

Школа Инженерная школа новых производственных технологий  
 Направление подготовки 18.04.01 – Химическая технология  
 ООП/ОПОП Процессы и аппараты по переработке минерального и техногенного сырья  
 Отделение школы (НОЦ) НОЦ Н.М. Кижнера

### ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА МАГИСТРАНТА

Тема работы
<b>Использование золошлаковых материалов при производстве тротуарной плитки</b>
УДК 66.046.58/. 591:734.2

Обучающийся

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4ГМ12	Петров Артём Алексеевич		

Руководитель ВКР

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

### КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН, ШБИП	Кащук И.В.	К.т.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ООД, ШБИП	Антоневич О.А.	к.б.н.		

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП/ОПОП, должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент НОЦ Н.М. Кижнера	Тихонов В.В.	К.т.н.		

**ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ООП/ОПОП**

<b>Код компетенции</b>	<b>Наименование компетенции</b>
<b>Универсальные компетенции</b>	
УК(У)-1	Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий
УК(У)-2	Способен управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла
УК(У)-3	Способен организовать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной цели
УК(У)-4	Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном(-ых) языке(-ах), для академического и профессионального взаимодействия
УК(У)-5	Способен анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия
УК(У)-6	Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки
<b>Общепрофессиональные компетенции</b>	
ОПК(У)-1	Способен организовывать самостоятельную и коллективную научно-исследовательскую работу, разрабатывать планы и программы проведения научных исследований и технических разработок
ОПК(У)-2	Способен использовать современные приборы и методики, организовывать проведение экспериментов и испытаний, проводить их обработку и анализировать их результаты
ОПК(У)-3	Способен разрабатывать нормы выработки, технологические нормативы на расход материалов, заготовок, топлива и электроэнергии, контролировать параметры технологического процесса, выбирать оборудование и технологическую оснастку
ОПК(У)-4	Способен находить оптимальные решения при создании продукции с учетом требований качества, надежности и стоимости, а также сроков исполнения, безопасности жизнедеятельности и экологической чистоты
<b>Профессиональные компетенции</b>	
ПК(У)-1	Способен к поиску, обработке, анализу и систематизации научно-технической информации по теме исследования, выбору методик и средств решения задач
ПК(У)-2	Способен обеспечить полный технологический цикл научно-технической разработки и испытаний материалов с заданными свойствами, в т.ч. керамики и композиционных материалов
ПК(У)-3	Способен прогнозировать новые направления научных исследований и опытно-конструкторских разработок и внедрять их в производство
ПК(У)-4	Способен оценивать экономическую эффективность технологических процессов, оценивать инновационно-технологические риски при внедрении новых технологий
ПК(У)-5	Способен проектировать и организовывать учебный процесс по образовательным программам с использованием современных образовательных технологий

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

Школа Инженерная школа новых производственных технологий  
 Направление подготовки 18.04.01 – Химическая технология  
 ООП/ОПОП Процессы и аппараты по переработке минерального и техногенного сырья  
 Отделение школы (НОЦ) НОЦ Н.М. Кижнера

УТВЕРЖДАЮ:  
 Руководитель ООП/ОПОП  
 \_\_\_\_\_ Тихонов В.В.  
 (Подпись) (Дата) (ФИО)

### ЗАДАНИЕ на выполнение выпускной квалификационной работы

Обучающийся:

Группа	ФИО
4ГМ12	Петров Артём Алексеевич

Тема работы:

<b>Использование золошлаковых материалов при производстве тротуарной плитки</b>	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 34-96/с от 03.02.2023

Срок сдачи обучающимся выполненной работы:	23.06.2023г.
--	--------------

#### ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p><b>Исходные данные к работе</b>  <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к функционированию (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.)</i></p>	<p>Данные литературного анализа по вопросу переработки золошлаковых материалов и получение тротуарной плитки.          Объект исследований – золошлаковые материалы после сжигания угля кузбасского бассейна на Северской теплоэлектростанции, сформировавшиеся в виде залежей.          Предмет исследования – переработка золоотвала теплоэлектростанции, получение тротуарной плитки из золы Северской ТЭЦ.          В экспериментальной части описать использованное оборудование, предоставить методики проведения экспериментов, проанализировать полученные результаты, сделать выводы.</p>
---	--

<b>Перечень разделов пояснительной записки подлежащих исследованию, проектированию и разработке</b>	Введение, обзор литературы, объект и методы исследования, результаты проведенного исследования, финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение, социальная ответственность, заключение
<b>Перечень графического материала</b> <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	Презентация в MS PowerPoint; Лист 1 – Технологическая схема А1; Лист 2 – Результаты исследования А2
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b> <i>(с указанием разделов)</i>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
1. Теоретическая часть. 2. Экспериментальная часть.	Тихонов В.В.
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Кащук Ирина Вадимовна
Социальная ответственность	Антоневич Ольга Алексеевна
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на иностранном языке:</b>	
Введение, теоретическая часть	

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	03.02.2023
---	------------

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Тихонов В.В.	К.Т.Н.		03.02.2023

**Задание принял к исполнению обучающийся:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4ГМ12	Петров Артём Алексеевич		03.02.2023

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

Школа Инженерная школа новых производственных технологий  
 Направление подготовки 18.04.01 – Химическая технология  
 ООП/ОПОП Процессы и аппараты по переработке минерального и техногенного сырья  
 Отделение школы (НОЦ) НОЦ Н.М. Кижнера  
 Период выполнения весенний семестр 2022/2023 учебного года

### КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Обучающийся:

Группа	ФИО
4ГМ12	Петров Артём Алексеевич

Тема работы:

<b>Использование золошлаковых материалов при производстве тротуарной плитки</b>
---

Срок сдачи обучающимся выполненной работы:	23.06.2023г.
--	--------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
01.07.2023	Основная часть	75
01.07.2023	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	15
01.07.2023	Социальная ответственность	10

**СОСТАВИЛ:**

**Руководитель ВКР**

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

**СОГЛАСОВАНО:**

**Руководитель ООП/ОПОП**

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

**Обучающийся**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4ГМ12	Петров А.А.		

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
4ГМ12	Петров Артём Алексеевич

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

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

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

### Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

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

### Перечень графического материала

1. <i>Оценка конкурентоспособности ИР</i>
2. <i>Матрица SWOT</i>
3. <i>Диаграмма Ганта</i>
4. <i>Бюджет НИ</i>
5. <i>Основные показатели эффективности НИ</i>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	01.02.2023
--	------------

### Задание выдал консультант:

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент ОСГН ШБИП	Кашук Ирина Вадимовна	К.Т.Н доцент		08.02.2023

### Задание принял к исполнению студент:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
4ГМ12	Петров Артём Алексеевич		08.02.2023

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

<b>Группа</b> 4ГМ12		<b>ФИО</b> Петров Артём Алексеевич	
<b>Школа</b>	Инженерная школа новых производственных технологий	<b>Отделение (НОЦ)</b>	Н.М.Кижнера
<b>Уровень образования</b>	магистратура	<b>Направление/специальность</b>	18.04.01 Химическая технология

Тема ВКР:

<b>Использование золошлаковых материалов при производстве тротуарной плитки</b>	
<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	
<p><b>Введение</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения.</li> <li>– Описание рабочей зоны (рабочего места) при разработке проектного решения/при эксплуатации</li> </ul>	<p><i>Объект исследования:</i> золошлаковые материалы после сжигания угля кузбасского бассейна Северской теплоэлектростанции, сформировавшиеся в виде залежей.</p> <p><i>Область применения:</i> строительная отрасль</p> <p><i>Рабочая зона:</i> лаборатория</p> <p><i>Размеры помещения:</i> 7*8 м</p> <p><i>Количество и наименование оборудования рабочей зоны:</i> шаровая мельница для измельчения твердых материалов, смеситель для перемешивания, анализатор ситовой с виброприводом для отделения требуемой фракции.</p> <p><i>Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне:</i> приготовление бетонной смеси, виброуплотнений полуфабриката, формовка готового продукта</p>
<b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>	
<p><b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при разработке проектного решения:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</li> </ul>	<p>ГОСТ 12.2.049-80 ССБТ. Оборудование производственное. Общие эргономические требования.</p> <p>ГОСТ 12.2.033-78 Система стандартов безопасности труда. Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования.</p> <p>ФЗ "О персональных данных" от 27.07.2006 N 152-ФЗ</p> <p>"Трудовой кодекс Российской Федерации" от 30.12.2001 N 197-ФЗ.</p> <p>ТК РФ Статья 102. Работа в режиме гибкого рабочего времени.</p> <p>ПНД Ф 12.13.1-03 Методические рекомендации. Техника безопасности при работе в аналитических лабораториях (общие положения).</p> <p>Федеральный закон от 28 декабря 2013 г. N 426-ФЗ "О специальной оценке условий труда."</p> <p>СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания»</p>
<p><b>2. Производственная безопасность при разработке проектного решения:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов</li> <li>– Расчет уровня опасного или вредного производственного фактора</li> </ul>	<p><b>Опасные факторы:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Неподвижные режущие, колющие, обдирающие, разрывающие части твердых объектов;</li> <li>2. Производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий;</li> </ol> <p><b>Вредные факторы:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Повышенный уровень локальной вибрации;</li> <li>2. Повышенный уровень шума;</li> <li>3. Отсутствие или недостаток необходимого ис-</li> </ol>

	<p>кусственного освещения;</p> <p>4. Производственные факторы, обладающие свойствами психофизиологического воздействия на организм человека (активное наблюдение за ходом производственного процесса, монотонность труда, перенапряжение анализаторов);</p> <p>5. Аэрозоли преимущественно фиброгенного действия.</p> <p><b>Требуемые средства коллективной и индивидуальной защиты от выявленных факторов:</b> использование защитных костюмов, виброизолирующие рукавицы, перчатки, виброизолирующая обувь, беруши, наушники, респираторы, защитные ограждения.</p> <p><b>Расчет:</b> расчет системы искусственного освещения</p>
<p><b>3. Экологическая безопасность при разработке проектного решения</b></p>	<p><b>Воздействие на селитебную зону:</b> отсутствует</p> <p><b>Воздействие на литосферу:</b> твердые бытовые отходы</p> <p><b>Воздействие на гидросферу:</b> отсутствует.</p> <p><b>Воздействие на атмосферу:</b> выбросы загрязняющих веществ сернистого ангидрида, диоксида серы и оксида азота в атмосферу при складировании золошлаковых материалов.</p>
<p><b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях при разработке проектного решения</b></p>	<p>Возможные ЧС:</p> <p>Техногенные аварии, связанные с возникновением пожара в помещении лаборатории и авария электроэнергетических систем в помещении лаборатории</p> <p>Наиболее типичная ЧС: пожар при неверной эксплуатации вибростола</p>
<p>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</p>	

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Антоневич Ольга Алексеевна	к.б.н		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4ГМ12	Петров Артём Алексеевич		



## РЕФЕРАТ

Магистерская работа изложена на 152 страницах, включая 31 рисунок, 34 таблиц, 64 источник и одно приложение.

Ключевые слова: зола, цемент, прочность, вибропрессование, вибролитье, тротуарная плитка.

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

Цель работы – определение возможности использования золошлакового материала Северской ТЭЦ в качестве источника вторичного ресурса для получения тротуарной плитки.

Установлена принципиальная возможность получения вибролитьевым методом тротуарной плитки с использованием золошлаковых материалов.

Определены физико-химические исходного сырья - фракционный, химический, минералогический состав.

Выбран и рассчитан состав мелкозернистого бетона в соотношении цемент к песку- 1:3.

Определены физико-механические свойства тротуарной плитки: прочность на сжатие и на изгиб, водопоглощение по массе и по объему, истираемость, пористость.

Степень внедрения: результаты данной выпускной квалификационной работы могут быть использованы в качестве практической основы для приготовления строительных изделий.

Область применения: изготовление строительных материалов (тротуарной плитки).

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

## ABSTRACT

The master's work contains 152 pages, 58 figures, 34 tables, 64 literature sources, 1 annex, 2 sheets of graphic material in A1 format, 1 sheet of graphic material in A2 format.

Key words: ash, cement, strength, vibrocompression, vibrocasting, paving slabs.

The object of the study is ash and slag materials after the combustion of coal from the Kuzbass basin at the Seversk thermal power plant, formed in the form of deposits.

The purpose of the work is to determine the possibility of using the ash and slag material of the Seversk CHPP as a source of a secondary resource for the production of paving slabs.

The fundamental possibility of obtaining paving slabs using the ash-and-slag materials by the vibrating casting method has been established.

The physical-chemical and physical-mechanical properties of the feedstock were determined: fractional composition, chemical composition, mineralogical composition, crushing strength under static conditions.

The composition of fine-grained concrete was selected and calculated in the ratio of cement to sand - 1/3. The resulting paving slabs were tested for compressive and bending strength, water absorption, abrasion and frost resistance.

Degree of implementation: the results of this final qualifying work can be used as a theoretical basis for the preparation of building products. Scope: production of construction materials (paving slabs).

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

## Оглавление

ВВЕДЕНИЕ.....	14
1 ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ .....	17
1.1 Происхождение исходного сырья.....	17
1.2 Виды тротуарной плитки .....	21
1.3 Характеристики тротуарных плит .....	23
1.4 Технологии производства тротуарной плитки .....	27
1.5 Постановка задачи исследования.....	40
2. МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЯ .....	42
2.1 Характеристика объектов исследования.....	42
2.1.1 Портландцемент .....	42
2.1.2 Мелкий заполнитель .....	44
2.1.3 Наполнитель зола-уноса .....	44
2.2 Методика определения фракционного состава .....	45
2.3 Методика получения строительных изделий .....	46
2.4 Методика подбора состава мелкозернистого бетона.....	47
2.5 Методика расчет состава мелкозернистого бетона.....	51
2.6 Методика определения предела прочности при изгибе .....	54
2.7 Методика определения предела прочности при сжатии .....	55
2.8 Методика определения водопоглощения.....	56
2.9 Методика определения истираемости.....	58
3 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ.....	62
3.1 Определение фракционного состава золы .....	62
3.2 Химический состав золы.....	64
3.3 Рентгеновская дифрактограмма .....	66
3.4 Определение компонентного состава мелкозернистого бетона .....	70
3.5 Определение предела прочности образцов при изгибе .....	71
3.6 Определение предела прочности образцов на сжатие.....	73
3.7 Определение водопоглощения, открытой пористости и кажущейся плотности образцов.....	75
3.8 Определения истираемости образцов.....	79
3.9 Обсуждение результатов.....	81

4	ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....	84
4.1	Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	84
4.1.1	Анализ конкурентных технических решений .....	84
4.1.2	SWOT-анализ.....	86
4.2	Планирование научно-исследовательских работ .....	89
4.2.1	Структура работ в рамках научного исследования .....	89
4.2.2	Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения .....	90
4.3	Бюджет научно-технического исследования.....	94
4.3.1	Расчет материальных затрат научно-технического исследования	95
4.3.2	Расчет амортизации специального оборудования .....	96
4.3.3	Основная заработная плата исполнителей темы.....	97
4.3.4	Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления) ...	99
4.3.5	Накладные расходы.....	100
4.3.6	Бюджет НИР .....	100
4.4	Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	101
5	СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....	106
5.1	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .	107
5.1.1	Специальные правовые нормы трудового законодательства.....	107
5.1.2	Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя .....	108
5.2	Производственная безопасность .....	108
5.2.1	Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования.....	109
5.2.2	Неподвижные режущие, колющие, обдирающие, разрывающие части твердых объектов .....	110
5.2.3	Производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий .....	111
5.2.4	Повышенный уровень локальной вибрации.....	112

5.2.5	Повышенный уровень шума .....	113
5.2.6	Производственные факторы, связанные с отсутствием или недостатком необходимого искусственного освещения .....	114
5.2.7	Производственные факторы, обладающие свойствами психофизиологического воздействия на организм человека (активное наблюдение за ходом производственного процесса, монотонность труда, перенапряжение анализаторов) .....	119
5.2.8	Аэрозоли преимущественно фиброгенного действия .....	120
5.3	Экологическая безопасность .....	121
5.4	Безопасность в чрезвычайных ситуациях .....	122
5.4.1	Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований .....	122
5.4.2	Анализ возможных ЧС, которые могут возникнуть в лаборатории при проведении исследований.....	122
5.4.3	Анализ наиболее типичных ЧС, которые могут возникнуть в лаборатории при проведении исследований.....	123
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....		126
Список использованной литературы.....		129
1.	Vibrated concrete and sidewalk slabs based on them in modern construction. 138	
2.	Modifiers for vibro-pressed concretes .....	141
3.	The increase in durability of vibro-pressed concrete paving slabs.....	144
4.	The methods for studying the properties of raw materials and concrete pavement slabs .....	148
References .....		151

## **ВВЕДЕНИЕ**

На данный момент в Российской Федерации действует 179 теплоэлектростанций (ТЭС), работающих на угольном топливе, что составляет порядка 30 % мощностей всех ТЭС. Утилизируется и используется всего лишь 10 % золошлаковых отходов (ЗШО), остальные 22,5 миллионов тонн ежегодно складироваться на золоотвалах угольных ТЭС в дополнение к накопленным ранее 1,5 миллиардов тонн [1].

Современные проблемы переработки золошлаковых отходов зачастую поднимаются на всех уровнях власти: на общегосударственном уровне, ведомственном и корпоративном. В феврале 2019 года Комитетом по энергетике Государственной думы РФ было проведено собрание на тему «Законодательное регулирование использования золошлаковых отходов угольных ТЭС». В ходе этого заседания было озвучено мнение, что несмотря на то, что актуальная проблема утилизации и полезного использования ЗШО, которая связана с экономикой и экологией страны, обсуждается уже почти 20 лет, проблема продолжает оставаться одной из животрепещущей в энергетической отрасли [2].

Ситуация с переработкой и применением ЗШО в промышленности фактически не улучшается, так как использование золошлаков находится на минимальном уровне, а именно: меньше 2,5 млн. тонн в год или не более 10 % от объема годового выхода отходов. В рамках брифинга было подчеркнуто, что лишь в ряде регионов (Новосибирской, Кемеровской и Иркутской областях) уже имеются практические результаты по эффективной утилизации и переработке золы и шлака, их применению в качестве сырья и материалов в отраслях строительства, сельского хозяйства и изготовлении строительной продукции.

Экология больших городов ухудшена, в том числе, и из-за городских площадей, занятых золоотвалами.

По имеющимся данным [3] - в других странах переработка и использование ЗШО координируется в рамках национальных и международных ассоциаций, таких, как Европейская ассоциация продуктов сжигания угля, Американская ассоциация угольной золы, Германская ассоциация по маркетингу минеральных продуктов.

Транспортировка и захоронение накапливаемых объемов ЗШО с применением традиционных гидравлических систем в России имеет негативные экологические аспекты: потребление воды, занятие и загрязнение земель, образование сточных вод, влияние на грунтовые воды, потенциальное загрязнение воздуха при пылении золоотвалов.

Поэтому для радикального повышения уровня экологической безопасности тепловой электростанции решение проблемы утилизации ЗШО - обязательное условие. В странах Евросоюза «наилучшим доступным методом» обращения с ЗШО признано их полезное использование.

Стоит отметить, что сами золоотвалы не выносятся за территорию городов и, как правило, находятся в непосредственной близости от ТЭЦ, соединяясь с ней системами трубопроводов для подачи отработанной оборотной воды в смеси с золами (гидропульпы).

Существующая проблема утилизации техногенных продуктов и отходов заводов по производству химического сырья выработки энергии обостряется с каждым годом. Для этих отходов отводятся лишние гектары земли для хранения. К примеру, Томская ГРЭС-2 за время своей работы организовала 2 золоотвала.

Первый золоотвал - в 1973 году в долине реки Ушайки. К 2003 было насчитано около 450 тыс. тонн золошлака на территории в 35,8 га. Второй – в 1986 году в долине реки Малой Киргизки. К 2003 году было насчитано около 1251 тыс. тонн на 60,9 га [3].

На тепловых электростанциях нашей страны используются многие виды топлива, однако основная масса зол и шлаков (96-97 %) образуется при сжигании углей и горючих сланцев. Зольная часть присутствует в любом

растении, но ее содержание, как правило, не превышает 1 %. При захоронении отмерших растений происходит одновременное внесение в пласт зерен песка, частиц глины и других примесей.

В процессе углефикации растительных остатков летучие удаляются и относительное содержание негорючей (зольной) части увеличивается. Одновременно в результате окисления органических соединений серы возникают минеральные новообразования в виде сульфидов железа и марганца. Важной причиной повышения зольности твердого топлива служит разубоживание угля и сланца при разработке месторождения – включение в добытую продукцию прослоек негорючих пород, находящихся внутри пласта угля, в его кровле и подошве [4].

Рядовое топливо, отгружаемое потребителям, представляет собой весьма неоднородный продукт. Одним из главных компонентов минеральной части углей и сланцев, определяющих возможности и условия практического применения топливных отходов, является оксид кальция карбонатных минералов (кальцита, доломита).

Решением данной проблемы является рациональное и эффективное использование золошлаковых материалов в строительной отрасли, в частности, в данной магистерской диссертации будет рассмотрена возможность производства тротуарной плитки с применением золошлаковых материалов.

Актуальность работы связана с расширением сырьевой базы для производства тротуарного камня в Сибирском регионе и частичным снижением экологической нагрузки от золоотвалов за счет сокращения их объемов в случае реализации крупномасштабного производства тротуарного камня на основе высококальциевой золы.

Изготовление плитки из золы-уноса более выгодно и технологически удобно – исключаются процессы добычи, дробления и измельчения, нет необходимости добавления цемента.



# 1 ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

## 1.1 Происхождение исходного сырья

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

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

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

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

К основным задачам, стоящим перед технологическими исследованиями при изучении техногенных образований, относятся [7]:

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

Проблема использования отходов в качестве вторичного сырья является актуальной и требует разработки решений. Одной из важнейших проблем, стоящих перед угольной энергетикой России, является накопление шлакозольных отходов (ЗШО) угольных электростанций. Для принятия решения об эффективности использования золоотвалов, необходимо проведение комплекса технологических и физико-механических испытаний [5].

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

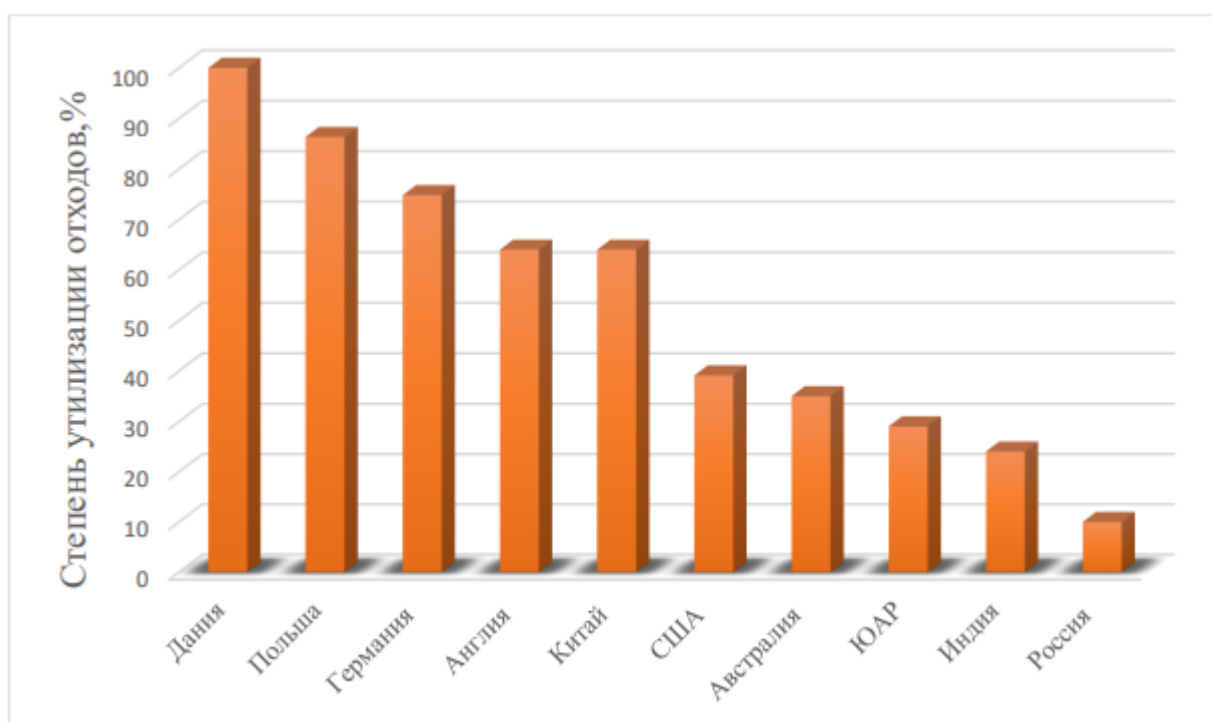


Рисунок 1 - Степень утилизации золошлаковых отходов в разных странах

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

Электростанция расположена в г. Северске, основной источник теплоснабжения города и Сибирского химического комбината (СХК), крупнейшая

по установленной мощности электростанция Томской области. Паротурбинная теплоэлектроцентраль, в качестве топлива использует каменный уголь (преимущественно) и природный газ. Установленная электрическая мощность станции — 449 МВт, тепловая мощность — 1713,8 Гкал/час.

Оборудование станции включает в себя 9 турбоагрегатов: два — мощностью по 12 МВт, три — по 25 МВт, один — 50 МВт и три — 100 МВт. Принадлежит АО «Объединённая теплоэнергетическая компания» [9].

Территориально золоотвалы располагаются в рамках муниципальных образований Томской области и являются источником неблагоприятной экологической обстановки. Эти отвалы постоянно пылят, подвижные формы элементов активно вымываются осадками, загрязняя окружающую среду.

По физико-химическому и агрегатному состоянию золоотвалы являются уникальным ресурсом для полезного использования в различных отраслях с получением значительных экологических эффектов. Расположение золоотвала на территории города Северска Томской области представлено на рисунке 2.



Рисунок 2 - Расположение золоотвала на территории г. Северска

Золоотвал № 2 Северной ТЭЦ расположен в С—З части города, в долине р. Томь. Золоотвал от реки отделен дамбой. Приблизительный размер 1,4x1,2 км. Состав золошлакового материала определяют количественным соотношением входящих в него минералов [7]. Главные составляющие золошлаковых материалов - это оксиды  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{FeO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ . Небольшая доля приходится на сульфаты  $\text{CaSO}_4$ ,  $\text{MgSO}_4$ ,  $\text{FeSO}_4$ . В меньших количествах присутствуют фосфаты, оксиды щелочных металлов, биогенные и токсичные микроэлементы.

Золы по виду сжигаемого угля подразделяют на [11]:

- Антрацитовые, образующиеся при сжигании антрацита полуантрацита и тощего каменного угля (А);
- Каменноугольные, образующиеся при сжигании каменного, кроме тощего, угля (КУ);
- Кислые (К) антрацитовые, каменноугольные и буроугольные, содержащие оксид кальция до 10 %;
- Основные (О) - буроугольные, содержащие оксид кальция более 10 % по массе.

В случае использования зол в технологии вяжущих материалов по активности золы они классифицируются на следующие типы [8]:

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

## 1.2 Виды тротуарной плитки

Тротуарная плитка, брусчатка - популярный, удобный в использовании и доступный материал для оформления тротуаров, дорожек, площадок, элементов ландшафтного дизайна на улице, в парке, саду, на приусадебном участке. У нее много достоинств и широкая область применения, так как это недорогое, несложное в изготовлении и безопасное экологически покрытие.

Тротуарная плитка является одним из самых популярных украшений усадеб, тротуаров и фасадов зданий. По ней удобнее спешить на работу, возвращаться домой, и просто прогуливаться теплыми днями, не натываясь на ямы и разломы асфальта.

Брусчатка украшает уже не только центральные площади, но и аллеи, детские площадки, остановки общественного транспорта, территории частной застройки. Кроме того, покрытие из брусчатки радует глаз. Отличительной особенностью тротуарных покрытий из брусчатки являются широкая цветовая гамма и разнообразие конфигураций [7].

Высокие эксплуатационно-технические свойства брусчатки, в том числе высокая морозостойкость обеспечивают многолетний срок службы плитки даже в условиях городской эксплуатации. Все это делает брусчатку, как альтернативный материал для устройства тротуарных и дорожных покрытий, привлекательной и популярной.

Окружающая среда. Для производства плитки для тротуара используются составляющие, которые не содержат вредных примесей и при нагреве не выделяют канцерогенных веществ. Поэтому асфальт в разы проигрывает покрытию из бетонной плитки или натуральной брусчатки.

Долгий срок службы. Высокой прочностью, способностью выдерживать большие механические нагрузки обладает тротуарная плитка, изготовленная методом вибропрессования.

Плитка обладает низким коэффициентом трения, который значительно продлевает срок службы, и позволяет сохранить товарный вид в течение

долгих лет. Легкий уход. За плиткой очень просто ухаживать, ее легко очистить от любых загрязнений. Простота ремонта.

Тротуарная плитка легко меняется на новые элементы (фрагментарный ремонт), к тому же она годится для многократного использования (демонтаж коммуникаций, проходящих под дорожкой).

Устойчивость к любой погоде. Бетонная плитка устойчива к любым погодным условиям и перепадам температур.

Морозоустойчивость. Плитка из бетона способна выдерживать очень низкие температуры, не давая трещин и не деформируясь, что делает ее использование практически незаменимым в условиях суровых русских зим [8].

Эстетичность. Она бывает различных размеров, толщины, фактур и цветовой гаммы, что позволяет использовать ее для любых нужд, будь то городской тротуар или же загородный дом. С помощью плитки выкладывают различные рисунки и картины, с помощью нее можно воплотить любые дизайнерские идеи.

Экономичность. Если сравнивать с асфальтом, то цена на тротуарную плитку конечно немного выше, но при этом сэкономить на укладке и обслуживании. К тому же за плиткой удобнее и проще ухаживать.

В настоящее время существует широкий выбор различных видов и форм тротуарной плитки. Был разработан ряд общих классификаций тротуарной плитки по ГОСТ 17608-2017[25]:

Подразделение плит на типы в зависимости от конфигурации представлено на рисунке 3.



Рисунок 3 – Конфигурационные типы тротуарных плит

Д - доборные изделия, в том числе четырех- и пятиугольные - для окаймления шестиугольных плит и пятиугольные - для окаймления квадратных и прямоугольных плит при диагональном способе их укладки;

- Ф - фигурные;
- ГР - газонная решетка.

Плиты могут подразделяться на подтипы в зависимости от назначения и характера применения [11]:

- см - смешанная коллекция;
- др - дренажные изделия.
- квадратные плиты,
- прямоугольные плиты,
- шестиугольные плиты,

В зависимости от конфигурации:

- К - квадратные;
- П - прямоугольные;
- Ш - шестиугольные;
- Д - окаймляющие четырех- и пятиугольные для окаймления шестиугольных плит;
- Ф - фигурные плиты и элементы мощения;
- ЭДД - элементы декоративные дорожные.

### **1.3 Характеристики тротуарных плит**

Все тротуарные плиты имеют определенный класс и группу эксплуатации в зависимости от прочностных и физико-химических свойств.

Существует 4 основных группы эксплуатации [12]:

- Группа А - Тротуары улиц местного значения, пешеходные и садово-парковые дорожки, газоны, придомовые территории частных строений

(без заезда легкового и грузового автотранспорта), эксплуатируемые кровли зданий и сооружений.

- Группа Б - Тротуары магистральных улиц, пешеходные площади и посадочные площадки общественного транспорта, велосипедные дорожки.
- Группа В - Дороги с малоинтенсивным движением (внутриквартальные проезды) и площади, территории стоянок легкого автотранспорта, территории АЗС.
- Группа Г - Зоны высокой нагрузки (территории для стоянок грузового автотранспорта, порты и доки).

Характеристики плит по группам эксплуатации приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Эксплуатационные классы тротуарных плит

N пп	Характеристика	Плиты бетонные тротуарные			
		Группа А	Группа Б	Группа В	Группа Г
1	Класс по прочности на сжатие, не менее	B22,5	B25	B30	B40
2	Класс по прочности на растяжение при изгибе, не менее	B <sub>тб</sub> 3,2	B <sub>тб</sub> 3,6	B <sub>тб</sub> 4,0	B <sub>тб</sub> 4,4
3	Марка по истираемости, не более	G3	G2	G1	G1
4	Минимальная толщина изделий, мм	40*	60*	80*	100*
5	Соотношение габаритов (Д/Т) **, не более	-	12*	4*	2*
* Для изделий из тяжелого бетона с расчетным армированием конструкции данные показатели имеют рекомендательный характер. ** Д/Т - соотношение "длина/толщина".					

Допускается применять плиты бетонные тротуарные группы Г для проезжей части дорог при наличии обоснования. Плиты могут изготавливаться одно- или двухслойными с лицевым слоем различной цветовой гаммы, в том числе со смешанными и переходными оттенками, с фактурным декоративным слоем, с дополнительной обработкой и без нее.

Для двухслойных плит толщина лицевого слоя бетона (обычного, цветного или декоративного) должна быть не менее 10% номинальной тол-



щины плиты. Для плит толщиной менее 50 мм толщина фактурного слоя должна составлять не менее 5 мм. Для плит толщиной более 100 мм допускается фактурный слой 10 мм.

Для плит групп по эксплуатации Б и выше при приготовлении бетонных смесей для нижнего (основного) слоя с целью обеспечения требуемых физико-механических характеристик бетона плит и улучшения отдельных его свойств обязательно применение щебня по ГОСТ 8267 [13].

Допускается изготовление плит с пазогребневым соединением и с технологическим уклоном боковых граней, не превышающим 5 мм в плане на каждую сторону, за исключением плит с взаимозацепляемыми боковыми гранями.

Грузоподъемные работы (перенос, складирование, погрузка, выгрузка, монтаж) плит массой более 50 кг должны осуществляться при помощи специальных захватов, а при их отсутствии в плитах должны предусматриваться отверстия для кантового захвата либо монтажные петли.

Марка плиты состоит из буквенно-цифровых групп, разделенных точками, обозначающих [15]:

- первая буква - группа эксплуатации плит;
- цифра после первой буквы - порядковый номер конфигурации согласно номенклатуре предприятия-изготовителя;
- вторая буква - тип плиты в зависимости от конфигурации;
- цифра после второй буквы - толщина плиты в сантиметрах, округленная до целого числа.

Допускается вводить в условное обозначение плит дополнительную информацию (размеры, цвет, характеристика и способ обработки фактурного слоя, несущая способность плиты, класс напрягаемой арматуры, класс бетона по прочности и марка бетона по морозостойкости и др.).

Прочность бетона плит на сжатие характеризуют классами по прочности на сжатие [14]: В22,5; В25; В30; В35; В40.

Класс бетона плит по прочности на растяжение при изгибе принимают:  $B_{tb3,2}$ ;  $B_{tb3,6}$ ;  $B_{tb4,0}$ ;  $B_{tb4,4}$ ;  $B_{tb4,8}$ .

При соотношении длины к толщине изделия как 3:1 и менее класс бетона плит по прочности на растяжение при изгибе не нормируется.

Класс бетона плит по прочности на сжатие и растяжение при изгибе принимают по проекту строительства с учетом групп эксплуатации плит и указывают в заказе потребителя.

Значение нормируемой отпускной прочности тяжелого и мелкозернистого бетонов плит должно составлять не менее 90% от класса бетона плит по прочности на сжатие и класса бетона по прочности на растяжение при изгибе.

Марку бетона плит по морозостойкости принимают по проекту строительства, но не ниже F200.

Водопоглощение бетона плит не должно превышать по массе, %:

- 5,0 - для плит из тяжелого бетона;
- 6,0 - для плит из мелкозернистого бетона и двухслойных плит.

Объем вовлеченного воздуха в бетонных смесях должен находиться в пределах 3-5 % (для тяжелого бетона) и 4-8 % (для мелкозернистого бетона) и корректироваться в зависимости от получаемой морозостойкости бетона.

Истираемость бетона согласно ГОСТ 13015 должна быть [16]:

- марки G1 - не более 0,7 г/см<sup>2</sup>;
- марки G2 - не более 0,8 г/см<sup>2</sup>;
- марки G3 - не более 0,9 г/см<sup>2</sup>.

Для приготовления бетонной смеси следует применять портландцемент на клинкере нормированного состава без минеральных добавок и с минеральными добавками доменного гранулированного шлака до 5 %, портландцемент для дорожных и аэродромных покрытий, содержащие в цементном клинкере трехкальциевого алюмината (С3А) не более 7 %, оксида магния (MgO) не более 5 %, щелочных оксидов в пересчете на Na<sub>2</sub>O не более 0,8 % массы цемента.

Для изделий, изготавливаемых методом вибропрессования, удобоукладываемость и объем вовлеченного воздуха не нормируются.

В качестве мелкого заполнителя для бетона плит применяют природные, обогащенные и фракционированные, а также дробленые обогащенные пески. Для мелкозернистого бетона применяют пески с модулем крупности не менее 2,2, а для тяжелого бетона - не менее 2,0 [18].

Допускается применять пески с модулем крупности менее указанных при условии обеспечения требований к прочности, морозостойкости, истираемости бетона. В качестве крупного заполнителя применяют щебень из естественного камня и гравия.

При тепловлажностной обработке плит следует соблюдать мягкие режимы твердения (температура не выше 70 °С) с предельной скоростью подъема и снижения температуры обработки не более 15 °С/ч. Режим твердения изделий, изготовленных методом вибропрессования, - температура 35-40 °С и влажность 80 – 90 %.

Для конструктивного армирования плит следует применять арматурную проволоку класса В<sub>p1</sub> или арматуру композитную полимерную - АСК (стеклокомпозитную) или АБК (базальтокомпозитную) [14].

Крепление композитной полимерной арматуры допускается осуществлять отоженной стальной низкоуглеродной проволокой, пластиковыми хомутами или при помощи специальных пластиковых клипс (звездочек).

#### **1.4 Технологии производства тротуарной плитки**

История применения метода вибропрессования началась с необходимости использования при производстве строительных материалов жестких бетонных смесей [17]. В основном, в исследованиях, выполненных в последнее время, жесткие бетонные смеси применяются для получения высокопрочных и долговечных бетонов. С самого начала развития бетонных работ в России широко применяются жесткие бетонные смеси. Уплотнение таких

смесей в сооружениях производилось ручным, а позднее и механическим трамбованием. Трамбованный бетон вошел в применение в 1860 г. [6].

Промышленное применение вибропрессования бетонных смесей было организовано в 1904 г. в США на немецкой фирме, начавшей выпускать стеновые блоки и плитку. Вибропрессованная плита тротуарная в Западной Европе применяется с 30-х годов XX века [4].

В 20-х и 30-х годах XX в. в строительстве, главным образом, использовались литые и подвижные бетонные смеси, на основе которых получали изделия любой конфигурации и размеров. С появлением вибрирования, которое дало возможность уплотнять менее подвижные бетонные смеси, начинается развитие и применение жестких бетонных смесей [23].

В России в 60-е годы XX в., когда основным направлением повышения эффективности технологии производства бетонных и железобетонных изделий становится применение жестких бетонных смесей, в дополнение к вибрированию, появляются новые способы формования – вибропрокат, вибротрамбование, вибровакуумирование, вибропрессование и др., представленные на рисунке 4 [17].

Наиболее широкое распространение получило производство мелкоштучных бетонных изделий методом вибропрессования.



Рисунок 4 – Способы уплотнения бетонной смеси

Вибропрессование – способ уплотнения бетонной смеси путем приложения к ней вибрационных нагрузок и статического давления. Давление на смесь обеспечивается с помощью инерционных и безинерционных устройств (пружинных, пневматических, гидравлических или комбинированных пригрузов) с возможностью (на современных машинах) циклического режима наложения давления и одновременного изменения величины этого давления [25].

Одним из основных достоинств вибропрессования является возможность немедленной распалубки свежесформованных изделий, что значительно увеличивает производительность оборудования и снижает металлоемкость производства. Применение жестких бетонных смесей значительно упрощает получение высокопрочных бетонных изделий, отличающихся повышенными характеристиками плотности, прочности и морозостойкости.

Наиболее эффективна технология вибропрессования в случае применения мелкозернистых бетонов с наибольшей крупностью зерен заполнителя 10 мм. Этим способом формируют жесткие смеси, используя давление в диапазоне 0,05 - 0,4 МПа.

Путем повторяющегося кратковременного вибрирования достигается начальная прочность бетона при сжатии 0,15 - 0,45 МПа, что позволяет производить немедленную распалубку, что, в свою очередь, дает возможность увеличить коэффициент использования оборудования [26].

Методом вибропрессования рекомендуется изготавливать различные бетонные и железобетонные изделия, имеющие плоскую открытую поверхность толщиной от 4 до 50 см, например, плиты покрытия дорог, аэродромов, тротуаров и полов, каналов, лотки отвода дождевых вод, перегородки промышленных зданий, элементы подпорных стенок, рельефные экраны лоджий, бортовой камень, стеновые камни и блоки, кирпичи, ограждения, элементы малых архитектурных форм и т.п.

Технология вибропрессования совмещает переналаживаемый и гибкий способы формования, так как при замене форм возможен выпуск широ-

кой номенклатуры изделий. Вибропрессование объединяет в одном непрерывном процессе укладку, распределение и уплотнение смеси [27].

Вибропрессование используют для достижения прочности на сжатие и средней плотности бетона в затвердевшем состоянии, превышающих эти показатели традиционно уплотненного бетона (при одинаковых водоцементных отношениях бетонных смесей).

Также, вибропрессование позволяет улучшить условия труда, уменьшить износ форм и снизить энергетические затраты на формование.

Бетон и изделия, полученные вибропрессованием, ввиду низкого водоцементного отношения, отличаются повышенной плотностью, прочностью и долговечностью. В последние годы в России интенсивно развивается производство штучных бетонных изделий с использованием технологии объемного вибропрессования, указанные на рисунке 5.

Анализ практики строительства в Западной Европе и США показывает, что в общем балансе производства строительных материалов преобладает выпуск штучных неармированных бетонных изделий [13].

По многочисленным прогнозам объем жилищного строительства в нашей стране в ближайшие годы будет расти.

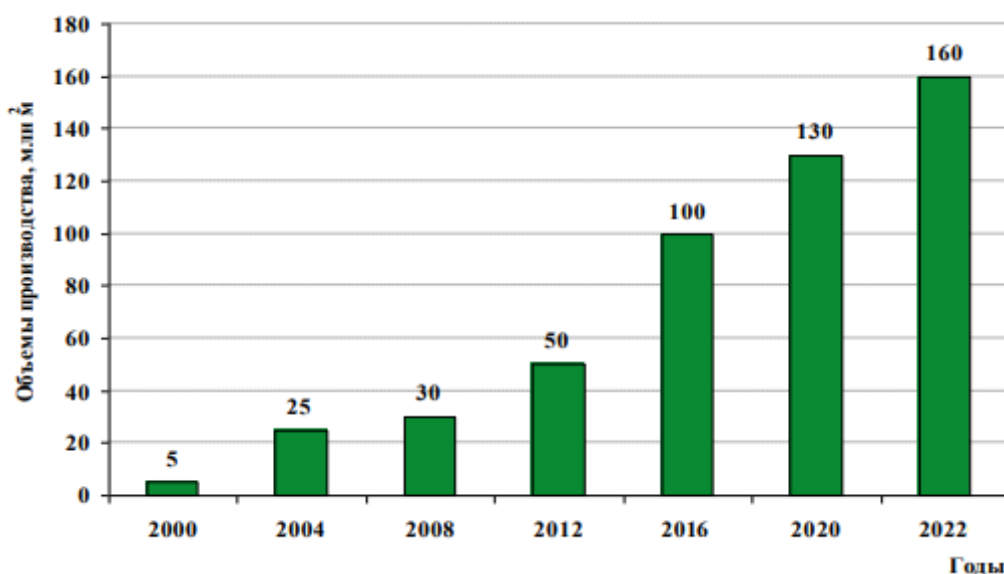


Рисунок 5 – Рынок производства вибропрессованных плит бетонных тротуарных в РФ

Соответственно, будет расти потребность в строительных материалах. Все это дает основание прогнозировать необходимость быстрого наращивания мощностей стройиндустрии для обеспечения социальной программы жилищного строительства. Особую актуальность эта задача приобретает в сфере малоэтажного и индивидуального строительства. Повсеместно ожидается дефицит штучных строительных материалов. Активное внедрение технологии вибропрессования в России началось после появления на рынке высококачественного оборудования из Западной Европы [17].

В связи с ростом интереса потребителей к бетонным изделиям, изготовленным по технологии вибропрессования, на российском рынке появилось множество предприятий по их производству. Эту технологию применяют, когда необходимо получить бетонные изделия в большом объеме, с точными, многократно повторяющимися размерами и высокими физико-механическими характеристиками. Последнее, в большей степени, относится к дорожным бетонам.

На сегодняшний день, линии по производству вибропрессованных изделий работают во многих регионах: Москва и Подмосковье, Тюмень, Екатеринбург, Курск, Воронеж, Краснодар, Белгород и т.д. Данная технология широко распространена в Украине и Белоруссии. В России широко представлено оборудование для производства мелкоштучных изделий методом вибропрессования, как зарубежных, так и отечественных производителей. Немецкие линии «HESS», «HENKE» «BAUKEMA» активно завоевали значительный сегмент рынка. Польское оборудование представлено стационарными вибропрессами «HERKULES», чешское – прессами компании «ALTA» и широко представлено отечественное оборудование для вибропрессования Черкасского завода «Строммашина», Московского предприятия ОАО «Завод «Красная Пресня», завод «Стройтехника» Челябинская обл. г. Златоуст и др. [23].

Изготовление изделий вибропрессованием возможно, как на автоматических линиях, так и агрегатно-поточным способом.

Выбор набора оборудования при организации производства или его модернизации зависит от номенклатуры изделий и возможности их производства вибропрессованием и обеспечения изделиям необходимого качества, представленного на рисунке 6.

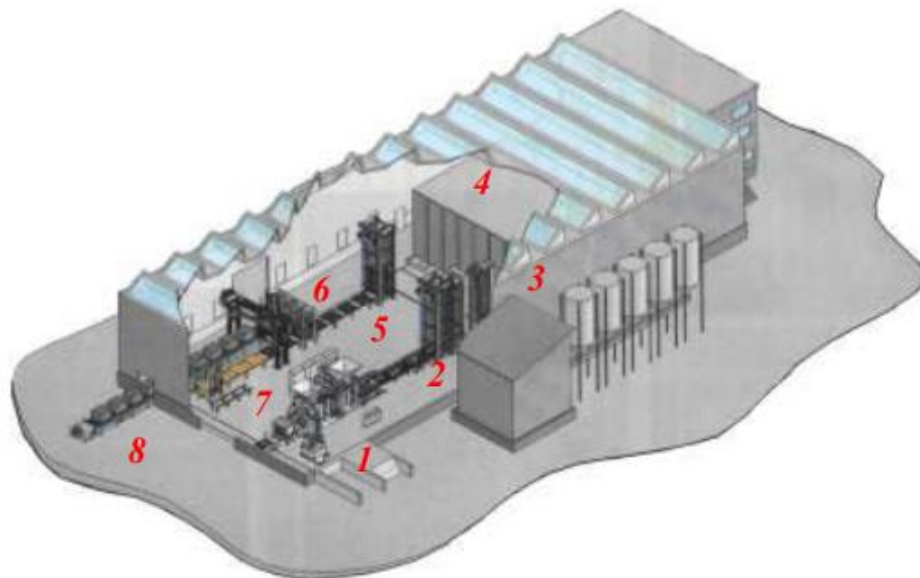


Рисунок 6 – Типовая схема производства мелкоштучных изделий методом полусухого вибропрессования: 1 – бетоноформовочная машина; 2 – поднимающий штабелер; 3 – транспортно-складирующая группа; 4 – камеры набора прочности; 5 – опускающий штабелер; 6 – пакетирование продукции; 7 – возврат технологических поддонов; 8 – выдача готовой продукции на склад.

В состав технологической линии, помимо вибропресса, входят механизмы перемещения поддонов, тележек, различные траверсы и приспособления для чистки и смазки форм и т.д. Оборудование классифицируют по способу формования, характеру и направленности колебаний, соотношению вынуждающих и собственных частот колебаний, типу возбудителя и числу колеблющихся масс [16].

Наиболее распространенными и популярными вибропрессованными изделиями, на сегодняшний день, являются элементы мощения – тротуарные плиты, применяемые для устройства дорожек, тротуаров, детских площадок, площадей, стоянок автомобилей и проезжих частей автомобильных дорог, указанных на рисунке 7 [28].



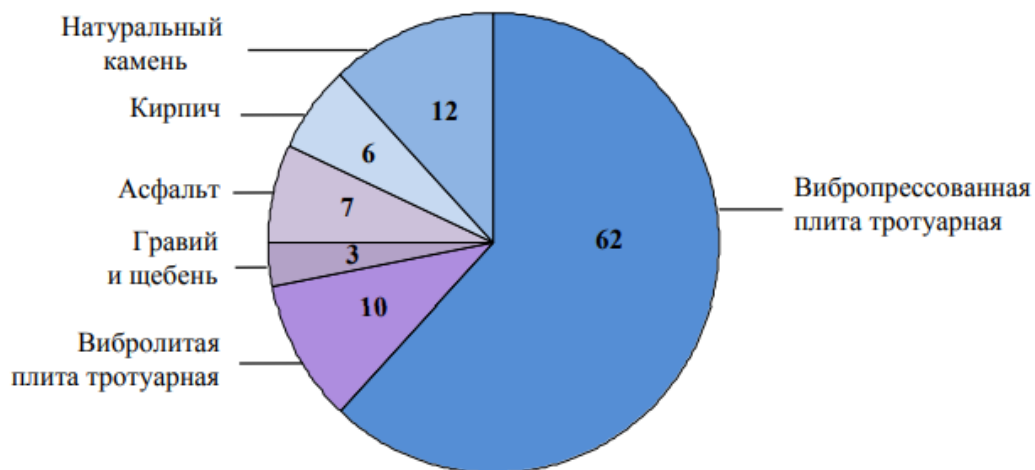


Рисунок 7 – Рынок элементов мощения в Российской Федерации (в %)

Высокие конструктивные, эксплуатационные и декоративные качества, ремонтная пригодность в сочетании с экологической безопасностью делают плиты бетонные тротуарные лучшим вариантом благоустройства территорий с высокими темпами строительства и с эстетическими преимуществами.

Накопленный опыт эксплуатации плит тротуарных показывает, что их качество зависит не только от показателей внешнего вида, но и от подготовки основания и тщательности укладки. Любые отступления приводят к получению непривлекательности покрытия, к снижению срока его эксплуатации из-за откалывания выступающих из плоскости элементов, растрескивания плохо подготовленного основания плиты, скапливания в углублениях воды и льда, и притупления отдельных углов и граней [29].

Согласно [24] плиты тротуарные следует изготавливать со следующими техническими характеристиками: классы по прочности на сжатие: В22,5; В25; В30; В35; марки по морозостойкости F100, F150, F200, F300; водопоглощение не более 6 % для мелкозернистого бетона и не более 5 % для тяжелого бетона; истираемость не более 0,7 г/см<sup>2</sup>.

Тенденция применения плит бетонных тротуарных в местах с интенсивным движением автотранспорта в сочетании с агрессивным воздействием

антиобледенительных покрытий при попеременном замораживании и оттаивании приводит к тому, что эксплуатационные характеристики, указанные в нормативно-технической литературе [24], оказываются недостаточными.

Вибропрессованный метод изготовления для производств эффективнее, так как тротуарная плитка, произведенная данным методом, при невысокой стоимости, имеет явные преимущества перед традиционной заливкой тротуаров асфальтом или мощением тротуарной плиткой, изготовленной методом вибролитья.

подавляющее большинство тротуарной плитки, выпускаемой на данный момент в большинстве стран мира, изготавливается именно по технологии вибропрессования из полусухих пескобетонных смесей.

Технология вибропрессования заключается в том [30], что вибрирование бетонной смеси в прессформе (пуансон–матрица) производится под давлением на вибропрессе. Метод высокопроизводителен, допускает высокую степень автоматизации, даёт возможность производить тротуарную плитку разных расцветок, которая представлена на рисунке 8.

Поверхность вибропрессованной плитки можно шлифовать, полировать, бучардировать. Вибролитая плитка данной технологии не допускает.

Опыт использования данных технологий во всем мире показывает, что маленькие кустарные предприятия по выпуску в небольшом количестве вибролитой плитки сомнительного качества, рано или поздно сменяют современные высокоавтоматизированные производства по выпуску высококачественной тротуарной плитки методом полусухого, объемного вибропрессования.

Формующей частью вибропресса является матрица и пуансон. Пуансон имеет на своей поверхности рисунок, который отпечатывается на лицевой поверхности тротуарной плитки [35].

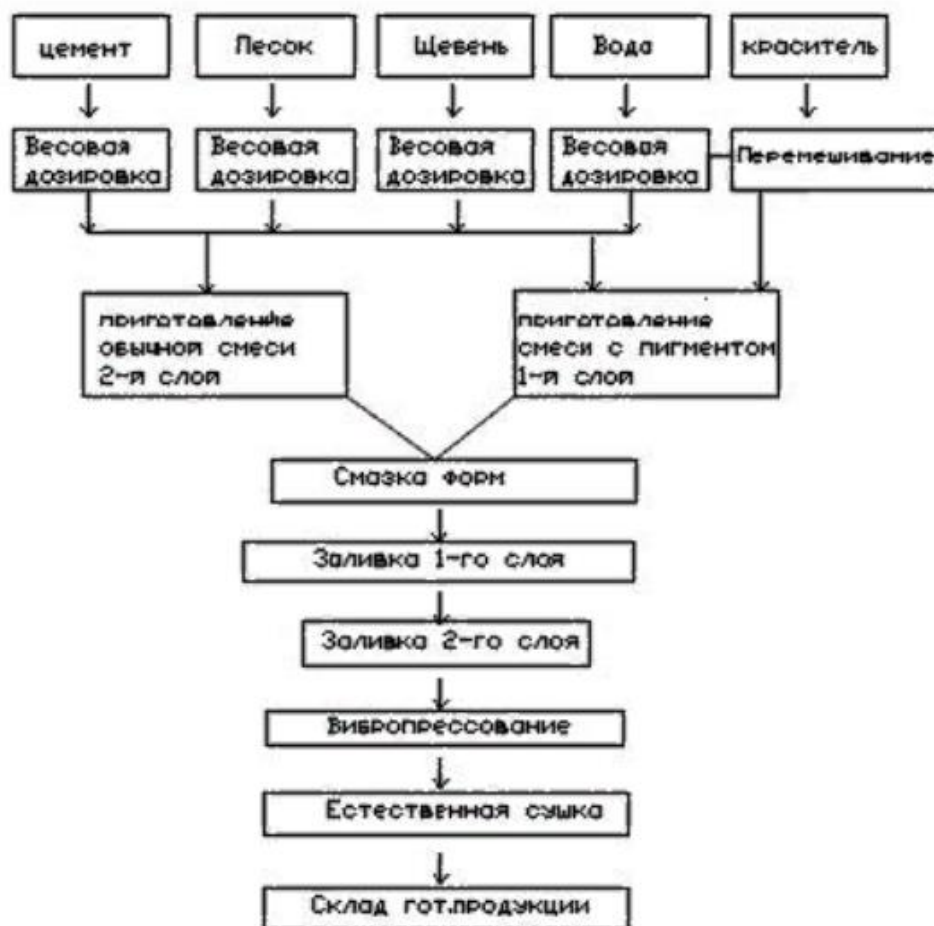


Рисунок 8 – Схема производства тротуарной плитки вибропрессованием

Матрица отвечает за формование стенок изготавливаемой плитки. Формование изделий происходит на сменных технологических поддонах, подаваемых затем на участок сушки.

Бетоносмеситель устанавливается на специальной подставке, как представлено на рисунке 8. Бетоносмеситель принудительного действия с одним горизонтальным валом и со скиповым подъемником. Объем бетоносмесителя по загрузке 450 литров. Загрузка компонентов смеси (инертные+цемент) осуществляется непосредственно в скип бетоносмесителя. Используют объемное дозирование.

Засыпаются компоненты в скип бетоносмесителя 450 л, скип поднимается (с помощью лебедки), высыпает компоненты в корпус бетоносмесителя, происходит перемешивание компонентов (120-180 секунд в зависимо-

сти от типа состояния инертных). Готовая смесь подается в загрузочный бункер-накопитель вибропресса (объем бункера-накопителя 0,9 м<sup>3</sup>) с помощью ленточного конвейера [31].

Расход готовой смеси происходит непосредственно из загрузочного бункера-накопителя вибропресса. Бункер-накопитель заполнен смесью, при расходовании ее, она дополняется свежеподготовленной из бетоносмесителя. Формование происходит на металлические поддоны размером 1070 x 480 мм. Пустые поддоны укладываются в магазин поддонов. Магазин поддонов рассчитан на 12 поддонов. Начинается цикл формовки:

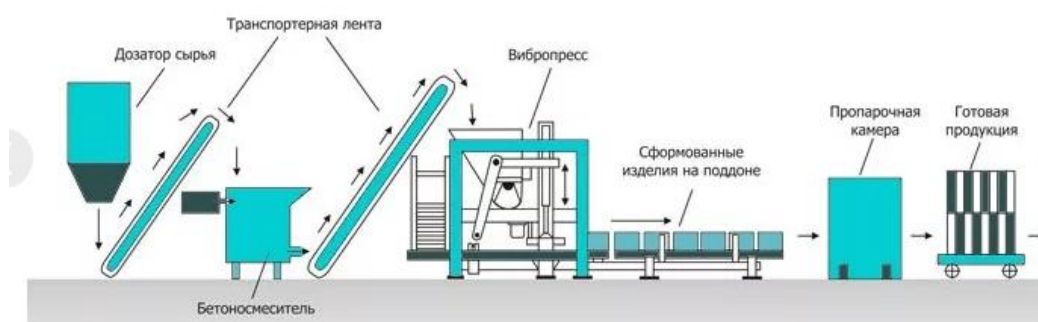


Рисунок 9 – Аппаратурная схема производства тротуарной плитки вибропрессованием

Металлические поддоны перемещаются в зону формования гидротолкателем при помощи зацепов; из бункера-накопителя смесь дозированно подается в загрузочный ящик; при возвратно-поступательном движении, которого смесь заполняет матрицу.

Затем, для уплотнения смеси, включается вибростол. Прессование завершает процесс формообразования. Полный цикл формовки длится около 30 секунд. Далее поддоны с готовыми изделиями выводятся гидротолкателем из зоны формования и по рольгангу поступают в кассету. Кассета – это устройство, предназначенное для хранения поддонов с готовой продукцией.

Предприятие выпускает установки с горизонтальной и вертикальной распалубкой. При горизонтальной распалубке кассета устанавливается на

рольганг, при этом ролики оказываются выше поверхности кассеты. Это позволяет поддонам перемещаться по рольгангу и заполнять кассету.

Поддоны в кассете располагаются на одной плоскости друг за другом, длина кассеты при горизонтальной распалубке 2 м, в ней помещается 5 поддонов с готовой продукцией. При вертикальной распалубке поддоны в кассете располагаются один под другим. Кассета ставится на подъемник, установленный в нише пола. После того как поддон с готовыми изделиями поступает в кассету, подъемник перемещает ее вверх на одну позицию. В вертикальной кассете помещается 5 поддонов со стеновыми камнями или 7 с тротуарной плиткой [38].

Заполненная кассета убирается в зону складирования с помощью любого грузоподъемного механизма и на её место устанавливается пустая. Конструкция горизонтальных кассет предусматривает возможность установки одной кассеты на другую. Вертикальные кассеты в зоне складирования устанавливаются одна к другой.

В комплект стационарной установки входят пять металлических поддонов, толщиной 8 мм. Кроме металлических поддонов заказчиком могут быть использованы фанерные поддоны толщиной 40 мм.

При оформлении заказа, покупатель обязан выбрать, какие поддоны он планирует использовать, металлические или фанерные, так как для них используются разные зацепы.

Строительные материалы, изготовленные на вибропрессах, подвергаются процессу вылеживания, в результате которого увеличивается прочность производимых изделий.

При естественных условиях вылеживания, готовые строительные материалы после 12 часов можно перемещать на транспортировочные поддоны, через 2–3 дня они могут транспортироваться, а через 14 дней, после процесса формования, использоваться в кладке [29]. Через 28 суток строительные материалы набирают 100 % прочности. Для ускорения процесса затвердевания можно применять пропарочную камеру.

Методика получения тротуарного камня. Основные этапы приготовления образцов [34]:

- выбор исходных сухих и жидких компонентов – песок, щебень, вода, различные органические добавки (отходы), высококальциевая зола, портландцемент и др.;
- навеска материалов;
- измельчение (или химическая активация) отдельных компонентов;
- приготовление сухой смеси, посредством смешения сухих компонент на мешалках;
- добавление к сухой смеси жидких компонентов и тщательное перемешивание;
- вибрационное воздействие на готовую бетонную смесь в течение заданного времени;
- свободная или принудительная сушка готовых образцов изделий.

При изготовлении образцов были использованы поверхностно-активные вещества, позволяющие обеспечить лучшее перемешивание смеси с максимально низким отношением вода/цемент (В/Ц), а также осуществлялся подбор форм.

Формы – одна из главнейших деталей в производстве тротуарного камня, так как их стойкость к износу, гидрофильность и отсутствие адгезии к бетонной смеси обеспечивают высокое качество получаемых поверхностей изделия и точность их размеров.

Вибролитье. Технология вибролитья подразумевает заливание прессформ бетонным раствором, который представляет собой высокое водоцементное соотношение. Процесс вибролитья тротуарной плитки образуется следующими операциями.

Замес бетонного раствора – эта операция подразумевает перемешивание всех компонентов: цемента, песка, щебня, пластификатора и красителя. С помощью красителя специалисты добиваются подходящего цвета. Пласти-

фикатор повышает подвижность раствора без добавления воды. Обычно применяется 2 состава бетона. Один из них нужен для фактурного слоя.

Формирование в вибростоле – бетонная смесь заливается в пресс-формы, установленные на виброуплотнителе. После чего включается электрический мотор, стол начинает подавать вибрации. Смесь уплотняется, образуя пустоту и избыток. Задача мастера по регулировке всей работы, чтобы в дальнейшем плитка была одинаковая [34].

Процесс вызревания – залитые пресс-формы обязаны стоять на ровном столе несколько дней без движения. Сокращать сроки не рекомендуется, в противном случае прочность изделия будет низкая, плитка начнет крошиться. Поэтому необходимо приготовить несколько комплектов форм, чтобы свободные участки технологической линии не оставались без работы.

Распалубка и выбивание из пресс-формы готовое изделие. Для интенсивной работы формы необходимо поместить в горячую воду на несколько минут. После чего их переносят на отдельный стол, который предназначен для распалубки. Принцип его работы аналогичен вибростолу. С помощью вибрации плитка постепенно отходит от формы.

Отмывание форм от раствора. Для этого необходимо сделать слабый раствор соляной кислоты. После чего поместить туда формы. С помощью этой процедуры пресс-формы специалисты могут использовать для следующей заливки. Схема поэтапного получения вибролитьевой плитки показана на рисунке 10.

Плитка, которая была изготовлена методикой вибролитьея, по итогу становится гладкой. Ее применение не предусмотрено для температуры ниже нуля. Но ее преимущество заключается в том, что оформленные ею дорожки и тротуары довольно оригинальны [16].

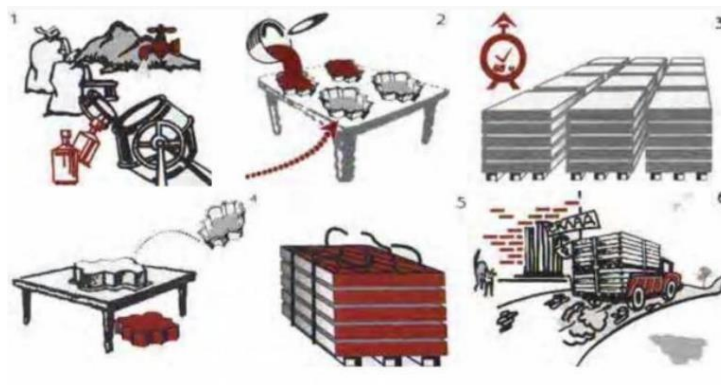


Рисунок 10 – Схема производства тротуарной плитки вибролитьем

У такой методики также имеются свои достоинства [14]:

1. готовая плитка имеет разные формы;
2. тротуарную плитку специалисты могут сделать разного цвета;
3. мастера также могут сделать материал с роскошной глянцевой поверхностью.

По оценкам многих специалистов технология вибролитья дает выигрыш в качестве брусчатки: плотная структура бетона, яркие, насыщенные цвета, гладкая или фактурная поверхность, большое разнообразие форм и размеров изделий.

### 1.5 Постановка задачи исследования

В данной научно-исследовательской работе необходимо изучить возможность использования золошлакового материала Северской ТЭЦ в качестве источника вторичного ресурса для получения тротуарной плитки

Необходимо решить следующие задачи:

1. Определить физико-химические свойства исходного сырья - фракционный, химический, минералогический состав;
2. Подобрать и рассчитать состав мелкозернистого бетона с различным содержанием золы;
3. Получить тротуарную плитку вибролитьевым методом;



4. Определить физико-механические свойства полученной тротуарной плитки: прочность на сжатие и на изгиб, водопоглощение по массе и по объему, истираемость, пористость

5. Сравнить характеристики полученной тротуарной плитки с требованиями ГОСТ 17608-2017. Плиты бетонные тротуарные [25].

6. Выдать рекомендации по возможности утилизации зольных отходов ТЭЦ в качестве строительных материалов с использованием золошлаковых материалов.

## 2. МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЯ

### 2.1 Характеристика объектов исследования

Качество каменных строительных материалов во многом определяется составом и свойствами материалов, используемых для их изготовления. Свойства сырьевых материалов должны удовлетворять соответствующим государственным стандартам и техническим условиям. В качестве вяжущего вещества использовался портландцемент ЦЕМ I 42,5Н производства ООО «Топкинский цемент» (г.Топки, Кемеровская область).

#### 2.1.1 Портландцемент

Портландцемент — наиболее распространенная разновидность строительных цементов, производство которых регламентирует ГОСТ 31108-2016. Это гидравлическое вяжущее, изготавливаемое из карбонатных пород, твердеет при затворении водой.

Оно широко используется для изготовления цементно-песчаных растворов, бетонов, сухих строительных смесей различного назначения, применяемых в гражданском, промышленном, военном строительстве.

Состав и основные свойства портландцемента, определённые по ГОСТ 10178-85 [17], приведены в таблице 2 и таблице 3.

Таблица 2. Химический и минералогический состав портландцемента

Химический состав, масс. %							Минералогический состав, масс. %				
SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	ппп	C <sub>3</sub> S	C <sub>2</sub> S	C <sub>3</sub> A	C <sub>4</sub> AF	CaO <sub>св</sub>
21,36	5,51	4,15	67,15	1,35	1,35	0,24	65,4	14,5	7,5	12,4	0,20
КН = 0,939; n= 2,21; p=1,33											

Таблица 3. Основные физико-механические свойства портландцемента

№ п.п	Наименование показателя	Единицы измерения	Вид портландцемента
			портландцемент ЦЕМ I 42,5Н
1	Класс прочности на сжатие (марка) <ul style="list-style-type: none"> <li>• предел прочности при изгибе в возрасте 28 суток</li> <li>• предел прочности при сжатии в возрасте 28 суток</li> </ul>	МПа	42,5
			6,4
			50,2
2	Активность при пропаривании, группа эффективности пропаривания (предел прочности при сжатии после пропаривания)	МПа	39,5 1-я группа
3	Равномерность изменения объема, наличие на лицевой стороне лепешек: <ul style="list-style-type: none"> <li>• трещин радиальных, достигающих до краев,</li> <li>• трещин или сетки мелких трещин, видимых невооруженным глазом или в лупу,</li> <li>• искривлений,</li> <li>• увеличение объема лепешки</li> </ul>		трещины отсутствуют искривления отсутствуют объем не увеличивается
4	Удельная поверхность	м <sup>2</sup> / кг	337
5	Тонкость помола на сите №0,08	%	9
6	Нормальная плотность	%	25
7	Сроки схватывания: <ul style="list-style-type: none"> <li>• начало</li> <li>• конец</li> </ul>	ч-мин	2-10
		ч-мин	2-10
8	Насыпная плотность	кг/м <sup>3</sup>	1098
9	Истинная плотность	кг/м <sup>3</sup>	3171-3186
10	Признаки ложного схватывания		отсутствуют

### 2.1.2 Мелкий заполнитель

В работе использовался песок ООО «СК СибДом» (г.Томск). Песок поставляется в соответствии с требованиями ГОСТ 8736-93 «Песок для строительных работ. Технические условия», а также технических условий ТУ 5711-002-45452455-2003 «Песок природный обогащенный очень мелкий» и ТУ 5711-001-45452455-2003 «Песок природный фракционный» [34].

Минеральный состав песка, масс. %: кварц 80-90, полевой шпат 10-20. Фактическое значение удельной эффективной активности естественных радионуклидов составляет  $A_{эфф}$  – менее 370 Бк/кг, т.е. песок соответствует первому классу и пригоден для любого вида строительства.

Испытания песка проводили согласно ГОСТ8735. Зерновой состав песка представлен в таблице 4.

Таблица 4. Зерновой состав песка, количество, проценты по массе.

Размер сит, мм	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14
Полные остатки, масс. %	-	-	3,9	26,9	45,7	68,2	96,0

Песок поставляется в состоянии естественной влажности 6-7 %. Модуль крупности составляет 2,41. Истинная плотность зерен песка 2650 кг/м<sup>3</sup>.

Насыпная плотность песка составляла 1360 кг/м<sup>3</sup>. Содержание илистых, глинистых и пылевидных примесей составляло 1,9 %, глина в комках отсутствовала, что удовлетворяло требованиям ГОСТа.

### 2.1.3 Наполнитель зола-уноса

В данной работе объектом исследования являются золошлаковые материалы после сжигания угля кузбасского бассейна Северской теплоэлектростанции, сформировавшиеся в виде залежей.

ЗМШ являются продуктами высокотемпературной (до 1200–1700 °С) обработки минеральной, несгорающей части углей. При этом в камерных топках получают отходы двух видов: зола–уноса и шлак. Зола–уноса уносится из топки с дымовыми газами и улавливается при их очистке в циклонах и электрофильтрах. Размер частиц золы менее 1 мм [35].

## **2.2 Методика определения фракционного состава**

Степень измельчения материалов является одной из важнейших характеристик, определяющей их технологические качества и области практического использования. Гранулометрический состав наиболее полно характеризует степень измельчения.

Гранулометрический состав пробы и продуктов измельчения определяется с помощью ситового анализа. Ситовый анализ предусматривает рассев пробы на ситах с различными размерами ячеек ручным или механическим способами согласно ГОСТ 2093-82 Сыпучие материалы. Ситовый метод определения гранулометрического состава. [31] Ситовой анализ применим для материалов с размерами частиц 10 - 0,04 мм, что соответствует шкале сит.

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

Продолжительность ручного сухого просева зависит от плотности, размеров и формы частиц, от объема просеиваемого материала, интенсивности просева, размеров отверстий сита, площади закупоренных отверстий сит и влажности воздуха [27].

Время просеивания класса крупности +5 мм при разовом расसेве: для ручного способа — 2 мин, для механического— 10 мин, класса крупности — 5 мм — соответственно 10 и 30 мин. Анализатор ситовой ВП-30Т представлен на рисунке 11.



Рисунок 11– Анализатор ситовой ВП-30Т

Методика выполнения работы: для определения фракционного состава золы используется метод ситового анализа. Золу просеивают через набор сит с размером ячеек от 0,04 до 0,75 мм. Сита устанавливаются на вибростенде и встряхиваются в течение 5 минут. Навеска с каждого сита взвешивается на аналитических весах и определяется выход каждой фракции.

### 2.3 Методика получения строительных изделий

Приготовление цементно-песчаной смеси осуществлялось в следующей последовательности: сначала перемешивается 547,4 г портландцемента и 1642,2 г кварцевого песка с естественной влажностью 3-5 % в лабораторной чаше для приготовления растворов в течение 5 - 10 минут, далее добавляется

вода массой 290,12 г, тщательно перемешивается до образования однородной пластичной массы.

Полученные контрольные полуфабрикаты укладываются в металлическую форму размерами 40x40x160 мм и отправляются на вибростол для уплотнения на 10 минут.

После вибролитевой процедуры образцы тротуарной плитки остаются сохнуть сутки, далее расформовываются и отправляются набирать марочную прочность в гидрозатвор.

Для приготовления образцов тротуарной плитки с содержанием золы 10 % необходимо предварительно произвести активацию цемента массой 428,4 г и золы массой 47,6 г в барабанной мельнице. Перемешать активированную смесь с песком массой 1428,0 г.

Далее затворить полученную смесь водой массой 252,28 г, тщательно перемешивая.

Уложить раствор в металлическую форму размерами 40x40x160 мм и виброуплотнить на вибростоле 10 минут. Далее расформовать полученные балки и поместить в гидрозатвор для набора марочной прочности.

Для приготовления образцов тротуарной плитки с содержанием золы 20 % необходимо предварительно произвести активацию цемента массой 380,8 г и золы массой 95,2 г в барабанной мельнице, далее добавить 1428,0 г песка и затворить водой массой 252,28 г повторив процедуру получения образцов, описанную выше.

Для приготовления образцов тротуарной плитки с содержанием золы 30% необходимо предварительно произвести активацию цемента массой 333,2 г и золы массой 142,8 г в барабанной мельнице, далее добавить 1428,0 г песка и затворить водой массой 252,28 г повторив процедуру получения образцов, описанную выше.

## **2.4 Методика подбора состава мелкозернистого бетона**

Подбор состава бетона производят по ГОСТ 27006 «Бетоны. Правила подбора состава» [37]. Подбор состава бетона включает в себя определение:

- номинального состава,
- расчет и корректировку рабочего состава,
- расчет рабочих дозировок.

Подбор состава бетона должен выполняться лабораторией предприятия – изготовителя по утвержденному заданию, разработанному технологической службой этого предприятия. При отсутствии оных допускается производить подбор состава бетона в центральных лабораториях и в других организациях, имеющих на это право, по утвержденному заданию на подбор состава бетона.

Задание должно содержать:

- нормируемые показатели качества бетона в соответствии с техническими требованиями стандартов, ТУ или проектной документации;
- показатели качества бетонной смеси, длительность и режимы твердения бетонной смеси и другие условия производства, принимаемые по технологической документации, разработанной в соответствии с действующими стандартами, нормами и правилами;
- показатели однородности прочности бетона всех видов и плотности бетонов, а также соответствующий им средний уровень прочности и плотности, планируемый на предстоящий период;
- ограничения по составу бетона и применению материалов для его приготовления, установленные нормативно – технической и технологической документацией.

Состав бетона следует подбирать исходя из среднего уровня прочности, а для легкого – и плотности бетона. Значения среднего уровня прочности и плотности для подбора состава бетона принимают по ГОСТ 18105 [27] с учетом фактической однородности бетона. Для случаев, когда отсутствуют данные о фактической однородности бетона, средний уровень прочности вы-



числяют по требуемой прочности для бетона данного класса или марки при коэффициенте вариации равном 13,5 % для тяжелого и легкого бетонов. Средний уровень плотности в этом случае принимают равным марке бетона по плотности. Подбор номинального состава бетона производят по следующим этапам [27]:

- 1) Выбор и определение характеристик исходных материалов для бетона;
- 2) Расчет начального состава;
- 3) Расчет дополнительных составов бетона с параметрами, отличающихся от принятых в начальном составе в большую или меньшую сторону;
- 4) Изготовление пробных замесов начального и дополнительных составов, отбор проб, испытания бетонной смеси, изготовление образцов и их испытание по всем нормируемым показателям качества;
- 5) Обработка полученных результатов с установлением зависимостей, отражающих влияние параметров состава на нормируемые показатели качества бетонной смеси и бетона и предназначенных для назначения номинального, а также назначения и корректировки рабочих составов бетона;
- б) Назначение номинального состава бетона, обеспечивающего получение бетонной смеси и бетона требуемого качества при минимальном расходе вяжущего.

Материалы, применяемые для подбора состава, должны соответствовать требованиям стандартов или ТУ на эти материалы. Активность цемента принимается по его фактической прочности. Допускается активность цемента для расчета состава принимать равной его гарантированной марки.

Начальный состав бетона рассчитывают по фактическим характеристикам исходных материалов в соответствии с методиками, пособиями или рекомендациями НИИ. Дополнительные составы рассчитывают при изменении варьируемых показателей в большую или меньшую сторону на 15 - 30 %.

Количество дополнительных составов по каждому параметру должно быть не менее двух. В качестве варьируемого показателя принимают, как

правило, В/Ц отношение, но можно использовать: долю песка в смеси, расход добавки и т.п.

По результатам проведения пробных замесов и после получения бетонной смеси с нормируемыми характеристиками (удобоукладываемость и т.п.) определяют фактический расход материалов. Для этого бетонную смесь уплотняют по ГОСТ 10181.2 (в мерном цилиндрическом сосуде) и рассчитывают фактический расход материалов на 1 м<sup>3</sup> бетона по формуле [26]:

$$Ц = (\rho_{см.} / S_g) \times g_{ц};$$

$$П = (\rho_{см.} / S_g) \times g_{п};$$

$$Щ = (\rho_{см.} / S_g) \times g_{щ};$$

$$В = (\rho_{см.} / S_g) \times g_{в};$$

где Ц, П, Щ, В – расход соответственно цемента, песка, щебня, и воды, кг/м<sup>3</sup>;

$g_{ц}$ ,  $g_{п}$ ,  $g_{щ}$ ,  $g_{в}$  - масса соответственно цемента, песка, щебня, и воды, кг;  $\rho_{см.}$  – плотность бетонной смеси, кг/м<sup>3</sup>;

$S_g$  - суммарная масса всех материалов в замесе, кг.

Из всех замесов изготавливают контрольные образцы и определяют прочность. Режим твердения образцов должен соответствовать режиму твердения изделий. По результатам испытаний бетонной смеси и бетона строят график зависимости прочности бетона от основного параметра (обычно В/Ц). По найденному основному параметру проверяют соответствие состава другим нормируемым показателям качества (например, плотности, водонепроницаемости, морозостойкости и др.).

При положительных результатах испытаний подобранный состав бетона принимают за номинальный и назначают его рабочим. Назначение нового рабочего состава 3 производят, если по данным входного контроля установлено изменение качества поступивших материалов на:

- 25 кг/см<sup>2</sup> - фактической прочности цемента;
- 1,5 % - нормальной густоты цементного теста;
- 1,5 % - содержание илистых, глинистых и пылевидных частиц;

- 50 кг/м<sup>3</sup> – насыпной плотности пористого заполнителя.

Корректировку рабочего состава производят, если по данным входного контроля качества заполнителей и операционного контроля производства установлено изменение качества материалов или бетонной смеси более чем на:

- % содержание песка в щебне или щебня в песке;
- 0,5 % - влажности заполнителей;
- 5 с – жесткости бетонной смеси; а также, если фактическая прочность бетона ниже требуемой или выше верхней предупредительной границы по ГОСТ 18105; фактическая плотность легкого бетона выше требуемой по ГОСТ 27005 [23].

Назначение и корректировку рабочих составов производят с учетом зависимостей между параметрами состава бетона и свойствами бетона и бетонной смеси, установленными при подборе номинального состава. Дозировки материалов на замес (на объем смесителя) (цемента, заполнителей, воды и добавки) рассчитывают по формуле:

$$D_i = V \times P_i,$$

где  $D_i$  – доза  $i$  – того материала по массе, кг;

$P_i$  – расход  $i$  – того материала в рабочем объеме смеси по массе, кг/м<sup>3</sup>;

$V$  – объем замеса, м<sup>3</sup>.

Допускается дозировки, как по массе, так и по объему.

## 2.5 Методика расчет состава мелкозернистого бетона

Свойства мелкозернистого бетона характеризуются такими же факторами, как и тяжелого бетона. Однако отсутствие крупного заполнителя влечет за собой увеличение водопотребности бетонной смеси, а для получения равнопрочного бетона и равноподвижной бетонной смеси возрастает расход цемента на 20 – 40 %.

Для сокращения расхода цемента необходимо применять высококачественные пески, пластифицирующие добавки, суперпластификаторы, про-

изводить хорошее уплотнение смеси. Мелкозернистый бетон обладает повышенной прочностью на изгиб, хорошей водонепроницаемостью и морозостойкостью [14].

Расчет ведем на марку бетона М300. Состав цементно-песчаного бетона рассчитывают в следующем порядке:

1) Определяют В/Ц отношение, необходимое для заданной марки бетона:

$$В/Ц = A \times R_{Ц} / (R_{б} + 0,8 \times A \times R_{Ц}) = \frac{0,65 \times 425}{300 + 0,8 \times 0,65 \times 425} = 0,53$$

где А – коэффициент, учитывающий качество материала: 0,8 – для высококачественных материалов; 0,75 – среднего качества; 0,65 – для цемента низких марок и мелкого песка;  $R_{Ц}$  – активность цемента, МПа;  $R_{б}$  – прочность образцов – половинок балочек, размером 4×4×16 см в возрасте 28 сут. выдержанных в нормальных условиях, МПа.

2) По графикам, показанным на рисунке 12, определяют соотношение между цементом и песком, обеспечивающее заданную подвижность или удобоукладываемость цементно-песчаной смеси при определенном В/Ц [17].

На графике показана подвижность цементно-песчаной смеси, приготовленной на песке с модулем крупности 2,5 и водопотребностью 7 %.

Если применяют мелкий песок с водопотребностью свыше 7 %, содержание песка уменьшается на 5 % на каждый процент увеличения водопотребности, а при использовании крупного песка с водопотребностью ниже 7 % содержание его увеличивают на 5 % на каждый процент уменьшения водопотребности.

3) Примем соотношение цемента к песку равное 1:3;

4) На графике показана подвижность цементно-песчаной смеси, приготовленной на песке с модулем крупности 2,5 и водопотребностью 7 %.

5) Если применяют мелкий песок с водопотребностью свыше 7 %, содержание песка уменьшается на 5 % на каждый процент увеличения водопотребности, а при использовании крупного песка с водопотребностью ниже

7 % содержание его увеличивают на 5 % на каждый процент уменьшения водопотребности [16].

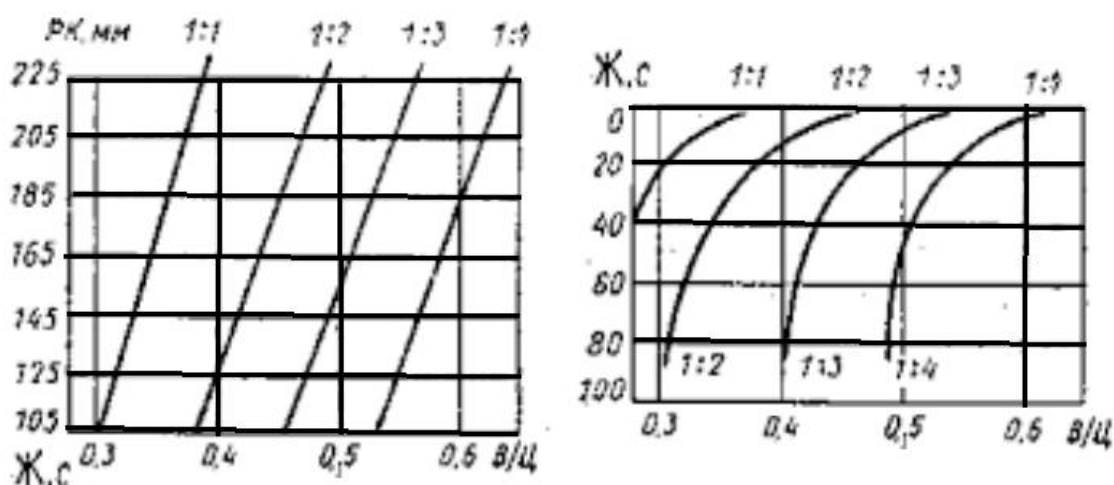


Рисунок 12 – соотношение между цементом и песком

б) Рассчитывают расход цемента:

$$\text{Ц} = 1000 / (1/\rho_{\text{ц}} + \text{В/Ц} + n/\rho_{\text{п}})$$

где  $\rho_{\text{ц}}, \rho_{\text{п}}$  - истинные плотности цемента и песка (кг/л);  $n$  - соотношение между цементом и песком, определенное по графику (1:  $n$ , например, 1:3, где  $n = 3$ ).

При уплотнении песчаного бетона вибрированием в него обычно вовлекается воздух (2–8% по объему). В этом случае расход цемента определяют по формуле:

$$\text{Ц} = (1000 - \text{ВВ}) / (1/\rho_{\text{ц}} + \text{В/Ц} + \text{П}/\rho_{\text{п}}) = \frac{1000 - 60}{\frac{1}{3,186} + 0,53 + \frac{3}{2,65}} = 476 \text{ кг}$$

где ВВ - объем вовлеченного воздуха, для ориентировочных расчетов для жесткой смеси на среднем и мелком песке ВВ = 50 л, на мелком песке ВВ = 60 л.

Затем на пробных замесах проверяют удобоукладываемость цементно-песчаной смеси и при необходимости вводят поправки в состав бетона. Для экономии цемента в мелкозернистый бетон вводят микронаполнители: золу, известковую муку, молотый песок.

Для ориентировочных расчетов можно принять, что уменьшение активности цемента пропорционально увеличению содержания микронаполнителя, т.е. при содержании микронаполнителя 20 %, активность вяжущего уменьшается на 20 %.

7) Определяют расход воды:  $V = Ц \times V/Ц = 476 \times 0,53 = 252,28$  кг

8) Рассчитывают расход песка:  $П = n \times Ц = 3 \times 476 = 1428$  кг

При приготовлении раствора компонентный состав увеличиваем на 15% для митигации риска возрастания усадки.

9) Расход золы определяем от количества цемента в смеси, заменяем общую массу цемента на 10, 20 и 30 % золой.

Заменяем часть цемента золой, так как наиболее экономически выгоднее, а также зола будет выступать наполнителем, так как  $\rho_{ц} \approx \rho_{з}$ .

$$З_1 = Ц - 10\% = 547,40 - 54,74 = 492,66 \text{ кг}$$

$$З_2 = Ц - 20\% = 547,4 - 109,48 = 437,92 \text{ кг}$$

$$З_3 = Ц - 30\% = 547,4 - 164,22 = 383,18 \text{ кг.}$$

Таким образом, на 1 м<sup>3</sup> мелкозернистого бетона, с учетом корректировки расходов компонентов, необходимо следующее количество сырьевых материалов.

## 2.6 Методика определения предела прочности при изгибе

Предел прочности при изгибе – это максимальное изгибающее напряжение, которое выдерживает образец до разрушения.

Изгибающее действие намного сложнее, чем сжимающее или растягивающее, поскольку в пределах сечения образца действуют и растягивающие (в нижних слоях), и сжимающие (в верхних слоях) напряжения.

Наибольшее распространение получили испытания образцов прямоугольного сечения при использовании трехточечного и четырехточечного изгибов.

Данные, полученные при трехточечном изгибе, всегда выше примерно на 25 %, чем при четырехточечном изгибе. Это связано с тем, что максимальное усилие при трехточечном изгибе действует на образец в одном сечении, а при четырехточечном изгибе – в двух, поэтому в последнем случае вероятность попадания дефекта в промежутки между сечениями максимальных напряжений намного больше [32].

Перед испытаниями отбирают прямые образцы без видимых дефектов, отношение длины к большему размеру сечения должно быть больше 7.

Нагрузку образцов производят до полного разрушения, фиксируя разрушающее усилие, необходимое для расчета предела прочности при изгибе по формуле (для прямоугольного образца – балочки):

для трехточечного изгиба:

$$\sigma_{\text{изг}} = \frac{3 \times P \times L}{2 \times b \times h^2} \times 0,1$$

где P - показание манометра, кгс/см<sup>2</sup>;

S - площадь поршня, см<sup>2</sup>;

l - расстояние между опорами, см;

h - высота образца, см;

b- ширина прямоугольного образца, см.

## **2.7 Методика определения предела прочности при сжатии**

Образцы для этого вида испытаний должны иметь форму цилиндров или кубов, причем диаметр цилиндра примерно равен его высоте. Плоскости образцов, которые должны прилегать к плитам испытательной машины (пресса), должны быть плоскопараллельны и отшлифованы. Размеры обожженных при разных температурах обжига образцов кубиков замеряются штангенциркулем в верхней и нижней частях образца в направлении, параллельном помеченным плоскостям [27].

При установке образца на плиту пресса необходимо учитывать возможные перекосы образца, поэтому испытания проводят на полусферической опоре. Также на образец снизу и сверху укладывают прокладки из легко деформируемого материала (картона, резины, алюминия, меди и т.д.), которые устраняют действие перекосов, неровностей и других дефектов поверхности образца. Для проведения испытаний отбирают образцы без видимых дефектов, измеряют, как указано выше, и измеряют их среднее сечение по формуле:

$$S_{\text{ср}} = \frac{S_{\text{в}} + S_{\text{н}}}{2}$$

где  $S_{\text{в}}$  и  $S_{\text{н}}$  – площади соответственно верхнего и нижнего сечений.

При испытании образец устанавливается в центре нижней плиты пресса и прижимается верхней плитой пресса, которая должна плотно прилегать ко всей верхней грани образца.

При подаче нагрузки необходимо соблюдать постоянную скорость нагружения вплоть до разрушения образца в момент, которого по манометру пресса фиксируют разрушающее (максимальное) напряжение.

Разрушающее напряжение (МПа) при сжатии определяют по формуле:

$$\sigma_{\text{сж}} = \frac{P \times S}{a \times b} \times 0,1, \text{ МПа}$$

где  $P$  - показание манометра, кгс/см<sup>2</sup>;

$S$  - площадь поршня, см<sup>2</sup>;

$a \cdot b$  - площадь образца, см<sup>2</sup>.

## 2.8 Методика определения водопоглощения

В соответствии с ГОСТ 2409-95 [38] используют образцы объемом 50 - 200 см<sup>3</sup>, вырезанные или отколотые от изделий с частичным сохранением наружной корочки. В лабораторной практике допустимо использование специально изготовленных образцов строгой геометрической формы (кубической или цилиндрической), или отколотых кусков меньшего размера.



Образцы или куски материала обдувают сжатым воздухом либо очищают жесткой волосяной щеткой от пыли, высушивают в шкафу до постоянной массы и хранят в эксикаторе. Кусковые образцы не должны содержать трещин и острых углов. Подготовленные образцы в количестве не менее трех взвешивают на технических весах с точностью до 0,01 г.

Для насыщения пор образцов жидкостью применяют кипячение либо метод вакуумирования. Оба метода дают примерно одинаковые результаты, однако вакуумирование требует меньше времени и поэтому предпочтительно. Для насыщения вакуумированием сухие взвешенные образцы помещают в вакуумную ячейку, представленную на рисунке 13, присоединенную к вакуум-насосу.

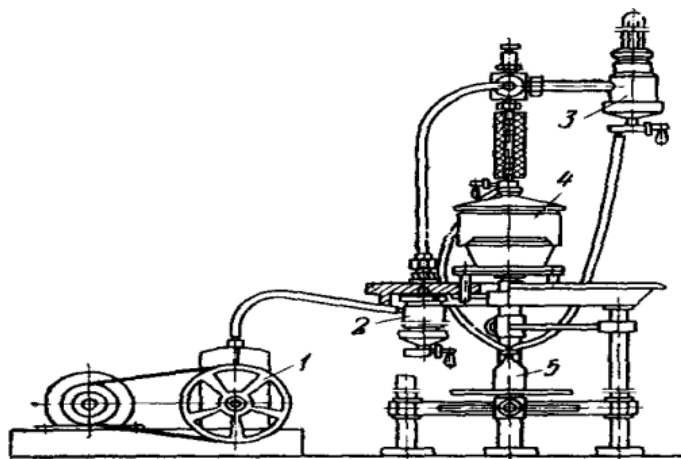


Рисунок 13- Устройство для насыщения пор образцов жидкостью: 1 - масляный вакуум-насос; 2 - сосуд-ловушка; 3 - вакуумметр; 4 - вакуумная ячейка для образцов; 5 - сосуд для воды или керосина

После откачки воздуха (остаточное давление 15 - 20 мм рт. ст.) ячейку соединяют с сосудом, содержащим воду или керосин. Под действием разрежения жидкость поступает в сосуд, насыщая поры образцов. Когда образцы покроются слоем жидкости, ее прекращают подавать, отключают вакуум-насос и ячейку соединяют с атмосферой.

Образцы, насыщенные жидкостью, на воздухе и в погруженном состоянии, взвешивают на аналитических весах.

Величину водопоглощения и открытой пористости подсчитывают с точностью до 0,1 %, величину кажущейся плотности - с точностью до 0,001 г/см<sup>3</sup>. Водопоглощение подсчитывают по следующей формуле:

$$B = \frac{m_1 - m}{m} \times 100$$

где:  $m$  - масса сухого образца при взвешивании на воздухе, г;  $m_1$  и  $m_2$  - масса образца, насыщенного жидкостью, при взвешивании, соответственно на воздухе и в жидкости, г.

## 2.9 Методика определения истираемости

Испытание бетона на истираемость проводят по ГОСТ 13087-2018 Бетоны. Методы определения истираемости. [37] на воздушно-сухих образцах, предварительно выдержанных в помещении с температурно-влажностными условиями по 4.1, сут. не менее:

- 3 - для бетона класса В25 и более;
- 6 - для бетона класса менее В25.

При испытаниях образцов в насыщенном водой состоянии образцы предварительно выдерживают в воде температурой (20±5) °С не менее 48 ч, а после извлечения их из воды и промокания влажной тканью испытывают.

Истиранию подвергают нижнюю грань образца. В образцах, отобранных из конструкций, испытанию подвергают грань, воспринимающую эксплуатационную нагрузку.

Перед испытанием образцы взвешивают с точностью 0,1 г, измеряют высоту каждой грани образца куба или высоту цилиндра по взаимно перпендикулярным диаметрам основания в четырех точках с точностью 0,1 мм, а также его диаметр, определяют плотность бетона образца, определяют площадь истираемой грани измерением.

Боковые грани образцов-кубов или участки поверхности образцов-цилиндров, перпендикулярные к истираемой грани, перед испытанием нуме-

руют 1, 2, 3, 4 и в последовательности этой нумерации образец поворачивают при проведении испытаний. Образцы устанавливают в специальные гнезда круга истирания. После установки проверяют возможность свободного перемещения образцов в гнездах в вертикальной плоскости.

К каждому образцу-кубу с ребром 70 мм (по центру) прикладывают сосредоточенное вертикальное усилие  $(300 \pm 5)$  Н, что соответствует давлению  $(60 \pm 1)$  кПа. На истирающий диск равномерным слоем насыпают первую порцию  $(20 \pm 1)$  г шлифовального порошка зернистостью F80 (на первые 30 м пути истирания каждого образца).

При испытании на круге истирания водонасыщенных образцов истирающий диск перед нанесением на него первой порции абразива протирают влажной тканью, а каждые 20 г абразива равномерно увлажняют 15 мл воды.

Одновременно на круге истирания типа Беме, представленного на рисунке 14, испытывают один образец, а на круге истирания типа ЛКИ-3, представленного на рисунке 15 - два образца.

После установки образцов и нанесения на истирающий диск абразива включают привод круга и проводят истирание.

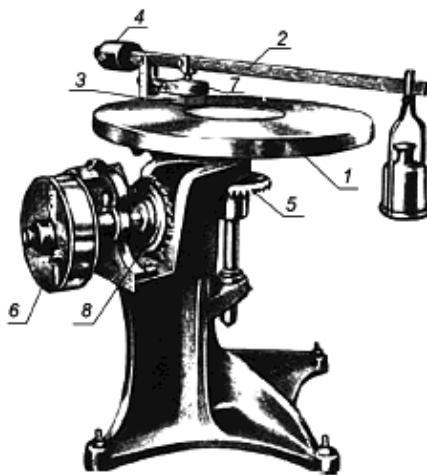


Рисунок 14 - Круг истирания типа Беме: 1 - истирающий диск; 2 - двуплечий рычаг; 3 - образец; 4 - противовес; 5 - зубчатая передача; 6 - шкив; 7 - держатель; 8 - счетчик оборотов.

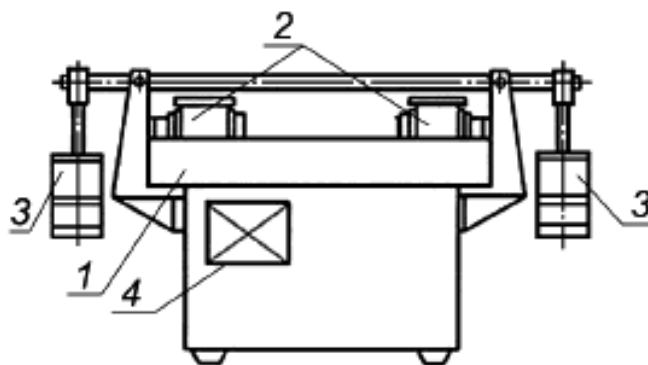


Рисунок 15 - Круг истирания типа ЛКИ-3: 1 - истирающий диск; 2 - испытываемые образцы; 3 - нагружающее устройство; 4 - счетчик оборотов.

Через каждые 30 м пути истирания, пройденного образцами (22 оборота на истирающем круге типа Беме или 28 оборотов на истирающем круге типа ЛКИ-3 или ЛКИ-2), истирающий диск останавливают.

С поверхности удаляют остатки абразивного материала и истертого в порошок бетона, насыпают новую порцию абразива и снова включают привод истирающего круга. Указанную операцию повторяют пять раз, что составляет один цикл испытаний (150 м пути испытания).

После каждого цикла испытаний образцы вынимают из гнезда, поворачивают на  $90^\circ$  в горизонтальной плоскости (вокруг вертикальной оси) и проводят следующие циклы испытаний. Всего проводят четыре цикла испытаний для каждого образца.

После четырех циклов испытания образцы вынимают из гнезд. Воздушно-сухие образцы обтирают сухой тканью, измеряют высоту образца с точностью до 0,1 мм и взвешивают с точностью до 0,1 г. Водонасыщенные образцы помещают на 30 мин в воду, затем протирают влажной тканью и взвешивают.

Истираемость бетона  $G_i$ ,  $\text{г/см}^2$ , на круге истирания, характеризуемую потерей массы образца, вычисляют с точностью до 0,1  $\text{г/см}^2$  для отдельного образца по формуле:

$$G_i = \frac{m_1 - m_2}{F}$$

где  $m_1$  - масса образца до испытания, г;

$m_2$  - масса образца после четырех циклов испытания, г;

F- площадь истираемой грани образца, см<sup>2</sup>.

Истираемость бетона серии образцов  $G_c$  вычисляют как среднее арифметическое значение результатов определения истираемости отдельных образцов серии по формуле

$$G_c = \frac{\sum_{i=1}^n G_i}{n}$$

де  $n$  - число образцов в серии.

При вычислении средней истираемости серии образцов следует проводить проверку выпадающих результатов.

### 3 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

#### 3.1 Определение фракционного состава золы

По приведенной методике в п. 2.2 определили фракционный состав золы, результаты гранулометрического анализа осуществлённый при помощи ситового метода приведены в таблице 5.

Таблица 5 - Гранулометрический состав проб Северской золы

Фракция, мм	Содержание, %	Суммарный выход, %
>0,75	1,00	100
0,5–0,75	1,80	99
0,2–0,5	3,49	97,21
0,15–0,2	1,90	93,71
0,088–0,15	18,86	91,82
0,063–0,088	1,00	72,95
0,040–0,063	34,63	71,96
<0,04	37,33	37,33

Результаты ситового анализа характеризуют содержание того или иного класса в продукте, характеристикой крупности материала служат частные и суммарные выходы класса. Данные ситового анализа можно изобразить графически, получим характеристику крупности материала. Обычно строят кривую суммарной характеристики «по плюсу», т.е. по суммарному остатку материала на ситах, начиная с самых крупных.

По характеру кривой можно судить о крупности материала. При преобладании в материале крупных зёрен кривая имеет выпуклый характер, а при преобладании мелких зёрен - вогнутый характер.

По результатам таблицы 5 построена диаграмма фракционного состава золы, представленная на рисунке 16

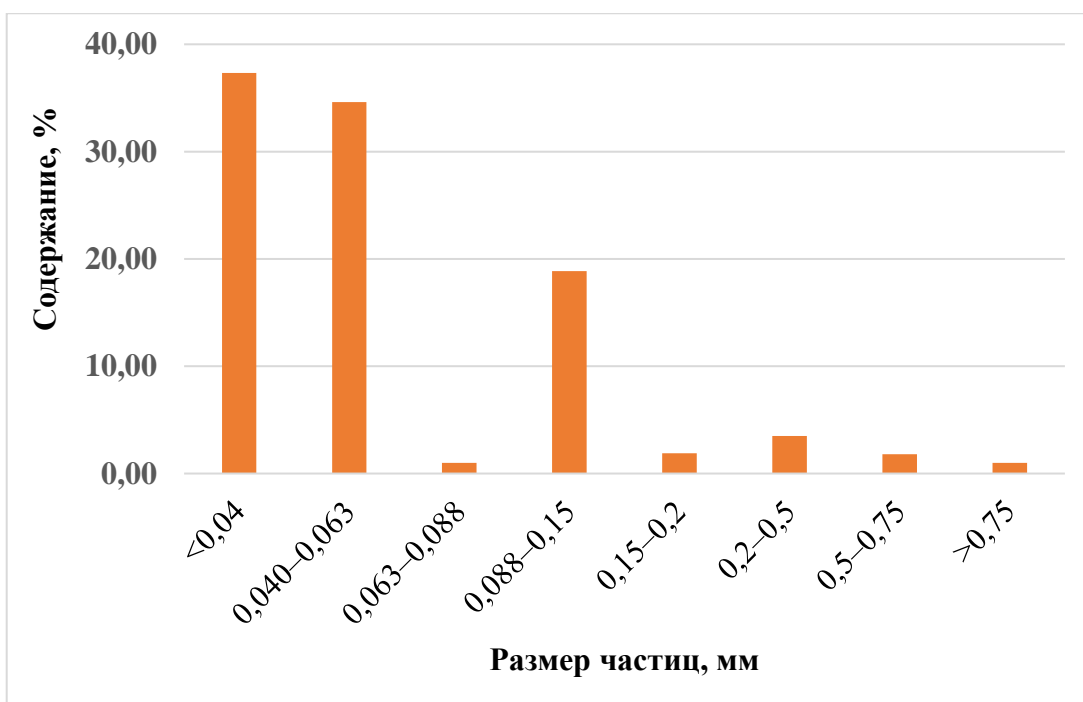


Рисунок 16 - Диаграмма фракционного состава золы

Также по таблице 5 построена зависимость суммарного выхода золы от размера частиц, представленная на рисунке 17.

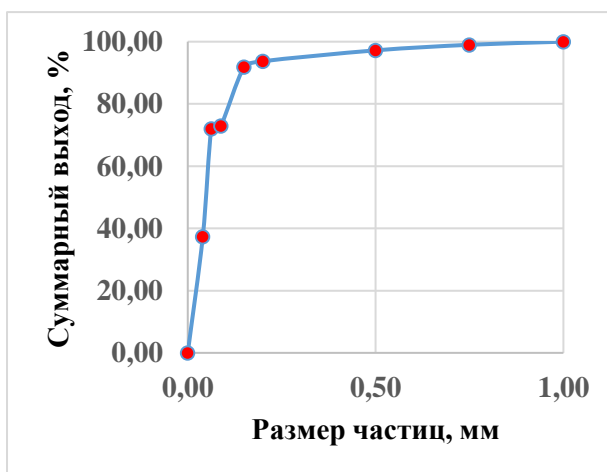


Рисунок 17 - Зависимость суммарного выхода золы от размера частиц.

По результатам таблицы 5 построена диаграмма, представленная на рисунке 16, из которой видно, что в золе преобладают частицы менее 0,063 мм, содержание которых составляет 72 %.

### 3.2 Химический состав золы

Распределение основных золообразующих макроэлементов распределено достаточно равномерно, но выделяются участки с повышенным и пониженным содержанием макрокомпонента.

Взятие проб лежалых ЗШМ осуществлялось по сетке 200x200 м с каждые 2 м глубины на всю глубину залежи.

В скважине пробы отобраны по глубине с интервалом 2 м: 0-2, 2-4, 4-6 м, соответственно. Масса каждой пробы составляет 15-20 кг в полиэтиленовом мешке. Всего отобрана 91 проба золошлаков.

Схема опробования золоотвала показана на рисунке 18.



Рисунок 18 - Карта опробования золоотвала Северской ТЭЦ

В Томском политехническом университете были проведены также комплексные исследования золы с Северской ТЭЦ представленные в таблице 6.



Таблица 6 – Среднее содержание макроэлементов в золоотвале Северской ТЭЦ, масс. %

<b>Макроэлемент</b>	<b>Среднее</b>	<b>Минимум</b>	<b>Максимум</b>
<b>SiO<sub>2</sub></b>	53,25±0,24	47,01	59,53
<b>TiO<sub>2</sub></b>	0,72±0,003	0,63	0,83
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	18,30±0,12	15,61	21,83
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	10,05±0,27	4,08	15,93
<b>MgO</b>	1,23±0,02	0,82	1,63
<b>CaO</b>	2,65±0,04	1,77	3,52
<b>MnO</b>	0,15±0,01	0,08	0,44
<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	0,23±0,01	0,14	0,42
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	0,68±0,01	0,42	0,86
<b>K<sub>2</sub>O</b>	2,14±0,01	1,82	2,45
<b>SO<sub>3</sub></b>	0,13±0,07	0,065	0,186

Макроэлементный состав золошлаков характеризуется преобладанием кремнезема, что позволяет считать их кремнистыми. Содержание кремнезёма изменяется от 47 до 59%. Содержание Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> изменяется от 15,61 до 21,83%.

Содержание суммарного железа не превышает 16%, составляет в среднем около 10%. Содержание CaO и Na<sub>2</sub>O не превышает 3,52 и 0,86 %, соответственно, что также указывает на кислый силикатный состав золошлаков. Щелочные элементы K<sub>2</sub>O и Na<sub>2</sub>O в сумме не превышают 3,31%, в основном за счёт K<sub>2</sub>O.

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

Можно сделать вывод, что распределение элементов достаточно равномерное, но выделяются участки с повышенным и пониженным содержанием каждого из макрокомпонентов.

Для получения качественного вяжущего бетона в золе должно быть СаО не менее 3 %, химический состав золы показал, что данным свойством бетон будет обладать, так как СаО 3.5%.

### 3.3 Рентгеновская дифрактограмма

Методика выполнения работы: необходимо получить на рентгеновском дифрактометре рентгенограмму образца в интервале углов  $2\theta$  от 10 до  $100^\circ$  с использованием селективно поглощающего фильтра. Используя положение линий, по формуле Вульфа – Брэггов, рассчитываются значения межплоскостных расстояний.

Оценивается величина интенсивности, принимая за 100% наибольшую интенсивность. При помощи справочных данных или специальной программы идентифицируется фазовый состав изучаемого образца. Рентгеновская дифрактограмма золы Северской ТЭЦ представлена на рисунке 19.

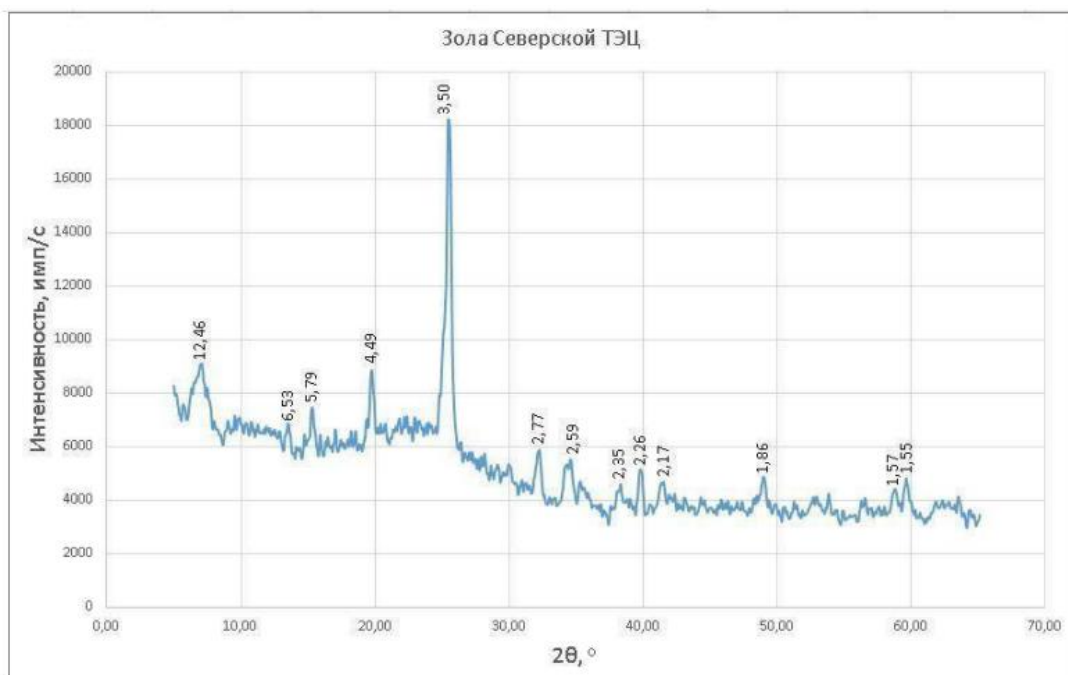


Рисунок 19 - Рентгеновская дифрактограмма золы Северской ТЭЦ

По данным рентгеноструктурного анализа с последующей расшифровкой дифрактограмм с использованием программного обеспечения Diffrac.eve установлено элементное содержание пробы. Результаты расшифровки рентгеновской дифрактограммы золы Северной ТЭЦ приведены в таблице 7.

Магнетит — широко распространённый минерал чёрного цвета из класса оксидов, природный оксид железа. Теоретический состав: FeO — 31,03 %; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> — 68,97 %.

По химическому составу магнетит можно разделить на чистый магнетит и кальциомагнетит, т. е. магнетит с содержанием CaO в значительных количествах, которая при высоких температурах входит в состав минерала в виде твердого раствора. Железо в углях содержится главным образом в составе минералов пирита и сидерита.

Таблица 7 – Элементный состав золы Северной ТЭЦ

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

При сжигании углей происходит термохимическое преобразование всех этих соединений в минерал магнетит. Находясь в расплавленном, распылённом и взвешенном в струе дымовых газов состоянии, капли магнетита приобретают форму шариков. Размеры магнетитовых шариков колеблются от 20 до 100 мкм.

Гематит — широко распространённый минерал, образует большие скопления и рудные залежи. В качестве продукта изменения или выветривания образуется в виде вторичной примеси в железосодержащих минералах, как магнетит, лимонит, сидерит [26]. В отраженном свете гематит наиболее светлый из всех минералов, встречаемых в агломератах.

Размеры зерен гематита изменяются от мельчайших вкрапленников, различаемых только при большом увеличении, до выделений, достигающих 0,1 мм в поперечнике.

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

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

Пироксены — обширная группа цепочечных силикатов. Многие пироксены — порообразующие минералы. Пироксены являются исключительно распространенными минералами. В поверхностных условиях неустойчивы. С увеличением температуры они устойчивы вплоть до полного плавления пород [31]. В отраженном свете гематит наиболее светлый из всех

минералов. Размеры зерен гематита изменяются от мельчайших вкрапленников, различаемых только при большом увеличении.

На рисунках 20-22 представлены снимки золы Северской ТЭЦ с различным увеличением, выполненные при помощи электронного микроскопа.

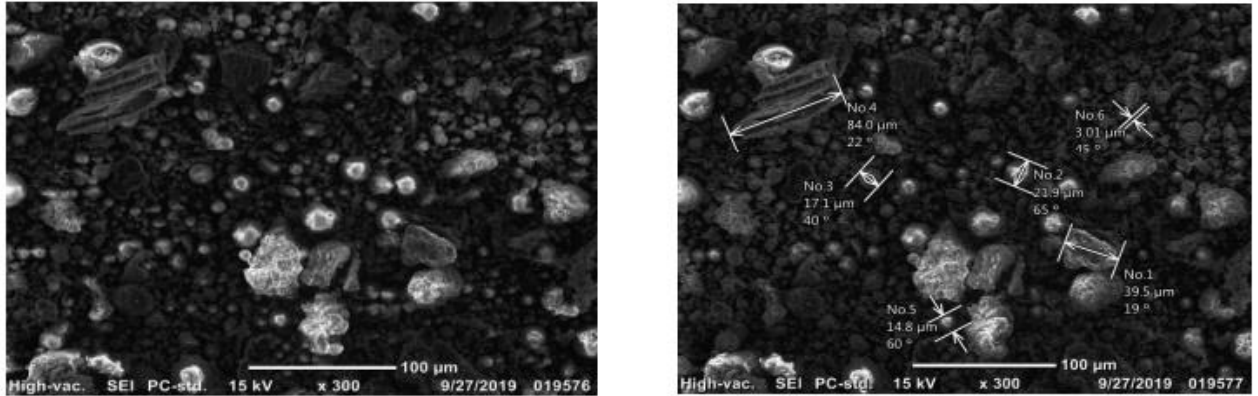


Рисунок 20 - Снимки золы с микроскопа с увеличением в 300 раз

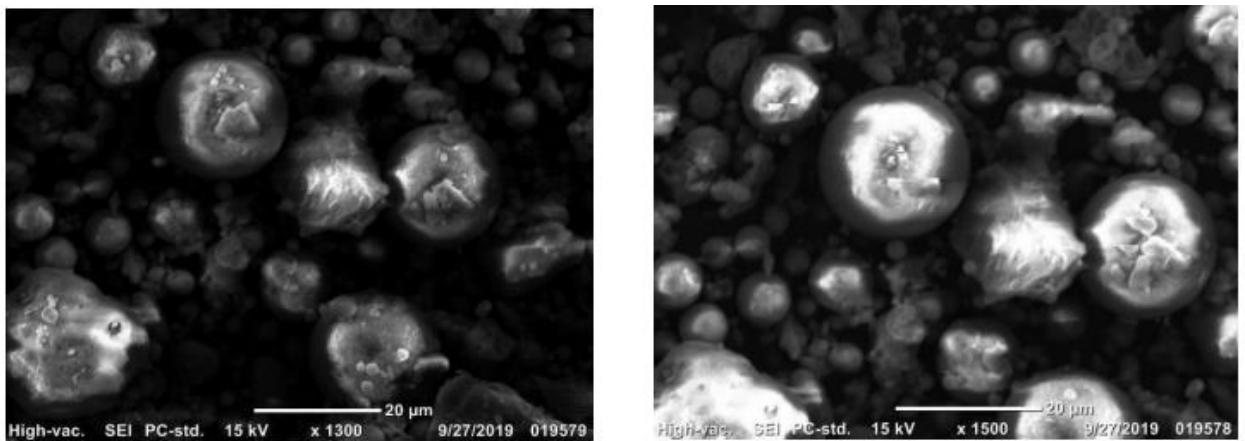


Рисунок 21 - Снимки золы с микроскопа с увеличением в 1300 и 1500 раз

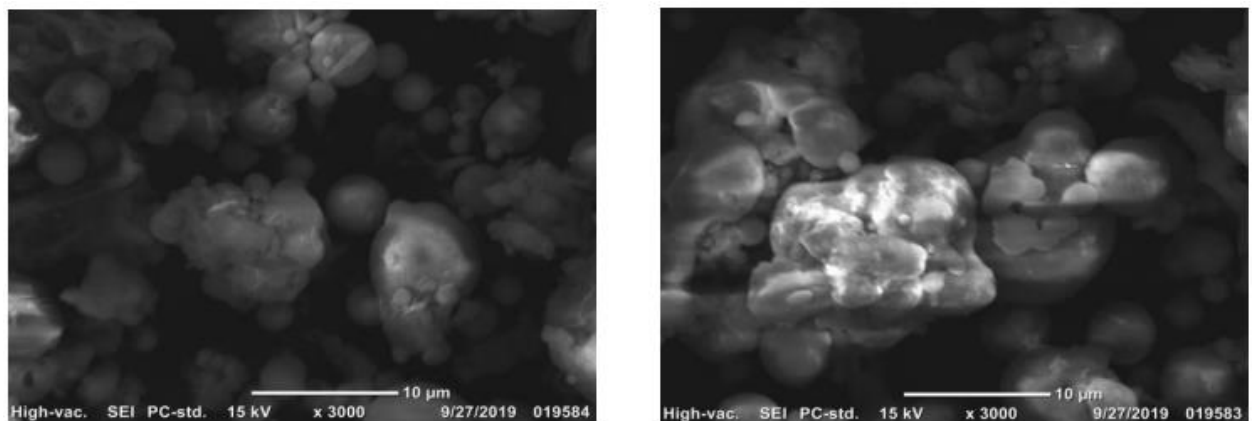


Рисунок 22 - Снимки золы с микроскопа с увеличением в 3000 раз

Таким образом, на основании вышеизложенного материала можно сделать вывод, что минералогический анализ золы, которая образуется после сгорания, показывает, что основной компонентой золы является стекло с кристаллической фазой в виде кварца, гематита, магнетита и разнообразных силикатов кальция.

### 3.4 Определение компонентного состава мелкозернистого бетона

По приведенной методике п. 2.2.3 рассчитали компонентный состав мелкозернистого бетона, представленный в таблице 8.

Таблица 8. Расход сырьевых материалов для формы 40x40x160 мм

Сырьевые материалы	Расход, г			
	М300			
	Контрольный замес	10% золы	20% золы	30% золы
Цемент	547,4	492,66	437,92	383,18
Песок	290,12			
Вода	1642,2			
Зола	-	54,74	109,48	164,22

Также для определения истирания и водопоглощения необходимо изготовить образцы размером 30x30x30 мм.

Расход компонентов и состав приведен в таблице 9.

Таблица 9. Расход сырьевых материалов для изготовления формы 30x30x30 мм

Сырьевые материалы	Расход, г			
	М300			
	Контрольный замес	10% золы	20% золы	30% золы
Цемент	476	428,4	380,8	333,2
Песок	252,28			
Вода	1428			
Зола	-	47,6	95,2	142,8

### 3.5 Определение предела прочности образцов при изгибе

По приведенной методике п. 2.2.5 провели серию испытаний для образцов размером 40x40x160 мм на определение предела прочности при изгибе, полученные результаты приведены в таблице 10.

Таблица 10 – Механическая прочность при изгибе образцов

Номер образца	Содержание золы, %	Размеры образца		Расстояние между опорами l, см	Показания манометра, кН/см <sup>2</sup>	Предел прочности, $\sigma$ изг. МПа	Предел прочности, $\sigma$ изг. ср., МПа
		высота, h, см	ширина, b, см				
1	-	4	4	10	2,35	5,5	5,5
2	-	4	4	10	2,33	5,4	
3	-	4	4	10	2,05	4,8	
4	10	4	4	10	2,96	6,9	7,0
5	10	4	4	10	2,43	5,7	
6	10	4	4	10	3,0	7,0	
7	20	4	4	10	2,85	6,6	6,5
8	20	4	4	10	2,71	6,4	
9	20	4	4	10	2,52	5,9	
10	30	4	4	10	2,49	5,8	5,9
11	30	4	4	10	2,5	5,9	
12	30	4	4	10	2,51	5,9	

На основании полученных данных по таблице 10 построен график зависимости прочности образцов при изгибе от их времени твердения. Зависимость представлена на рисунке 23.

Из графика видно, что добавление золы до 30 % приводит к увеличению прочности при изгибе. При содержании золы в образцах равной 10 %, прочность бетона при изгибе возрастает по сравнению с контрольными образцами (0%) на 27,4% при наборе марочной прочности (28 суток).

При содержании золы в образцах равной 20 %, прочность бетона при изгибе возрастает по сравнению с контрольными образцами (0 %) на 18 % при наборе марочной прочности (28 суток).

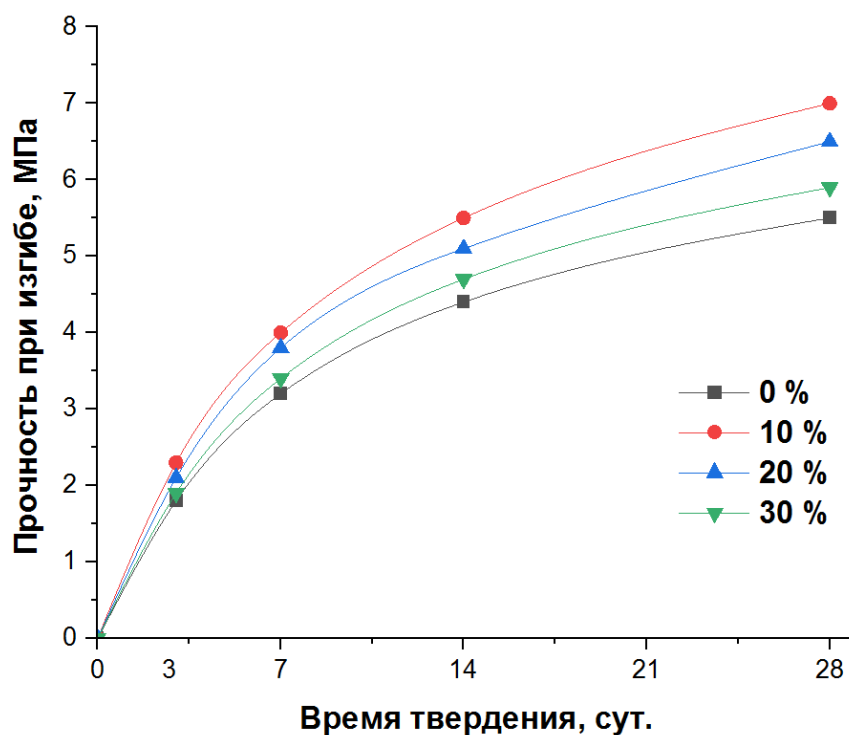
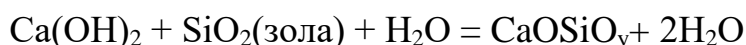


Рисунок 23- Зависимость прочности образцов при изгибе от времени твердения при различном содержании золы

И, соответственно, при содержании золы в образцах равной 30 %, прочность бетона при изгибе возрастает по сравнению с контрольными образцами (0 %) на 7,3 % при наборе марочной прочности (28 суток).

Это связано с тем, что максимальная прочность образцов полученного бетона с 10 % золы, в результате протекания пуццолановой реакции, приводит к полному усвоению золы и увеличению процентного выхода гидросиликатов кальция.

Основное значение имеет реакция:



В добавках, содержащих также активный глинозем, например, в золах, кроме гидросиликата кальция, образуется также гидроалюминат кальция -  $C_3AH_6$ .

Образование высокодисперсного гидросиликата с повышенными вяжущими свойствами и полное усвоение портландита приводит к улучшению



свойств цементного камня. Этому способствует и уменьшение размеров пор вследствие трансформации части капилляров в гелевые поры, находящиеся между частицами гидросиликата кальция.

Таким образом, составляющие пуццоланового эффекта - это и сама реакция, но главным образом происходящие при этом изменения структуры: трансформация  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  в гидросиликаты кальция и уменьшение размеров пор в бетоне.

### 3.6 Определение предела прочности образцов на сжатие

По приведенной методике п. 2.2.6 провели серию испытаний для образцов размером 40x40x160 мм на определение предела прочности на сжатие.

Полученные результаты приведены в таблице 11.

Таблица 11 – Механическая прочность изделий на сжатие

Номер образца	Содержание золы, %	Размеры образца, см		Площадь сечения, см <sup>2</sup>	Показания манометра, кгс/см <sup>2</sup>	Предел прочности, $\sigma_{сж.}$ , МПа	Средний предел прочности, $\sigma_{сж.ср.}$ , МПа
		верх	низ				
1	-	4	4	16	6875	27,5	29,5
2	-	4	4	16	6439	25,8	
3	-	4	4	16	8091	32,4	
4	-	4	4	16	7500	30,0	
5	-	4	4	16	7000	28,0	
6	-	4	4	16	6700	26,8	
7	10	4	4	16	7200	28,8	37,0
8	10	4	4	16	11000	44,0	
9	10	4	4	16	9200	36,8	
10	10	4	4	16	9000	36,0	
11	10	4	4	16	7500	30,0	
12	10	4	4	16	7800	31,2	
13	20	4	4	16	7600	30,4	32,4
14	20	4	4	16	6400	25,6	
15	20	4	4	16	9400	37,6	
16	20	4	4	16	7500	30,0	
17	20	4	4	16	6500	26,0	
18	20	4	4	16	7900	31,6	
19	30	4	4	16	7400	29,6	30,1
20	30	4	4	16	7300	29,2	
21	30	4	4	16	7600	30,4	
22	30	4	4	16	7400	29,6	
23	30	4	4	16	6300	25,2	
24	30	4	4	16	7700	30,8	

На основании полученных данных по таблице 11 построен график зависимости прочности образцов на сжатие и времени их твердения.

Зависимость представлена на рисунке 24.

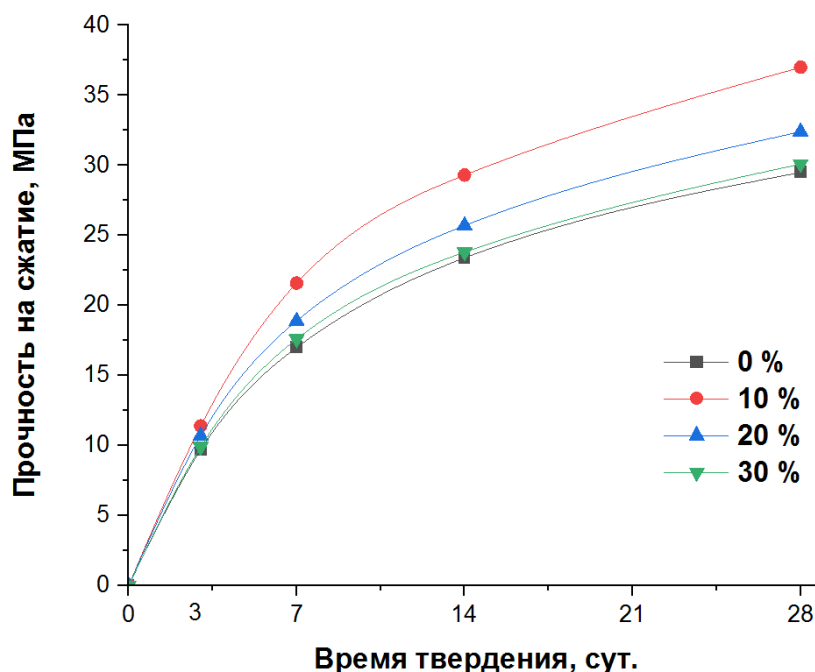


Рисунок 24- Зависимость прочности образцов на сжатие от времени твердения при различном содержании золы

Анализируя полученные данные из графика зависимости можно сделать вывод, что добавление золы до 30 % приводит к увеличению прочности на сжатие. При содержании золы в образцах равной 10 %, прочность бетона на сжатие возрастает по сравнению с контрольными образцами (0%) на 25,4 % при наборе марочной прочности (28 суток).

При содержании золы в образцах равной 20 %, прочность бетона на сжатие возрастает по сравнению с контрольными образцами (0 %) на 9,8 % при наборе марочной прочности (28 суток).

И, соответственно, при содержании золы в образцах равной 30 %, прочность бетона на сжатие возрастает по сравнению с контрольными образцами (0 %) на 2 % при наборе марочной прочности (28 суток).

Поведение кривой прочности на сжатие схоже с поведением кривой прочности на изгиб, что доказывает повышенное образование высокодисперсного гидросиликата кальция в следствие снижения концентрации портландита в пуццоланой реакции.

Портландит в пуццолановой реакции является «слабым» звеном, так как вымывается водой и приводит к коррозии бетона.

Для уменьшения его влияния и повышения прочности бетона необходимо портландит связывать с техногенными отходами (золой, микрокремнеземом).

Именно поэтому, создание такой упорядоченной мелкопористой структуры со сферическими пузырьками не только не приводит к снижению прочности, а в ряде случаев дает значительное ее превышение по сравнению со смесями на более высоких расходах цемента и без добавки пластификатора.

### **3.7 Определение водопоглощения, открытой пористости и кажущейся плотности образцов**

По приведенной методике п. 2.2.7 рассчитали водопоглощение по массе образцов размером 30х30х30 мм, полученные результаты приведены в таблице 12.

Водопоглощение тротуарной плитки — это способность плитки впитывать и удерживать воду в порах. От водопоглощения зависит долговечность и устойчивость плитки к перепадам температуры.

Чем меньше плитка впитывает в себя влагу, тем долговечнее и прочнее будет покрытие из нее. Вода от дождей или влага из воздуха попадает в поры плитки и накапливается в ней. Зимой при замерзании вода расширяется и постепенно разрушает структуру плитки.

Таблица 12 –Водопоглощение по массе образцов

Номер образ-ца	Содержа-ние золы, %	Масса образца, г				Водопоглоще-ние по массе, %
		сухого	сред-няя масса сухого образ-ца	насыщенно-го жидко-стью	средняя мас-са насыщен-ного жидко-стью	
1	2	3	4	5	6	7
1	-	49,7582	48,2310	53,1940	51,7112	7,2
2	-	48,2089		51,4962		
3	-	50,1030		53,5010		
4	-	46,6946		50,4895		
5	-	47,2567		50,6314		
6	-	47,3650		50,9553		
7	10	49,3809	49,6645	52,9522	53,4040	7,5
8	10	50,0267		53,8212		
9	10	49,0988		53,5570		

На основании полученных данных по таблице 12 построена гистограмма зависимости водопоглощения по массе от содержания золы в образцах, представленная на рисунке 25.

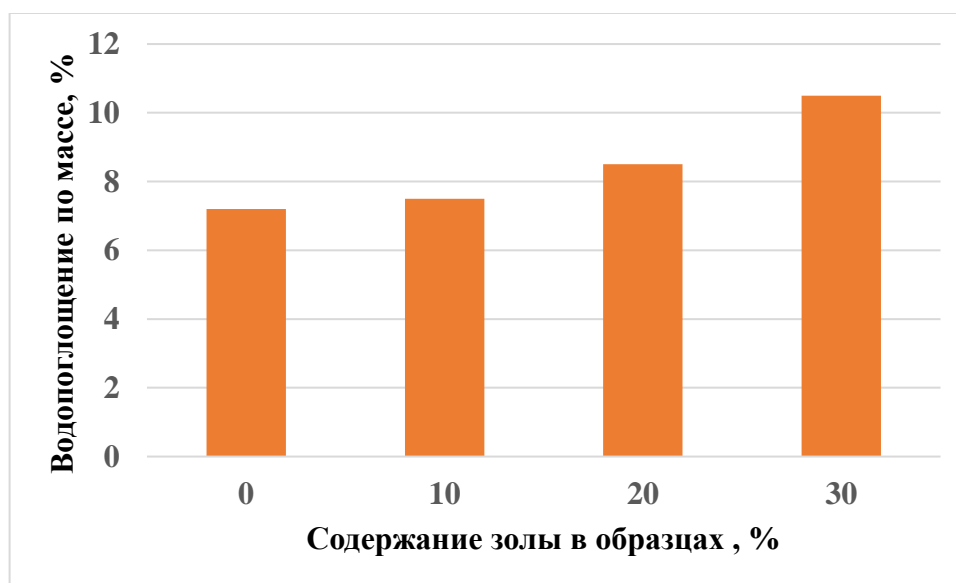


Рисунок 25 - Зависимость водопоглощения по массе от содержания золы в образцах

По приведенной методике п. 2.2.7 рассчитали водопоглощение по объему образцов, а также кажущуюся плотность и общую пористость, полученные результаты приведены в таблице 13.

Таблица 13 –Водопоглощение по объему и кажущаяся плотность образцов

Содержание золы, %	Объем образца, см <sup>3</sup>	Масса сухого образца, г	Кажущаяся плотность, г/см <sup>3</sup>	Водопоглощение по объему, %	Пористость, общая, %	Пористость, закрытая, %
0	24,04	48,2310	2,006	14,4	26,52	12,12
10	24,60	49,6645	2,018	15,1	25,62	10,52
20	25,10	50,7350	2,022	17,2	25,03	7,83
30	24,64	48,6835	1,967	20,7	26,62	5,92

На основании полученных данных по таблице 13 построена гистограмма зависимости водопоглощения по объему от содержания золы в образцах, представленная на рисунке 26.

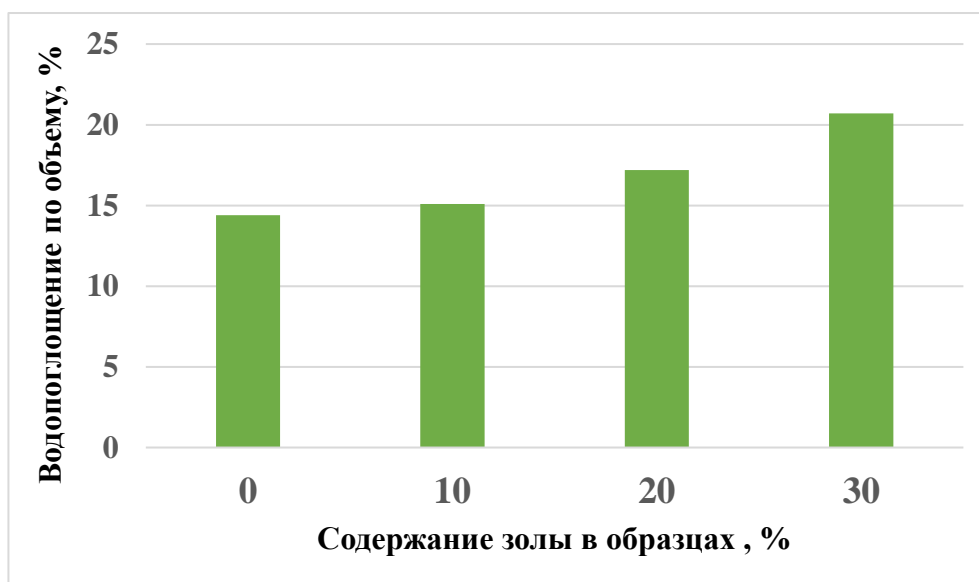


Рисунок 26 - Зависимость водопоглощения по объему от содержания золы в образцах

Также на основании полученных данных по таблице 13 построена гистограмма зависимости общей пористости от содержания золы в образцах, представленная на рисунке 27.

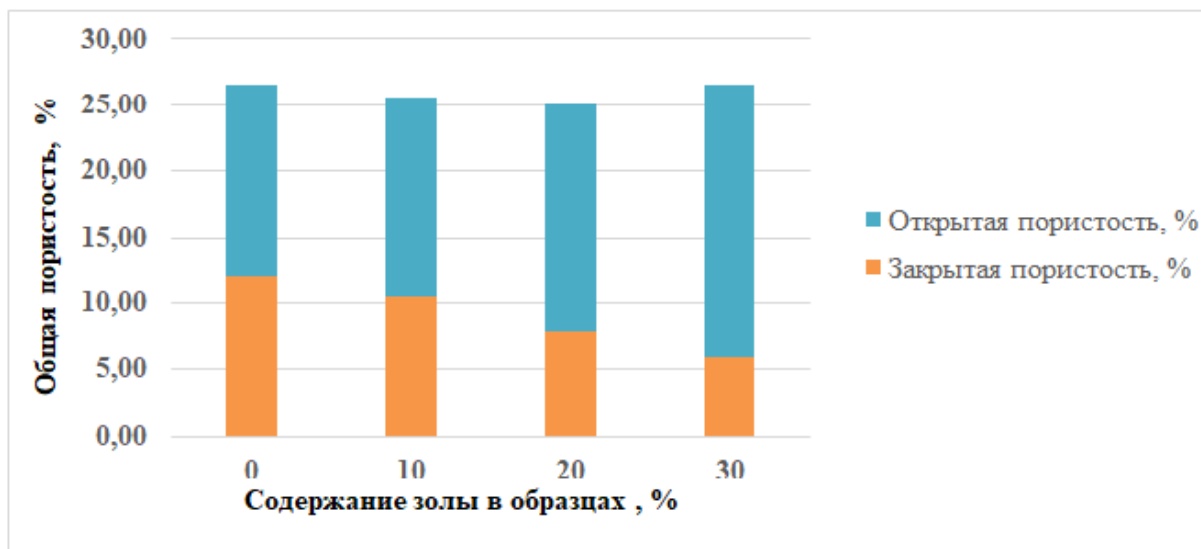


Рисунок 27 - Зависимость водопоглощения по объему от содержания золы в образцах

Анализируя полученные результаты, можно сделать вывод, что при увеличении содержания золы в образцах водопоглощение по объему и по массе увеличивается.

Это связано с тем, что вся введенная зола не усваивается в структуре образца и образует большое количество открытых пор, которые при насыщении водой заполняются ею.

Это приводит к увеличению пористости, а также повышенному процентному содержанию водопоглощения.

В контрольных образцах, а также в образцах с содержанием золы 10 % водопоглощение, и открытая пористость почти не изменяются, а в образцах с содержанием золы 20 и 30 % идет увеличение открытой пористости на 19 и на 42 %, соответственно.

При введении золы взамен цемента макроструктура бетона не изменяется, объем цементного камня остается постоянным. Микроструктура в ран-

нем возрасте ухудшается, т.к. цемент разбавляется добавкой и пористость цементного камня увеличивается.

Но по мере развития пуццолановой реакции качество цементно-зольного камня повышается. Эффект зависит от дисперсности золы и ее химической активности. По мере набора марочной прочности изменения микроструктуры бетона незначительны.

### 3.8 Определения истираемости образцов

По приведенной методике п. 2.2.8 рассчитали истираемость образцов плитки, полученные результаты приведены в таблице 14.

Таблица 14 – Истираемость образцов

Содержание золы, %	Размер образца, см	Площадь, см <sup>2</sup>	Вес образца до испытаний, г	Вес образца после испытаний, г	Потеря массы, г	Истираемость, г/см <sup>2</sup>	Средняя истираемость образцов, г/см <sup>2</sup>
0	2,848x2,844 x2,840	8,1	47,50	47,07	0,43	0,32	0,19
			48,48	48,19	0,29	0,18	
			46,81	46,55	0,26	0,20	
10	2,926x2,951 x2,850	8,6	49,30	48,96	0,34	0,2	0,21
			49,35	49,02	0,33	0,20	
			49,94	49,00	0,94	0,60	
20	2,934x2,961 x2,960	8,7	50,67	50,31	0,36	0,23	0,22
			51,95	51,61	0,34	0,21	
			51,58	51,30	0,28	0,17	
30	2,915x2,917 x2,910	8,5	47,88	47,41	0,47	0,18	0,25
			48,48	48,06	0,42	0,26	
			48,98	48,60	0,38	0,24	

На основании полученных данных по таблице 11 построен график зависимости истираемости образцов тротуарной плитки от содержания золы (рисунок 28).

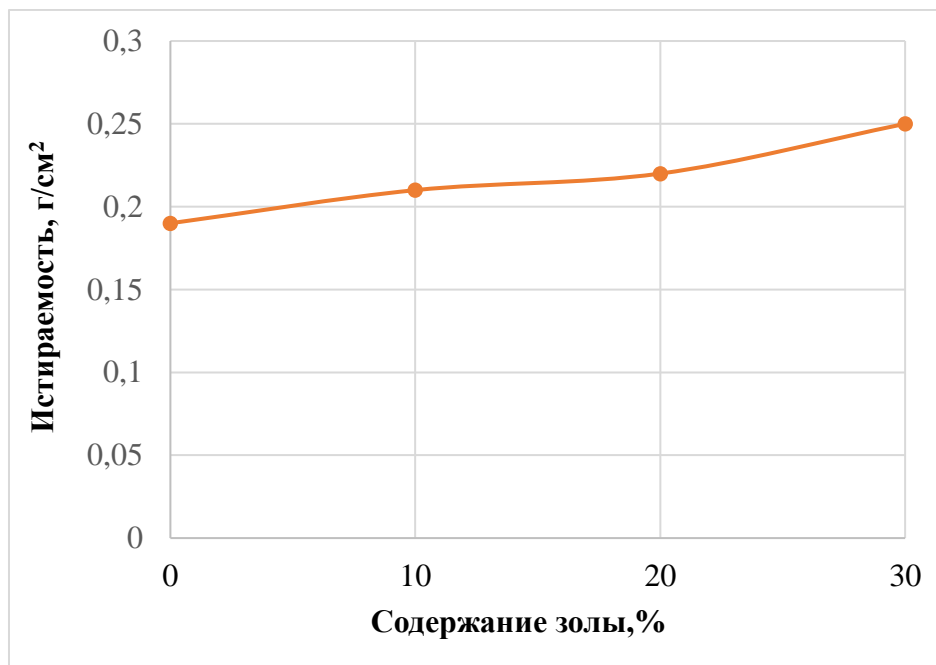


Рисунок 28- Зависимость истирания образцов от содержания золы в образцах

Анализируя полученные данные, можно сделать вывод, что добавление золы до 30 % приводит к увеличению истираемости тротуарной плитки.

При содержании золы в образцах равной 10 %, истираемость бетона возрастает по сравнению с контрольными образцами (0%) на 10 %.

При содержании золы в образцах равной 20 %, истираемость бетона возрастает по сравнению с контрольными образцами (0%) на 15 %.

И, соответственно, при содержании золы в образцах равной 30 %, истираемость бетона возрастает на 30 %.

У образцов с содержанием золы 20 и 30 % также больше и объем открытых пор по сравнению с контрольными, а значит идет увеличение истираемости из-за неплотной поверхности.

Наиболее прочными к динамическим нагрузкам от воздействия пешеходов и автомобилей, с точки зрения истираемости являются контрольные



образцы, это связано с тем, что в них наблюдается плотное сцепление частицы заполнителя с новообразованиями цементного камня, что обусловлено оптимизацией гранулометрии заполнителей, состава жестких бетонных смесей и параметров вибролитья.

Контрольные образцы достаточно плотные, имеют глянцевую поверхность и в них отсутствует отслоение гидратированного цементного камня от поверхности заполнителя.

### **3.9 Обсуждение результатов**

По результатам исследований было проведено сравнение полученных образцов тротуарной плитки с различным содержанием золы с требованием ГОСТ 17608-2017 Плиты бетонные тротуарные. Технические условия [27].

Результаты сравнительных характеристик представлены в таблице 15.

Образцы тротуарной плитки с содержанием золы до 10 % удовлетворяют значению прочности на сжатие плит бетонных тротуарных по классу В25 и группе Б, так как их прочность на сжатие составляет 37,0 МПа.

Полученные образцы удовлетворяют требуемым характеристикам при прочности на растяжение при изгибе и относятся к классу  $V_{tb}5,4$ , так как их прочность на изгиб составляет 7,0 МПа.

Образцы тротуарной плитки с содержанием золы 10 % имеют марку по истираемости G1, что составляет 0,21 г/см<sup>2</sup>.

Образцы тротуарной плитки с содержанием золы до 20 % удовлетворяют значению прочности на сжатие плит бетонных тротуарных по классу В25 и группе Б, так как их прочность на сжатие составляет 32,4 МПа.

Полученные образцы удовлетворяют требуемым характеристикам при прочности на растяжение при изгибе и относятся к классу  $V_{tb}5,2$ , так как их прочность на изгиб составляет 6,5 МПа.

Образцы тротуарной плитки с содержанием золы 20 % имеют марку по истираемости G1, что составляет 0,22 г/см<sup>2</sup>.

Таблица 15– Сравнительные характеристики свойств тротуарной плитки

N п п	Характеристика	Плиты бетонные тротуарные				Полученные образцы			
		Группа А	Группа Б	Группа В	Группа Г	0 % золы	10 % золы	20 % золы	30 % золы
1	Прочность на сжатие, не менее МПа	28,9	32,11	38,35	51,37	29,5	37,0	32,4	30,1
2	Класс по прочности на сжатие, не менее	B22,5	B25	B30	B40	B22,5	B25	B25	B22,5
3	Прочность при изгибе, не менее МПа	4,19	4,72	5,24	5,75	5,5	7,0	6,5	5,9
4	Класс по прочности при изгибе, не менее	B <sub>тб</sub> 3,2	B <sub>тб</sub> 3,6	B <sub>тб</sub> 4,0	B <sub>тб</sub> 4,4	B <sub>тб</sub> 4,0	B <sub>тб</sub> 5,4	B <sub>тб</sub> 5,2	B <sub>тб</sub> 4,4
5	Истираемость, не более г/см <sup>2</sup>	0,9	0,8	0,7	0,7	0,19	0,21	0,22	0,25
6	Марка по истираемости, не более	G3	G2	G1	G1	G1	G1	G1	G1

Образцы тротуарной плитки с содержанием золы до 30 % удовлетворяют значению прочности на сжатие плит бетонных тротуарных по классу B22,5 и группе А, так как их прочность на сжатие составляет 30,1 МПа.

Полученные образцы удовлетворяют требуемым характеристикам при прочности на растяжение при изгибе и относятся к классу B<sub>тб</sub>5,44, так как их прочность на изгиб составляет 5,9 МПа.

Образцы тротуарной плитки с содержанием золы 30 % имеют марку по истираемости G1, что составляет 0,25 г/см<sup>2</sup>.

По результатам проделанной научно-исследовательской работы можно рекомендовать золу, являющуюся отходом производства ТЭЦ, в качестве добавки-наполнителя для получения тротуарной плитки, при этом количе-

ство золы может быть не более 30 % без потери физико-механических характеристик, удовлетворяющих классу и марке бетонных изделий по требованиям ГОСТ 17608-2017 Плиты бетонные тротуарные. Технические условия [27].

Но для эффективного улучшения физико-механических свойств рекомендовано заменять не более 10 % золой от общей массы цемента.

## **4 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ**

Основная цель данного раздела – оценить перспективность развития и планировать финансовую и коммерческую ценность конечного продукта, представленного в рамках исследовательской программы. Коммерческая ценность определяется не только наличием более высоких технических характеристик над конкурентными разработками, но и тем, насколько быстро разработчик сможет ответить на следующие вопросы – будет ли продукт востребован на рынке, какова будет его цена, каков бюджет научного исследования, какое время будет необходимо для продвижения разработанного продукта на рынок.

Данный раздел, предусматривает рассмотрение следующих задач:

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

Целью исследования является доказательство возможности получения тротуарной плитки с использованием золошлаковых материалов фракции золы Северской теплоэлектростанции, подбор оптимального состава, проверка плитки на прочность, износостойкость и морозостойкость .

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

#### **4.1.1 Анализ конкурентных технических решений**

В ходе исследования были рассмотрены две конкурирующие разработки различного состава:

- 1) Тротуарная плитки из шлакового материала;
- 2) Тротуарная плитка с добавлением суперпластификатора.

Детальный анализ необходим, т.к. каждый состав имеет свои достоинства и недостатки. В таблице 16 показано сравнение разработок -конкурентов и разработки данного НИ с точки зрения технических и экономических критериев оценки эффективности.

Таблица 16 – Сравнение конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б <sub>ф</sub>	Б <sub>к1</sub>	Б <sub>к2</sub>	К <sub>ф</sub>	К <sub>к1</sub>	К <sub>к2</sub>
1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>							
1. Актуальность исследования	0,14	5	3	4	0,7	0,42	0,56
2. Прочность при сжатие	0,15	4	5	4	0,6	0,75	0,6
3. Прочность на изгиб	0,18	4	5	4	0,56	0,9	0,72
4. Доступность	0,15	5	3	3	0,75	0,45	0,45
5. Эффективность работы	0,05	5	5	5	0,25	0,25	0,25
6. Безопасность	0,08	4	4	4	0,32	0,32	0,32
<b>Экономические критерии оценки эффективности</b>							
1. Цена сырья	0,10	5	3	4	0,5	0,3	0,4
2. Предполагаемый срок эксплуатации	0,08	4	4	4	0,32	0,32	0,32
3. Финансирование научной разработки конкурентных товаров и разработок	0,04	5	4	4	0,2	0,16	0,16
<b>Итого</b>	<b>1</b>	<b>41</b>	<b>36</b>	<b>32</b>	<b>4,2</b>	<b>3,87</b>	<b>3,78</b>

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

$$K = \sum B_i \cdot B_j = 4,2$$

где  $K$  – конкурентоспособность проекта;  $B_i$  – вес показателя (в долях единицы);  $B_j$  – балл показателя.

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

#### 4.1.2 SWOT-анализ

Для исследования внешней и внутренней среды проекта, в этой работе проведен SWOT-анализ с детальной оценкой сильных и слабых сторон исследовательского проекта, а также его возможностей и угроз.

Первый этап, составляется матрица SWOT, в которую описаны слабые и сильные стороны проекта и выявленные возможности и угрозы для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде, приведены в таблице 17.

Таблица 17 – Матрица SWOT-анализа

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

На втором этапе на основании матрицы SWOT строятся интерактивные матрицы возможностей и угроз, позволяющие оценить эффективность

проекта, а также надежность его реализации. Соотношения параметров представлены в таблицах 18-21.

Таблица 18 – Интерактивная матрица проекта «Возможности проекта и сильные стороны»

<b>Сильные стороны проекта</b>					
<b>Возможности проекта</b>		<b>С1</b>	<b>С2</b>	<b>С3</b>	<b>С4</b>
	<b>В1</b>	+	+	-	-
	<b>В2</b>	+	+	+	-
	<b>В3</b>	-	+	+	+

Таблица 19 – Интерактивная матрица проекта «Возможности проекта и слабые стороны»

<b>Слабые стороны проекта</b>					
<b>Возможности проекта</b>		<b>Сл1</b>	<b>Сл2</b>	<b>Сл3</b>	<b>Сл4</b>
	<b>В1</b>	+	+	+	+
	<b>В2</b>	+	+	+	-
	<b>В3</b>	+	-	-	-

Таблица 20 – Интерактивная матрица проекта «Угрозы проекта и сильные стороны»

<b>Сильные стороны проекта</b>					
<b>Угрозы проекта</b>		<b>С1</b>	<b>С2</b>	<b>С3</b>	<b>С4</b>
	<b>У1</b>	+	+	-	-
	<b>У2</b>	+	+	+	+
	<b>У3</b>	-	+	+	+

Таблица 21 – Интерактивная матрица проекта «Угрозы проекта и слабые стороны»

<b>Слабые стороны проекта</b>					
<b>Угрозы проекта</b>		<b>С1</b>	<b>С2</b>	<b>С3</b>	<b>С4</b>
	<b>У1</b>	+	-	+	+
	<b>У2</b>	-	+	+	-
	<b>У3</b>	+	+	-	+

В рамках третьего этапа должна быть составлена итоговая матрица SWOT анализа. Результаты анализа представлены в итоговую таблицу 22.

Таблица 22 – Итоговая таблица SWOT-анализа

	<p><b>Сильные стороны проекта</b>  С1. Экологичность технологии.  С2. Низкая цена исходного сырья.  С3. Квалифицированный персонал.  С4. Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии</p>	<p><b>Слабые стороны научно-исследовательского проекта</b>  Сл1. Отсутствие прототипа научной разработки.  Сл2. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по работе с научной разработкой.  Сл3. Отсутствие необходимого оборудования для проведения испытания опытного образца.  Сл4. Отсутствие ссылок и материалов для соответствующих научных исследований</p>
<p><b>Возможности</b>  В1. Использование оборудования ИНШПТ ТПУ. В2. Появление потенциального спроса на новые разработки. В3. Внедрение на мировой рынок, экспорт за рубеж.</p>	<p><b>Направления развития</b>  1. Возможность внедрять технологию за счёт экологичности в энергетическую промышленность.  2. Низкая цена исходного сырья и высокое содержание железа в готовой продукции являются основой для экспорта за рубеж и выхода на мировой рынок.  3. Развитие торговых отношений.</p>	<p><b>Сдерживающие факторы</b>  1. Использование новейшего оборудования для исследований может уменьшить экспериментальную ошибку и предотвратить появление брака.  2. Появление дополнительного спроса увеличивает количество изготавливаемой продукции.  3. Возможность выхода на внешний рынок</p>
<p><b>Угрозы</b>  У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства.  У2. Появление зарубежных аналогов и более ранний их выход на рынок.  У3. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства.</p>	<p><b>Угрозы развития</b>  1. Несмотря на снижение стоимости разработок конкурентов, данная продукты имеют больше перспектив развития, так как имеет большое содержание железа и окатыши имеют высокую механическую прочность из-за выбранного связующего.  2. Низкая стоимость готовой продукции может решить проблему с конкуренцией.  3. Наличие долгосрочных контрактов, могут решить проблему отсутствия спроса.</p>	<p><b>Уязвимости:</b>  1. Введение систем совершенствования производственных процессов для снижения погрешности и неопределенности.  2. Замена связующего материала может повысить себестоимость продукции.  3. Повышение цен на выпускаемую продукцию.</p>

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



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

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

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

## **4.2 Планирование научно-исследовательских работ**

### **4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования**

Планирование комплекса научно-исследовательских работ осуществляется в порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение количества исполнителей для каждой из работ;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

Для оптимизации работ удобно использовать классический метод линейного планирования и управления.

Результатом такого планирования является составление линейного графика выполнения всех работ. Порядок этапов работ и распределение исполнителей для данной научно-исследовательской работы, приведен в таблице 23.

Таблица 23 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика	Научный руководитель
	2	Календарное планирование выполнения работ	Инженер, научный руководитель
Выбор способа решения поставленной задачи	3	Обзор научной литературы	Инженер
	4	Выбор направления исследований	Инженер
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Планирование эксперимента	Инженер, научный руководитель
	6	Подготовка образцов для эксперимента	Инженер
	7	Проведение эксперимента	Инженер
Обобщение и оценка результатов	8	Обработка полученных данных	Инженер
	9	Оценка правильности полученных результатов	Инженер, Научный руководитель
Оформление отчета по НИР (комплекта документации по ОКР)	10	Выбор и расчет конструкции	Инженер
	11	Оценка эффективности производства и применения проектируемого изделия	Инженер
	12	Проверка чертежей	Научный руководитель
Оформление отчета по НИР	13	Составление пояснительной записки	Инженер

#### 4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения

При проведении научных исследований основную часть стоимости разработки составляют трудовые затраты, поэтому определение трудоемкости проводимых работ является важным этапом составления сметы.

Для определения, ожидаемого (среднего) значения трудоемкости использована следующая формула:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5}, \quad (4.1)$$

Где  $t_{ожі}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения  $i$ -ой работы, человеко-дни;

$t_{\min i}$  – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы, человеко-дни;

$t_{\max i}$  – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы, человеко-дни.

Зная величину ожидаемой трудоемкости, можно определить продолжительность каждой  $i$ -ой работы в рабочих днях  $T_{pi}$ , при этом учитывается параллельность выполнения работ разными исполнителями. Данный расчёт позволяет определить величину заработной платы.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i}, \quad (4.2)$$

где  $T_{pi}$  – продолжительность одной работы, рабочие дни;

$t_{ожi}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, человеко-дни;

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

Для перевода длительности каждого этапа из рабочих в календарные дни, необходимо воспользоваться формулой (4.3):

$$T_{ki.инж} = T_{pi} \cdot k_{кал}, \quad (4.3)$$

где  $T_{ki}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в календарных днях;

$T_{pi}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в рабочих днях;

$k_{кал}$  – календарный коэффициент.

Календарный коэффициент определяется по формуле:

$$k_{кал.инж} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}} = \frac{365}{365 - 104 - 14} = 1,48 \quad (4.4)$$

где  $T_{\text{кал}}$  – общее количество календарных дней в году;  $T_{\text{вых}}$  – общее количество выходных дней в году;  $T_{\text{пр}}$  – общее количество праздничных дней в году (2020 год).

Расчеты временных показателей проведения научного исследования обобщены в таблице 24.

Таблица 24 – Временные показатели проведения научного исследования

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

Продолжение таблицы 24

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях $T_{pi}$	Длительность работ в календарных днях $T_{ki}$
	$t_{min}$ , чел-дни		$t_{max}$ , чел-дни		$t_{ожг}$ , чел-дни			
	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2		
9. Оценка правильности полученных результатов	4	4	7	6	5	5	5	6
10. Выбор и расчет конструкции	-	15	-	20	-	17	17	20
11. Оценка эффективности и применения проектируемого изделия	-	10	-	14	-	12	12	14
12. Проверка чертежей	2	-	4	-	3	-	3	3
13. Составление пояснительной записки	-	11	-	13	-	12	12	14
<b>Итого:</b>	11	89	22	135	16	115	121	137

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

На основе таблицы составлен календарный план-график выполнения проекта с использованием диаграммы Ганта, представленной в таблице 25).

Таблица 25 – Диаграмма Ганта

№	Вид работ	Исп	$T_{ki}$ , кал. дн.	Продолжительность работ																	
				Янв.			Февр.			Март.			Апр.			Май			Июнь		
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика	Исп1	3																		
2	Календарное планирование выполнения ВКР	Исп1 Исп2	2																		
3	Обзор научной литературы	Исп2	9																		

Продолжение таблицы 25

№	Вид работ	Исп	T <sub>кп</sub> кал. дн.	Продолжительность работ																		
				Янв.			Февр.			Март.			Апр.			Май			Июнь			
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
4	Выбор методов исследования	Исп2	4			■																
5	Планирование эксперимента	Исп1 Исп2	6			■																
6	Подготовка образцов для эксперимента	Исп2	13			■	■															
7	Проведение эксперимента	Исп2	28				■	■	■	■												
8	Обработка полученных данных	Исп2	14							■	■	■										
9	Оценка правильности полученных результатов	Исп1 Исп2	6																			
10	Выбор и расчет конструкции	Исп2	20																			
11	Оценка эффективности и применения проектируемого изделия	Исп2	14																			
12	Проверка чертежей	Исп1	3																			
13	Составление пояснительной записки	Исп2	14																			

Примечание:



– Исп. 1 (научный руководитель),



– Исп. 2 (инженер)

### 4.3 Бюджет научно-технического исследования

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

- материальные затраты научно-исследовательской работы (НИР);
- затраты на специальное оборудование для экспериментальных работ;
- основная заработная плата исполнителей темы;

- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы НИР.

#### 4.3.1 Расчет материальных затрат научно-технического исследования

Материальные затраты — это затраты организации на приобретение сырья и материалов для создания готовой продукции.

Данная часть включает затрат всех материалов, используемых при разработке проекта. Результаты расчета затрат представлены в таблице 26.

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

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

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

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

$C_i$  – цена приобретения единицы  $i$ -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м<sup>2</sup> и т.д.);  $k_T$  – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы (15% от цены материалов).

Таблица 26 – Затраты на получение 1 м<sup>3</sup> тротуарной плитки

Наименование статей	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Итого затраты, руб.
Цемент	кг	383,2	9	3966
Песок	кг	1642,2	1,7	3211
Зола	кг	164,2	0,4	76

Продолжение таблицы 26

Наименование статей	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Итого затраты, руб.
Вода	л	290,1	0,049	16*
Халат лабораторный	шт.	1	730	840
Перчатки резиновые, технические	пар	10	12	138
<b>Итого:</b>				8247

\*- без учета коэффициента  $k_T$

#### 4.3.2 Расчет амортизации специального оборудования

Расчет сводится к определению амортизационных отчислений, так как оборудование было приобретено до начала выполнения данной работы и эксплуатировалось ранее, поэтому при расчете затрат на оборудовании учитываем только рабочие дни по данной теме, представленной в таблице 27.

Расчет амортизации проводится следующим образом:

Норма амортизации: рассчитывается по формуле:

$$H_A = \frac{1}{n}, \quad (4.5)$$

где  $n$  – срок полезного использования в количестве лет.

Амортизация оборудования рассчитывается по формуле:

$$A = \frac{H_A I}{12} \cdot m, \quad (4.6)$$

где  $I$  – итоговая сумма, тыс. руб.;  $m$  – время использования, мес.



Таблица 27 – Затраты на оборудование

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во ед.	Срок полезного использования, лет	Время использования, мес.	Н <sub>А</sub> , %	Цена оборудования, руб.	Амортизация
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Просвечивающий электронный микроскоп (ПЭМ) JEM-2100F	1	20	0,1	5	18000000	7500
2	Вибростол ВБ-120	1	10	0,37	10	265160	817,6
3	ИП-500М - пресс лабораторный испытательный универсальный 500 тн	1	15	0,27	7	715500	1126,9
4	Шкаф сушильный ШС160-02 СПУ	1	15	0,16	7	125000	116,7
5	ПЭВМ	1	3	3	33	30000	2475
<b>Итого:</b>						12036,2 руб.	

### 4.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы

В данном разделе рассчитывается заработная плата инженера и руководителя, помимо этого необходимо рассчитать расходы по заработной плате, определяемые трудоемкостью проекта и действующей системой оклада.

Основная заработная плата  $Z_{осн}$  одного работника рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p, \quad (4.7)$$

где  $Z_{дн}$  – среднедневная заработная плата, руб.;  $T_p$  – продолжительность работ, выполняемых работником, раб.дн. (таблица 28).

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

Для шестидневной рабочей недели (рабочая неделя руководителя):

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d} = \frac{51285 \cdot 10,3}{246} = 2147,3 \text{ руб.}, \quad (4.8)$$

где  $Z_m$  – месячный должностной оклад работника, руб.;  $F_o$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дней;  $M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года [45]:

- при отпуске в 28 раб. дня – 11,2 месяца, 5-дневная рабочая неделя;
- при отпуске в 56 раб. дней – 10,3 месяца, 6-дневная рабочая неделя.

Для пятидневной рабочей недели (рабочая неделя инженера):

$$Z_{он} = \frac{Z_m \cdot M}{F_o} = \frac{33150 \cdot 11,2}{213} = 1743,1 \text{ руб.} \quad (4.9)$$

Должностной оклад работника за месяц:

- для руководителя:

$$Z_m = Z_{mc} \cdot (1 + k_{np} + k_o) k_p = 26300 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 51285 \text{ руб.} \quad (4.10)$$

- для инженера:

$$Z_m = Z_{mc} \cdot (1 + k_{np} + k_o) k_p = 17000 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 33150 \text{ руб.}, \quad (4.11)$$

где  $Z_{mc}$  – заработная плата, согласно тарифной ставке, руб.;  $k_{np}$  – премиальный коэффициент, равен 0,3;  $k_o$  – коэффициент доплат и надбавок, равен 0,2;  $k_p$  – районный коэффициент, равен 1,3 (для г. Томска).

Таблица 28 – Баланс рабочего времени исполнителей

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней	52/14	104/14
- выходные дни		
- праздничные дни		
Потери рабочего времени	48/5	24/10
- отпуск		
- невыходы по болезни		
Действительный годовой фонд рабочего времени	246	213

Таблица 29 – Расчет основной заработной платы исполнителей

Исполнители НИ	$Z_{mc}$ , руб	$k_{np}$	$k_o$	$k_p$	$Z_m$ , руб	$Z_{он}$ , руб	$T_p$ , раб.дн.	$Z_{осн}$ , руб
-------------------	----------------	----------	-------	-------	-------------	----------------	-----------------	-----------------

Руководитель	26300	0,3	0,2	1,3	51285	2147,3	16	34356,8
Инженер	17000	0,3	0,2	1,3	33150	1743,1	115	200456,5
Итого:								234813,3

Дополнительная заработная плата определяется по формуле:

– для руководителя:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}} = 0,15 \cdot 34356,8 = 5154 \text{ руб.}, \quad (4.12)$$

– для инженера:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}} = 0,15 \cdot 200456,5 = 30069 \text{ руб.}, \quad (4.13)$$

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

#### 4.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Отчисления во внебюджетные фонды определяется по формуле:

– для руководителя:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) = 0,3 \cdot (34356,8 + 5154) = 39510,8 \text{ руб.}, \quad (4.14)$$

– для инженера:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) = 0,3 \cdot (34356,8 + 30069) = 64425,8 \text{ руб.}, \quad (4.15)$$

где  $k_{\text{внеб}}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд ОМС и социальное страхование). Общая ставка взносов составляет в 2020 году – 30% (ст. 425, 426 НК РФ).

### 4.3.5 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по следующей формуле (4.16):

$$Z_{накл} = (\text{сумма статей} \div 5) \cdot k_{нр}, \quad (4.16)$$

где  $k_{нр}$  – коэффициент, учитывающий накладные расходы. Величина коэффициента принимается равной 0,2.

### 4.3.6 Бюджет НИР

Рассчитанная величина затрат является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции. В таблице также представлено определение бюджета затрат двух конкурирующих научно-исследовательских проектов. Определение бюджета затрат на проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 30.

Таблица 30– Группировка затрат по статьям

№	Наименование статьи	Сумма, руб.			Примечание
		Текущий Проект	Исп.2	Исп.3	
1	Материальные затраты НИР	8247	11295,3	19345,1	Пункт 4.2.3.1
2	Затраты на специальное оборудование	12036,2	22325,0	23053,3	Пункт 4.2.3.2

Продолжение таблицы 30

№	Наименование статьи	Сумма, руб.			Примечание
		Текущий Проект	Исп.2	Исп.3	
3	Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	234813,3			Пункт 4.2.3.3
4	Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	35223			Пункт 4.2.3.3
5	Отчисления во внебюджетные фонды	103936,6			Пункт 4.2.3.4
6	Накладные расходы	78851,2			Пункт 4.2.3.5
Бюджет затрат НИР		473107,3	486444,4	495222,5	Сумма ст. 1- 6

#### 4.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Для определения эффективности исследования рассчитан интегральный показатель эффективности научного исследования путем определения интегральных показателей финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

**Интегральный показатель финансовой эффективности** научного исследования получен в процессе оценки бюджета затрат трех вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принят за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

В качестве аналогов данной НИР рассмотрены:

- 1) Тротуарная плитки из шлакового материала;

2) Тротуарная плитка с добавлением суперпластификатора.

Интегральный финансовый показатель разработки рассчитывается как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (4.17)$$

где  $I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$  – интегральный финансовый показатель разработки;

$\Phi_{pi}$  – стоимость  $i$ -го варианта исполнения;

$\Phi_{\text{max}}$  – максимальная стоимость исполнения.

$\Phi_{\text{текущ.проект}} = 473107,3$ руб,  $\Phi_{\text{исп.1}} = 486444,4$  руб,  $\Phi_{\text{исп.2}} = 495222,5$  руб.

$$I_{\text{финр}}^{\text{тек.пр.}} = \frac{\Phi_{\text{тек.пр.}}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{473107,3}{495222,5} = 0,96;$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.2}} = \frac{\Phi_{\text{исп.2}}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{486444,4}{495222,5} = 0,98;$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.3}} = \frac{\Phi_{\text{исп.3}}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{495222,5}{495222,5} = 1.$$

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

**Интегральный показатель ресурсоэффективности** вариантов выполнения НИР ( $I_{pi}$ ) определен путем сравнительной оценки их характеристик, распределенных с учетом весового коэффициента каждого параметра (таблица 31).

Расчет интегрального показателя для разрабатываемого проекта:

$$I_{p1} = 0,1*5+0,15*5+0,15*4+0,20*5+0,25*4+0,15*5 = 4,6$$

$$I_{p2} = 0,1*5+0,15*4+0,15*4+0,20*3+0,25*4+0,15*3 = 3,75$$

$$I_{p3} = 0,1*5+0,15*3+0,15*4+0,20*4+0,25*4+0,15*3 = 3,8$$

Таблица 31 – Сравнительная оценка характеристик вариантов НИР

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Исп.2	Исп.3
1. Безопасность при использовании установки	0,1	5	5	5
2. Стабильность работы	0,15	5	4	3
3. Технические характеристики	0,15	4	4	4
4. Энергосбережение	0,2	5	3	4
5. Надежность	0,15	5	4	5
6. Материалоёмкость	0,25	4	4	4
ИТОГО	1	4,6	3,75	3,8

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки вычисляется на основании показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп.i} = \frac{I_{p-исп.i}}{I_{финр}^{исп.i}} \quad (20)$$

$$I_{исп.1} = \frac{4,6}{0,96} = 4,8, \quad I_{исп.2} = \frac{3,75}{0,98} = 3,83, \quad I_{исп.3} = \frac{3,8}{1} = 3,8.$$

Таблица 32 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Текущий проект	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,96	0,98	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,6	3,75	3,8
3	Интегральный показатель эффективности	4,8	3,83	3,8
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,8	0,79

Далее интегральные показатели эффективности каждого варианта НИР сравнивались с интегральными показателями эффективности других вариантов с целью определения сравнительной эффективности проекта (таблица 32).

Сравнение среднего интегрального показателя сопоставляемых вариантов позволило сделать вывод о том, что наиболее финансово- и ресурсоэффективным является вариант 1 (текущий проект). Наш проект является более эффективным по сравнению с конкурентами.



## Выводы по разделу

В результате выполнения целей раздела можно сделать следующие выводы:

1. Результатом анализа конкурентных технических решений является выбор одного из вариантов реализации НИР как наиболее подходящего и оптимального по сравнению с другими.

2. В ходе планирования для руководителя и инженера был разработан график реализации этапа работ, который позволяет оценивать и планировать рабочее время исполнителей. Определено следующее: общее количество календарных дней для выполнения работ составляет 137 дней; общее количество дней, в течение которых работал инженер, составляет 130 дней; общее количество дней, в течение которых работал руководитель, составляет 20 дней;

3. Для оценки затрат на реализацию проекта разработан проектный бюджет, который составляет 473107,3 руб.;

4. Результат оценки эффективности ИР показывает следующие выводы:

1) значение интегрального финансового показателя ИР составляет 0,96, что является показателем того, что ИР является финансово выгодной по сравнению с аналогами;

2) значение интегрального показателя ресурсоэффективности ИР составляет 4,6 по сравнению с 3,75 и 3,8;

3) значение интегрального показателя эффективности ИР составляет 4,8, по сравнению с 3,83 и 3,8, и является наиболее высоким, что означает, что техническое решение, рассматриваемое в ИР, является наиболее эффективным вариантом исполнения.

## 5 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Раздел «Социальная ответственность» нацелен на разработку проектных решений, предотвращающих возникновение чрезвычайных ситуаций в производстве, а также на уменьшение воздействия отходов разного класса опасности на окружающую среду.

Объект исследования представляет из себя золошлаковые материалы после сжигания угля кузбасского бассейна на Северской теплоэлектростанции, сформировавшиеся в виде залежей.

Предмет исследования – переработка золоотвала теплоэлектростанции, получение тротуарной плитки из золы Северской ТЭЦ.

Получение тротуарной плитки из золы Северской ТЭЦ происходит в помещении лаборатории с размерами рабочей зоны 7\*8 м, которая оснащена следующими видами оборудования: вибростол ЭВ-344 (Россия), лабораторная шаровая мельница ЛШМ-750 (Россия), ЛС-ЦБ-10 смеситель лабораторный цементно-бетонной смеси без подогрева (Россия), анализатор ситовой.

Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне: приготовление бетонной смеси, виброуплотнение раствора на вибростоле, формовка полуфабрикатов в силиконовых формах, сушка образцов и проведение испытаний готовой продукции на прочность.

## **5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

### **5.1.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства**

Научно-исследовательская работа выполнялась в лабораторном помещении научно-образовательного центра Н.М. Кижнера.

Продолжительность рабочего времени, а именно начало и его окончание определена по соглашению сторон работодателя и работника в соответствии с главой 16 ст. 102 ТК РФ «Работа в режиме гибкого рабочего времени» [52].

Выполнение работ связано с воздействием вредных и (или) опасных факторов производственной среды, в связи с чем, работникам бесплатно выдаются средства индивидуальной защиты и смывающие средства, в соответствии с главой 36 ст. 221 ТК РФ «Обеспечение работников средствами индивидуальной защиты» Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 27.12.2018) [49].

Поступающие на работу допускаются к исполнению своих обязанностей только после вводного инструктажа о соблюдении мер безопасности, инструктажа на рабочем месте и после собеседования по вопросам техники безопасности. Проведение всех видов инструктажа регистрируется в журнале.

Работа в лаборатории с химическими реактивами, проводится только в вытяжных шкафах, также происходит осмотр оборудования, наведение порядка на рабочем месте, применение индивидуальных средств защиты по ПНД Ф 12.13.1-03 Методические рекомендации. Техника безопасности при работе в аналитических лабораториях (общие положения) [38].

При проведении социальной оценки условий труда на рабочем месте, работник вправе обращаться к эксперту, проводящей специальную оценку условий труда с предложениями по осуществлению на его рабочем месте

идентификации потенциально вредных и (или) опасных производственных факторов и за получением разъяснений по вопросам проведения специальной оценки условий труда на его рабочем месте Федеральный закон от 28 декабря 2013 г. N 426-ФЗ "О специальной оценке условий труда" [44].

### **5.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя**

Стол в рабочей зоне исследователя должен быть устойчивым, иметь однотонное неметаллическое покрытие, не обладающее способностью накапливать статическое электричество. Рабочий стул должен иметь дизайн, исключаящий онемение тела из-за нарушения кровообращения при продолжительной работе на рабочем месте.

Рабочее место должно соответствовать техническим требованиям и санитарным нормам. При выполнении работ в положении стоя рабочее место и оборудование должны гарантировать прямое и свободное положение корпуса тела, работающего или наклон его вперед не более чем на 15°. Для обеспечения удобного подхода к столу или оборудованию должно быть предусмотрено пространство для стоп.

Необходимо знать специфические свойства применяемых веществ и соблюдать установленные правила работы с ними ПНД Ф 12.13.1-03 Методические рекомендации. Техника безопасности при работе в аналитических лабораториях (общие положения) [53].

## **5.2 Производственная безопасность**

В процессе исследования с точки зрения возникающих вредных или опасных факторов общий этап работ может быть разделен на три основных этапа:

- 1) разработка состава мелкозернистого бетона: проведение теоретических расчетов (работа на персональном компьютере);
- 2) изготовление образцов: приготовление бетонной смеси на основе золошлаковых материалов, перемешивание смеси в шаровой мельнице, виброуплотнение смеси на вибростоле и затворение водой, сушка тротуарной плитки;
- 3) эксплуатация образцов: проведение экспериментальных исследований на прочность, водопоглощение тротуарной плитки, испытание образцов на растяжение.

### 5.2.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования

Таблица 33 – Возможные опасные и вредные производственные факторы на рабочем месте при выполнении НИР

№	Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Нормативные документы
1	Неподвижные режущие, колющие, обдирающие, разрывающие части твердых объектов;	ГОСТ 12.2.049-80 ССБТ. Оборудование производственное. Общие эргономические требования. ПОТ РО-14000-002-98. Положение. Обеспечение безопасности производственного оборудования.
2	Производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий;	ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов; ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты;
3	Повышенный уровень локальной вибрации;	ГОСТ 31192.2-2005 Вибрация. Измерение локальной вибрации и оценка ее воздействия на человека
4	Повышенный уровень шума	ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ. Средства и методы защиты от шума. Классификация; ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности; СП 51.13330.2011. Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003.
5	Производственные факторы, связанные с отсутствием или недостатком необходимого искусственного освещения;	СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*; СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещённому освещению жилых и общественных зданий;

6	Производственные факторы, обладающие свойствами психофизиологического воздействия на организм человека (активное наблюдение за ходом производственного процесса, монотонность труда, перенапряжение анализаторов);	МР 2.2.9.2311 – 07 «Профилактика стрессового состояния работников при различных видах профессиональной деятельности»;
7	Аэрозоли преимущественно фиброгенного действия	ГОСТ Р 54578-2011 Воздух рабочей зоны. Аэрозоли преимущественно фиброгенного действия.

### **5.2.2 Неподвижные режущие, колющие, обдирающие, разрывающие части твердых объектов**

По характеру воздействия на человека опасности можно разделить на активные и пассивные.

К пассивным относятся опасности, активизирующиеся за счет энергии, носителем которой является сам человек. Это — острые (колющие и режущие) неподвижные элементы, неровности поверхности, по которой перемещается человек, уклоны, подъемы, незначительное трение между соприкасающимися поверхностями.

При изготовлении образцов тротуарной плитки на вибростоле ЭВ-344, а также при расформовании плитки возникает возможность задеть кожу рук об острые кромки вибростола и вспомогательных элементов.

На опалубках металлических также есть острые и обдирающие края, которые являются потенциально опасными. В результате расформовки образцов без СИЗ работник может получить ссадину, порез.

Материалы конструкции производственного оборудования не должны оказывать опасное и вредное воздействие на организм человека на всех заданных режимах работы и предусмотренных условиях эксплуатации, а также создавать пожаровзрывоопасные ситуации по ГОСТ 12.2.003-91 ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности [57].

Элементы конструкции производственного оборудования не должны иметь острых углов, кромок, заусенцев и поверхностей с неровностями, представляющих опасность травмирования работающих, если их наличие не определяется функциональным назначением этих элементов. В данном случае должны быть предусмотрены меры защиты работающих. Для обеспечения защиты от прямого прикосновения необходимо применение работником перчаток.

### **5.2.3 Производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий**

При изготовлении образцов тротуарной плитки возникает необходимость работы на электрооборудовании, таком как, вибростол ЭВ-344 (Россия), лабораторная шаровая мельница ЛШМ-750 (Россия), ЛС-ЦБ-10 смеситель лабораторный цементно-бетонной смеси без подогрева (Россия), анализатор ситовой, вследствие чего возникает вероятность прохождения электрического тока через тело человека.

Опасное и вредное воздействия на людей электрического тока проявляются в виде электротравм (судороги, остановка сердца, остановка дыхания, ожоги и др.) и заболеваний. Результат воздействия тока на человека зависит от величины силы тока, его рода и частоты, продолжительности воздействия и множества других факторов [53].

Причиной поражения электрическим током в условиях лаборатории могут стать случайное прикосновение к токоведущим частям или появление напряжения на металлических частях оборудования.

Напряжение прикосновения и токи при нормальном (неаварийном) режиме электроустановки, не должны превышать 8 В и 1 мА, соответственно (постоянный ток) или 2 В, 0,3 мА (переменный ток частотой 50 Гц) согласно

12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов. [51].

Для обеспечения защиты от прямого прикосновения необходимо применение таких технических способов и средств основной защиты, как: основная изоляция, защитное отключение, безопасное расположение токоведущих частей, средства индивидуальной защиты по ГОСТ 12.1.019- 2017 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты. [52].

#### **5.2.4Повышенный уровень локальной вибрации**

Режим труда должен устанавливаться при показателе превышения вибрационной нагрузки на оператора не менее 1 дБ (в 1,12 раза), но не более 12 дБ (в 4 раза). При показателе превышения более 12 дБ (в 4 раза) запрещается проводить работы и применять машины, генерирующие такую вибрацию по ГОСТ 12.1.012-2004. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Вибрационная безопасность. Общие требования [57].

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

Характер, глубина и направленность функциональных сдвигов со стороны различных систем организма определяются прежде всего уровнем, спектральным составом и продолжительностью воздействия вибрации.

Нарушения здоровья работающего, обусловленные локальной или общей вибрацией, складываются из поражения нейрососудистой, нервно-мышечной систем, опорно-двигательного аппарата, изменений обмена веществ и др. При всех видах вибрационной болезни нередко наблюдаются из-



менения со стороны центральной нервной системы, которые связаны с комбинированным действием вибрации и интенсивного шума.

Основными методами и средствами защиты от вибрации являются устранение непосредственного контакта с вибрирующим оборудованием путем применения дистанционного управления, промышленных роботов, автоматизации; рациональная организация режима труда и отдыха; использование средств индивидуальной защиты; уменьшение интенсивности вибрации непосредственно в источнике [60].

### **5.2.5 Повышенный уровень шума**

При работе в лаборатории с электрооборудованием- (бетономеситель и вибростол) и работе вентиляционных систем помещения, возникают звуковые колебания в диапазоне слышимых частот, которые способны оказать вредное воздействие на безопасность и здоровья работника.

Шум на рабочем месте оказывает раздражающее влияние на работника, повышает его утомляемость, а при выполнении задач, требующих внимания и сосредоточенности, способен привести к росту ошибок и увеличению продолжительности выполнения задания.

Длительное воздействие шума влечет тугоухость работника вплоть до его полной глухоты, увеличению риска артериальной гипертензии, болезней сердечно-сосудистой, нервной системы и др.

Для защиты от воздействия шума на организм человека возможно применение архитектурно-планировочных методов, которые включают в себя: рациональное размещение технологического оборудования, машин и механизмов, рациональное размещение рабочих мест, создание шумозащитных зон в различных местах нахождения человека согласно ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ. Средства и методы защиты от шума. Классификация [55].

Таблица 34 - Предельно допустимые и допустимые уровни звукового давления, уровни звука, эквивалентные и максимальные скорректированные по А уровни звука в помещениях производственных, жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки СП 51.13330.2011. Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003

Назначение помещений или территорий	Для источников постоянного шума									Для источников непостоянного шума			
	Уровни звукового давления дБ, в октавных полосах частот со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровень звука скорректированный по А, L <sub>A</sub> , дБ	Эквивалентный скорректированный по А уровень звука L <sub>экв</sub> , дБ	Максимальный скорректированный по А уровень звука L <sub>макс</sub> , дБ	
	31,5			63			125						
Помещения лабораторий для проведения экспериментальных работ, помещения для измерительных и	-	103	91	83	77	73	70	68	66	64	75	75	90

### 5.2.6 Производственные факторы, связанные с отсутствием или недостатком необходимого искусственного освещения

Освещение в образовательных учреждениях должно быть безопасным и комфортным для обучающихся, способствовать созданию оптимальной визуальной среды, которая помогает концентрации в процессе написания дипломной работы. Естественное и искусственное освещение в помещениях регламентируется СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» [44].

Санитарные нормы являются обязательными для всех организаций на территории РФ, вне зависимости от форм собственности, подчинения и принадлежности. Основной задачей светотехнических расчётов для искусственного освещения является определение требуемой мощности электрической осветительной установки для создания заданной освещённости.

Освещенность на поверхности стола в зоне размещения рабочего документа должна быть 300-500 лк. Освещение не должно создавать бликов на поверхности экрана. Освещенность поверхности экрана не должна быть более 300 лк согласно СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещённому освещению жилых и общественных зданий [56].

КЕО при естественном освещении составляет 3,5 %, а при совмещённом 2,1%. Основными профилактическими мероприятиями являются: правильно спроектированное и рационально выполненное освещение производственных помещений, рациональные режимы труда и отдыха, лечебно-профилактические меры, а также организация и проведение обязательных предварительных и периодических медицинских осмотров.

Проведем расчет общего равномерного искусственного освещения горизонтальной рабочей поверхности методом коэффициента светового потока, учитывающего световой поток, отраженный от потолка и стен.

Рекомендуется применение системы комбинированного освещения в помещениях общественных зданий, где выполняется напряженная зрительная работа [64].

В зданиях с боковым освещением, в дневное время суток применяют совмещенное освещение, то есть искусственное и естественное, поэтому целесообразно применять люминесцентные лампы, они позволяют создать в помещении искусственный свет, приближающийся к естественному.

В аудитории искусственное освещение обеспечивается восьмью люминесцентными лампами и освещенность  $E = 400$  люкс, при норме  $E_n = 400$  лк.

это нормативный документ, там не может быть информации про вашу аудиторию.

Геометрические размеры лаборатории № 127, следующие:

Ширина  $A=5$  м;

Длина  $B=11,2$  м;

Высота  $H=4$  м.

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

$E_n=400$  люкс

Коэффициент запаса для помещения с малым выделением пыли при люминесцентных лампах равен  $k=1,5$ . Размещение светильников в помещении определяется следующими параметрами, представленные на рисунке 29.

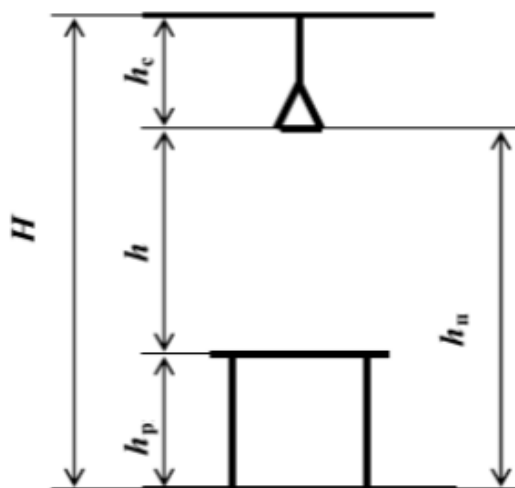


Рисунок 29 - Основные расчетные параметры

Расчетная освещенность определяется по следующей формуле:

$$E_p = E_n \cdot K_z = 400 \cdot 1,5 = 600 \text{ люкс}$$

Свес светильников с потолка равен:

$$h_c = 0,5 \text{ м}$$

Высота рабочей поверхности над полом равна:

$$h_p = 0,8 \text{ м}$$

Высота подвеса светильников над рабочим местом равна:

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

Для создания благоприятных зрительных условий на рабочем месте, для борьбы со слепящим действием источников света введены требования ограничения наименьшей высоты светильников над полом для двухламповых светильников ШЛД, ШОД равна 2,5 м.

Площадь помещения равна:

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

Мощность одного светильника равна:

$$P_{\text{л}} = 80 \text{ Вт}$$

Для равномерного общего освещения светильники располагаются в коридорном порядке. Размеры светильника типа ШОД -2-80 согласно СП 52.13330.2016. "Естественное и искусственное освещение" равна: ширина 284 мм (0,284 м); длина 1530 мм (1,53 м).

Интегральным критерием оптимальности расположения светильников является величина  $\lambda = L/h$ , уменьшение которой удорожает устройство и обслуживание освещения, а чрезмерное увеличение ведёт к резкой неравномерности освещённости.

Согласно СП 52.13330.2016. "Естественное и искусственное освещение" [56]  $\lambda$  для люминесцентных ламп с защитной решёткой ОДР, ОДОР, ШЛД, ШОД равен 1,2.

Расстояние между светильниками определяется как:

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

где  $L$  – расстояние между соседними светильниками или рядами. Оптимальное расстояние от крайнего ряда светильников до стены рекомендуется принимать равным:

$$l = \frac{L}{3} = \frac{3}{3} = 1 \text{ м}$$

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

Размещаем светильники в два ряда. В каждом ряду можно установить 4 светильников типа ШОД мощностью 80 Вт (с длиной 1,53 м), при этом раз-

рывы между светильниками в ряду составят 30 см. Изображаем в масштабе план помещения и размещения на нем светильников представлено на рисунке 31. Учитывая, что в каждом светильнике установлено две лампы, общее число ламп в помещении  $N_{л} = 20$ .

Индекс помещения определяется по формуле:

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

Коэффициент использования светового потока, который равен  $\eta = 0,35$ .

Расчёт общего равномерного искусственного освещения горизонтальной рабочей поверхности выполняется методом коэффициента светового потока, учитывающим световой поток, отражённый от потолка и стен. Световой поток лампы определяется по формуле [63]:

$$\Phi = \frac{E_{н} * S * K_{з} * z}{N_{л} * \eta} = \frac{400 * 1,5 * 56 * 1,1}{20 * 0,35} = 5280 \text{ лм}$$

Выбираем ближайшую стандартную лампу – ЛТБ 80 Вт с потоком 5200 лм. Делаем проверку выполнения условия:

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

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

Определяем электрическую мощность осветительной системы:

$$P = N_{л} \cdot P_{л} = 20 \cdot 80 = 1600 \text{ Вт}$$

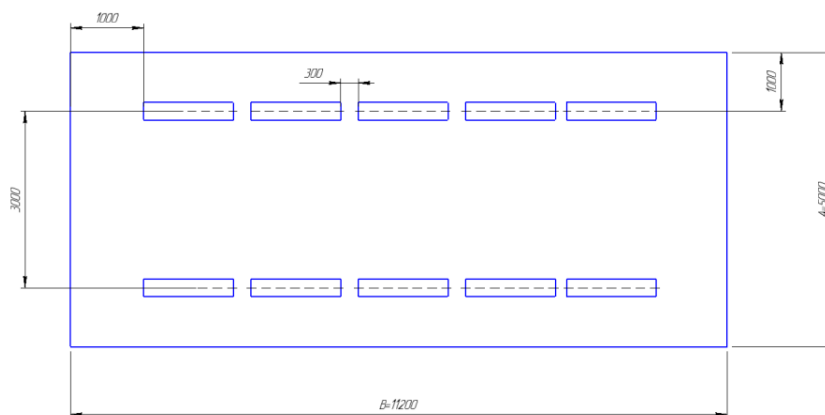


Рисунок 30 - Схема размещения светильников в помещении для люминесцентных ламп (размеры указаны в мм)

Правильное цветовое оформление интерьера помещения является очень важным фактором улучшения условий жизнедеятельности человека. Потолки помещений окрашиваются в белый цвет. В светлые тона окрашиваются перекрытия [51].

Нижняя часть стен окрашивается в спокойные тона. Металлорежущие станки окрашиваются в светло-серый цвет, литейное оборудование в бежевый, термическое в серебристый, транспортные механизмы в зеленый.

### **5.2.7 Производственные факторы, обладающие свойствами психофизиологического воздействия на организм человека (активное наблюдение за ходом производственного процесса, монотонность труда, перенапряжение анализаторов)**

При производстве бетонной смеси необходим контроль процесса виброуплотнения полуфабриката, который вызывает зрительную и умственную нагрузку.

При умственной нагрузке необходима длительность сосредоточенного внимания, выраженная ответственность, плотность сигналов и сообщений в единицу времени по МР 2.2.9.2311 – 07 «Профилактика стрессового состояния работников при различных видах профессиональной деятельности» [43].

Оказывает угнетающее влияние на психическую деятельность ухудшаются функции внимания (объем, концентрация, переключение), памяти (кратковременной и долговременной), восприятия (появляется большое число ошибок).

При зрительной нагрузке необходима высокая координация сенсорных и моторных элементов зрительной системы. Вызывает головную боль, ухудшение зрения, астенопию – патологического состояния, связанного с быстрым переутомлением глаз.

Для устранения накопленной усталости и нагрузки на организм человека необходимо выполнять комплекс физических упражнений на координа-

цию движений, концентрацию внимания, комплекс упражнений на глаз, использовать методику психической саморегуляции [62].

### **5.2.8 Аэрозоли преимущественно фиброгенного действия**

В производстве тротуарной плитки используются сыпучие компоненты такие как: цемент, зола, песок. При высыпании и смешении компонентов образуется производственная пыль. Данные материалы выступают источниками производственной пыли и являются аэрозолями фиброгенного действия

Аэрозоли фиброгенного действия – производственная пыль способная вызывать пылевые заболевания легких, основными из которых являются силикозы, пылевые бронхиты, пневмокониозы, т. е. под воздействием которых в легких происходит разрастание соединительной ткани, нарушающее нормальное строение и функции органа по ГОСТ Р 54578—2011. Воздух рабочей зоны. Аэрозоли преимущественно фиброгенного действия. Общие принципы гигиенического контроля и оценки воздействия[47].

Воздействие АПФД на организм человека:

- затрудняет дыхание, вызывает кашель и чихание;
- токсичная пыль может привести к отравлению, удушью и др.;
- ухудшает видимость, приводит к раздражению слизистой оболочки глаз и повышенному слезотечению;
- вызывает раздражение кожи;
- при ухудшении видимости повышается риск травмирования.

Мероприятия по снижению воздействия АПФД:

- оборудование рабочих мест вентиляционными системами и установками;
- приобретение и установка систем пылеподавления и пылеудаления;
- модернизация существующих и разработка новых технологических процессов и производственного оборудования;
- паспортизация и ремонт вентиляционных установок;



- использование средств индивидуальной защиты (СИЗ) органов дыхания.

### 5.3 Экологическая безопасность

На рабочем месте выявлен еще один предполагаемый источник загрязнения окружающей среды, а именно воздействие на атмосферу в результате складирования золошлаковых материалов, выбросы загрязняющих веществ сернистого ангидрида  $\text{ПДК}_{\text{р.з.}}=0,4 \text{ мг/м}^3$ , класс опасности 3, а также оксида азота,  $\text{ПДК}_{\text{р.з.}}= 0,085 \text{ мг/м}^3$ , класс опасности 4. Класс опасности и ПДК [53].

Зола, оксиды серы, азота и многие другие компоненты дымовых газов являются вредными веществами, превышение концентрации которых над санитарными нормами в воздушном бассейне недопустимо.

Количество твердых веществ  $\text{ПДК}_{\text{м.р.}}=0,5 \text{ мг/м}^3$ , выбрасываемых в атмосферу, определяется зольностью топлива, полнотой сгорания горючей массы, глубиной золоочистки [48].

При горении сера, присутствующая в органическом топливе, превращается в диоксид серы  $\text{ПДК}_{\text{р.з.}}=0,4 \text{ мг/м}^3$ , количество которого определяется сернистостью используемого топлива [57].

Оксиды азота ( $\text{ПДК}_{\text{р.з.}}= 0,085 \text{ мг/м}^3$ ) образуются при горении за счет окисления азота воздуха только при высоких температурах и за счет азота в топливе, находящегося в сложных органических соединениях, входящих в состав угля и в молекулярном состоянии. В оксид азота NO переходит 1030 % топливного азота [51].

На данном рабочем месте также выявлен предполагаемый источник загрязнения окружающей среды, а именно воздействие на литосферу в результате образования отходов при поломке предметов вычислительной техники и оргтехники.

Вышедшее из строя форма для тротуарных плит и сопутствующая оргтехника относится к IV классу опасности и подлежит специальной утилизации. Для оказания наименьшего влияния на окружающую среду, необходимо проводить специальную процедуру утилизации форм и оргтехники, при которой более 90% отправится на вторичную переработку и менее 10% будут отправлены на свалки. При этом она должна соответствовать процедуре утилизации ГОСТ Р 53692-2009 Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Этапы технологического цикла отходов [61].

В ходе деятельности организация также создает бытовой мусор (канцелярские, пищевые отходы, искусственные источники освещения), который должен быть утилизирован в соответствии с определенным классом опасности или переработан, чтобы не оказывать негативное влияние на состояние литосферы.

## **5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

### **5.4.1 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований**

Изучаемые золошлаковые материалы не могут инициировать возникновение каких-либо ЧС, так как не производят поражающих факторов физического и химического характера.

### **5.4.2 Анализ возможных ЧС, которые могут возникнуть в лаборатории при проведении исследований**

При проведении исследования возможно возникновение следующего вида возможного ЧС: техногенные аварии, связанные с возникновением пожара в помещении лаборатории и авария электроэнергетических систем в помещении лаборатории; причинами возникновения данного вида аварии в

помещениях лаборатории может быть обусловлено вследствие несоблюдения правил техники безопасности при эксплуатации бетоносмесителя и вибростола.

#### **5.4.3 Анализ наиболее типичных ЧС, которые могут возникнуть в лаборатории при проведении исследований**

Основным документом о пожарной безопасности, регламентирующим деятельность противопожарной службы государства и всех его элементов, является ФЗ «О пожарной безопасности», принятый Государственной думой 18 ноября 1994 года. В данном законе определена деятельность государственной противопожарной службы (ГПС) и всех ее элементов [60].

К организационным мероприятиям относятся запрещение курения и пользования открытым огнем в пожароопасных помещениях; ограничение запасов сгораемого сырья, полуфабрикатов, готовой продукции; удаление из помещений легковоспламеняющихся материалов и веществ, способных к самовозгоранию; разработка планов эвакуации людей; организация добровольных пожарных дружин; обучение рабочих мерам пожарной безопасности.

Мероприятиями, направленными на ликвидацию очага пожара, предусматриваются устройство специальных дорог и подъездов к зданиям и проходов к труднодоступным местам; устройство противопожарных лестниц, водопровода, сигнализации и связи; оборудование первичными пунктами пожаротушения с набором пожарных средств и техники. Запрещается эксплуатировать неисправные электроустановки [57].

В данной аудитории обнаружены предпосылки к пожароопасной ситуации при неверной работе с вибростолом и бетоносмесителем. Это обеспечивается соблюдением норм при монтаже электропроводки, отсутствием электрообогревательных приборов и дефектов в розетках.

Учебная аудитория №127 (2 корпус ТПУ) обеспечена следующими средствами противопожарной защиты: «План эвакуации людей при пожаре»;

памятка соблюдения правил техники пожарной безопасности; системы вентиляции для отвода избыточной теплоты от ЭВМ; углекислотный огнетушитель; система автоматической противопожарной сигнализации [39].

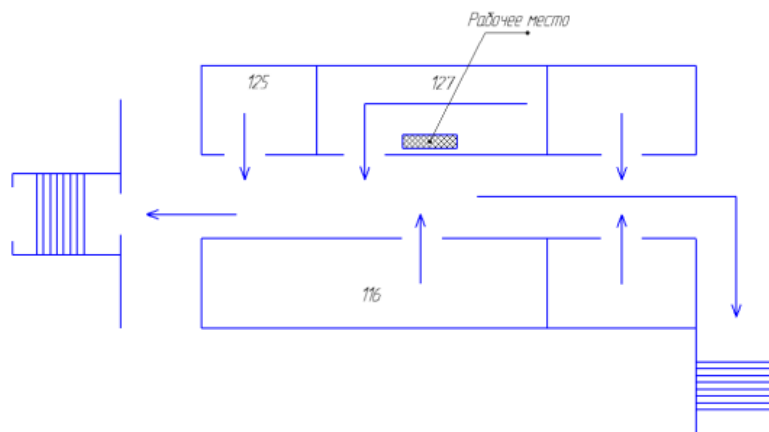


Рисунок 31 - План эвакуации 2 корпуса ТПУ (1 этаж)

В случае поступления сигнала об эвакуации необходимо: обесточить все электроприборы, находящиеся на рабочем месте, перекрыть кран подачи воды, выключить освещение. В случае пожара люди и имущество должны быть эвакуированы по плану, представленному на рисунке 32.

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

## **Выводы по разделу**

Значение всех производственных факторов на изучаемом рабочем месте соответствует нормам, которые также были продемонстрированы в данном разделе, за исключением фактора, обладающего свойствами психофизиологического воздействия на организм человека.

Для минимизации влияния данного фактора на организм человека, достаточно соблюдать меры, приведенные в МР 2.2.9.2311 – 07 «Профилактика стрессового состояния работников при различных видах профессиональной деятельности. Категория помещения по электробезопасности согласно ПУЭ соответствует первому классу – «помещения без повышенной опасности» [64].

Согласно правилам по охране труда при эксплуатации электроустановок персонал должен обладать I группой допуска по электробезопасности. Присвоение группы I по электробезопасности производится путем проведения инструктажа, который должен завершаться проверкой знаний в форме устного опроса и (при необходимости) проверкой приобретенных навыков безопасных способов работы или оказания первой помощи при поражении электрическим током.

Категория тяжести труда в лаборатории по СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания" относится к категории Ib (работы, производимые сидя, стоя или связанные с ходьбой и сопровождающиеся физическим напряжением) [56].

Помещение лаборатории категории помещения группы А, возможный класс пожара В. Рассмотренный объект, оказывающий незначительное негативное воздействие на окружающую среду, относится к объектам III категории.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

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

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

2) Исследован процесс вибролитья тротуарной плитки с использованием золы до 30% Северской ТЭЦ.

3) Определены физико-химические и физико-механические свойства исходных порошков цемента и золы: фракционный состав, суммарный объем пор, прочность на раздавливание в статических условиях.

4) Проведены испытания полученных образцов тротуарной плитки с содержанием золы до 30% на порочность при изгибе.

При содержании золы в образцах равной 10 %, прочность бетона при изгибе возрастает по сравнению с контрольными образцами (0%) на 27,4%.

При содержании золы в образцах равной 20 %, прочность бетона при изгибе возрастает по сравнению с контрольными образцами (0 %) на 18 %.

И, соответственно, при содержании золы в образцах равной 30 %, прочность бетона при изгибе возрастает по сравнению с контрольными образцами (0 %) на 7,3 %.

5) Проведены испытания полученных образцов тротуарной плитки с содержанием золы до 30% на порочность при сжатии.

При содержании золы в образцах равной 10 %, прочность бетона на сжатие возрастает по сравнению с контрольными образцами (0 %) на 25,4 %.

При содержании золы в образцах равной 20 %, прочность бетона на сжатие возрастает по сравнению с контрольными образцами (0 %) на 9,8 %.

И, соответственно, при содержании золы в образцах равной 30 %, прочность бетона на сжатие возрастает по сравнению с контрольными образцами (0 %) на 2 %.

Также проведено исследование образцов тротуарной плитки на определение водопоглощения и пористость.

В контрольных образцах, а также в образцах с содержанием золы 10 % водопоглощение, и открытая пористость почти не изменяются, а в образцах с содержанием золы 20 и 30 % идет увеличение открытой пористости на 19 и на 42 %, соответственно.

При введении золы взамен цемента макроструктура бетона не изменяется, объем цементного камня остается постоянным. Микроструктура в раннем возрасте ухудшается, т.к. цемент разбавляется добавкой и пористость цементного камня увеличивается.

По результатам проделанной научно-исследовательской работы можно рекомендовать золу, являющуюся отходом производства ТЭЦ, в качестве добавки-наполнителя для получения тротуарной плитки, при этом количество золы может быть не более 30 % без потери физико-механических характеристик, удовлетворяющих классу и марке бетонных изделий.

В результате написания «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» раздела в дипломной работе можно сделать следующие выводы:

1. В ходе планирования для научного руководителя и инженера был разработан график реализации этапа работ, который позволяет оценивать и планировать рабочее время исполнителей;

2. Для оценки затрат на реализацию проекта разработан проектный бюджет, который составляет 473107,3руб.;

3. Исходя из расчетов, представленных в данном разделе, следует заметить, что наилучшим исполнением считается текущий проект. В данном варианте решения поставленной задачи в работе сравнительная эффективность более чем в последних двух исполнениях это свидетельствует тому,

что в данном варианте наблюдается оптимальное обеспечение материалами и специальным оборудованием, необходимым для решения и оформления данной работы.

Следовательно, достигается наилучшая эффективность проделанного проекта. Данный проект конкурентоспособный в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

В социальной ответственности были рассмотрены все возможные опасные и вредные факторы, которые возникают при эксплуатации бетономесителя и вибростола.

Были рассмотрены мероприятия по обеспечению минимального воздействия производственных факторов на рабочего, а также на окружающую среду. Приведены меры безопасности при типичной ЧС, которые должны выполняться сотрудниками данного высшего учебного заведения.

Результаты данной работы можно использовать как практическую информацию и рекомендацию при переработке техногенного сырья.



## Список использованной литературы

1. Андреева Н.Г. Проблемы утилизации золошлаковых отходов ТЭЦ и возможные пути их решения // Ползуновский вестник. – 2020. – №4-2. – С. 164 – 166.
2. ГОСТ 25818-91. Золоуноса тепловых электростанций для бетонов. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2019. – 12 с.
3. Ватин Н.И., Петросов Д.В., Калачев А.И., Лахтинен П. Применение зол и золошлаковых отходов в строительстве // Инженерно-строительный журнал. – Санкт-Петербург, 2011. – №4. – С. 16 – 21.
4. Виноградов Б.Н, Высоцкая О.Б. Методы оценки качества зол ТЭС / Химия твердого топлива. – Москва, 1990. – № 4. – С. 139 – 143
5. Фоменко Н.А. Применение окисленных бурых углей для повышения экологической безопасности утилизации золошлаковых отходов // Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук, Москва, 2019.
6. Калачёв А. И. Комплексная система утилизации ЗШМ // Консорциум Феникс, июнь 2017. – С. 32
7. О.В. Афанасьева, Г.Р. Мингалеева, А.Д. Добронравов, Э.В. Шамсутдинов. Комплексное использование золошлаковых отходов // Проблемы энергетики, 2015, № 7-8.
8. И.М. Щадов, И.И. Шестакова. Физико-химические свойства бурых углей восточной сибери и забайкальского края // Иркутский государственный технический университет, 2012
9. Е. А. Пичугин. Аналитический обзор накопленного в российской федерации опыта вовлечения в хозяйственный оборот золошлаковых отходов теплоэлектростанций // ФГБУ УралНИИ «Экология, Пермь, 2019.
10. ГОСТ 25818–91. Зола-уноса тепловых электростанций для бетонов. Технические условия. Введ. 01.07.1991. М.: Изд-во стандартов, 1992.

11. ГОСТ 25592–91. Смеси золошлаковые тепловых электростанций для бетонов. Технические условия. Введ. 01.07.1991. М.: Изд-во стандартов, 1992.
12. Дмитриев И.И., Кириллов А.М. Золошлаковые отходы в составе бетона // СтройМного, 2017. №3 (8)
13. Рекомендации по проектированию золошлакоотвалов ТЭС // НИИ Атомтеплоэлектропроект, Ленинград, 1986
14. Ф.Л. Капустин, В.М. Уфимцев. Российские стандарты по использованию золошлаков теплоэнергетики в производстве строительных материалов. Материалы II научно-практического семинара «Золошлаки ТЭС: удаление, транспорт, переработка, складирование», Москва, 23–24 апреля 2009 г. — М.: Издательский дом МЭИ, 2009. С. 57 – 64.
15. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве: Гигиенические нормативы. —М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2006. — 15 с.
16. Фурсов В.В., Балюра М.В. Исследование морозоустойчивости золошлаковых отходов тепловых электростанций для целей строительства // Вестник ТГАСУ. – Томск, 2013. – №1. – С. 243 – 252.
17. Шестоперов, С.В. Долговечность бетона транспортных сооружений [Текст] / С.В. Шестоперов. – М.: Транспорт, 1966. – 500 с.
18. Сорокер, В.И. Жесткие бетонные смеси в производстве сборного железобетона [Текст] / В.И. Сорокер В.Г. Довжик // 2-е изд. исправл. и перераб. – М.: Стройиздат, 1964. – 308 с.
19. Житкевич, И.А. Бетон и бетонные работы [Текст] / И.А. Житкевич. – СПб. 1912. – 122 с.
20. Производство тротуарной плитки по технологии вибропрессования [Эл. ресурс] / Строительный портал ProektStroy. Каталог строительных и отделочных услуг, материалов. Режим доступа: <http://www.stroyres.com.ua/17.12.2002>.

21. Гусев, Б.В. Вибрационная технология бетона [Текст] / Б.В. Гусев. – К.:Будівельник, 1991. – 160 с.
22. Глотов, Ю.Д. Вибропрессование. Практические рекомендации [Текст] / Ю.Д. Глотов, А.А. Тормозов, Е.С. Шутов и др. // Производственное издание. FillFine. – 252 с.
23. Баженов, Ю.М. Технология бетона [Текст] / Ю.М. Баженов. – М.: Изд-во АВС, 2007. – 528 с.
24. Баженов, Ю.М. Новые эффективные бетоны и технологии [Текст] / Ю.М. Баженов // Промышленное и гражданское строительство. – 2001. – №9. – С. 15-16.
25. ГОСТ 17608-2017. Плиты бетонные тротуарные. Технические условия [Текст]. – Введ. 01.01.1992; взамен ГОСТ 17608-91. – М.: Госстрой, 1992. – 21 с.
26. Батраков, В.Г. Модифицированные бетоны. Теория и практика [Текст] / В.Г. Батраков // 2-е изд-ие, перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1998. – 768 с.
27. Рамачандран, В.С. Добавки в бетон [Текст] / В.С. Рамачандран, Р.Ф. Фельдман, М. Коллепарди. – М.: Стройиздат, 1988. – 575 с.
28. Усачев, С.М. Совершенствование технологии вибропрессованных бетонов путем оптимизации баланса внутренних и внешних сил [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05 / С.М. Усачев. Воронеж, 2006. – 210.
29. Вешнякова, Л.А. Оптимизация гранулометрического состава смесей для получения мелкозернистых бетонов [Текст] / Л.А. Вешнякова, А.М. Айзенштадт // Промышленное и гражданское строительство. – 2012. – №10. – С. 19-22.
30. Использование отходов ТЭС в производстве строительных материалов: сайт. – Новосибирск. – 2008-2021. - URL: [https://www.sts54.ru/new\\_tech/](https://www.sts54.ru/new_tech/) (дата обращения: 06.02.2023). – Текст: электронный.

31. Ситовой анализ: сайт. – Москва. – URL: <http://www.speckniga.ru/obuchenie/tekhnika-laboratornyh-rabot/tekhnika-laboratornyhrabot-sitovoj-analiz.html> (дата обращения: 05.03.2023). – Текст: электронный.

32. ГОСТ 3584-73 Сетки проволочные тканые с квадратными ячейками контрольные и высокой точности. Технические условия. – Текст: электронный // Электронно-библиотечная система. - URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200004296> (дата обращения: 05.03.2023).

33. Сыпучие материалы. Порошки. Свойства порошков. Устойчивость. Практическое применение. Реферат, 2013 – 12 с.

34. Полубояров, В.А. Использование техногенных отходов в технологии получения керамзита // Сборник трудов III Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Перспективы развития технологий переработки вторичных ресурсов в Кузбассе. Экологические, экономические и социальные аспекты», г. Новокузнецк. 6-9 октября 2009 г. С. 29

35. Хижинкова, Е.Ю. Разработка технологии золопортландцемента из высококальциевых зол ТЭЦ с обеспечением деструктивной безопасности материалов // Дис. на соискан. уч. степ. канд. техн. наук. – Барнаул, 2007. 211 с.

36. Баранов, И.М. Новые эффективные строительные материалы для создания конкурентных производств // Строительные материалы. 2001. №2. С. 26-28.

37. Корнеев А.В. Технические предложения к организации безотходного производства на основе инновационной технологии утилизации золошлаковых отходов. <http://mydocx.ru/8-43636.html>

38. Футорянский Л.Д. Геоэкологические критерии оптимального размещения золошлакоотвалов в природных условиях Среднего Урала: Диссертация, канд. геол.-минер. наук: 25.00.36 – Екатеринбург, 2008. – 195 с.

39. Криницына З.В., Видяев И.Г. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие /Криницына З.В., Видяев И.Г.; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 73 с

40. Российская Федерация. Законы. О безопасности: Федеральный закон "О безопасности" N 390-ФЗ: [принят Государственной думой 7 декабря 2010 года]. – URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_108546/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_108546/) (дата обращения: 11.03.2023). – Текст: электронный.

41. Российская Федерация. Законы. Трудовой кодекс Российской Федерации N 197-ФЗ: [принят Государственной думой 30 декабря 2001 года]. – URL: [168 http://docs.cntd.ru/document/901807664](http://docs.cntd.ru/document/901807664) (дата обращения: 11.03.2023). – Текст: электронный.

42. ГОСТ 12.2.032-78. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования: дата введения 1979-01-01 - URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200003913> (дата обращения: 11.03.2023). – Текст: электронный.

43. ГОСТ 12.2.033-78. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования. дата введения 1979-01-01 - URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200005187> (дата обращения: 12.03.2023). – Текст: электронный.

44. ГОСТ 12.2.003-91. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Оборудование производственное. Общие требования безопасности: дата введения 1992-01-01 - URL: <http://docs.cntd.ru/document/901702428> (дата обращения: 12.03.2023). – Текст: электронный.

45. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы. URL: <http://docs.cntd.ru/document/901865498> (дата обращения: 12.03.2023). – Текст: электронный.

46. ГОСТ 21889-76. Система "Человек-машина". Кресло человека-оператора. Общие эргономические требования: дата введения 1977-07-01 - URL: <http://docs.cntd.ru/document/gost-21889-76> (дата обращения: 12.03.2023). – Текст: электронный.

47. ГОСТ 12.2.003-91. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Оборудование производственное. Общие требования безопасности: дата введения 1977-07-01 - URL: <http://docs.cntd.ru/document/901702428> (дата обращения: 12.03.2023). – Текст: электронный.

48. ГОСТ 12.1.012-2004. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Вибрационная безопасность. Общие требования: дата введения 2008-07-01 - URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200059881> (дата обращения: 15.03.2023). – Текст: электронный.

49. ГОСТ 12.1.003-2014. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Шум. Общие требования безопасности (Переиздание): дата введения 2015-11-01 - URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200118606> (дата обращения: 15.03.2023). – Текст: электронный.

50. СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. URL: <http://docs.cntd.ru/document/901704046> (дата обращения: 15.03.2023). – Текст: электронный.

51. ГОСТ Р 55710-2013. Освещение рабочих мест внутри зданий. Нормы и методы измерений: дата введения 2014-07-01 - URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200105707> (дата обращения: 15.03.2023). – Текст: электронный.

52. СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95\*: дата введения 2017-05-08 - URL: <http://docs.cntd.ru/document/456054197> (дата обращения: 15.03.2023). – Текст: электронный.

53. ГОСТ 12.1.038-82. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов: дата введения 1983-07-01 - URL:

<http://docs.cntd.ru/document/5200313> (дата обращения: 15.03.2023). – Текст: электронный.

54. ГОСТ 12.0.003-2015. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация: дата введения 2017-03-01 - URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200136071> (дата обращения: 15.03.2023). – Текст: электронный.

55. ГОСТ 12.1.001-89. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Ультразвук. Общие требования безопасности: дата введения 1991-01-01 -URL: <http://docs.cntd.ru/document/5200273> (дата обращения: 15.03.2023). – Текст: электронный.

56. Защита от повышенного уровня вибрации: сайт. – Москва, 2021. – URL: <https://www.protrud.com/обучение/учебный-курс/защита-отповышенного-уровня-вибрации> (дата обращения: 16.02.2021). – Текст: электронный.

57. ГОСТ 12.1.005-88. Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны: дата введения 1989-01-01 - URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200003608> (дата обращения: 16.03.2023). – Текст: электронный.

58. СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания". URL: <https://docs.cntd.ru/document/573500115> (дата обращения: 17.03.2023). – Текст: электронный.

59. Расчёт искусственного освещения. Методические указания к выполнению индивидуальных заданий для студентов дневного и заочного обучения всех направлений и специальностей ТПУ. – Томск: Изд. ТПУ, 2008 – 20 с. –://stud.lms.tpu.ru/pluginfile.php/1246294/mod\_resource/content/1/МУ%20Расчет%20искусственного%20освещения.pdf (дата обращения: 17.03.2023). – Текст: электронный.

60. Электробезопасность на предприятии: сайт. – Москва. – URL: <http://dvkuot.ru/index.php/proizvod/88-elbez> (дата обращения: 17.03.2023). – Текст: электронный.

61. Как уменьшить зрительное напряжение и утомление при работе за компьютером: сайт. – Москва. – URL: <http://mc-zrenie.kz/article/kakumenshit-zritelnoe-napryazhenie-i-utomlenie-pri-rabote-za-kompyuterom> (дата обращения: 17.03.2023). – Текст: электронный.

62. Российская Федерация. Законы. О пожарной безопасности: Федеральный закон "О пожарной безопасности" N 69-ФЗ: [принят Государственной думой 18 ноября 1994 года]. – URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_5438/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_5438/) (дата обращения: 18.03.2023). – Текст: электронный.

63. Правила поведения при пожаре: сайт. – Москва. – URL: <https://68.mchs.gov.ru/deyatelnost/poleznayainformaciya/rekomendaciiinaseleniyu/ramyatka-po-pozharnoy-bezopasnosti/pravila-povedeniya-pripozhare> (дата обращения: 19.03.2023). – Текст: электронный.

64. ГОСТ Р 22.0.01-2016. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Основные положения: дата введения 2017-06-01 - URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200136692> (дата обращения: 20.03.2021). – Текст: электронный.



**Приложение II**  
(справочное)

**The utilization of ash and slag materials in the manufacturing of  
pavement tiles**

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4ГМ12	Петров Артём Алексеевич		

Руководитель ВКР

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

Консультант-лингвист отделения иностранных языков ШБИП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент, ШБИП	Айкина Т.Ю	к.ф.н, доцент		

## **1. Vibrated concrete and sidewalk slabs based on them in modern construction.**

The history of the use of the vibrocompression method began with the need to use rigid concrete mixes in the production of building materials [1]. Recently, rigid concrete mixes have mainly been used in studies to obtain high-strength and durable concrete. Since the beginning of concrete works in Russia, rigid concrete mixes have been widely used. The compaction of such mixes in structures was initially done manually and later by mechanical tamping. Tamped concrete came into use in 1860 [3].

The industrial application of vibrocompression of concrete mixes was organized in 1904 in the USA at a German firm that started producing wall blocks and tiles. Vibrated concrete slabs for sidewalks have been used in Western Europe since the 1930s [4]. In the 1920s and 1930s, mainly cast and mobile concrete mixes were used in construction, because of which products of any configuration and size were obtained. With the advent of vibration, which made it possible to compact less mobile concrete mixes, the development and application of rigid concrete mixes began [2].

Vibrocompression is a method of compacting concrete mix by applying vibrational loads and static pressure to it. The pressure on the mix is provided by inertial and non-inertial devices (spring, pneumatic, hydraulic, or combined loads) with the possibility of cyclic pressure application and simultaneous change of the pressure magnitude (on modern machines).

One of the main advantages of vibrocompression is the possibility of immediate removal of the formwork from freshly molded products, which significantly increases equipment productivity and reduces the metal content of production. The use of rigid concrete mixes greatly simplifies the production of high-strength concrete products, which are characterized by increased density, strength, and frost resistance [4].

The technology of vibrocompression combines adjustable and flexible molding methods, as a wide range of products can be produced by replacing the molds. Vibrocompression combines the processes of laying, distribution, and compaction of the mixture in a single continuous process [6].

Vibrocompression is used to achieve compressive strength and medium density of hardened concrete that exceeds these characteristics of traditionally compacted concrete (at the same water-cement ratio of concrete mixes). Additionally, vibrocompression allows for improving working conditions, reducing mold wear, and lowering energy consumption during molding. Concrete and products obtained by vibrocompression have increased density, strength, and durability due to a low water-cement ratio.

Theoretical analysis of the literature on the construction of concrete structures showed that in the USA and Southern Europe, non-reinforced products are predominant. [8].

Statistics show that housing construction funds are growing steadily every year, which means that the widespread need for high-quality building materials will increase. Since Russia has a program to support housing construction and the development of the housing stock, the construction industry will gain momentum and build new capacity enterprises. An important value of this is the construction of private and individual houses, which means there will be a shortage of quality piece building materials.

Active implementation of the technology of vibrocompression began in Russia after the appearance of high-quality equipment from Western Europe on the market [10]. Due to the increasing interest of consumers in concrete products made using vibrocompression technology, many enterprises for their production have appeared on the Russian market. This technology is used when it is necessary to obtain concrete products in large volumes, with precise, repeatedly repeating dimensions and high physical and mechanical characteristics. The latter is more relevant for road concretes.

At present, production lines for vibro-pressed products operate in many regions: Moscow and the Moscow region, Tyumen, Yekaterinburg, Kursk, Voronezh, Krasnodar, Belgorod, etc. This technology is widely used in Ukraine and Belarus.

The production of products by vibration pressing is possible both on automatic lines and by aggregate-flow method. The choice of equipment set when organizing production or upgrading depends on the range of products and the possibility of their production by vibration pressing and ensuring the necessary quality of the products [3].

The technological line includes, in addition to the vibro-press, mechanisms for moving pallets, carts, various traverses, and devices for cleaning and lubricating molds, etc. Equipment is classified according to the method of molding, the nature and direction of vibrations, the ratio of forcing and natural frequencies of vibrations, the type of exciter and the number of oscillating masses [6].

Currently, the most widespread and popular vibro-pressed products are paving elements - sidewalk slabs used for the construction of paths, sidewalks, children's playgrounds, squares, car parks, and roadways. Their high structural, operational and decorative qualities, repairability in combination with environmental safety make concrete sidewalk slabs the best option for landscaping areas with high construction rates and aesthetic advantages. The accumulated experience of using concrete sidewalk slabs shows that their quality depends not only on their external appearance but also on the preparation of the base and the thoroughness of the installation.

Any deviations lead to unattractive covering, a reduced service life due to chipping of protruding elements from the plane, cracking of poorly prepared base of the slab, accumulation of water and ice in the recesses, and blunting of individual corners and edges [12].

## 2. Modifiers for vibro-pressed concretes

Traditionally, rigid concretes are a three-component system consisting of cement, aggregate, and water, but there is no universal standard regulation for selecting or optimizing the composition of rigid concrete.

In recent times, there has been a trend towards four- and five-component systems using concrete modifiers microfillers, and other components added in small amounts (tenths and hundredths of a percent by weight of cement), which significantly affect the chemical processes of concrete hardening and improve the physical and mechanical properties of products, including strength, frost resistance, water absorption, etc [3].

Based on modern understanding of the physics and chemistry of surface phenomena and the theory of contact interactions, it can be assumed that the introduction of modifier additives into cement systems will improve the properties of cement paste, concrete mix, and concrete.

According to the definition by V.G. Batrakov [5], modified action is an effect that significantly changes the structure and properties of the composite matrix due to the introduction of certain components while the quantity of the other components remains practically unchanged. Modifiers significantly affect not only the kinetics of structure formation of cement stone during hydration, but also a range of quality indicators of the structure.

The following principles of classification for modifiers can be distinguished:

- mechanism of action on the main components of cement;
- chemical composition of modifiers;
- functional characteristics (the main technological effect of action in cement systems) [5, 6].

Plasticizers and superplasticizers for concrete mixes have long and firmly established themselves as a significant share of the market for concrete chemical additives.

The main purpose of such additives is to increase the fluidity and reduce the stiffness of the concrete mix, thinning it, which allows for cost reduction for the laying and compaction of such mixes. Scientific studies [7, 8] have justified the use of superplasticizer additives (C-3, SB1, etc.) in the production of vibrated concrete products.

When selecting additives for fine-grained concretes with reduced water content, it is necessary to consider the mineralogical composition of the cements, and setting accelerators and hardeners should not be used in such compositions due to their destructive effects. An effective additive of complex action is Relaxol C, which increases compressive strength [9].

The authors [10] have proven the effectiveness of the developed resorcinol-formaldehyde superplasticizer not only in terms of its plasticizing ability and physical-mechanical properties of concrete, which allows for the production of concrete with a strength of over 60 MPa with an additive content of 0.35% by mass of dry substance, but also in terms of its fungicidal properties.

The most promising direction for modifying vibro-pressed concrete is through the use of complex multifunctional additives. Despite their higher cost compared to conventional superplasticizers, they significantly reduce cement consumption, energy costs for laying mixtures, and production costs. The use of complex modifiers consisting of ingredients that reduce or eliminate the negative influence of individual components and enhance their positive effect is a huge step forward in concrete modification [7].

A complex additive consisting of 1 % superplasticizer C-3 and 12 % marshallite by mass of cement allowed for the production of highly mobile fine-grained concrete with a cement consumption of 550 kg/m<sup>3</sup> and a strength of over 70 MPa.

A complex micro-dispersed additive has been developed for the production of effective fine-grained concrete, which is obtained by joint grinding of quartz sand, superplasticizer C-3, and calcium stearate, allowing for the production of products with compressive strength up to 50 MPa, bending strength of 8.3 MPa,

water absorption of 1.4 %, and frost resistance of more than F 75 when used in a 5-10 % content by mass of cement.

The authors [8] have produced high-quality fine-grained concrete with a compressive strength of 100 MPa, corresponding to the concept of high-quality concrete, with a complex organomineral additive consisting of fly ash and modifier MB 10-01 (superplasticizer C-3 and air-entraining additive SNV). In the last five years, major domestic and foreign additive manufacturers have developed a separate product line specifically designed for vibro-pressing. Highly effective densifying additive for rigid and ultra-rigid concrete mixes. Used in concrete mixes characterized by very low water consumption.

The recommended dosage is 0.2–0.5 % by weight of cement. A mixture of esters of carbonic acids with natural surfactants in combination with organic products. The recommended dosage of "Rigiform Basis" product for the production of rigid concrete mixes using the semi-dry vibrocompaction method is 0.2–1.2 % by weight of binding agent in liquid (ready) form.

The fundamental difference in the action of multifunctional modifiers in concrete mixes from the effect achieved by introducing individual additives into their composition is the possibility of significant improvement in the complex of properties of the concrete mix [4].

An additive for the production of concrete products by the semi-dry vibro-compaction method to improve concrete compaction. It has a structure-forming effect and simultaneously binds water. The pronounced property of improved cement hydration promotes the appearance of good strength characteristics. The recommended dosage is 0.1–1.5 % by weight of cement [3].

An important issue in choosing a modifier for the production of concrete slabs for sidewalks using the vibration pressing method is the determination of their strength, deformation and physico-technical characteristics. Another equally important issue is the preservation of decorative properties of vibration-pressed concrete with the use of modifying additives in their compositions.

### **3. The increase in durability of vibro-pressed concrete paving slabs**

Diverse paving elements allow realizing any architectural and construction project while possessing sufficient strength and density, high frost and salt resistance, wear resistance with precise geometric dimensions and impeccable appearance. However, there has been observed premature deterioration of concrete products, particularly noticeable in paving elements such as concrete sidewalk slabs. Scientific studies and research [9] are dedicated to studying the durability of building materials.

Despite various approaches to assessing the durability of materials, it can be concluded that in order to obtain a durable concrete product with increased operational reliability, it is necessary to ensure the production of concrete with improved physical and mechanical characteristics. Durability is a complex characteristic of material quality that refers to its ability to resist external and internal influences for the longest possible time.

It is evaluated based on changes in the physical and mechanical properties of products and changes in the structure of the material. Deviations in micro and macro structure from the optimal level are the first cause of property changes. In addition, durability is the ability of a material to maintain its structural characteristics (parameters) at an acceptable level during the operational period that were formed during the technological or pre-operational period [10].

The durability period, regardless of the method used to evaluate it - by property or structure changes - can be conditionally divided into three stages (time elements). Prior to the first stage, there is a pre-operational period, which is mainly characterized by the collection and formation of structural elements and properties.

He is associated with the implementation of technological changes and therefore can be called technological. Compared to the subsequent stages, the technological period is short, although the material, which has not yet been put into operation, can already significantly change its structure and properties, especially under unfavorable conditions during the pre-operational period. At the first stage, the



material's structure is strengthened or its properties are improved, at the second stage they are relatively stable, and the third stage is characterized by the process of destruction, i.e. slow or rapid changes in structure until its critical limit or even complete destruction and reduction of characteristics [5].

For some materials, certain stages may be absent or extremely short in the operational period (which allows them to be equated to zero). For example, there may be no element of property improvement or stability. The stage of destruction is not always noticeable but is always inevitable. Destruction processes are rarely so intense that their time element can be equated to zero. The main task of increasing durability is to increase the duration of consecutive temporal stages - structure strengthening and property stability - to the maximum possible values while simultaneously reducing the destruction processes.

At the initial stage of durability under the influence of external environment, loads, phase inversions, etc. during the operation period, 20 new (secondary) structural centers appear in the material and are enlarged, which, together with the primary ones, participate in an additional process of structure compaction with an increase in the concentration of the solid phase, which is the main carrier of the strengthening effect, leading to the strengthening of the structure and improvement of other properties. However, structural strengthening during the operational period has a positive effect on the material durability only when it is not a consequence of so-called "aging," which transforms the material into a state of brittle microcracking and, ultimately, sharp reduction of its durability.

At the second stage of structure stabilization, there are no significant changes in the concentration of structural elements per unit volume of the material, and relatively constant property values are observed. The most typical stage of durability is the process of destruction, which can begin immediately from the moment of operation of the structure, or follow the two initial stages of strengthening and temporal stabilization.

The third stage is characterized by the loss of continuity in the structure with a gradual accumulation of interatomic bond breaks. The process of gradual structural damage accompanies each small elastic deformation.

During this period, in addition to physical processes, chemical and physico-chemical processes also occur, i.e. corrosion processes, with the comprehensive influence of physical factors. For example, the material may be subject to aggressive external factors such as the freezing and thawing process or under the action of tensile forces. The intense processes of micro- and macro-crack formation that occur in the final stage result in complete or partial destruction of the material [7].

The study of durability over all periods is carried out at all levels of structure from molecular to microscopic, and begins with the characteristics of the structure, and then sequentially proceeds to property characteristics. The quality and reliability of concrete in structures are determined by its properties.

The main property of the material is strength - the ability of the material to resist destruction from the effects of internal stresses resulting from the load and a number of other factors.

Material failure, in a physical sense, is the separation of parts from each other. Material defects contribute to the intensity of the failure process, meaning they reduce the strength of the material. The strength of concrete, as an integral characteristic, depends on the properties of its components, composition, and conditions of concrete preparation. A number of other properties of concrete are also related to its strength.

An important factor is the behavior of concrete under load, which determines its strength and the reliability of its performance in a structure, and serves as a criterion for assessing durability, crack resistance, and other properties of concrete.

A common cause of early failure of building materials is the selection of concrete composition based solely on its strength (class of strength) without considering the specific conditions of use. Concrete should be designed to function without failure in any conditions. In addition to selecting the strength class of con-

crete, it is necessary to design durable concrete that will maintain the necessary strength during the operation of the structure in specified operating conditions for extended periods of time [6].

Based on the generalized results of research on modern concepts of structure and fracture processes, the process of concrete fracture is actually complex and depends on a large number of factors. Knowledge of the processes of concrete structure fracture is necessary for concrete design [5].

Of the numerous classifications of concrete structures, the most complete classification distinguishes three main types of structure: microstructure - the structure of cement stone, mesostructure - the structure of cement-sand mortar in concrete, and macrostructure - a two-component system (mortar - coarse filler) [1].

Each structure has its own characteristics related to its formation. The most important technological factors that affect the formation of cement stone microstructure are the chemical and mineralogical composition of the cement, its fineness, water-cement ratio, and curing conditions. Important factors for the cement-sand mortar mesostructure are the composition of the mortar, the particle size and mineralogical composition of the sand, the shape of its grains, the nature of particle surface, and their contamination.

The concrete macrostructure [7] has much in common with the mesostructure, as it can be considered a cement-sand mortar in which coarse filler is distributed. In addition to the properties of the cement-sand mortar, the properties of the coarse filler (shape and nature of the grain surface, its maximum size and contamination, as well as the amount and uniformity of distribution in volume) also affect the properties of the concrete macrostructure.

#### **4. The methods for studying the properties of raw materials and concrete pavement slabs**

The samples of concrete pavement slabs were taken directly from the production line no later than 10 minutes after demolding. The samples were tested on a press at a temperature of  $20\pm 5^{\circ}\text{C}$  and a relative humidity of not less than 55%, no later than 30 minutes after demolding.

At least six samples were taken for strength testing upon unloading from the drying chamber on the production line. The samples of concrete pavement slabs were taken and kept for at least 4 hours at a temperature of  $20\pm 5^{\circ}\text{C}$  and a relative humidity of not less than 55% before testing.

Prior to testing, the samples were inspected for defects (delamination, near the ribs, shells, foreign inclusions, delamination of the concrete mix) according to Figure 2.4. The maximum required force for concrete pavement slabs with a thickness of 40 and 60 mm was 50 t, and for 80 mm it was 100 t. The strength of each concrete slab  $R_i$  was determined based on the results of a series of samples of concrete pavement slabs.

The strength, MPa, was calculated using the formula:

$$R_i = \frac{P}{S_{cp}},$$

where  $P$  is the breaking force in kN;

$S_{cp}$  is the average contact area between the concrete tiles and steel plates of the press, in  $\text{cm}^2$ .

To conduct experimental and pilot-industrial works, CEM I 42.5 N Portland cement produced by LLC "Sibcem" in Novosibirsk was used with a specific surface area of 320.330  $\text{m}^2/\text{kg}$ , normal density of cement paste of 25 %, setting time of the beginning - 2 hours 10 minutes, end - 3 hours 20 minutes, uniformity of volume change of 0.11 mm,  $\text{SO}_3$  content of 2.45%, and the average cement activity at the age of 2 days - 18.1 MPa and at 28 days - 53.1 MPa.

The fine filler used was quartz sand from Vyazma (Smolensk region), Kursk (Kursk region), Novotavolzhansk (Belgorod region), and Khokholsk (Voronezh region) deposits. The porosity of the sand used was 38 - 43 %; the content of clayey, silty, and dusty particles was 0.5 - 1.5%; the moisture content was 9...10 %. The mineralogical compositions of the quartz sands were analyzed by X-ray phase analysis method [4].

As a coarse filler, fractionated granite gravel from Kolomoysky granite quarry (Dnipropetrovsk region, KryvyiRih district) with a fraction of 5-10 mm was used from Blastko JSC, with a true density of 2640 kg/m<sup>3</sup> and bulk density of 1358 kg/m<sup>3</sup>; containing 13 % of elongated and plate-shaped particles and 2 % of dust and clay particles; with a grade by crushing - M1400 and frost resistance - F300. Also, fractionated granite gravel from Kirovohradsky granite quarry with a fraction of 2-5 mm was used from Kirovohradgranit JSC, with a true density of 2610 kg/m<sup>3</sup> and bulk density of 1340 kg/m<sup>3</sup>; containing 10% of elongated and plate-shaped particles and 7 % of dust and clay particles; with a grade by crushing - M1000 and frost resistance - F300.

At production sites and industrial enterprises, the composition of the concrete mixture is developed and calculated based on the cost and availability of raw materials and the method of preparation of the product.

To obtain high-quality building materials, including products made of vibro-pressed concrete, it is necessary to achieve a material structure that meets the specified technical requirements. One of the main factors in ensuring the strength and durability of materials and structures made from them is the dense packing of filler particles in the concrete [8].

Fillers actively affect the properties of concrete by reducing shrinkage stress, increasing the modulus of elasticity, reducing creep, and affecting the density and other physico-mechanical properties of concrete. Granulometry is characterized by the relative content of grains of various sizes, shape, and degree of roundness of the grains, and the total surface area in a unit volume or mass of sand and

gravel. Many technological properties of concrete depend on the density of the sand and gravel mixture.

When constructing the "sand-gravel" system to achieve an optimal ratio, it is necessary to consider a set of external characteristics: the size and shape of the grains, their roughness, and their placement in space relative to each other. The sum of factors characterizing this system can be expressed by one concept - porosity. In natural sand and gravel, where grains of different shapes are present, the actual values of porosity differ from theoretical values.

To obtain a highly dense composition of fillers, the method of reverse homogeneity of distribution of coarse and fine concrete fillers was used, taking into account the technological parameters of vibro-pressing of concrete slabs for sidewalks. Reverse homogeneity was determined at such a ratio of fine and coarse fillers that there was no separation of the mixture during its compaction with an amplitude of  $A = 730 \mu\text{m}$  and a frequency of  $\nu = 49.7 \text{ Hz}$  [10].

The amount of coarse and fine fractions is at an equal consumption level, which has been experimentally confirmed. Theoretical calculations and experimental data show that the sifting curves of the Kursk and Vyazemsky sand mixture in ratios of 10/90 and 20/80 fall within the allowable values range.

The obtained data allows us to assume that the use of the corrected granulometric composition of fillers allows not only for denser packing but also for vibro-pressed concretes that are more resistant to external influences.

To confirm the effectiveness of the obtained ratio of fine and coarse filler in the production line under real production conditions, samples of vibrated pressed sidewalk slabs of several compositions were made.

## References

1. Arkhipov, A.V. Technogenic fields. Development and formation: monograph / A. V. Arkhipov, S. P. Reshetnyak; under scientific ed. Acad. N. N. Melnikova. - Apatity: KNC RAS, 2017 - 175 p. - ISBN 978-5-91137-355-9
2. Heat and power plant (CHP): site. - Seversk. - 1998-2021. - URL: <http://atomsib.ru/component/content/article/2-uncategorized/3882-terelectrocentral-TEC> (date of handling: 13.02.2023). - Text: electronic.
3. GOST 25818-91 ash-under thermal power plants for concrete. Technical conditions. - Text: electronic // Electronic library system. - URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200000733> (Date of handling: 02/05/2023).
4. The use of TPP waste in the production of building materials. - Novosibirsk. - URL: [https://www.sts54.ru/new\\_tech/](https://www.sts54.ru/new_tech/) - Text: electronic.
5. Methods of locked ore: site. - Moscow. - 2021. - URL: <https://metallolome.ru/sposoby-okuskovaniya-rud/> (Date of handling: 15.02.2021). - Text: electronic.
6. Bulk materials. Powders. Properties of powders. Stability. Practical use. Abstract, 2013 - 12 p.
7. Class P.V., Grishaev I.G. Basics of granulation techniques (processes and devices of chemical and petrochemical technology). - M., Chemistry, 1982. - 272 p. - Text: Electronic // National Electronic Library. - URL: [https://rusneb.ru/catalog/002178\\_000020\\_bgunbbel%7C%7C%7Cbibl%7C%7C%7C0000530058/](https://rusneb.ru/catalog/002178_000020_bgunbbel%7C%7C%7Cbibl%7C%7C%7C0000530058/) (Date of handling: 21.02.2023).
8. Korotich V. I. Theoretical foundations of the ping of iron ore materials. - Moscow: Metallurgy, 1966. - 152 p. - Text: electronic // Electronic library system. - URL: <https://docplayer.ru/117631655-u-v-i-korotich-teoreticheskieosnovy-okomkovaniya-zhelezorudnyh-materialov-metallurgiya.html> (Date of handling: 21.02.2023).
9. Collnikov A.I. Granulated materials, A. I. Kalashnikov, A. V. Efremov, Moscow, 1977. - Text: electronic // Electronic library system. - URL:

<https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-bentonita-na-svoystvazhelezorudnyh-okatyshey> (reference date: 21.02.2023).

10. Rakhlin Z.n., Abstract of the Ph.D., M., MIKM, 1974.

11. Korotich V.I., Theoretical foundations of the reproach of iron ore materials. Metallurgy, 1966. - 151 p. - ISBN 66-44034.

12. Volkova T. N. Features of the use of iron ore pellets / T. N. Volkov; Scientific Hands. S. N. Fedoseev // Progressive technologies and economics in mechanical engineering: a collection of works by the VII All-Russian Scientific and Practical Conference for Students and Students of Youth, Yurga, April 7- 9, 2016: 2 t. - Tomsk: Publishing House TPU, 2016. - T. 1. - [S. 35-37]. - Text: electronic // Electronic library system. - URL: <http://earchive.tpu.ru/handle/11683/26370> (Date of handling: 05.03.2023).

13. Novikov V.S. The use of highly international agglomerate and non-polluted pellets in domain melting / V.S. Novikov, N.N. Babarykin, B.A. Marsver and others // Black metallurgy. - 1972. -14 p. (Reference date: 01.03.2021).

14. Popadsi: site. - Moscow. - URL: <https://metallplace.ru/about/stati-o-chnoymetalurgii/okatyshei/> (Date of handling: 01.03.2023). - Text: electronic.