продвижением золы как материала для производства бетонных труб. В Монтане так же с использованием золы была построена дамба Хангри Хорс (в течение 1950-ых было построено еще 6 дамб с применением золы) [4].



Рисунок 1.3 – Арочная плотина Хангри-Хорс на речке Флатхед, США

Примеры строительства с использованием золы.

В качестве примеров современного строительства с использованием золы, некоторые из которых представлены на рисунке 3.3, можно назвать следующие:

- скоростная дорога Эйзенхауэр в Чикаго;
- башня Пикассо в Мадриде высотой 157 м;

- башня Коммерцбанк во Франкфурте;
- дамба Пулорен во Франции высотой 73 метра, длиной 220 метров;
- тоннель под Ла-Маншем соединяющий Францию и Великобританию;
- взлетно-посадочная полоса в аэропорту Эйндховен в Голландии;
- в бетоне при строительстве самого высокого здания в мире Burj Dubai в городе Дубаи [4].



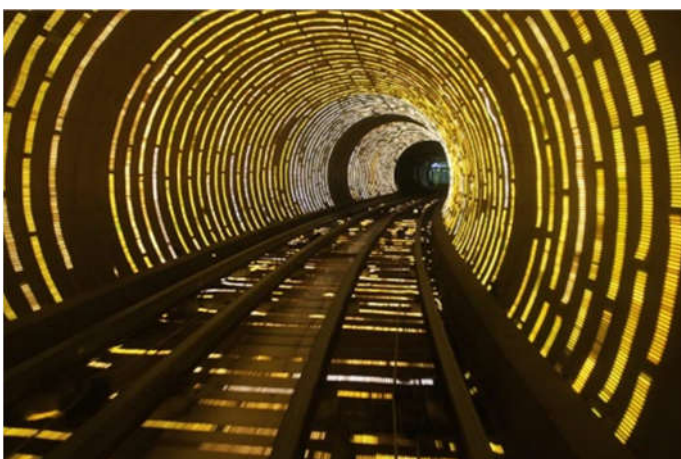
а) Башня Пикассо в Мадриде



б) Башня Коммерцбанк во Франкфурте



в) Дамба Пулорен во Франции



г) Тоннель под Ла-Маншем



д) Burj Dubai в Дубае

Рисунок 1.3 – Примеры современного строительства с использованием золы

1.3.2 Отечественные примеры использования золы.

Изобретение, которое описывается в патенте № 2163576 «Асфальтобетонная смесь», авторами которого являются Дудеров Ю. Г., Мамонтов А. А. и Петросян Б. А. [16], относится к области строительства и может быть использовано при устройстве дорожных покрытий. Сущность заявленного изобретения заключается в том, что асфальтобетонная смесь включает битум, песок и минеральный порошок – золу-уноса при следующем соотношении компонентов в массовых %: битум 6,0 – 7,8; песок 11,0 – 24,0; зола-уноса 68,2 – 83,0. Технический результат: повышение прочности при сжатии при 50 °С, упрощение подготовки минеральных материалов (таблица 1.5).

Таблица 1.5 – Сравнительная характеристика предлагаемой смеси

Содержание компонентов				Показатели		
	битум	песок	зола-унос	Коэффициент водостойкости	Предел прочности при сжатии, МПа при:	
					50 °С	20 °С
Известная смесь						
	7,0	70	23	0,6	9,5	15
Предлагаемая смесь						
1	7,8	27,2	65,0	0,65	10,0	26,3
2	6,0	11,0	83,0	0,70	12,5	27,0
3	5,0	8,0	87,0	0,65	10,0	26,1

Из данных, приведенных в таблице, видно, что предлагаемая асфальтобетонная смесь имеет хорошие физико-механические показатели. Кроме того, так как только на один завод (предприятие) выпуск асфальтобетонной смеси составляет примерно сотни, тысячи тонн, то в таком случае вопрос об упрощении исходного сырья и стоимости выпускаемой продукции даже при условии того, что сохраняются физико-механические

характеристики по сравнению с наиболее близким аналогом, будет играть принципиальную роль. В предлагаемом техническом решении золы используют в три раза больше, чем песка, что позволяет решить проблему снижения стоимости асфальтобетонной смеси, а также наиболее важную проблему – улучшение экологии, поскольку известно, что зола-унос представляет собой мелкодисперсную пыль, которая очень сильно пылит [17].

Ярмолинская Н. И. [17] рассмотрела метод улучшения молекулярно-поверхностных свойств отходов ТЭС и повышение качества асфальтового бетона на их основе путем газовой гидрофобизации. Выбор данного метода был основан на существовании такого опасного для структуры и крепости асфальтобетона фактора, как вода. Она является губительной для структуры будущего асфальта, поскольку ускоряет процесс нарушения структурного каркаса, обусловленного его разрушением. В связи с этим, такие показатели, как водостойкость, а также морозостойкость, – являются основополагающими показателями, которые характеризуют такое понятие, как коррозионная стойкость асфальтобетона.

Битум прочно сцепляется с частицами минерального порошка только тогда, когда высокомолекулярные компоненты, входящие в битум, и поверхность частиц минерального порошка приводят к протеканию между собой химической реакции, приводящей к образованию водонерастворимых соединений. Ярко выраженная кислотность некоторых зольных отходов приводит к тому, что на поверхности раздела фаз битумные компоненты-частицы минерального порошка характер протекающих реакций будет физическим, то есть не будут образовываться водонерастворимые соединения, что ведет к предположению о том, что в состоянии водонасыщения асфальтобетон будет иметь невысокие прочностные свойства [17].

Данный метод совмещает процесс сушки зольных отходов с одновременным процессом газовой гидрофобизации поверхности частиц минерального порошка. Газ для гидрофобизации получается при нагреве битума до 220 – 350 °С. В процессе происходит удаление адсорбционно-

пленочной влаги с поверхности минерального порошка, а газ гидрофобизации подвергается адсорбции поверхностью, ведущий при этом к образованию гидрофобизирующего слоя [17].

Лебедев М. С. [18] проанализировал влияние добавок низкокальциевой золы-уноса ТЭС на характеристики дорожного битумного вяжущего. Он акцентировал внимание на том, что в настоящее время есть предположения о негативном влиянии золы на свойства получаемых на их основе материалов. Он связал данные преждевременные выводы с недостаточной изученностью химических свойств и характеристик используемых зол. Поэтому первостепенным является именно исследование свойств и состава золы. Также, золу-уноса в битумах Лебедев рассматривал в качестве наполнителя в вязкоупругой системе, а также при смешении наполнителя с битумом создается смесь, которая носит такое название, как мастика [18].

Свои исследования Лебедев выполнял на битуме с достаточно большой вязкостью (марки БНД 60/90) и низкокальциевой золе-уноса Рефтинской ГРЭС с химическим составом, представленным в таблице 1.6.

Таблица 1.6 – Химический состав золы-уноса Рефтинской ГРЭС

№	Компоненты	Содержание, %
1	Оксид кремния	60,19
2	Оксид алюминия	30,90
3	Оксид кальция	1,30
4	Оксид железа	3,40
5	Оксид магния	0,58
6	Серный ангидрид	0,15
7	Оксид натрия	0,53
8	Оксид калия	0,75
9	Оксид титана	1,17
10	ППП	1,89

Для приготовления мастик предварительно нагрели битум до 150 – 160 °С и смешали с различным количеством золы-уноса (5, 10, 15 % масс.).

На основании проделанной работы, Лебедев сделал вывод, что при введении золы-уноса в количестве от 5 до 15 % масс. улучшается реология битумной мастики, а также о том, что низкокальцевая зола-уноса может использоваться как эффективная замена битумной части вяжущего, позволяющая влиять на регулирование вязкости и свойств битума [19].

Известен способ приготовления асфальтобетонной смеси (пат. 2056387, С04В26/26 от 17.11.92 г.), который позволяет получить однородную смесь битума с минеральной частью [20]. Способ состоит в том, что крупные и мелкие фракции минеральной части асфальтобетона смешиваются отдельно с битумом, и полученные композиции затем смешиваются вместе. Кроме того, щебень, песок и просеянные компоненты смешиваются с битумом в стандартном асфальтосмесителе, а для смешивания минерального порошка с битумом используется высокоскоростной смеситель со скоростью 3000 – 5000 с⁻¹. Этого достаточно для получения однородной смеси битума и минерального порошка. Далее полученные композиции смешивают вместе. Рассматриваемый метод позволяет получить асфальтобетон с повышенными прочностными характеристиками и коэффициент водостойкости, близкий к единице. Несмотря на это, рассматриваемый метод имеет несколько существенных недостатков. Прежде всего, это технологические проблемы, связанные с отдельным смешиванием различных фракций минеральной части с битумом. Высокоскоростной смеситель для приготовления минеральной порошковой композиции с битумом при упомянутых градиентах скорости должен образовывать небольшие зазоры между подвижными частями устройства и его корпусом. Вхождение частиц больших размеров или посторонних предметов в минеральный порошок может ухудшить эффективность смесителя. В связи с этим существует необходимость предварительного скрининга минерального порошка. Невозможно впрямую заготовить асфальтовяжущим, поскольку композиция застывает и она очень не технологична. Асфальтобетонные заводы традиционно имеют проблемы, связанные с хранением минерального порошка и битума. Минеральный

порошок при хранении подвержен воздействию влаги, а хранение битума в нагретом состоянии требует высоких затрат энергии [20].

В связи с этим, Готовцев В.М., Зайцев А.И., Галицкий И.В. и Баскаков Д.В. [20] предложили способ получения асфальтобетонной смеси, который заключается в том, что асфальтовязущее на основе минерального зольного порошка и битума приготавливается методом окатывания данной смеси, а затем она вводится в подогретую минеральную часть, состоящую из крупнодисперсных частиц, вместе с битумом, и все это перемешивается. Содержание битума в асфальтобетонной смеси не более 6,5 %. В результате получают: высокую прочность, водостойкость и долговечность смеси, которая содержит низкое количество битума. Данные обоих способов представлены в таблице 1.7.

Таблица 1.7 – Данные технического результата по двум способам двух патентов

		% содержания битума						
		I способ				II способ		
Наименование показателей	Единица измерения	4,0 %	5,0 %	6,5 %	8,0 %	4,0 %	5,2 %	6,5 %
Плотность	г/см ³	2,30	2,30	2,30	2,29	2,30	2,30	2,30
Водонасыщен.	%	2,60	2,30	2,01	1,86	1,63	1,58	1,58
Прочность при 20 °С	кгс/см ²	28,0	37,0	49,2	40,6	53,00	53,02	53,04
Прочность при 50 °С	кгс/см ²	12,2	15,4	16,8	13,3	17,81	17,94	17,60
Прочность при 0 °С	кгс/см ²	41,0	42,0	42,6	40,5	60,92	63,00	63,56
Коэффициент водостойкости		0,92	0,93	0,93	0,95	1,03	1,05	1,05

1.4 Асфальтобетонные смеси на основе серобитумных вяжущих

1.4.1 Качественные характеристики битумов.

Основные качественные характеристики битума:

- растяжимость;
- температура хрупкости;
- температура размягчению;
- пенетрация.

Вязкость битума можно оценить по величине пенетрации (глубина проникновения иглы), температуре размягчения и температуре хрупкости. Вязкость битума должна быть известна при температурах процесса приготовления битумно-минеральных смесей, а также их укладки в покрытие.

Приблизительная температура, при которой на дорогах могут образовываться трещины, может характеризоваться по тому же показателю, что и температура хрупкости битума. Деформирующие свойства битума должны определяться при максимальной температуре эксплуатации дорожного покрытия летом (до 60 °С) и минимальной зимой (от минус 25 °С до минус 45 °С). Таким образом, при низких отрицательных температурах битум должен быть достаточно эластичным и деформирующим, а при высокой должен обладать прочностью и иметь низкую деформируемость (то есть деформации должны быть упругими). Необратимость изменений битума во время работы характеризуется модулем упругости и вязкости [21].

Битумы можно рассматривать как растворы асфальтенов и твердых смол средней молекулярной массы ($\approx 1000 - 40000$) в низкомолекулярной среде нефтяных масел и плавких смол со средней молекулярной массой ($\approx 500 - 600$) [22].

Вязкость – более полно характеризует консистенцию битума при различных температурах использования по сравнению с такими параметрами, как температура проникновения и размягчения. При температурах ниже 40 °С битум похож на твердые системы, при температурах от 40 °С до 140 °С – на

структурированные жидкости и при температурах выше 140 °С – на истинные жидкости [23].

Пенетрация – это показатель, характеризующий глубину проникновения иглы в полужидкие и полутвердые продукты при определенном режиме. Пенетрация дорожного нефтяного битума различных сортов при 25 °С при нагрузке 100 г в течение 5 секунд составляет $40 - 300 \cdot 10^{-1}$ мм и при 0 °С при нагрузке 200 г в течение 60 секунд – от 13 до $50 \cdot 10^{-1}$ мм. Таким образом, в зависимости от температуры, нагрузки и продолжительности проникновения иглы значение пенетрации значительно изменяется. Проникновение косвенно характеризует степень твердости битума [23].

Точкой размягчения (температурой размягчения) битума является температура, при которой битумы из относительно твердого состояния становятся жидкостью (переходят в жидкое состояние).

Температура хрупкости – это температура, при которой материал может подвергаться разрушению под воздействием мгновенно приложенной нагрузки. Согласно методу Фрааса, это температура, при которой модуль упругости битума с длительностью нагрузки в течение 11 секунд для всех битумов одинаковый и равен 1100 кг/см^2 ($1,0787 - 108 \text{ н/м}^2$) [23]. Температура хрупкости характеризует поведение битума на поверхности дороги: чем меньше температура хрупкости битума, тем выше и лучше качество дорожного битума. Температура хрупкости дорожного битума обычно колеблется от минус 2 °С до минус 30 °С.

Растяжимость (дуктильность) – расстояние, на которое битум можно вытягивать в виде нити до того, как она разорвется. Этот показатель косвенно характеризует «липкость» битума, а также связан с природой его компонентов. Дорожный нефтяной битум имеет высокую растяжимость – более 40 см. Но увеличение растяжимости не всегда означает, что свойства битумов улучшаются. Растяжимость битумов при 25 °С имеет максимальное значение, соответствующее их переходу от состояния ньютоновского потока к структурированному. Чем больше битум отклоняется от ньютоновского

движения, тем меньше его растяжимость при 25 °С, но он достаточно высок при 0 °С. Таким образом, битум должен иметь высокую растяжимость при низких температурах (0 °С и 15 °С) и умеренный показатель при 25 °С [23].

Шульман З. П. в своем исследовании [24] выяснил, что на реологические свойства битума оказывает сильное влияние изменение температуры.

1.4.2 Механизм взаимодействия серы с битумом.

На свойства СБВ влияют такие основные факторы и параметры технологии, как: температура взаимодействия серы с битумом, содержание серы в СБВ, структурно-реологический тип битума, агрегатное состояние серы в процессе введения в битум, интенсивность и продолжительность гомогенизации компонентов СБВ [13].

Поскольку сера обладает достаточно высокой химической активностью по отношению к битумным углеводородам, решающим фактором влияния на взаимодействие битума с серой является температура. При взаимодействии битума с серой происходят два основных процесса:

1. При температурах от 130 до 145 °С результатом взаимодействия серы с углеводородами битума является образование полисульфидных соединений. Наиболее активные связи могут возникать с ароматическими углеводородами – ароматическими нафталинами. В этом случае наблюдается эффект пластификации, а также увеличение проникновения иглы и снижение температуры размягчения СБВ. Кроме того, содержание асфальтенов не меняется. При более высоких температурах происходит переход полисульфидных соединений в циклические сульфиды, которые имеют структуру тиофенового типа, с образованием поперечных связей [13].

2. При температурах выше 145 °С протекают реакции дегидрирования битумных связей и выделяется сероводород. Эти дегидрированные цепи подвергаются циклизации, что приводит к увеличению содержания асфальтенов. В то же время сернистый ангидрид (диоксид серы) выделяется из-за окисления серы кислородом в воздухе, а также кислородом из гетерогенных

связей асфальтенов. В конечном итоге вязкость и твердость битума возрастают, а также увеличиваются структурные и реологические свойства СБВ [13]. Но эти температурные пределы являются условными, так как обе этих реакции могут происходить одновременно. Доминирующий характер одной из них зависит от температуры, состава и структуры компонентов битума, что может привести к определенному изменению свойств вяжущего из-за различной степени полимеризации материала. Когда температура повышается до примерно 175 °С, скорость реакции заметно возрастает, поскольку в смеси присутствует сера в виде линейного полимера. В процессе получения СБВ при температуре 180 – 200 °С линейные молекулы серы взаимодействуют с ненасыщенными битумными углеводородами, постоянно образующимися во время реакции дегидратации, и как бы сшиванием макромолекул образуются сетчатые структуры, что, в свою очередь, приводит к резкому увеличению вязкости и термостойкости. Из всего вышесказанного можно сделать вывод, что рекомендуемая рабочая температура для смешивания серы с битумом составляет 130 – 145 °С. Когда происходит превышение этой температуры, наблюдается интенсивное выделение токсичных газов, при не достижении – не может произойти химического взаимодействия серы с битумом [13].

По способу связывания или нахождения серы в битуме наблюдается три состояния:

1. Химически связанная сера: небольшое количество (5 – 7%, а иногда и 10 % масс.) серы вступает в химические взаимодействия с битумом. При температуре, превышающей температуру плавления серы (то есть более 120 °С), восьмичленные серные кольца распадаются на удлиненные цепи, по мере повышения температуры длина этих цепей увеличивается, а затем они объединяются с битумом. И это количество серы оказывает наиболее активный модифицирующий эффект на вяжущее.

2. Сера, растворенная в битуме: в дорожном битуме может расплавиться до 20 – 30 % массы серы, так как количество растворенной серы в битуме зависит от вязкости, происхождения битума и температуры приготовления.

СБВ. Кроме того, предельное количество такой серы может увеличиваться с содержанием ароматических углеводородов, содержащихся в части мальтенов (масляные и смоляные компоненты) битума. Растворение серы ароматическими углеводородами мальтеновой части битума подтверждается увеличением пенетрации (глубины проникания иглы в битум) при 25 °С и при 0 °С и снижением температуры хрупкости. С уменьшением температуры СБВ количество растворенной серы уменьшается. Большая часть серы, которая расплавляется в битуме, кристаллизуется со временем, выделяется в виде твердой фазы и ведет себя как диспергированный наполнитель. Кроме того, появление кристаллизационной структуры в битуме возможно при высоком содержании серы в СБВ, поскольку происходит слияние частиц серы, которые выделяются в виде кристаллов [13].

3. Сера в виде свободной мелкой дисперсии (играет роль наполнителя в битуме). Когда в битум добавляют серу в количестве более 20 – 30 масс. %, она больше не может плавиться в битуме и поэтому появляется в виде мельчайших диспергированных частиц, имеющих диаметр около 0,1 мкм. Эта сера в битуме служит структурообразующим наполнителем. В этом случае содержание серы может составлять более половины от общего количества серы, добавленной к битуму, и эффективность заполнения увеличивается с уменьшением вязкости битума. Кроме того, существенное влияние на свойства таких битумов (СБВ) оказывает размер зерен серы, которая не растворяется в битуме. Особенно этот эффект наблюдается с вязкостью и когезией (межмолекулярные силы взаимодействия в объеме битума) СБВ.

1.4.3 Способы приготовления серобитумных вяжущих.

Обычно битумные вяжущие (СБВ) получают двумя способами:

1. Эмульгирование расплавленной серы в битуме. Этот процесс проводят в коллоидной мельнице (обычно при температуре 140 – 150 °С, время эмульгирования составляет около 8 минут) или в статическом смесителе. Подготовка СБВ в обоих случаях аппаратного оформления позволяет

равномерно рассеять серу до размера от 5 до 20 мкм в битуме и, таким образом, получить вязущее, а также различные смеси на его основе, которые могут иметь высокие свойства.

2. Смешение расплавленной серы и битума. Этот процесс осуществляется в лопастном смесителе. Смешивание происходит с расплавленной серой и битумом в определенных количествах в смесителе и подачи этого полученного связующего на минеральные компоненты асфальтобетона [13]. Существенной проблемой при подготовке битумного связующего является образование и выделение токсичных газов при нагревании серы и битума. Растворимость серы в битуме улучшается с повышением температуры, но поскольку выделение газов начинается при температуре более 150 °С, то более целесообразно и безопаснее проводить процесс при температуре не выше 150 °С. Кроме того, при температуре более 145 °С начинается интенсивное взаимодействие серы с компонентами битума, что приводит к процессам полимеризации, а также к значительному увеличению количества асфальтенов в битуме. В то же время растяжимость и пенетрация и температура размягчения уменьшаются, битумное вязущее становится хрупким. Этот факт подтверждает, что сера при повышенных температурах имеет эффект, подобный воздействию кислорода на битум.

1.4.4 Опыт применения серы в области дорожного строительства.

В настоящее время идет тенденция превышения производства серы над ее потреблением в ряде стран (Россия, Казахстан, США, Канада), а также значительно снизилась ее себестоимость. Поэтому актуальным вопросом по сей день остается вопрос об использовании серы в дорожном строительстве. И так, в конце XX века объем мирового производства серы при его утилизации в различных отраслях промышленности составил более 10 млн. тонн в год. А также количество неиспользуемой серы составило около 25 млн. тонн в год [19]. Поэтому использование дешевой серы в различных дорожных материалах позволяет решить экономическую и экологическую проблемы.

Кроме того, сера может использоваться при строительстве и ремонте автомобильных дорог:

- в асфальтовых смесях, заменив часть битумного материала;
- в серобетонных смесях для использования в покрытиях дорог, а также для изготовления индивидуальных изделий (различных плит: арматурных, брусчаток, бордюрных камней и т.д.);
- для получения композиционных серосодержащих материалов, которые используются в качестве связующего в гидроизоляции и горячих антикоррозионных мастиках;
- для получения композиций, которые используются в качестве пропитки капиллярно-пористых материалов с целью повышения гидрофобных свойств, а также упрочнения [13].

Из всех вышеупомянутых способов использование серы в области дорожного строительства в качестве модификатора нефтяного дорожного битума является наиболее эффективным. Серо-битумные связующие (СБВ) и полученные на их основе смеси обладают более высокими физико-механическими свойствами, а также имеют улучшенные реологические свойства по сравнению с обычными битумами и асфальтобетонами [13].

1.5 Битумные эмульсии

Дорожная битумная эмульсия – дисперсная система, которая состоит из двух взаимно нерастворимых жидкостей, и представляет собой однородную жидкость малой вязкости, обычно темно-коричневая или черная. Одна из жидкостей (дисперсная фаза) тонко измельчена (диспергирована) и находится в другой жидкости (дисперсионной среде) [25].

Классификация битумных эмульсий в зависимости от формы:

- прямые эмульсии – битум находится в дисперсионной среде в виде мелких капель (размерами 1 – 20 мкм);

– обратные эмульсии – дисперсионная среда находится в битуме в виде мелких капель [26].

В практике дорожного строительства наибольшее применение нашли прямые битумные эмульсии.

За счет содержания в прямых битумных эмульсиях водной среды от 31 до 50 %, такая битумная эмульсия обладает низкой вязкостью, чем обеспечивается хорошая способность обработки минеральных каменных материалов без их просушки и подогрева. Данные технологические свойства битумной эмульсии благоприятно сказываются на применении такого материала в дорожном строительстве как с позиции охраны труда рабочих, так с позиции охраны окружающей среды [26].

Компонентный состав битумной эмульсии:

1. Битум. Обычно его содержание варьируется в пределах от 30 до 80 % масс.

2. Вода. Содержание варьируется в пределах от 15 до 70 % масс. Главное требование к воде – это жесткость, которая не должна превышать 6 мг-экв/л, и отсутствие механических примесей. Электролиты могут привести к распаду.

3. Эмульгатор. Обычно это катионо- или анионные поверхностно-активные вещества (ПАВ). Его содержание варьируется в пределах от 0,15 до 3,0 % масс.

4. Стабилизатор. Часто роль стабилизатора играет 30 – 35 %-ный водный раствор хлорида кальция (CaCl_2), и его содержание варьируется в пределах от 0,05 до 0,5 % масс.

5. Кислота. Для того, чтобы перевести ПАВ в форму соли, необходимо нейтрализовать эмульгатор кислотой. В качестве такой кислоты обычно используют соляную кислоту (HCl). При увеличении кислотности происходит повышение стабильности эмульсии, но при большом избытке кислоты может значительно снижаться адгезия.

6. Растворитель. В водную фазу или битум добавляют нефтяную фракцию, которая выкипает при температурах от 140 до 220 °С, что повышает клейкость, которая образуется при распаде пленки.

7. Разжижитель. Для того, чтобы повысить пенетрацию битума до оптимально необходимого значения, используют разжижители. Его содержание варьируется в пределах от 5 до 30 %. В качестве разжижителя обычно используются вакуумный газойль, масляная фракция и т.д [26].

Классификация битумных эмульсий в зависимости от применяемых эмульгаторов:

- анионные;
- катионные.

В качестве эмульгатора для катионной эмульсии чаще всего используются диамин, полиамин и др. В роли эмульгатора для анионной эмульсии обычно выступают жирные кислоты [27].

Основным отличием катионной эмульсии от анионной является более высокая адгезия катионной эмульсии к поверхностям кислых пород каменных материалов – гранитов, кварцитов (отрицательно заряженных) и щелочных пород – базальтов, известняков, габбро (положительно заряженных). Поэтому при проведении дорожно-строительных работ для того, чтобы обеспечить хорошую адгезию, предпочтительней использовать катионные битумные эмульсии.

Согласно ГОСТ Р 52128-2003 [28] скорость распада битумных эмульсий характеризуется способностью смешения их с минеральными материалами различного фракционного состава (таблица 1.8). Классы битумных эмульсий ЭБК-1 (ЭБПК-1), ЭБК-2 (ЭБПК-2), ЭБК-3 (ЭБПК-3) соответствуют быстрой, средней и медленной скорости распада.

Таблица 1.8 – Смешиваемость эмульсий различных классов с минеральными материалами

Наименование материала	Класс эмульсий		
	ЭБК-1, ЭБПК-1	ЭБК-2, ЭБПК-2	ЭБК-3, ЭБПК-3
Смеси минеральных материалов:			
пористый зерновой состав	Не смешивается	Смешивается	Смешивается
плотный зерновой состав	Не смешивается	Не смешивается	Смешивается

Области применения битумных эмульсий представлены в таблице 1.9.

Таблица 1.9 – Области применения битумных эмульсий

Класс битумной эмульсии	Область применения
ЭБК-1	Поверхностная обработка, для ямочного ремонта дорожного покрытия, для подгрунтовки
ЭБК-2	Поверхностная обработка, для устройства основания дорожной конструкции методом пропитки, для приготовления черного щебня и пористых щебеночных смесей для устройства оснований дорожных одежд
ЭБК-3	Для приготовления плотных эмульсионно-минеральных смесей при устройстве покрытий и замене слоев износа, для укрепления откосов земляного полотна, для приготовления грунтовых смесей, для обеспыливания грунтовых дорог

1.5.1 Опыт применения битумных эмульсий в дорожном строительстве.

В своем исследовании Крутько Н. П., Опанасенко О. Н. и Минин А. В. [29] рассмотрели возможность использования битумных эмульсий в дорожном строительстве, а также рассмотрели различные ПАВ и эмульгаторы для приготовления битумных эмульсий, различные минеральные материалы и технологии.

На основании проведенных исследований в ИОНХ НАН Беларуси совместно с РУП БелдорНИИ были разработаны рекомендации по устройству

поверхностных обработок, которые утверждены Комитетом Автомобильных дорог Министерства транспорта и коммуникаций Республики Беларусь.

Поводырев Н. Г. и Давыдов В. Н. [30] проанализировали опыт приготовления и использования битумной эмульсии для содержания и ремонта дорог в г. Сургуте. Они считают, что устройство тонкослойных покрытий, состоящих из литых эмульсионно-минеральных смесей (ЛЭМС), является одним из наиболее прогрессивных способов при восстановлении и предупреждении разрушений покрытий дорог. ЛЭМС успешно используется во всем мире на дорогах с низкой и высокой интенсивностью движения в различных климатических зонах. Но эмульсии, которые дополнительно не модифицированы, мало применимы для дорог с интенсивным транспортным движением. Одним из наиболее эффективных материалов, используемых в качестве модификатора катионных битумных эмульсий, в настоящее время, является латекс. Это синтетический материал, который представляет собой водную дисперсию каучуко-подобных полимеров, равномерно распределенных в дисперсной среде в виде мельчайших частиц, размеры которых варьируются в пределах от 0,1 до 3 мкм. Эти мельчайшие частицы в течение длительного времени в процессе хранения не слипаются друг с другом [30].

1.6 Гранулирование

Гранулирование определяется как процесс агломерации, при котором аморфная масса мелкодисперсных частиц, таких как пыль, порошок, дым, формируются в гранулу или шарик в присутствии влаги, добавляемой в процессе [31].

1.6.1 Классификация процессов гранулирования.

Классификация процессов гранулирования по изменению агрегатного состояния:

- диспергирование из жидкой фазы на капли с последующим процессом кристаллизации при обезвоживании или охлаждении;
- прессование из твердой фазы с дальнейшим процессом дробления полученных брикетов до гранул с необходимыми размерами;
- агломерация порошков из смеси жидкой и твердой фаз с дальнейшими процессами окатывания агломератов и упрочнения связей между частицами при удалении жидкой фазы;
- конденсация (десублимация) из газовой фазы, приводящая к образованию твердых гранул;
- химическая реакция из смеси жидкой и газовой фаз;
- химическая реакция из смеси жидкой, твердой и газовой фаз [32].

Твердые частицы необходимого размера в процессе гранулирования образуются либо одновременно, либо постепенно. В таком случае процессы гранулирования могут быть:

- без изменения размера частиц во времени;
- с изменением размера частиц во времени;
- с образованием новых частиц и ростом ранее образованных частиц.

Важное влияние на эффективность процесса гранулирования оказывает механизм процесса. Механизм определен, в первую очередь, способом гранулирования, а также аппаратным оформлением. В таком случае процесс гранулирования может быть проведен:

- окатыванием (формированием гранул, которое достигается с помощью агломерации или наслаивания частиц);
- диспергированием жидкости в свободном объеме или нейтральной среде (образованием и кристаллизацией капель жидкости при охлаждении в воздухе, масле и т.д.);
- прессованием сухого порошка с последующим получением брикетов, плиток и т.д., с дальнейшим процессом дробления их на гранулы необходимых размеров;

- диспергированием жидкости на поверхности частиц во взвешенном состоянии (кристаллизацией тонкой пленки на поверхности частицы);
- чешуированием, то есть охлаждением жидкости на инородную поверхность;
- формованием или экструзией (продавливанием пастообразной массы через отверстия) [32].

1.6.2 Гранулирование методом окатывания.

Гранулирование дисперсных материалов методом окатывания представляет собой процесс превращения сухой, свободнотекущей или влажной бесформенной агрегированной дисперсной системы в сферические гранулы одинакового размера, плотности и прочности. В настоящее время гранулы производятся, главным образом, в трех схемах из-за различной предыстории материала, подлежащего окатыванию. Согласно первой схеме материал направляется в гранулятор с жидкой фазой, которая по содержанию близка к оптимальному значению. Эта схема типична для тонкодисперсных фильтрованных продуктов после глубокого обогащения. Регулирование количества жидкой фазы до оптимального достигается путем увлажнения или добавления небольшого количества водоемких добавок к нему. Преимуществом этой схемы является высокая скорость образования и роста гранул. Однако стабильность процесса является низкой из-за частых колебаний влажности кека [33]. Согласно второй схеме сырье поступает в гранулятор в сухой форме. Отдельно в гранулятор подается жидкое связующее. Трехфазная комкуемая система образуется непосредственно во время процесса гранулирования. Преимущество этого метода заключается в ясности и эффективности управления процессом. Однако скорость образования гранул замедляется, так как она ограничена явлениями смачивания. Кроме того, когда многокомпонентный сухой материал прокатывается, неизбежна сегрегация и, как следствие, ухудшение качества гранулята по индексу однородности. К отрицательным сторонам сухого метода следует также отнести большое

образование пыли. Промежуточным способом является «полумокрое» гранулирование. В соответствии с этим способом сырье до поступления в гранулятор увлажняется до влажности 70 – 80 % от оптимального количества жидкой фазы, необходимого для нормального протекания процесса. Остальная часть влаги подается непосредственно в гранулятор во время процесса. При таком способе прокатки смачивание больше не ограничивает скорость образования гранул, а процесс образования гранул легко регулируется и, следовательно, он находит наибольшее распространение в производстве [33].

1.6.3 Механизм образования гранул.

Гранулирование методом окатывания осуществляется четырьмя основными стадиями:

- получение смеси из исходного материала с ретуром (если есть необходимость добавления ретура) и вяжущего;
- гранулообразование из более мелких частиц материала и измельчение крупных комков;
- процесс окатывания и уплотнения гранул материала за счет перемещения их по поверхности гранулятора;
- процесс перехода жидкой фазы в твердую, в результате чего происходит упрочнение образовавшихся связей, что обеспечивает стабилизацию структуры гранулы [33].

В процессе окатывания на всех стадиях происходит перераспределение частиц по размерам, что представляет собой гранулообразование. Интенсивность данного процесса гранулообразования напрямую зависит от аппаратного оформления процесса гранулирования, а также от свойств материала.

На стадии получения смеси и гранулообразования в качестве связующего используют разнообразные жидкости, которые могут обеспечивать сцепление частиц окатываемого материала. В качестве примеров таких жидкостей можно назвать воду, раствор самого продукта, плав одного из

компонентов и т.д. Также в некоторых случаях могут быть использованы смола, бентонит, глина, гипс и другие инертные вещества, которые обеспечивают затвердевание (кристаллизацию, подимеризацию и т.д.).

Процесс гранулообразования обуславливается действием капиллярно-адсорбционных сил сцепления между частицами и последующим уплотнением структуры, которое происходит за счет сил взаимодействия между частицами в плотном динамическом слое.

Капиллярное взаимодействие между частицами в процессе гранулирования определяется количеством воды в точке контакта, формой контакта и числом контактов в единице объема окатываемого материала. На практике между частицами окатываемого материала могут возникать разнообразные формы контакта, поэтому возможно предугадать лишь общий характер влияния влажности окатываемого материала на прочность сцепления [33]. Коротич В. И. [34] показал, что чем мельче зерна окатываемого материала, тем больше сила капиллярного сцепления частиц в объеме увлажненного материала. Чем больше содержится в материале мелких фракций, тем более прочными получаются гранулы. Крупные фракции также имеют важное значение, поскольку они могут создавать каркас гранулы, который будет обладать значительным сопротивлением воздействию динамических и статических нагрузок. Поэтому для получения плотной упаковки гранулы и высокой силы сцепления частиц необходимо соблюдать определенное соотношение крупной и мелкой фракций [33].

На стадии окатывания частицы уплотняются в основном за счет того, что происходит их ударение о неподвижный слой материала или о стенку гранулятора. В процессе удара образовавшийся комок будущей гранулы скатывается по тарели гранулятора вниз, приобретает кинетическую энергию, и большая часть этой энергии затрачивается на перемещение частиц материала по тарели и на дальнейшее уплотнение гранулы. Скорость скатывания и масса комка определяют величину кинетической энергии.

Образующиеся комки материала многократно ссыпаются и ударяются, в результате чего происходит их уплотнение и более плотная укладка отдельных частичек. При этом происходит образование избыточной влаги за счет выдавливания ее на поверхности комка, и в результате сухие частички могут присоединиться к комку. Пленка связанной воды становится все меньше при приближении частичек друг к другу, но при этом происходит увеличение прочности сцепления. Это водная пленка обладает определенной для данного процесса гранулирования минимальной толщиной, соответствующая динамическим нагрузкам. При достижении этой толщины прекращается выделение воды на поверхность комка, в результате чего прекращается возможность налипания новых частичек, что ведет к остановке роста гранулы. Таким образом, при достижении данной определенной толщины водной пленки гранула становится максимально прочной для данного режима гранулирования [35].

2 Объекты и методы исследования

2.1 Объекты исследования

Объектами исследования в работе явились зола, отобранная из золоотвала № 2 Северской ТЭЦ, работающей на углях Кузбасса, техническая сера Норильского горно-металлургического комбината и битумная эмульсия марки ЭБК-1 компании ООО «Битумная эмульсия».

По внешним признакам зола представляет собой сыпучий материал темно-серого цвета, имеющая полидисперсный состав.

Техническая сера Норильского горно-металлургического комбината представляет собой практически чистый продукт, который по своим структуре и свойствам соответствует требованиям ГОСТ 127.1-93 [14]. Она характеризуется низкой себестоимостью и доступностью. Но полностью переработать объемы серы в Норильском регионе не представляется возможным, поэтому перспективным является продажа серы другим регионам, которые могут использовать ее в дорожной, строительной и других областях промышленности.

На территории России находится весьма значительное количество золошлаковых захоронений (золоотвалов), где в настоящее время хранится около полутора миллиарда золошлаковых отходов, и под эти золоотвалы отведено более 22 тыс. га территории. Также ежегодное производство золы Российскими электростанциями превосходит значение в 30 млн. тонн, которые оказывают неблагоприятное воздействие на окружающую среду. Помимо вредного воздействия и отходов теплоэнергocентралей, существует проблема все возрастающего количества производимой серы по сравнению с ее потребным количеством. Поэтому существует возможность использования данных компонентов в качестве модифицирующих добавок к асфальтам, что улучшит их эксплуатационные характеристики.

2.2 Методы исследования

2.2.1 Определение характеристик золы.

Определение удельной поверхности золы.

Удельной поверхностью можно назвать среднюю величину размеров внутренних полостей (каналов, пор), находящихся в пористом теле, или среднюю величину частиц раздробленной фазы дисперсной системы.

Удельная поверхность характеризует такие физико-химические свойства порошкообразных материалов, как степень дисперсности. Степень дисперсности в свою очередь влияет на кинетику химического взаимодействия в гетерогенных процессах, возникающих между частицами тонкодисперсных порошков строительных материалов.

Наиболее распространенными методами определения удельной поверхности порошкообразных материалов, являются:

- измерение воздухопроницаемости слоя материала при пропускании через него воздуха при давлении, близком к атмосферному;
- измерение воздухопроницаемости слоя материала при пропускании через него разряженного воздуха при высоком вакууме;
- определение адсорбции мономолекулярного слоя газа на поверхности частиц материала [36].

Также существуют специальные методы:

- вычисление исходя из данных полного дисперсного анализа состава материала;
- сорбция из раствора;
- определение теплоты, которая выделяется при погружении в жидкость измельченного материала, покрытого адсорбционной пленкой той же жидкости;
- хроматографический метод;
- по величине скорости растворения [36].

В данной работе был использован метод измерения воздухопроницаемости через слой материала при пропускании воздуха при давлении, близком к атмосферному. Данный метод заключается в следующем: воздух, пропускаемый через слой материала определенной толщины и площади поперечного сечения, испытывает сопротивление. Данное сопротивление и необходимо измерить. При этом подготовленный материал уплотняется до определенного содержания пустот в единице объема.

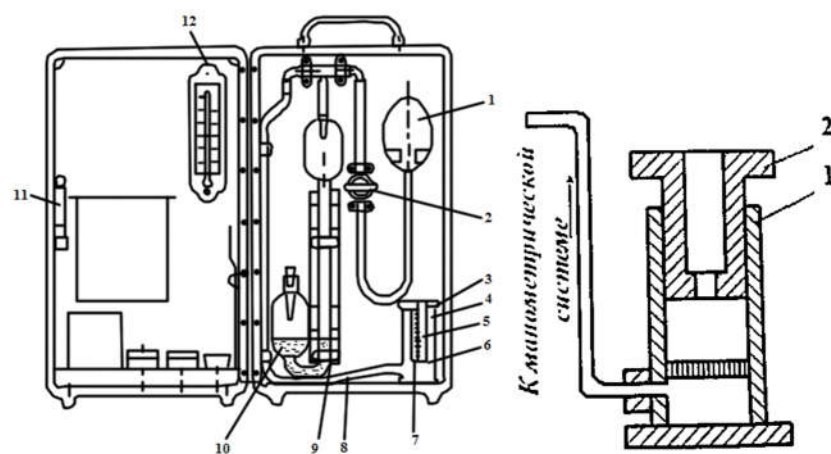
Определение проводят при помощи использования прибора Л. С. Соминского и Г. С. Ходакова (ПСХ-2) (рисунок 2.1).

Принцип действия прибора ПСХ-2 основан на зависимости воздухопроницаемости слоя порошка от величины его удельной поверхности [37].

Кюветой для укладки испытуемого порошкообразного материала является металлический цилиндрический сосуд диаметром около 25 мм. Разделяется кювета перегородкой с отверстиями, через которые проходит воздух. На штуцер в нижней части кюветы надета гибкая резиновая трубка, которая соединяет кювету с жидкостным манометром. Плунжером в виде металлического цилиндра с внутренними каналами и перфорированным дном уплотняют порошкообразный материал, а также измеряют толщину слоя материала.

В верхней части плунжера установлен упорный диск, к которому прикреплена планка с нониусом. Нониус – вспомогательная шкала, устанавливаемая на различных измерительных приборах и инструментах, служащая для более точного определения количества долей делений основной шкалы.

При перемещении плунжера в кювете планка движется вдоль миллиметровой шкалы, которая нанесена на поверхность кюветы. Так происходит измерение толщины слоя материала с точностью до 1 мм. Зазор между плунжером и кюветой составляет 0,15 мм. С помощью резиновой груши с клапаном создается разрежение под слоем порошка в кювете [36, 37].



Слева – общий вид: 1 – груша; 2 – кран; 3 – плунжер; 4 – кювета; 5 – нониус; 6 – сетка; 7 – шкала; 8 – резиновая трубка; 9 – шкала; 10 – манометр; 11 – кисть; 12 – термометр; справа – схема кюветы (1) с плунжером (2).

Рисунок 2.1 – Прибор Л. С. Соминского и Г. С. Ходакова (ПСХ-2) для определения площади удельной поверхности порошка

Манометрической системой является стеклянная бюретка, имеющая два колена: первое, более короткое и широкое, сообщается с атмосферой, второе, более длинное, имеет расширенный резервуар в верхней своей части. Длинное колено бюретки герметично соединяется с одной стороны резиновым шлангом с кюветой, с другой – стеклянным краном с резиновой грушей. Для регистрации степени изменения создаваемого под слоем материала разрежения используется подкрашенная вода, которая заполняется в бюретку. Атмосферный воздух проходит через слой исследуемого материала, при этом уменьшается разрежение в манометрической системе, и происходит падение столба жидкости в длинном колене бюретки. На степень прохождения воздуха через слой оказывает влияние размер частиц исследуемого порошка. Скорость падения столба жидкости находится в обратной зависимости от площади удельной поверхности материала, поэтому при измерении скорости падения возможно определить площадь удельной поверхности [36].

До начала работы прибор проверяется на герметичность. Для этого кювету сверху плотно закрывают, при открытом кране бюретки резиновой грушей поднимают столб жидкости. После чего кран бюретки закрывают, и наблюдают за уровнем жидкости: если герметичность хорошая, то уровень не должен опускаться.

Далее проверяется совпадение нулевых делений на шкале кюветы и нониуса на плунжере.

Определение величины удельной поверхности:

1. Предварительно высушивают исследуемый материал до постоянной массы при температуре около 105 – 110 °С и охлаждают его до комнатной температуры.

2. Берут навеску исследуемого материала с точностью до 0,01 г весом из расчетной формулы (2.1):

$$P = 3,33 \cdot \gamma_2, \quad (2.1)$$

где γ – удельный вес материала.

3. Укладывают в кювету кружок фильтровальной бумаги диаметром, соответствующим внутреннему диаметру кюветы.

4. Легким постукиванием равномерно распределяют навеску исследуемого материала на фильтровальной бумаге, с помощью плунжера уплотняют слой.

5. Измеряют высоту слоя материала L , используя нониус плунжера и шкалу кюветы.

6. Удаляют плунжер, открывают кран на бюретке и при помощи резиновой груши под слоем исследуемого материала создают разрежение.

7. Закрывают кран, замеряют время T , за которое мениск жидкости проходит в манометре между двумя рисками.

8. Замеряют и записывают температуру воздуха t (°С).

Далее производится расчет по следующей методике:

1. Среднее время прохождения мениска жидкости $T_{\text{ср}}$ вычисляется по формуле (2.2):

$$T_{\text{ср}} = \frac{\sum T_i}{n} \quad (2.2)$$

где T_i – значение времени в каждом параллельном опыте, с;

n – количество параллельных опытов.

2. Из справочных данных [37] найти величину M для найденных значений L и t .

3. Вычислить величину удельной поверхности исследуемого порошка по формуле (2.3):

$$S = K \cdot \frac{M\sqrt{T}}{P}, \text{ см}^2/\text{г}, \quad (2.3)$$

где K – постоянная прибора для той пары рисок, между которыми наблюдалось падение столба жидкости за время T ;

P – величина навески, г.

Удельный вес для золы составил 3 г/см^3 , поэтому навеска по формуле (2.1) составила 10 г.

Среднее время прохождения мениска жидкости составило:

$$T_{\text{ср}} = \frac{9,2 + 8,6 + 9,0 + 8,6 + 8,9}{5} = 8,86 \text{ сек}$$

Температура окружающего воздуха t во время проведения опыта составляла $25 \text{ }^\circ\text{C}$.

Величина удельной поверхности составила:

$$S = 11,2 \cdot \frac{869\sqrt{8,86}}{10} = 2897,0 \text{ см}^2/\text{г}$$

Определение насыпной плотности золы.

Насыпная плотность порошка – это количество порошка, которое занимает определенный объем, находясь в свободно засыпанном состоянии.

Насыпная плотность – отношение массы материала к занимаемому объему с учетом пространства между частицами.

Определение насыпной плотности:

1. Предварительно высушивают исследуемый материал до постоянной массы при температуре около 105 – 110 °С и охлаждают его до комнатной температуры.

2. Материал засыпают с высоты 10 см на деревянную горку, с которой он должен ссыпаться в заранее взвешенный сосуд. Материал насыпают так, чтобы над верхом сосуда образовался конус из исследуемого материала.

3. Без усилий поверхность порошка из исследуемого материала выравнивают металлическим шпателем вровень с краями сосуда.

4. Взвешивают наполненный порошком сосуд.

5. Вычисляют насыпную плотность в кг/м³ по формуле (2.4):

$$\gamma_{\text{н}} = \frac{q_2 - q_1}{V}, \quad (2.4)$$

где q_1 – вес мерного сосуда, кг;

q_2 – вес мерного сосуда с порошком, кг;

V – объем мерного сосуда (цилиндра), м³.

6. Производят расчет мерного цилиндра по формуле (2.5):

$$V = S_o \cdot h, \quad (2.5)$$

где S_o – площадь основания цилиндра, мм².

h – высота цилиндра, мм.

Площадь основания цилиндра определяют по формуле (2.6):

$$S_o = \frac{\pi D^2}{4}, \quad (2.6)$$

где D – диаметр основания цилиндра, мм.

С помощью штангенциркуля была измерена высота цилиндра (h), диаметр основания (D) и толщина стенки ($a = 1$ мм). Высота и диаметр соответственно составили:

$$h = 37,5 - 1 = 36,5 \text{ мм};$$

$$D = 50 - 1 \cdot 2 = 48 \text{ мм.}$$

$$S_o = \frac{3,14159 \cdot 48^2}{4} = 1809,556 \text{ мм}^2,$$

$$V = 1809,556 \cdot 36,5 = 66048,8 \text{ мм}^3,$$

Насыпная плотность золы составила:

$$\gamma_n = \frac{(81,775 - 14,905) \cdot 10^{-3}}{66048,8 \cdot 10^{-9}} = 1012,0 \text{ кг/м}^3.$$

Определение истинной плотности золы.

Истинная плотность – отношение массы к объему тела в сжатом состоянии (без учёта пор и зазоров между частицами). Истинная плотность – постоянная физическая характеристика материала, изменение которой не может происходить без изменения химического состава вещества или его молекулярной структуры [38].

Классификация методов определения истинной плотности порошкообразных и сыпучих материалов:

- механические методы;
- титрационные методы;
- газовая пикнометрия (манометрический метод);
- жидкостная пикнометрия [38].

Одним из примеров механического метода является методу, по которому определяется модуль упругости материала при воздействии механической нагрузки на частицы одного размера.

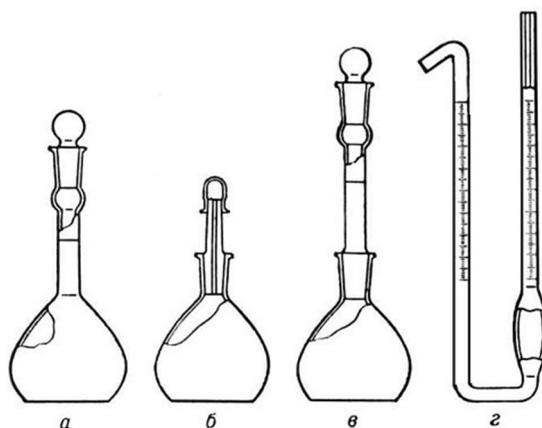
В основе титрационного метода лежит принцип выравнивания плотностей двух легко смешиваемых жидкостей, имеющих разные плотности, с плотностью исследуемого материала.

Манометрический метод основан на измерении изменения давления при замещении воздуха объемом исследуемого материала.

В основе метода жидкостной пикнометрии лежит объемное или весовое определение количества жидкости, которая заполняет поры и капилляры

твёрдого тела, или которая вытесняется твёрдым телом при погружении в жидкость [39].

В данном методе для того, чтобы измерить плотность твёрдого тела, используются сосуды со строго определенным объемом, называемые пикнометрами. На рисунке 2.2 изображены различные типы пикнометров.



а – колбообразный с меткой и глухой притёртой пробкой (для жидкостей);
б – колбообразный с капиллярным отверстием в пробке (для жидкостей);
в – колбообразный со съёмной горловиной (для твёрдых веществ); г – U-образный капиллярный (для летучих жидкостей).

Рисунок 2.2 – Типы пикнометров

Последовательность определения истинной плотности исследуемого порошкообразного материала методом жидкостной пикнометрии:

1. Предварительно высушивают исследуемый материал до постоянной массы при температуре около 105 – 110 °С и охлаждают его до комнатной температуры.

2. Промытый и высушенный пикнометр (на 50 мл) взвешивают (P_0) и заполняют дистиллированной водой в качестве пикнометрической жидкости, доводя до метки пикнометра. Взвешивают наполненный пикнометр (P_3). Опустошают пикнометр, промывают и высушивают.

3. Взвешивают (P_1) сухой, наполненный на треть исследуемым материалом, пикнометр, доливают пикнометрической жидкостью на две трети и устанавливают на термостатирование на 15 – 20 минут в предварительно нагретую песчаную баню.

4. По истечении времени термостатирования извлекают и остужают пикнометр до комнатной температуры.

5. Доводят дистиллированной водой в пикнометре до метки и взвешивают (P_2).

6. Определяют истинную плотность материала по расчетной формуле (2.7):

$$d = \frac{P_1 - P_0}{P_3 + (P_1 - P_0) - P_2}, \text{ г/см}^3, \quad (2.7)$$

где P_0 – вес пустого пикнометра, г;

P_1 – вес пикнометра с навеской, г;

P_2 – вес пикнометра с навеской и пикнометрической жидкостью, г;

P_3 – вес пикнометра с пикнометрической жидкостью, г.

7. Проводят несколько параллельных определений и вычисляют среднее значение истинной плотности.

Результаты трех параллельных определений сведены в таблицу 2.1.

Таблица 2.1 – Результаты трех параллельных определений

Наименование	I	II	III
P_0	31,144	26,558	26,702
P_1	40,544	35,983	36,128
P_2	86,588	81,949	82,089
P_3	81,168	76,588	76,654

Значения истинной плотности золы при трех параллельных испытаниях:

$$d_1 = \frac{40,544 - 31,144}{81,168 + (40,544 - 31,144) - 86,588} = 2,3618 \text{ г/см}^3,$$

$$d_2 = \frac{35,983 - 26,558}{76,588 + (35,983 - 26,558) - 81,949} = 2,3191 \text{ г/см}^3,$$

$$d_3 = \frac{36,128 - 26,702}{76,654 + (36,128 - 26,702) - 82,089} = 2,3618 \text{ г/см}^3.$$

Среднее значение истинной плотности исследуемой золы:

$$d_{\text{ср}} = \frac{d_1 + d_2 + d_3}{3} = \frac{2,3618 + 2,3191 + 2,3618}{3} = 2,348 \text{ г/см}^3.$$

Критерии качества золы.

Для перспективного использования золошлаковых материалов в строительных и других областях необходимо определить следующие основные показатели:

1. Модуль основности (гидравлический модуль) M_0 – определяется отношением содержания основных оксидов к общему содержанию кислотных оксидов. Если значение модуля основности больше единицы, то золошлаковый материал является основным и обладает вяжущими свойствами, если меньше единицы – кислым, с возможностью использования его как гидравлическую добавку [40]. Расчетная формула (2.8) имеет вид, учитывающий влияние щелочных компонентов, то есть включает в себя оксид калия и оксид натрия (в % масс.):

$$M_0 = \frac{CaO + K_2O + MgO + Na_2O}{Al_2O_3 + SiO_2} = \frac{3,18 + 1,72 + 1,07 + 0,84}{20,48 + 49,89} = 0,097. \quad (2.8)$$

2. Силикатный модуль M_c – определяется отношением реакционноспособного оксида кремния к общему содержанию оксида алюминия и оксида железа. Расчетная формула (2.9) для определения силикатного модуля имеет вид:

$$M_c = \frac{SiO_2}{Al_2O_3 + Fe_2O_3} = \frac{49,89}{20,48 + 9,08} = 1,688. \quad (2.9)$$

3. Гидравлическая активность K – характеризуется скоростью изменения степени гидратации вяжущих веществ. Она определяется отношением общего количества оксидов, которые в той или иной степени повышают

гидравлическую активность, к общему количеству оксидов, которые снижают гидравлическую активность. Влияние основных оксидов CaO и MgO на гидравлическую активность золошлака заключается в следующем: наличие оксида кальция и оксида алюминия ведет к повышению гидравлической активности, а наличие оксида кремния, который находится в избытке по отношению к оксидам алюминия и кальция, ведет к торможению процессов кристаллизации и гидратации соединений золошлака, при этом уменьшается их активность [41].

Расчетная формула (2.10) для определения гидравлической активности имеет вид:

$$K = \frac{CaO+MgO+Al_2O_3}{SiO_2+TiO_2} = \frac{3,18+1,07+20,48}{49,89+0,76} = 0,488. \quad (2.10)$$

Определение влажности золы.

Влажность материала – одна из важнейших характеристик технического материала.

Влажность золы определяется методом высушивания при 105 °С.

Методика определения влажности золы методом высушивания состоит в следующем:

1. Подготавливают несколько тиглей для параллельных определений.
2. Подготовленные, высушенные тигли взвешивают (m_1), значения записывают.
3. В каждый тигель укладывают одинаковые навески исследуемой золы, неплотно закрывают, взвешивают (m_2) и записывают значения.
4. Взвешенные тигли с образцами высушивают в сушильном шкафу до постоянной массы при температуре около 105 °С.
5. После высушивания тигли извлекают из шкафа, остужают до комнатной температуры и взвешивают (m_3).
6. Рассчитывают значения влажности по формуле (2.11), а затем рассчитывают среднеарифметическое значение по формуле.

$$W = \frac{m_2 - m_3}{m_3 - m_1} \cdot 100 \%, \quad (2.11)$$

где m_1 – масса пустого тигля, г;

m_2 – масса тигля с образцом до высушивания, г;

m_3 – масса тигля с образцом после высушивания, г.

Таблица 2.2 – Результаты взвешивания

	I	II	III
m_1	14,644	14,126	15,442
m_2	17,695	17,178	18,489
m_3	17,682	17,165	18,477

Среднее значение влажности золы составило:

$$W_{\text{ср}} = \frac{0,43 + 0,43 + 0,40}{3} = 0,42 \%$$

Гранулометрический состав золы.

Гранулометрический состав золы определяют методом ситового анализа по ГОСТ 9758-2012 [42].

Методика определения гранулометрического состава:

1. Пробу анализируемой золы небольшими порциями просеивают через одно или несколько сит, установленных друг на друга от большего к меньшему размеру отверстий сит. Число сит должно быть от 5 до 20.

2. Для механического способа просеивания сита устанавливаются на вибростол или другое специальное устройство.

3. Просеивание производят в течение 15 – 20 минут, и считают законченным, если при неоднократном встряхивании из сита не выпадают зерна исследуемого материала. Зерна, застрявшие в отверстиях сетки, стряхивают мягкой кистью и отправляют к следующей фракции.

5. После просеивания каждую фракцию, оставшиеся на ситах и поддоне, взвешивают и вычисляют выход каждой фракции в процентах по формуле (2.13):

$$a_i = \frac{M_0}{m_i} \cdot 100 \%, \quad (2.13)$$

где a_i – выход фракции, %;

M_0 – масса первоначальной навески, г;

m_i – масса фракции, г.

6. Потери, определяемые как разность между массой первоначальной навески и суммой масс фракций, полученных в процессе просеивания, не должны превышать 1 %, иначе просеивание повторяют снова.

В данной работе взята навеска золы 120 г, набор сит с размером ячеек: 0,1, 0,25, 0,315 и 0,5 мм. Использовался лабораторный вибростол Veb MLW с выставленной интенсивностью на 8.

2.2.2 Определение массовой доли воды в сере.

Массовая доля воды в технической сере должна быть в пределах 0,25 – 1,0 % масс. Определение проводят по ГОСТу 30355.3-96 (ИСО 3426-75) [43].

Методика определения массовой доли воды в сере:

1. Подготавливают несколько тиглей для параллельных определений.
2. Подготовленные, высушенные тигли взвешивают (m_1), значения записывают.
3. В каждый тигель укладывают одинаковые навески исследуемой серы, неплотно закрывают, взвешивают (m_2) и записывают значения.
4. Взвешенные тигли с образцами высушивают в сушильном шкафу до постоянной массы при температуре $(80 \pm 2) ^\circ\text{C}$.
5. После высушивания тигли извлекают из шкафа, остужают до комнатной температуры и взвешивают (m_3).
6. Рассчитывают значения влажности по формуле (2.14), а затем рассчитывают среднеарифметическое значение.

$$W = \frac{m_2 - m_3}{m_3 - m_1} \cdot 100 \%, \quad (2.14)$$

где m_1 – масса пустого тигля, г;

m_2 – масса тигля с образцом до высушивания, г;

m_3 – масса тигля с образцом после высушивания, г.

Таблица 2.3 – Результаты взвешивания

	I	II	III
m_1	13,516	15,521	15,439
m_2	15,528	17,257	17,445
m_3	15,523	17,253	17,441

Среднее значение массовой доли воды в сере составило:

$$W_{\text{ср}} = \frac{0,25 + 0,2 + 0,2}{3} = 0,22 \%$$

2.2.3 Подготовка образцов.

Метод вибрационного уплотнения.

В.М. Витюгин в своем исследовании [44, 45] показал, что вибрационное уплотнение аналогично процессу окатывания. Из опыта применения вибрационных воздействий в формировании порошков, уплотнения грунтов известно [46], что при этом достигается наиболее плотная упаковка частиц, приближающаяся к теоретически возможной. Воздействие вибрации приводит к изменению поведения уплотняемого материала, вызванному проявлением реологических эффектов, уменьшающих силы трения и сцепления между частицами материала и в целом снижающих сопротивление его деформированию.

Состояние максимального уплотнения материала без разрушения отдельных частиц определяется по подвижности жидкой фазы в поровом пространстве. Так как поровая жидкость практически несжимаема в условиях процесса окатывания, то нулевая подвижность ее будет соответствовать максимальному уплотнению частиц. Влажность, которая соответствует данному уплотнению дисперсного материала, будет нижним пределом рабочей влажности, начинающей процесс окатывания.

Виброуплотнение – это физическая модель гранулирования. При нем происходят те же процессы, что и при гранулировании. Также, данный процесс возможно проводить с небольшим количеством материалов.

Для данного процесса может быть использован лабораторный вибростол. Регулированием интенсивности вертикальных вибраций можно устанавливать оптимальный режим работы вибростола, который позволяет при заданных рабочих параметрах достигать максимально высокого качества выходного изделия.

Получение образцов методом вибрационного уплотнения осуществлялось следующим образом:

1. В матрицу (металлический цилиндр) укладывается смесь из исследуемых материалов.
2. С помощью пуансона в виде металлического цилиндрического утяжелителя смесь плотно прижимается.
3. Цилиндр вместе с уплотненным материалом и утяжелителем устанавливается на вибростол.
4. В течение 10 – 15 минут на максимальной мощности происходит виброуплотнение.
5. После виброуплотнения образец извлекается из формы.

Получение смеси.

Метод получения смеси заключается в смешении всех компонентов смеси в нагретом до 143 – 145 °С состоянии. Смесь составляется на основании полученных методом виброуплотнения образцов.

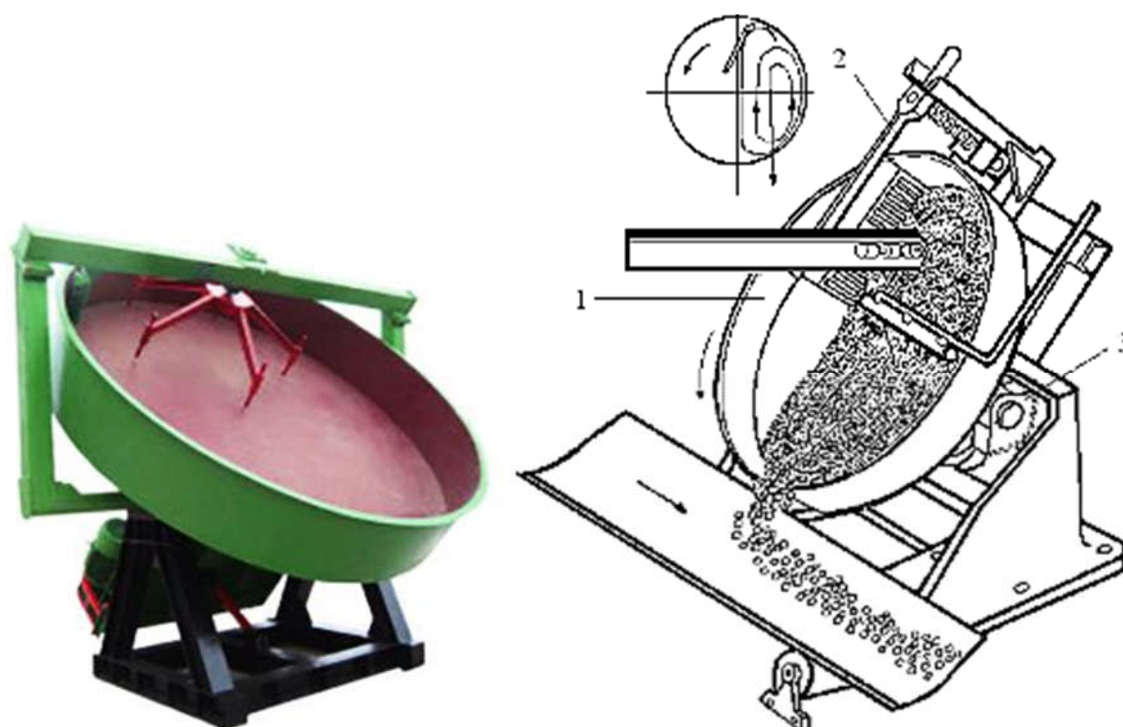
Гранулирование.

Гранулирование дисперсных материалов методом окатывания представляет собой процесс превращения сухой сыпучей или влажной бесформенно агрегированной дисперсной системы в одинаковые по размеру, плотности и прочности шарообразные гранулы [33].

Преимуществом гранулирования методом окатывания является сам процесс формирования агрегата (гранулы). Например, в процессе брикетирования процесс формирования гранул происходит последовательно и с использованием значительного внешнего давления, в то время как при окатывании процесс формирования гранул и их укрупнение происходит одновременно во многих точках гранулятора. Поэтому процесс окатывания является более продуктивным.

Гранулирование методом окатывания можно проводить в различных грануляторах, например барабанных или тарельчатых.

Схема тарельчатого гранулятора изображена на рисунке 2.3.



Слева – внешний вид гранулятора; справа – схема образования окатышей:
1 – чаша; 2 – скребки; 3 – механизм изменения угла наклона чаши.

Рисунок 2.3 – Схема устройства тарельчатого гранулятора

Рабочий режим гранулятора подбирают таким образом, чтобы на выходе получить гранулы необходимого размера. Оптимальный рабочий режим достигается варьированием угла наклона тарели, мест подачи шихты на тарель, точек доувлажнения шихты, а также варьированием положения скребков на тарели.

Таблетирование.

Таблетирование представляет собой процесс формования порошкообразных материалов в заготовки правильной геометрической формы, которые являются однородными по размеру и массе. Процесс формования протекает под действием сжимающих усилий.

Данный процесс необходим для более удобного хранения материала, а также его можно использовать как физическую модель воздействия на готовый продукт, то есть приближенную к реальным условиям.

Методика проведения процесса:

1. Готовую смесь или гранулы из смеси засыпают в матрицу примерно на две трети объема.
2. При помощи пуансона смесь уплотняют.
3. Матрицу с материалом и пуансом устанавливают под пресс.
4. С помощью рычага устанавливают определенное давление, некоторое время выдерживают, затем воздействие прекращают, матрицу извлекают из пресса, готовую таблетку в виде цилиндра извлекают из матрицы.

2.2.4 Методы исследования образцов.

Определение механической прочности.

Прочность гранул является одним из основных показателей их качества. Для дальнейшей переработки гранул их прочность не должна быть сильно высокой, но и малопрочные гранулы могут разрушиться во время транспортировки. Поэтому они должны обладать достаточной для транспортировки прочностью.

Одним из простейших методов определения механической прочности гранул является прочность при раздавливании. Но поскольку гранулы не всегда имеют форму идеального шара, а зачастую имеют неровные края, в таком случае усилие, прилагаемое для раздавливания гранулы, не будет равномерно распределено. Таким образом, будет затруднительно определить удельное давление разрушения. Поэтому прочность гранулы находят как отношение средней разрушающей силы гранул к ее площади [47]. Расчет ведут по следующей формуле (2.15):

$$X = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{n \cdot S} = \sum_{i=1}^n P_i / n \cdot \frac{\pi d_{\text{cp}}^2}{4}, \quad (2.15)$$

где P_i – сила, необходимая для разрушения одной гранулы, Н;

S – площадь поперечного сечения гранулы, см²;

n – количество исследованных гранул;

d_{cp} – средний диаметр гранул, условно определяемый среднеарифметическим значением диаметра гранул основной фракции, см.

Методика определения:

1. Отбирают пинцетом несколько гранул, форма которых наиболее приближается к сферической, и помещают в герметичную емкость, чтобы не изменилась их влажность.

2. На специальном устройстве или на лабораторных весах гранулы поочередно разрушают и определяют силу.

Если используются весы, то принцип действия такой: на одной чаше весов устанавливается образец, на другой – противовес. Далее постепенно устанавливается груз, и до тех пор, пока образец не разрушится.

Внешний вид прибора, на котором определяли прочность, представлен на рисунке 2.4.



Рисунок 2.4 – Прибор для определения прочности при раздавливании

Определение влажности гранул.

Влажность гранул определяется по той же методике, что и влажность золы, то есть методом высушивания при 105 °С.

Таблица 2.4 – Результаты взвешивания

	I	II	III
m_1	15,029	15,252	14,861
m_2	18,491	18,781	18,174
m_3	18,429	18,718	18,102

Среднее значение влажности золы составило:

$$W_{\text{ср}} = \frac{1,824 + 1,817 + 2,222}{3} = 1,954 \%$$

Определение водопоглощения.

Водопоглощением является способность различных материалов и изделий впитывать и удерживать влагу в своих капиллярах и порах.

Методика определения водопоглощения следующая:

1. Образцы в виде цилиндров предварительно взвешиваются.

2. Образцы помещают в емкость так, чтобы уровень воды в емкости был выше верхнего уровня уложенного образца примерно на 50 мм.

3. Емкость с водой и образцами устанавливают в термостат, поддерживающий одинаковую температуру.

4. Образцы взвешивают через каждые 24 часа водонасыщения на обычных весах. Для этого вынутые из воды образцы обтирают отжатой влажной тканью, и затем взвешивают.

5. Испытание проводят до тех пор, пока результаты двух последовательных взвешиваний станут отличаться друг от друга не более чем на 0,1 %.

6. Рассчитывают массовое водопоглощение W_M (в %) по следующей формуле (2.16):

$$W_M = \frac{m_B - m_C}{m_C} \cdot 100 \%, \quad (2.16)$$

где m_C – масса высушенного образца, г;

m_B – масса водонасыщенного образца, г.

Водопоглощение полученного образца составило:

$$W_M = \frac{8,643 - 8,608}{8,608} \cdot 100 \% = 0,41 \%$$

2.2.5 Получение асфальтовой смеси.

Из полученных гранул путем смешения с щебнем (в количестве 30 % масс.) с размером частиц от 10 до 15 мм при нагревании до температуры 130 °С получена асфальтовая смесь. В дальнейшем из данной асфальтовой смеси прессованием (при давлении 63,9 кгс/см² или 6,3 МПа) получены таблетки.

Для полученных таблеток определено водопоглощение и механическая прочность при раздавливании.

Водопоглощение полученного образца составило:

$$W_M = \frac{8,858 - 8,770}{8,770} \cdot 100 \% \approx 1 \%$$

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Целью данного раздела является проектирование и создание конкурентоспособных разработок и технологий, отвечающих предъявляемым требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Достижение цели обеспечивается решением задач:

- разработка общей экономической идеи проекта, формирование концепции проекта;
- организация работ по научно-исследовательскому проекту;
- определение возможных альтернатив проведения научных исследований;
- планирование научно-исследовательских работ;
- оценки коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Целью данной магистерской диссертации является получение гранулированного вяжущего на основе золы Северской ТЭЦ, попутного продукта – серы Норильского горно-металлургического комбината и битумной эмульсии марки ЭБК-1 для дальнейшего использования в дорожном строительстве. Данное вяжущее будет являться модифицированной версией основного компонента асфальтовой смеси – битума, а также использоваться как самостоятельный компонент для безгравийных асфальтов (с малой нагрузкой автотранспорта) и для ямочного ремонта.

4.1 Предпроектный анализ

4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования.

Результатом исследования будет являться решение экологической проблемы, так как зол теплоэнергоцентралей становится все больше, и они складываются в специальных золоотвалах, которые представляют опасность для окружающей среды. Также результатом будет являться готовое битумное вяжущее для дорожного строительства.

Целевым рынком будут являться компании по производству асфальтовых смесей, компании по укладке дорожных одежд и коммунальное хозяйство.

Сегментировать рынок услуг по использованию данного серозолобитумного вяжущего можно по назначению. Результаты представлены в таблице 4.1.

Таблица 4.2 – Карта сегментирования рынка услуг по использованию серозолобитумного вяжущего

	Серозолобитумное вяжущего	
	как полупродукт	как продукт
Компании по производству асфальтовых смесей	+	-
Компании по укладке дорожных одежд	-	+
Коммунальное хозяйство	-	+

4.1.2 Анализ конкурентных технических решений.

Оценочная карта анализа представлена в таблице 4.3. Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1. Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

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

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Таблица 4.3 – Получаемый продукт и аналог

Дорожное покрытие	Производитель
Асфальтовая смесь (B_ϕ)	НИ ТПУ, г.Томск
Асфальтобетон (B_k)	Томский завод по производству асфальтобетона, г.Томск

Таблица 4.4 – Оценочная карта для сравнения конкурентных решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентно-способность	
		B_ϕ	B_k	K_ϕ	K_k
Технические критерии оценки ресурсоэффективности					
1. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,1	5	5	0,5	0,5
2. Экологичность	0,2	4	5	0,8	1,0
3. Прочность	0,125	5	5	0,625	0,625
4. Температура размягчения	0,125	5	3	0,625	0,375
5. Глубина проникновения иглы	0,125	5	3	0,625	0,375
Экономические критерии оценки ресурсоэффективности					
1. Уровень проникновения на рынок	0,125	4	5	0,5	0,625
2. Стоимость	0,2	5	4	1,0	0,8
Итого	1	33	30	4,675	4,3

Опираясь на полученные результаты, можно сделать вывод, что материал, сделанный из исследуемого вяжущего, является наиболее эффективным и целесообразным для использования в дорожном строительстве.

4.1.3 Диаграмма Исикава.

Диаграмма причины-следствия Исикавы (Cause-and-Effect-Diagram) – это графический метод анализа и формирования причинно-следственных связей, инструментальное средство для систематического определения причин проблемы и последующего графического представления.

На рисунке 4.1 представлена диаграмма Исикавы.

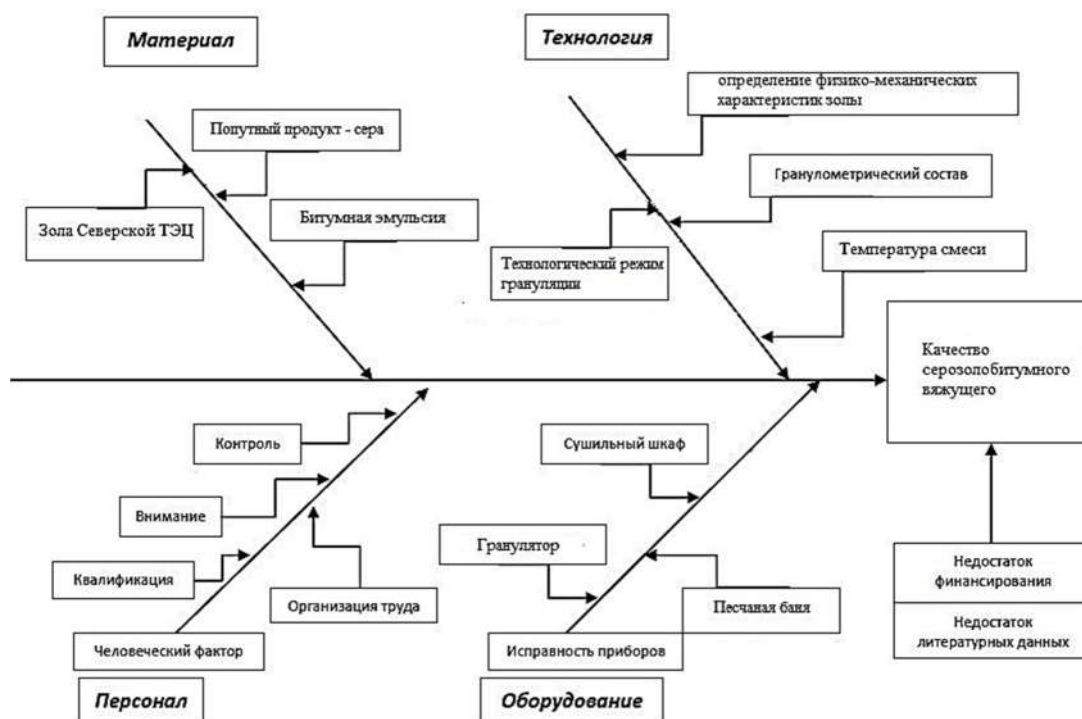


Рисунок 4.1 – Причинно-следственная диаграмма Исикавы

4.1.4 SWOT-анализ.

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта.

В таблице 4.4 представлена интерактивная матрица проекта.

Таблица 4.4 – Интерактивная матрица проекта

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

В матрице пересечения сильных сторон и возможностей имеет определенный результат: «плюс» – сильное соответствие сильной стороны и возможности, «минус» – слабое соотношение.

В результате была составлена итоговая матрица SWOT-анализа, представленная в таблице 4.5.

Таблица 4.5 – Матрица SWOT-анализа

	<p>Сильные стороны проекта: С1 Актуальность выбранной темы С2 Экологичность технологии С3. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями</p>	<p>Слабые стороны проекта: Сл1. Отсутствие достаточного финансирования проектов Сл2. Отсутствие необходимого оборудования для проведения испытания опытного образца</p>
<p>Возможности: В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ В2. Появление спроса на продукт</p>	<p>Заменяет битумное вяжущее в асфальтобетонах, а также может быть использовано как самостоятельное дорожное покрытие.</p>	<p>1. Разработка научного исследования 2. Приобретение необходимого оборудования опытного образца</p>
<p>Угрозы: У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства У2. Ограничение на экспорт технологии У3. Введения дополнительных государственных требований к сертификации продукции</p>	<p>1. Разработка новой технологии с целью появления спроса 2. Изучение законодательной базы 3. Сертификация продукции</p>	<p>1. Разработка научного исследования 2. Приобретение необходимого оборудования опытного образца 3. Разработка новой технологии с целью появления спроса 4. Изучение законодательной базы 5. Сертификация продукции</p>

Таким образом, выполнив SWOT-анализ, можно сделать вывод, что на данный момент преимущества исследуемого вяжущего преобладают над его недостатками. Все имеющиеся несовершенства можно легко устранить, воспользовавшись перечисленными выше возможностями.

4.2 Инициация проекта

Группа процессов инициации состоит из процессов, которые выполняются для определения нового проекта или новой фазы существующего. В рамках процессов инициации определяются изначальные цели и содержание и фиксируются изначальные финансовые ресурсы. Определяются внутренние и внешние заинтересованные стороны проекта, которые будут взаимодействовать и влиять на общий результат научного проекта. Данная информация закрепляется в Уставе проекта.

4.2.1 Цели и результат проекта.

В таблице 4.6 представлены заинтересованные стороны проекта.

Таблица 4.6 – Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
НИ ТПУ, г. Томск	Инновационная отечественная разработка
Дорожное строительство	Получение модифицированного вяжущего для укрепления дорожного покрытия

В таблице 4.7 представлены цели и результат проекта.

Таблица 4.7 – Цели и результат проекта

Цели проекта:	Получение серозолобитумного вяжущего с улучшенными эксплуатационными характеристиками и высокими технологическими свойствами
Ожидаемые результаты проекта:	1. Улучшить технико-экономические показатели 2. Улучшить экологическую ситуацию
Критерии приемки результат проекта:	Адекватность результатов
Требования к результату проекта:	Требование:
	Соответствие качества согласно нормативным документам
	Стандартизация готового продукта

4.2.2 Организационная структура проекта.

Рабочая группа проекта представлена в таблице 4.8.

Таблица 4.8 – Рабочая группа проекта

№ п/п	ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте (Функции)	Трудозатраты, час.
1	Фролова Ирина Владимировна, НИ ТПУ, доцент НОЦ Н.М. Кижнера, руководитель проекта	Координирует деятельность участников проекта	120
2	Бедрицкая Ульяна Васильевна, НИ ТПУ, НОЦ Н.М. Кижнера, магистрант	Выполняет отдельные работы по проекту	500
ИТОГО:			6

4.2.3 Ограничения и допущения проекта.

Ограничения проекта – это все факторы, которые могут послужить ограничением степени свободы участников команды проекта, а так же «границы проекта» – параметры проекта или его продукта, которые не будут реализованных в рамках данного проекта. Ограничения проекта представлены в таблице 4.9.

Таблица 4.9 – Ограничения проекта

Фактор	Ограничения/допущения
1. Бюджет проекта	-
1.1 Источник финансирования	-
2. Сроки проекта:	1.10.2016 – 31.05.2018
2.1 Дата утверждения плана управления проектом	1.10.2016
2.2 Дата завершения проекта	31.05.2018

4.3 Планирование управления научно-техническим проектом

4.3.1 Контрольные события проекта.

В данном разделе определены ключевые события проекта, их даты и результаты, которые должны быть получены по состоянию на эти даты. Эта информация представлена в таблице 4.10.

Таблица 4.10 – Контрольные события проекта

№ п/п	Контрольное событие	Дата	Результат (подтверждающий документ)
1	Литературный обзор по теме проекта	Октябрь, 2016 – Январь, 2017 г.	Литературный обзор в ВКР
2	Постановка цели и задач	Февраль 2017 – Март 2017 г.	Раздел цели и задачи в ВКР
3	Разработка плана экспериментальных работ	Апрель, 2017 г.	План работ
4	Определение физико-механических характеристик золы	Апрель 2017 – Май 2017 г.	Результаты экспериментов, представленных в ВКР
5	Приготовление смеси на основе золы, серы и битумной эмульсии ЭБК-1 и дальнейшее её гранулирование	Сентябрь 2017– Январь 2018 г.	Результаты экспериментов, представленных в ВКР
6	Определение основных характеристик полученных гранул	Январь – Февраль 2018 г.	Результаты экспериментов, представленных в ВКР
7	Обсуждение результатов Доработка экспериментальной части ВКР	Март, 2018 г.	Результаты экспериментов, представленных в ВКР
8	Оформление ВКР	Апрель – июнь 2018 г.	Результаты экспериментов, представленных в ВКР

4.3.2 План проекта.

В рамках планирования проекта необходимо построить календарный график проекта. Линейный график представлен в таблице 4.11.

Таблица 4.11 – Календарный план проекта

Код работ ы (из ИСП)	Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончани я работ	Состав участников (ФИО ответственных)
1	Составление технического задания	14	03.10.16	16.10.16	Фролова И. В., Бедрицкая У. В.
2	Литературный обзор	105	17.10.16	29.01.17	Бедрицкая У. В.
3	Теоретический анализ	21	30.01.17	19.02.17	Бедрицкая У. В.
4	Постановка задачи исследования	14	20.02.17	5.03.17	Фролова И. В., Бедрицкая У. В.
5	Экспериментальна я часть	210	6.03.17	5.02.18	Фролова И. В., Бедрицкая У. В.
6	Обсуждение результатов	20	6.02.18	25.02.18	Фролова И. В., Бедрицкая У. В.
7	Разработка технической документации и проектирование	64	26.02.18	30.04.18	Бедрицкая У. В.
8	Оформление ВКР	31	1.05.18	31.05.18	Бедрицкая У. В.
Итого:		479			

Диаграмма Ганта – это тип столбчатых диаграмм (гистограмм), который используется для иллюстрации календарного плана проекта, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ. График представлен в таблице 4.12.

Таблица 4.12 – Календарный план-график проведения НИОКР по теме работы

Код работ ы (из ИСР)	Вид работ	Исполнитель	Т _к , кал, дн.	2016			2017												2018				
				10.2016	11.2016	12.2016	01.2017	02.2017	03.2017	04.2017	05.2017	06.2017	07.2017	08.2017	09.2017	10.2017	11.2017	12.2017	01.2018	02.2018	03.2018	04.2018	05.2018
1	Составление технического задания	Руководитель, магистрант	14																				
2	Литературный обзор	Магистрант	105																				
3	Теоретический анализ	Магистрант	21																				
4	Постановка задачи исследования	Руководитель, магистрант	14																				
5	Экспериментальная часть	Руководитель, магистрант	210																				
6	Обсуждение результатов	Руководитель, магистрант	20																				
7	Разработка технической документации и проектирование	Магистрант	64																				
8	Оформление ВКР	Магистрант	31																				

 – руководитель;

 – магистрант.

4.3.3 Бюджет научного исследования.

При планировании бюджета научного исследования должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов планируемых расходов, необходимых для его выполнения. В процессе формирования бюджета, планируемые затраты группируются по статьям, представленным в таблице 4.13.

Таблица 4.13 – Группировка затрат по статьям

Стоимость сырья, материалов (за вычетом возвратных отходов), покупных изделий и полуфабрикатов, руб.	Стоимость специального оборудования для научных (экспериментальных) работ, руб.	Основная заработная плата, руб.	Накладные расходы	Отчисления на социальные нужды, руб.	Итого плановая себестоимость, руб.
2845,5	38708,4	233272,3	186617,8	70448,2	531892,2

Сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты.

Расчет стоимости материальных затрат производится по действующим прейскурантам или договорным ценам. В стоимость материальных затрат включают транспортно-заготовительные расходы (3 – 5 % от цены). В эту же статью включаются затраты на оформление документации (канцелярские принадлежности, тиражирование материалов). Результаты по данной статье представлены в таблице 4.14.

Таблица 4.14 – Расчет затрат на сырье и материалы

Наименование	Кол-во	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Зола	2 кг	60	120
Битумная эмульсия	1 кг	20	20
Выпарительная фарфоровая чашка	2 шт	300	600
Бумага фильтровальная	1 уп	150	150
Бюксы	3 шт	150	450
Лабораторный халат х/б	1 шт	1000	1000
Перчатки	10 пар	30	300
Моющее средство для посуды	1 шт	50	50
Ручка шариковая	1 шт	20	20
Всего за материалы:			2710
Транспортно-заготовительные расходы (5 %):			135,5
ИТОГО:			2845,5

Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ.

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стендов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по конкретной теме. Определение стоимости спецоборудования производится по действующим прейскурантам, а в ряде случаев по договорной цене. Результаты по данной статье представлены в таблице 4.15.

Таблица 4.15 – Расчет затрат по статье «Спецоборудование для научных работ»

Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Общая стоимость оборудования, руб.
1. Весы лабораторные аналитические	1	53000
2. Весы лабораторные технические	1	60000
3. Сушильный шкаф	1	50000
4. ПСХ-2	1	15000
5. Вибростол с ситами	1	20000
6. Тарельчатый гранулятор	1	73000
ИТОГО:		271000

В таблице 4.16 представлен расчет по статье «Амортизация оборудования».

Таблица 4.16 – Расчет по статье «Амортизация оборудования»

Наименование оборудования	Общая стоимость оборудования, руб.	Срок службы оборудования, лет	Амортизация, руб.
1. Весы лабораторные аналитические	53000	8	6625
2. Весы лабораторные технические	60000	8	7500
3. Сушильный шкаф	50000	10	5000
4. Тарельчатый гранулятор	73000	15	4867
5. ПСХ-2	15000	15	15000
6. Вибростол с ситами	20000	15	20000
ИТОГО:			58992
За период НИР:			38708,4

Для расчета амортизационных отчислений за год необходимо рассчитать норму амортизации:

$$N_a = \frac{1}{n} \cdot 100\% \quad (4.2)$$

где n – это срок службы оборудования.

Амортизационные отчисления за год рассчитываются по формуле (4.3):

$$AO = \frac{W \cdot N_a}{100} \quad (4.5)$$

где W – это стоимость оборудования.

Амортизационные отчисления за весь период выполнения НИР рассчитывается по формуле (3.3):

$$З_{AO} = \frac{AO \cdot T_{кт}}{T_{кал}} \quad (4.6)$$

где $T_{кт}$ – календарный период выполнения темы, дни ($T_{кт} = 479$ из таблицы 4.11);

$T_{кал}$ – календарный период обучения, дни.

4.3.4 Основная заработная плата.

В данную статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы оплаты труда. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы (размер определяется Положением об оплате труда).

Расчет основной заработной платы приведен в таблице 4.17.

Таблица 4.17 – Расчет основной заработной платы

Наименование этапов	Исполнители по категориям	Трудоемкость, чел.-дн.	Заработная плата, приходящаяся на один чел.-дн., руб.	Всего заработная плата по тарифу (окладам), руб.
1. Составление технического задания, постановка задачи исследования, экспериментальная часть, обсуждение результатов	Руководитель	153	1081,1	26300
2. Составление технического задания, литературный обзор, теоретический анализ, постановка задачи исследования, экспериментальная часть, обсуждение результатов, разработка технической документации и проектирование, оформление ВКР	Магистрант	479	89,5	1854
ИТОГО:				36193,56

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

$$C_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп} \quad (4.7)$$

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

$Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата ($Z_{осн}$) руководителя (лаборанта, инженера) от предприятия (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_{раб} \quad (4.8)$$

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

$T_{\text{раб}}$ – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн. (таблица 3.5);

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}} \quad (4.9)$$

где $Z_{\text{м}}$ – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 24 рабочих дня $M = 11,2$ месяца, 5-дневная неделя;

при отпуске в 48 рабочих дней $M = 10,4$ месяца, 6-дневная неделя;

$F_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн. (таблица 4.18)

Таблица 4.18 – Баланс рабочего времени одного исполнителя НИР

Показатели рабочего времени	Руководитель	Исполнитель
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней:		
- выходные дни	45	90
- праздничные дни	19	19
Потери рабочего времени:		
- отпуск	48	24
- невыходы по причине болезни	-	-
Действительный годовой фонд рабочего времени	253	232

Среднедневная заработная плата руководителя:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{26300 \cdot 10,4}{253} = 1081,1 \text{ руб.}$$

Среднедневная заработная плата магистранта:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{1854 \cdot 11,2}{232} = 89,5 \text{ руб.}$$

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{б}} \cdot (k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}} \quad (4.10)$$

где Z_6 – базовый оклад, руб.;

$k_{пр}$ – премиальный коэффициент, (определяется Положением об оплате труда);

k_d – коэффициент доплат и надбавок (в НИИ и на промышленных предприятиях – за расширение сфер обслуживания, за профессиональное мастерство, за вредные условия: определяется Положением об оплате труда);

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

Месячный должностной оклад руководителя:

$$Z_m = 26300 \cdot 1,3 = 34190 \text{ руб.}$$

Месячный должностной оклад магистранта:

$$Z_m = 1854 \cdot 1,3 = 2410,2 \text{ руб.}$$

Основная заработная плата руководителя (от ТПУ) рассчитывается на основании отраслевой оплаты труда. Основная заработная плата ($Z_{осн}$) руководителя от предприятия рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_{раб}$$

Основная заработная плата руководителя:

$$Z_{осн} = 1081,1 \cdot 153 = 165408,3 \text{ руб.}$$

Основная заработная плата дипломника:

$$Z_{осн} = 89,5 \cdot 479 = 42870,5 \text{ руб.}$$

Расчет основной заработной платы представлен в таблице 4.19.

Таблица 4.19 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	Z_6	$k_{пр}$	k_d	k_p	Z_m , руб.	$Z_{дн}$, руб.	T_p , раб. дн.	$Z_{осн}$, руб.
Руководитель	26300	-	-	1,3	34190	1081,1	153	165408,3
Магистрант	1854	-	-	1,3	2410,2	89,5	479	42870,5

4.3.5 Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала.

В данную статью включается сумма выплат, предусмотренных законодательством о труде, например, оплата очередных и дополнительных

отпусков; оплата времени, связанного с выполнением государственных и общественных обязанностей; выплата вознаграждения за выслугу лет и т.п. (в среднем – 12 % от суммы основной заработной платы).

Дополнительная заработная плата рассчитывается исходя из 10 – 15 % от основной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}} \quad (4.11)$$

где $Z_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата, руб.;

$k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной зарплаты;

$Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата, руб.

В таблице 4.20 приведена форма расчета основной и дополнительной заработной платы (в расчете 12 % от основной заработной платы).

Таблица 4.20 – Заработная плата исполнителей НТИ

Заработная плата	Руководитель	Магистрант
Основная зарплата	165408,3	42870,5
Дополнительная зарплата	19849	5144,5
Итого по статье $C_{\text{зп}}$	185257,3	48015

4.3.6 Отчисления на социальные нужды.

Статья включает в себя отчисления во внебюджетные фонды.

$$C_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (4.12)$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

Отчисления руководителя на социальные нужды (30,2 %):

$$C_{\text{внеб}} = 0,302 \cdot 185257,3 = 55947,7 \text{ руб.}$$

Отчисления магистранта на социальные нужды (30,2 %):

$$C_{\text{внеб}} = 0,302 \cdot 48015 = 14500,5 \text{ руб.}$$

4.3.7 Накладные расходы.

В эту статью включаются затраты на управление и хозяйственное обслуживание, которые могут быть отнесены непосредственно на конкретную тему. Кроме того, сюда относятся расходы по содержанию, эксплуатации и ремонту оборудования, производственного инструмента и инвентаря, зданий, сооружений и др. В расчетах эти расходы принимаются в размере 70 – 90 % от суммы основной заработной платы научно-производственного персонала данной научно-технической организации.

Накладные расходы составляют 80 – 100 % от суммы основной и дополнительной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнение темы.

Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле:

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (4.13)$$

где $k_{\text{накл}}$ – коэффициент накладных расходов.

$$C_{\text{накл}} = 0,8 \cdot (185257,3 + 48015) = 186617,8 \text{ руб.}$$

Электроэнергия, потребляемая оборудованием за период НИР при ставке 3,67 за кВт · ч. Расчет затрат на электроэнергию представлен в таблице 4.21.

Таблица 4.21 – Расчет затрат на электроэнергию

Наименование оборудования	Мощность, кВт	Время работы, ч	Энергозатраты за период выполнения работы, кВт · ч	Затраты на электроэнергию, руб.
1. Весы лабораторные аналитические	0,14	72	10,08	36,99
2. Весы лабораторные технические	0,14	48	6,72	24,66
3. Сушильный шкаф	2,7	108	291,6	1070,17
4. Тарельчатый гранулятор	7,5	2	15	55,05
ИТОГО:				1186,87

Список публикаций

1. Доржиева А. Б., Худорожко У. В. Получение серозолобитумных смесей на основе золы и технической серы // Проблемы геологии и освоения недр: труды XXI Международного симпозиума имени академика М. А. Усова студентов и молодых ученых, посвященного 130-летию со дня рождения профессора М. И. Кучина, Томск, 3-7 апреля 2017 г. Т. 2. – Томск, 2017. – 2017. – Т. 2. – С. 386-388.
2. Бедрицкая У. В., Доржиева А. Б., Анненков А. И. Получение гранулированного серозолобитумного вяжущего для ремонта дорожных покрытий // Высокие технологии в современной науке и технике (ВТСНТ-2017): сборник научных трудов VI Международной научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов, г. Томск, 27–29 ноября 2017 г. – Томск, 2017. – 2017. – С. 235-236.
3. Бедрицкая У. В. Получение вяжущего при смешении золы, серы и битумной эмульсии с перспективой использования его в дорожном строительстве // Проблемы геологии и освоения недр: труды XXII Международного симпозиума имени академика М. А. Усова студентов и молодых ученых, посвященного 155-летию со дня рождения академика В. А. Обручева, 135-летию академика М. А. Усова, основателей Сибирской горно-геологической школы и 110-летию первого выпуска горных инженеров в Сибири, г. Томск, 2 – 7 апреля 2018 г. (принято к печати).