

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

---

Институт физики высоких технологий  
Направление подготовки 18.04.01 Химическая технология  
Кафедра общей химии и химической технологии

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

Тема работы
«Определение качественных показателей золы тепловых электростанций»

УДК 662.613.11-021.465

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4ГМ5В	Ширей-Седлецкая Валерия Валерьевна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Горлушко Д.А.	к.х.н.		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Меньшикова Е.В.	к.ф.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

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

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ОХХТ	Ан В.В.	к.т.н.		

Томск – 2017 г.

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

---

**Запланированные результаты обучения по программе  
 18.04.01 «Химическая технология»**

Планируемые результаты обучения

Код результ ата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Профессиональные компетенции</i>		
Р1	Применять <i>глубокие</i> естественно-научные, математические и инженерные <i>знания</i> для создания <i>новых</i> материалов	Требования ФГОС (ПК-2, 10, 12, 22, 23), Критерий 5 АИОР (п.1.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р2	Применять <i>глубокие знания</i> в области современных технологий химического производства для решения <i>междисциплинарных</i> инженерных задач	Требования ФГОС (ПК-2, 4-7, ОК-4), Критерий 5 АИОР (пп. 1.1, 1.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р3	Ставить и решать <i>инновационные</i> задачи <i>инженерного анализа</i> , связанные с созданием материалов и изделий, с использованием системного анализа и моделирования объектов и процессов химической технологии	Требования ФГОС (ПК-2, 17, 20), Критерий 5 АИОР (пп.1.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р4	Разрабатывать химико-технологические процессы, <i>проектировать</i> и использовать <i>новое</i> оборудование для создания материалов, конкурентоспособных на <i>мировом</i> рынке	Требования ФГОС (ПК-1, 17-21), Критерий 5 АИОР (п.1.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р5	Проводить теоретические и экспериментальные <i>исследования</i> в области создания <i>новых</i> материалов, современных химических технологий, нанотехнологий	Требования ФГОС (ПК-14-16, ОК-2-6), Критерий 5 АИОР (п.1.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р6	Внедрять, <i>эксплуатировать</i> современные высокотехнологичные линии автоматизированного производства, обеспечивать их <i>высокую эффективность</i> , соблюдать	Требования ФГОС (ПК-1, 10), Критерий 5 АИОР (п.1.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>

	правила охраны здоровья и безопасности труда на химическом производстве, выполнять требования по защите окружающей среды	
<i>Универсальные компетенции</i>		
P7	Использовать <i>глубокие знания по проектному менеджменту</i> для ведения <i>инновационной инженерной деятельности</i> с учетом юридических аспектов защиты интеллектуальной собственности	Требования ФГОС (ПК-3 8, 13), Критерий 5 АИОР (п. 2.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P8	<i>Активно</i> владеть <i>иностранным языком</i> на уровне, позволяющем работать в иноязычной среде, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты инновационной инженерной деятельности	Требования ФГОС (ПК-7, ОК-3), Критерий 5 АИОР (п. 2.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P9	Эффективно работать индивидуально, в качестве <i>члена и руководителя группы</i> , состоящей из специалистов различных направлений и квалификаций, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность <i>следовать корпоративной культуре</i> организации	Требования ФГОС (ПК-9, ОК-4, 5), Критерий 5 АИОР (п. 1.6, 2.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P10	Демонстрировать <i>глубокие знания социальных, этических и культурных аспектов</i> инновационной инженерной деятельности, компетентность в вопросах <i>устойчивого развития</i>	Требования ФГОС (ПК-5, 6, 10), Критерий 5 АИОР (п. 2.4, 2.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P11	<i>Самостоятельно учиться</i> и непрерывно <i>повышать квалификацию</i> в течение всего периода профессиональной деятельности	Требования ФГОС (ПК-11, ОК-1, 2, 6), Критерий 5 АИОР (п. 2.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>

Взаимное соответствие целей ООП и результатов обучения и кредитная стоимость результатов обучения представлены в следующих таблицах.

### Взаимное соответствие целей ООП и результатов обучения

Результаты обучения	Цели ООП				
	Ц1	Ц2	Ц3	Ц4	Ц5
P1	+	+	+	+	+
P2	+	+		+	
P3	+	+	+	+	+
P4				+	
P5			+		+
P6	+	+		+	
P7		+			
P8			+		+
P9		+			
P10		+	+		
P11			+	+	+

### Кредитная стоимость результатов обучения

<i>Профессиональные компетенции выпускника – 100 кредитов ECTS</i>							<i>Универсальные компетенции выпускника – 20 кредитов ECTS</i>				
Кредиты	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11
	19	20	9	19	21	12	2	4	6	4	4

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

Институт физики высоких технологий  
 Направление подготовки 18.04.01 «Химическая технология»  
 Кафедра общей химии и химической технологии

УТВЕРЖДАЮ:  
 Зав. кафедрой  
 \_\_\_\_\_  
 (подпись)      \_\_\_\_\_      Ан В.В.  
 (дата)                                      (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Магистерской диссертации
--------------------------

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

Студенту:

Группа	ФИО
4ГМ5В	Ширей-Седлецкой Валерии Валерьевне

Тема работы:

«Определение качественных показателей золы тепловых электростанций»	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	От 08.12.2016 № 10498/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b>	В качестве объектов исследования взять золошлаковый материал Северской теплоэлектроцентрали, провести литературный обзор по тематике научно-исследовательской работы, в экспериментальной части описать использованное оборудование, предоставить методики проведения экспериментов, проанализировать полученные результаты, сделать выводы.
<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	Введение, литературный обзор, объект и методы исследования, расчет и аналитика, финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение, социальная ответственность, заключение.
<b>Перечень графического материала</b>	Слайды презентации

**Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы**

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Доцент кафедры МЕН, к.ф.н., Меньшикова Екатерина Валентиновна
Социальная ответственность	Доцент кафедры ЭБЖ, к.т.н., Волков Юрий Викторович
Раздел на иностранном языке	Доцент кафедры ИЯФТ, к.ф.н., Устюжанина Анна

Константиновна
----------------

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

- 1.1 Уголь – основа тепловой энергетики
- 1.1.1 Образование углей
- 1.1.2 Классификация углей
- 1.1.3 Добыча и обогащение углей
- 1.1.4 Угольные бассейны
- 1.1.5 Сжигание твердого топлива
- 1.2.5 Области применения золошлакового материала

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

**Задание выдал руководитель:**

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

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4ГМ5В	Ширей-Седлецкая В.В.		

## Реферат

Выпускная квалификационная работа 137 с., 8 рис., 43 табл., 48 источников, 1 приложение.

Ключевые слова: золошлаковый материал, зола-унос, золоотвал, проблемы золоотвалов, уголь, угольные бассейны, гранулометрический состав, оксид кальция, оксид железа.

Объектом исследования в данной работе явился золошлаковый материал Северской теплоэлектростанции.

Цель работы – определение основных качественных показателей золы в золошлаковом материале Северской теплоэлектростанции, определение возможности его использования в качестве источника вторичного ресурса для снижения антропогенной нагрузки на окружающую среду, исследование путей использования золошлаковых отходов.

В процессе исследования проводилось определение основных качественных показателей золошлаковых материалов Северской теплоэлектростанции.

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

Область применения: изготовление строительных материалов (цементов, силикатного и глиняного кирпича, бетонных камней, пористых заполнителей для бетонов, асфальтобетона).

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

## **Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки**

В настоящей работе использованы ссылки на следующие стандарты:

- 1.** ГОСТ 12.1.005-88 «ССБТ. Воздух рабочей зоны. Общие санитарно-гигиенические требования».
- 2.** ГОСТ 12.1.012-90 «ССБТ. Вибрационная безопасность. Общие требования».
- 3.** ГОСТ 12.11019-79 «ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты».
- 4.** ГОСТ 12.2.003-91 «ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности».
- 5.** СанПин №11-19-94 «Перечень регламентированных в воздухе рабочей зоны вредных веществ».
- 6.** СанПин 2.2.4.1191-03 «Электромагнитные поля в производственных условиях, на рабочих местах. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы».
- 7.** ГОСТ 25818-91 «Золы-уноса тепловых электростанций для бетонов».
- 8.** ГОСТ 10538-87 «Топливо твердое. Методы определения химического состава золы».
- 9.** СНиП 23-05-95 «Естественное и искусственное освещение».
- 10.** ГОСТ 12.2.003-91 «Оборудование производственное. Общие требования безопасности».
- 11.** ГОСТ 12.2.032-78 «ССБТ. Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования».

## Оглавление

Введение	16
1 Обзор литературы	18
1.1 Уголь – основа тепловой энергетики	18
1.1.1 Образование углей	18
1.1.2 Классификация углей	20
1.1.3 Добыча и обогащение углей	22
1.1.4 Угольные бассейны	24
1.1.5 Сжигание твердого топлива	26
1.2 Золошлаковые материалы	28
1.2.1 Краткая характеристика золошлаковых отходов	28
1.2.2 Золошлаковые отходы как многофункциональное сырье	30
1.2.3 Общая характеристика золошлаковых отходов	33
1.2.4 Проблема золоотвалов	35
1.2.5 Пути применения золошлакового материала	39
2 Экспериментальная часть	51
2.1 Характеристика объекта исследования	51
2.2 Определение гранулометрического состава золошлакового материала	51
2.3 Определение содержание свободного оксида кальция ускоренным методом	52
2.4 Комплексонометрический метод определения железа (Ш)	53
2.5 Гравиметрический метод определения углерода в золе	56
3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	
3.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	60
3.2 Инициация проекта	68
3.3 Планирование управления научно-техническим проектом	70
3.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	85
4 Социальная ответственность	88
4.1 Введение	88

4.2 Анализ вредных производственных факторов и обоснование мероприятий по их устранению	90
4.3 Анализ опасных факторов производственной среды	95
4.4 Охрана окружающей среды	99
4.5 Защита в чрезвычайных ситуациях	101
4.6 Правовые вопросы обеспечения безопасности	102
4.7 Расчет освещения	103
Заключение	109
Список публикаций студента	110
Список использованных источников	111
Приложение А	116

## Введение

Развитие топливно-энергетического комплекса, строительной индустрии, строительство городов и новых населенных пунктов, экологические и связанные с ними социальные проблемы прямо или косвенно зависят от утилизации твердых продуктов сгорания углей – зол уноса и шлаков. В СССР их не разделяли и отправляли вместе гидротранспортом в золоотвалы, порождая золошлаковые отходы в огромном количестве в городской черте или в непосредственной близости. Эта проблема приобретает особую остроту в России в связи с суровыми климатическими условиями, а также рассогласованием в сроках производства и потенциального потребления твердых продуктов от сгорания углей.

На сегодняшний день по стране утилизируется не более 5–10 % золошлакового материала в различных отраслях строительства и промышленности. В развитых странах – около 50 %, во Франции и в Германии – 70 %, а в Финляндии – около 90 % их текущего выхода. В этих странах в основном сухие золы, и проводится государственная политика, стимулирующая их использование. Остаток хранится в золошлакоотвалах без использования. При этом накопление золошлаков не прекращается, а с учетом растущих потребностей в электроэнергии и недостаточных темпов развития других источников ее производства, увеличение количества складированных золошлаковых отходов будет возрастать.

Золошлаковые материалы по химическому и минералогическому составу во многом идентичны природному минеральному сырью. Использование их в промышленности, строительной индустрии и сельском хозяйстве – один из стратегических путей решения экологической проблемы в зоне работы ТЭС.

В процессе деятельности предприятий электроэнергетики образуется много золошлаковых отходов. Золошлаковые отходы (ЗШО) можно использовать в производстве различных бетонов, строительных растворов. Керамики, теплогидроизоляционных материалов, дорожном строительстве, где они могут быть использованы взамен песка и цемента.

Цель работы - определение основных качественных показателей золы в золошлаковом материале Северской теплоэлектростанции, определение возможности его использования в качестве источника вторичного ресурса для снижения антропогенной нагрузки на окружающую среду, исследование путей использования золошлаковых отходов.

Объектом исследования в данной работе явились золошлаковые материалы Северской теплоэлектростанции. Для выполнения исследований использовалась проба, отобранная на золоотвале возле труб гидроудаления.

Задачи:

1. Провести литературный обзор;
2. Определить гранулометрический состав;
3. Определить содержание свободного оксида кальция в золошлаковых материалах Северской теплоэлектростанции;
4. Исследовать влияния условий термообработки на содержание свободного оксида кальция;
5. Определить содержания оксида железа (III) в золошлаковых материалах Северской теплоэлектростанции;
6. Определить содержания углерода в золошлаковых материалах Северской теплоэлектростанции;
7. Сделать выводы.

## **1 Обзор литературы**

### **1.1 Уголь – основа тепловой энергетики**

#### **1.1.1 Образование углей**

Уголь – многокомпонентная горная порода, образовавшаяся из продуктов биохимического и физико-химического превращения исходного растительного материала. Изменения органического вещества твердых горючих ископаемых в разнообразных геологических условиях их формирования способствуют существованию в природе многочисленных типов, классов и разновидностей ископаемых углей, состав которых варьирует в широком диапазоне [1].

Для оптимального использования угля необходимо знать и учитывать его химическое строение. Уголь является естественным продуктом, образовавшимся преимущественно из растительного материала. Леса опускались в болота и превращались вначале («биохимическая фаза») в торф и мягкие бурые угли. Дальнейшее опускание отмерших материалов и покрытие их минеральным слоем привело ко второй («геохимической») фазе обуглероживания – образовывались твердые бурые угли и, наконец, каменные угли различной степени углефикации. Значительное влияние на превращение растительного материала в смесь веществ, которую сегодня называют углем, на биохимической фазе оказали анаэробные микроорганизмы, на геохимической – температура и время.

В настоящее время считается, что в образовании угля принимали все растительные элементы, преимущественно целлюлоза и лигнин. Все угли в основном состоят из углерода, водорода и кислорода; присутствуют также небольшие количества азота и серы. Доля углерода увеличивается со степенью углефикации – от 65 % для мягких бурых углей до > 91 % для антрацитов; соответственно снижается содержание кислорода (от 30 % до 2 %) и водорода (от 8 до < 4 %). Содержание азота и серы меньше зависит от стадий углефикации и составляет 0,5 – 2 % N и 0,5 – 3 % S. Эти цифры относятся к органической массе угля, т.е. к высушенной и свободной от золы.

Однако любой уголь, добываемый из месторождения, содержит влагу и большее или меньшее количество минеральных компонентов, которые во время углефикации взаимодействуют с органическим веществом. В таблице 1.1 представлен элементный состав углей и содержание летучих, являющееся показателем степени углефикации и определяемое потерей массы угля при его нагревании без доступа воздуха.

Таблица 1.1 – Состав древесины, бурого и каменного угля

Материал	Элементный состав, % (масс.)					Содержание воды, % (масс.)	Содержание летучих, % (масс.)
	C	H	O	N	S		
Древесина сырая	45-52	5,8-6,2	3-45	0,05	-----	40-60	65-75
Торф сырой	49-60	5-8	28-48	1-4	0,1-1	80-92	70-80
Бурый уголь	65-70	5-8	18-30	0,5-1,5	0,5-3	55-63	50-60
Пламенный уголь	75-81	5,8-6,6	>9.8	1-1,8	0,6-1,8	2,5-4	35-40
Газовый уголь	85-87,5	5,0-5,6	4,5-7,3	1-1,8	0,6-1,8	1,2-2,5	25-28
Антрацит	>91,5	<3,75	2,5<	1-1,7	0,6-1,7	<1	<10

Органическое вещество угля неоднородно. Так, бурые угли состоят из битумов, гуминовых кислот и остаточного угля. Битумами называют растительные и смоляные частицы, которые можно экстрагировать из угля растворителями; выход смол при полукоксовании бурых углей в значительной степени зависит от содержания битумов. Гуминовыми кислотами являются компоненты бурых углей, растворимые в едких щелочах.

В отличие от бурых углей, каменные угли практически не содержат карбоксильных групп и поэтому не растворимы в щелочах. Органические соединения углей являются в основном высокомолекулярными. Бурые угли содержат много алифатических соединений; напротив, каменные угли состоят главным образом из ароматических структур, связанных в крупные молекулы. Доля «ароматических» атомов углерода в каменных углях увеличивается со степенью углефикации от 80 % у пламенных углей до 100 % у антрацита.

Из каменных углей можно экстрагировать и затем идентифицировать небольшое количество низкомолекулярных соединений, однако основные вещества, как уже говорилось, являются высокомолекулярными и в случае жирных углей имеют молекулярную массу несколько сотен тысяч. Относительно структуры этих сложных молекул могли бы быть сделаны многообещающие статические высказывания. Хотя надежда однозначно представить структуру высокомолекулярной «молекулы угля» неосуществима, есть хорошая возможность охарактеризовать ароматические структурные элементы по их величине, по степени замещения гетероатомами и по типу межатомных связей. Можно сказать поэтому, что современные знания позволяют изыскать возможности химического использования углей [2].

### **1.1.2 Классификация углей**

Ископаемые угли по геологическому возрасту и степени метаморфизма подразделяются на бурые угли, каменные угли, полуантрациты и антрациты. Наиболее молодые являются бурые, наиболее древними – антрациты.

Бурые угли являются наименее обуглероженным видом ископаемых углей. Состав органической массы бурых углей различных месторождений колеблется в значительной степени, (%): углерод – 65 - 78, водород – 4,3 - 6,3, кислород – 6 - 27, азот – 0,6 - 1,7, сера – 0,2 - 2,7. Они весьма разнообразны по внешнему виду, цвет их меняется от бурого до черного. Строение бурых углей достаточно рыхлое, вследствие чего они легко крошатся.

Бурые угли обладают высоким выходом летучих веществ и низкой теплотой сгорания рабочей массы беззольного угля.

Они характеризуются высокой влажностью, пониженным содержанием углерода и повышенным – кислорода, неспекшимся коксовым остатком.

При горении бурые угли дают длинное пламя. Бурые угли – топливо невысокого качества, что объясняется значительным содержанием в нем внешнего балласта и особенностью выветриваться самовозгораться. Подобно торфу, бурые угли не выдерживают дальних перевозок.

Каменные угли являются важнейшим видом ископаемого твердого топлива. По своим свойствам и составу они крайне неоднородны. В состав горючей массы каменных углей входит 75 - 90 % углерода, 4 - 6 % водорода, 2 - 16 % кислорода, 0,7 - 2,5 % азота, 0,3 - 7 % серы. Выход летучих веществ по отношению к горючей массе каменных углей различных марок колеблется в широких пределах: от 9 до 40%. Содержание влаги в них составляет 5 - 15 %.

Полуантрациты занимают промежуточное положение между антрацитом и тощими каменными углями и содержат в горючей массе 90 - 94 % углерода, 3 - 4 % водорода и 1,5 - 5 % кислорода. Выход летучих веществ 6 - 9 % от горючей массы. В полуантрацитах содержится 5 - 6 % влаги. Антрациты являются наиболее углефицированным видом ископаемых углей и отличаются от каменных тем, что при горении не происходит образования углеводородов, благодаря чему они горят коротким пламенем и совершенно бездымно.

В горючей массе антрацита содержание углерода превышает 93 %, водорода содержится около 2 %, кислорода – менее 2 %, влаги 4 - 6 %. Выход летучих составляет до 7 % от массы горючей массы.

Содержание внешнего балласта в антраците составляет 12 - 25 %. По фракционному составу угли делятся на следующие классы с размером кусков, мм:

- Плитный (П) > 100
- Крупный (К) 50-100
- Орех (О) 25-50
- Мелкий (М) 13-25
- Семечко (С) 6-13
- Штыб (Ш) < 6
- Рядовой (Р) < 300 [3].

### 1.1.3 Добыча и обогащение углей

Способ добычи угля зависит от глубины его залегания. Разработка ведется открытым способом в угольных разрезах, если глубина залегания угольного пласта не превышает 100 метров. Нередки и такие случаи, когда при еще большем углублении угольного карьера далее выгодно вести разработку угольного месторождения подземным способом. Для извлечения угля с больших глубин используются шахты. Самые глубокие шахты на территории Российской Федерации добывают уголь с уровня чуть более 1200 метров.

Потребительской значимостью обладают многие виды георесурсов которые содержатся в угленосных отложениях. К ним относятся вмещающие породы как сырье для стройиндустрии, подземные воды, метан угольных пластов, редкие и рассеянные элементы, в том числе ценные металлы и их соединения. Например, некоторые угли обогащены германием [4].

Обогащение каменных и бурых углей представляет собой совокупность процессов, обеспечивающих отделение полезного компонента (органической части) от породы. В результате обогащения чаще всего получают два продукта – концентрат, в котором сосредоточено основное количество полезных веществ, содержащихся в исходном ископаемом, и породу, т.е. отходы обогащения, в которых находится большая часть бесполезных и вредных примесей.

При обогащении каменных углей для коксования получается еще так называемый промежуточный продукт (промпродукт), в котором минеральных примесей содержится меньше чем в породе, но больше чем в концентрате и рядовом угле. В процессе обогащения получается также некоторое количество мельчайших частиц (пыль и шлам), которые повторно подвергаются переработке или добавляются к концентрату, а в некоторых случаях используются в качестве энергетического топлива. В настоящее время почти все угли, используемые для получения металлургического кокса, проходят стадию облагораживания на обогатительных фабриках. Это вызывается тем, что минеральные примеси в угле препятствуют получению металлургического кокса требуемых физико-механических свойств. Поэтому облагораживание углей по золе в данном случае вызывается технологической необходимостью. Обогащение углей обеспечивает также возможность включения в хозяйственный оборот углей с большим содержанием минеральных примесей [5].

Гравитационное обогащение производится на обогатительных фабриках по схемам, предусматривающим подготовку материала, его обогащение и обработку получаемых продуктов. На рис. 1.1 приведена схема установки для комбинированного гравитационного обогащения угля, с использованием тяжёлой суспензии для крупного класса и отсадки — для мелкого. Часто практикуются комбинированные схемы, в которых не только сочетаются различные методы гравитационного обогащения, но и гравитационное обогащение с другими методами обогащения — флотацией, магнитной сепарацией и с гидрометаллургией [6].

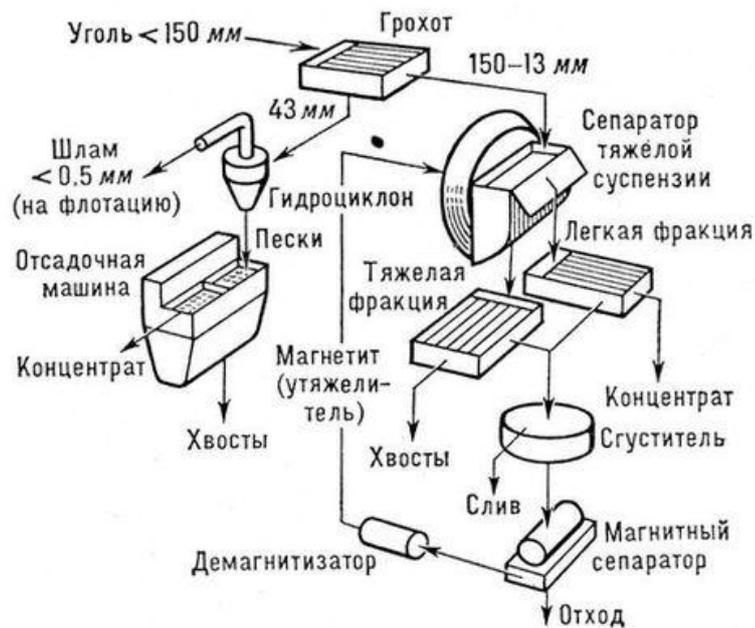


Рисунок 1.1 – Принципиальная схема гравитационного обогащения угля отсадкой из тяжелой суспензии

#### 1.1.4 Угольные бассейны

Уголь представляет собой органическое вещество, подвергшееся медленному разложению под действием биологических и геологических процессов. Основа образования угля – остатки растений, произраставших миллионы лет назад. Первоначально высшие растения образовывали органику болот – торф. Далее сформировавшийся пласт покрывался слоем минеральной породы и вместе с ней постепенно погружался в глубины земной коры. Там под воздействием высоких температур (до  $350\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) и давления происходило превращение, вначале торф становился бурым углем, затем – каменным и, в конечном итоге, антрацитом.

Местом наибольшего скопления угля и его добычи является угольный бассейн.

Кузнецкий угольный бассейн (Кемеровская область) является одним из самых крупных угольных месторождений мира. По качеству угли разнообразны и относятся к числу лучших углей.

Иркутский угольный бассейн расположен в южной части Иркутской области.

Минусинский угольный бассейн, расположен в Минусинской котловине (республика Хакасия). К наиболее крупным из них относятся Черногорское и Изыхское угольное месторождение.

Канско-Ачинский угольный бассейн находится в Красноярском крае, бассейн обладает наиболее значительными запасами энергетического бурого угля, добывающегося в основном открытым способом.

Экибастузский угольный бассейн расположен в Республике Казахстан. Является одним из самых значительных по запасам и занимает первое место в мире по плотности угля: на площади 62 км<sup>2</sup> запасы угля оцениваются в 13 миллиардов тонн или 200 тонн на один квадратный метр. А по добыче угля открытым способом является одним из наиболее перспективных районов в мире. Зольность каменных углей, поступающих в Россию на предприятия энергетики, достигает 40 – 50 %. Основные потребители угля из этого бассейна находятся на Урале и в Республике Казахстан. Среди них: ТОО «AES Экибастуз», ТЭС АО «ЕЭК», ОАО «Станция ЭГРЭС-2», Алматинская ТЭЦ-2, Алматинская ТЭЦ-3, Карагандинская ТЭЦ-3, Павлодарская ТЭЦ-1, Павлодарская ТЭЦ-3, Петропавловская ТЭЦ-2, Троицкая ГРЭС, Омская ТЭЦ.

В зависимости от вида угля, его месторождения, места и способа сжигания на выходе получается совершенно разная зола. Итак, основной состав каменноугольной золы:

- легкие алюмосиликатные микросферы (1 – 2 %);
- микросферы (основной состав SiO<sub>2</sub>) (60 %);
- микросферы (содержащие муллит) (25 %);
- кокс (1 – 7 %);
- магнетит в сферической форме (3 – 5 %);
- прочие минералы (2 %) [7].

### 1.1.5 Сжигание твердого топлива

Современные способы сжигания твердого топлива можно разделить на две большие группы: сжигание в слое и камерах. В слое сжигают только твердое топливо, которое с помощью различных способов подается на решетки разнообразных конструкций. При этом основная масса топлива сгорает в слое.

Если рассматривать данный вид сжигания, то можно отметить следующие способы его осуществления:

- В неподвижном слое на неподвижной решетке (с неподвижными горизонтальными или слегка наклоненными решетками);
- В движущем слое на неподвижной решетке (с циклонно-переталкивающими решетками, шурующей планкой с нижней подачей топлива);
- В принудительно подвижном слое на движущейся решетке (с горизонтальными или слегка наклонными решетками прямого и обратного хода).

В последние годы все более широкое применение находит способ сжигания низкосортного топлива в кипящем слое:

- Высокотемпературный, на слегка наклоненных решетках прямого и обратного хода;
- Низкотемпературный, на беспровальных и провальных решетках различного типа;
- Аэрофонтанных предтопках;
- С циркулирующим слоем и предварительной подготовкой исходного топлива;
- Циркулирующий кипящий слой.

Для эффективного сжигания в слое необходимы такие фракции топлива, чтобы обеспечивался подвод воздуха к поверхности каждого куска.

Неоднородность по размерам ухудшает условия сгорания, так как время полного сгорания крупных и мелких кусков неодинаково.

При слишком малых размерах частиц топлива возрастает аэродинамическое сопротивление слоя, воздух прорывается в отдельных местах с образованием так называемого «кратерного горения». При этом горение происходит только в районе «кратера», остальное топливо в горении не участвует и с большим содержанием горючих попадает в зольный бункер. Труднее всего сжигать на цепных решетках несортированные неспекающиеся угли с большим содержанием мелочи. Отсевы тощих углей и антрацитовые штыбы сжигаются на таких решетках крайне неэкономично.

Большое влияние на работу топок и экономические показатели сжигания, оказывает зольность топлива. С повышением зольности приходится чаще очищать от шлака неподвижную решетку или ускорять движение цепной решетки обратного хода, а угли с зольностью более 40% в серийных топочных устройствах сжигать практически невозможно.

Сжигание таких углей затруднительно: КПД котельных установок нередко составляет 50 – 65 %, а фактическая производительность котла значительно ниже паспортной. Поэтому многие шахты испытывают острый дефицит тепла для нагрева воздуха, подаваемого в шахту, отопления, горячего водоснабжения и других целей. Проведенные специалистами испытания по уточнению степени влияния зольности углей на экономичность электростанций показали, что КПД паровых котлов снижается до 0,39 % на каждый 1 % увеличения зольности.

Анализ технико-экономических показателей, применяемых в настоящее время топочных устройств для слоевого сжигания углей на колосниковых решетках показывает, что такой метод сжигания обладает некоторыми существенными недостатками:

- Основная масса топлива сгорает в слое, поддержание высоты и равномерности распределения которого по решетке является одним из основных элементов регулирования процесса горения.
- Значительная зависимость эффективности использования топлива от его фракционного состава.

- Трудность сжигания рядовых несортированных, неспекающихся углей с большим содержанием мелочи и низкая эффективность сжигания спекающихся и отсевов тощих углей, а также антрацитовых штыбков.
- Высокие температуры, развивающиеся при горении топлива в слое (1200-1400 °С), приводят к спеканию шлака в конгломераты.
- Зависимость конструкции топки от качества сжигаемого топлива.
- Значительные выделения оксидов азота и серы.
- Невозможность сжигания высокозольного топлива [3].

Любая разработка процесса должна быть обоснована теоретическими знаниями, как о самом процессе, так и о том сырье, которое подвергается переработке, и тех превращениях, которые оно претерпевает на всех стадиях процесса. В связи с этим основные задачи теоретических исследований сводятся к установлению взаимосвязи структуры и свойств углей, выявлению закономерностей изменения свойств углей в ряду метаморфизма, научно-обоснованной интерпретации результатов физико-химических исследований молекулярной структуры и надмолекулярного строения на базе современных представлений о строении вещества, формулировке химических терминов, что имеет определяющее значение для развития в целом [8].

## **1.2 Золошлаковые материалы**

### **1.2.1 Краткая характеристика золошлаковых отходов**

Известно, что на большинстве ТЭЦ [9] сжигание углей происходит при температуре 1100 - 1600° С.

При сгорании органической части углей образуются летучие соединения в виде дыма и пара, а негорючая минеральная часть топлива выделяется в виде твердых очаговых остатков, образуя пылевидную массу (зола), а также кусковые шлаки. Количество твердых остатков для каменных и бурых углей колеблется от 15 до 40 % масс.

Уголь перед сжиганием измельчается и в него, для лучшего сгорания, часто добавляют в небольшом (0,1 - 2 %) количестве мазут.

При сгорании измельченного топлива мелкие и легкие частицы золы уносятся дымовыми газами, и они носят название золы уноса. Размер частиц золы уноса колеблется от 3 - 5 до 100 - 150 мкм. Количество более крупных частиц обычно не превышает 10-15%. Улавливается зола уноса золоуловителями.

Более тяжелые частицы золы оседают на подтопки и сплавляются в кусковые шлаки, представляющие собой агрегированные и сплавившиеся частицы золы размером от 0,15 до 30 мм. Шлаки размельчаются и удаляются водой. Зола уноса и размельченный шлак удаляются вначале отдельно, потом смешиваются, образуя золошлаковую смесь.

В составе золошлаковой смеси кроме золы и шлака постоянно присутствуют частицы несгоревшего топлива (недожог), количество которого составляет 10 – 25 %. Количество золы уноса, в зависимости от типа котлов, вида топлива и режима его сжигания может составлять 70 – 85 % от массы смеси, шлака 10 – 20 %.

Золошлаковая пульпа удаляется на золоотвал по трубопроводам. Зола и шлак при гидротранспорте и на золошлакоотвале взаимодействуют с водой и углекислотой воздуха. Они быстро поддаются выветриванию и при осушении при скорости ветра 3 м/сек начинают пылить. Цвет ЗШО темносерый, в разрезе слоистый, обусловленный чередованием разнотернистых слоев, а также осаждением белой пены, состоящей из алюмосиликатных полых микросфер.

В составе ЗШО различаются кристаллическая, стекловидная и органическая составляющие.

Кристаллическое вещество представлено как первичными минералами минерального вещества топлива, так и новообразованиями, полученными в процессе сжигания и при гидратации и выветривании в золоотвале. Всего в кристаллической составляющей ЗШО устанавливается до 150 минералов.

Преобладающие минералы - это мета- и ортосиликаты, а также алюминаты, ферриты, алюмоферриты, шпинели, дендритовидные глинистые минералы, оксиды: кварц, тридимит, кристобалит, корунд,  $\gamma$ -глинозем, окиси кальция, магния и другие. Часто отмечаются, но в небольших количествах, рудные минералы - касситерит, вольфрамит, станин и другие; сульфиды – пирит, пирротин, арсенопирит и другие; сульфаты, хлориды, очень редко фториды. В результате гидрохимических процессов и выветривания в золоотвалах появляются вторичные минералы – кальцит, портландит, гидроокислы железа, цеолиты и другие. Большой интерес представляют самородные элементы и интерметаллиды, среди которых установлены: свинец, серебро, золото, платина, алюминий, медь, ртуть, железо, никелистое железо, хромферриды, медистое золото, различные сплавы меди, никеля, хрома с кремнием и другие.

Нахождение капельно-жидкой ртути, несмотря на высокую температуру сгорания угля, довольно частое явление, особенно в составе тяжелой фракции продуктов обогащения. Вероятно, этим объясняется ртутное заражение почв при использовании ЗШО в качестве удобрения без специальной очистки.

Стекловидное вещество – продукт незавершенных превращений при горении, составляет существенную часть зол. Представлено разноокрашенным, преимущественно черным стеклом с металлическим блеском, разнообразными шарообразными стекловидными, перламутроподобными микросферами (шариками) и их агрегатами. Они слагают основную массу шлаковой составляющей ЗШО. По составу – это оксиды алюминия, калия, натрия и, меньше, кальция. К ним же относятся некоторые продукты термообработки глинистых минералов. Часто микросферы полые внутри и образуют пенистые образования на поверхности золоотвала и водоотстойных прудов.

Органическое вещество представлено несгоревшими частицами топлива (недожог).

Преобразованное в топке органическое вещество весьма отлично от исходного и находится в виде кокса и полукокса с очень малой гигроскопичностью и выходом летучих. Количество недожога в исследуемых ЗШО составляло 10 – 15 % [10].

### **1.2.2 Золошлаковые отходы как многофункциональное сырье**

В составе промышленных отходов можно выделить группу, которая носит название золошлаковые отходы. Золошлаковые отходы также называют золошлаковыми смесями. Они представляют собой, как понятно из названия, смесь шлака и золы. По статистике в России каждый год образуется примерно 27 миллионов тонн этих отходов. Образуются они в результате сжигания угля или торфа, то есть в энергетической промышленности. Соотношение зола – шлак в рассматриваемых отходах составляет около 80 / 20, то есть золошлаковые отходы примерно на 80 % состоят из золы и на 20 % из угольного шлака. Они относятся к практически неопасным отходам, это 5 класс опасности. Эти отходы являются подходящим сырьем для производства бетона и различных строительных материалов.

Происхождение шлакозольных остатков. Рассмотрим подробно этот процесс: на объекте по производству электрической энергии, то есть на теплоэлектростанциях, сырье – уголь измельчают и смешивают с мазутом. Это делается для улучшения горючих свойств материала. В процессе горения маленькие частицы золы отделяются от основной массы и уносятся вместе с дымом, такая зола носит название «зола уноса». Размеры частиц золы составляют примерно 5 – 150 микрометров. Уголь сжигается с образованием летучих и твердых остатков. Из органической горючей части угля образуется дым и пар, а из минеральной – зола и шлак. Зола представляет собой легкую пылевидную массу около серого цвета. Из установок для сжигания отходы удаляются различными способами. Зола уноса удаляется золоуловителями. Если же рассматривать более тяжелую золу, она оседает на подтопки и далее сплавляется в куски. Шлаки измельчают.

В конечном итоге шлак и зола уноса удаляются, образуя золошлаковые отходы. Они хранятся на специальных шлакоотвалах. Помимо шлака и золы в составе отходов также есть недожог. Недожог – это частицы несгоревшего угля [11].

Применение шлакозольных остатков. Как и другие виды отходов, эта группа может подвергаться переработке. Но на территории России эти объемы не такие, как хотелось бы. На самом деле, переработка золошлаковых отходов – выгодный бизнес.

Золошлаковые отходы используют для изготовления: тяжелого бетона, ячеистого бетона, силикатного бетона, строительных смесей, цементного клинкера, обжигового глинозольного керамзита, керамического кирпича, земляного полотна автомобильных дорог, изоляционного материала для полигонов ТБО. В результате использования золошлакового материала, происходит значительная экономия сырья для производства конечных материалов. К тому же наблюдается улучшение характеристик конечного продукта. К примеру, при использовании вторичного сырья для производства тяжелого бетона, на 15 – 30 % уменьшается объем используемого цемента. При этом улучшаются такие качества бетона, как укладываемость, антикоррозийность. Кроме того уменьшается тепловыделение при твердении. Отходы могут заменить песок в процессе производства полностью или частично. Золошлаковые отходы можно применять в сельском хозяйстве. Они улучшают качественные свойства почвы: нейтрализуется кислотность, повышается пористость, улучшается состав. Конечно, для применения в сельском хозяйстве золошлаки должны быть безопасными. Для определения степени безопасности необходимо провести ряд исследований: определить степень радиоактивности, изучить состав и свойства. Добавив золошлаки в земляное полотно автодорог, снижается себестоимость выполняемых работ и улучшается качество грунта. На заметку, при сооружении насыпи трассы М4 было использовано 600 тысяч тонн золошлаковых отходов, произведенных на Каширской ГРЭС.

Утилизация шлакозольных отходов. В современном мире специализированные организации предоставляют услуги по утилизации таких отходов. Этот процесс является безотходным, безопасным для экологии и, что немаловажно, экономит ресурсы. На переработки принимаются следующие виды отходов: шлакозольные остатки мусоросжигательных заводов и ТЭС; отработки газоочистки; металлургические шлаки, в том числе свинцовые. В нашей стране функционирует более 170 ТЭС, которые работают на угле. На практике получается, что уже сейчас золоотвалы заполнены, а их расширение не происходит, так как этот процесс является затратным с финансовой точки зрения. На утилизацию направляется только 10 % всех золошлаковых отходов. Общеизвестный факт, что золошлаки являются доступным и практичным сырьем [11]. Сибирский федеральный округ лидирует по использованию золошлака. В 2014 году объем использованных отходов составил 3 миллиона тонн. Не все остаются в стороне от этого вопроса, энергетики Новосибирска выдвинули предложение по использованию золошлаков для ямочного ремонта автодорог и выравнивания рельефа. Хочется отметить, что подобное уже практикуется, с помощью остатков с близлежащих ТЭЦ выравнивали рельеф одного из поселков. Таким образом, можно выравнивать заброшенные территории и использовать их для застройки.

Можно даже поступить следующим образом, насыпать золошлаковые отработки, сверху перекрыть все грунтом и сделать из участка зеленую зону. Зарубежный опыт. В странах Европы хорошо развит промышленный симбиоз. В Дании и Германии золошлаки применяются в производстве стройматериалов. Причем для этого используются все шлакозольные отходы, то есть 100 %. Что интересно, в Германии запрещено организовывать шлакоотвалы. В Польше, Китае и США процент использования примерно равен 60 % [11].

### **1.2.3 Общая характеристика золошлаковых отходов**

Зола углей – это сложное разнородное вещество, состоящее из нескольких генетических классов минеральных примесей.

Можно выделить, например, следующие классы.

- *Первый класс – биогенный.* Здесь минеральные вещества привнесены в уголь самими растениями - углеобразователями. Действительно, хорошо известно, что в золе любых растений содержатся элементы, входящие в состав ферментов: марганец, кобальт, молибден и др.

- *Второй класс – сорбционный.* Это минеральные вещества, которые сформированы были главным образом на торфяной (буроугольной) стадии углеобразования. Самый характерный золообразующий элемент этого класса – кальций, отчасти к этому классу можно отнести алюминий, магний, железо. Наиболее велика доля этого класса минеральных компонентов в золе бурых углей (до 50 %).

- *Третий класс – конкреционный.* В отличие от сорбционного, где компоненты связаны с органическим веществом углей (типа гуматов, хелатов), конкреционный класс представлен минеральными формами – карбонатами кальция, магния, железа (кальцит  $\text{CaCO}_3$ , доломит  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)$ , сидерит  $\text{FeCO}_3$  и др.), пиритом  $\text{FeS}_2$ , каолинитом  $\text{Al}_2(\text{OH})_4[\text{SiO}_5]$ , вивианитом  $\text{Fe}_3(\text{H}_2\text{O})_8 [\text{PO}_4]_2$  и другие. Доля конкреционного класса – величина, достаточно изменчивая для углей различных месторождений.

- *Четвертый класс – терригенный.* Это есть то, что чаще всего и определяется термином «зола». Терригенный класс представлен в углях минеральными частицами, которыми сложены также и вмещающие уголь породы, т.е. кварц, полевые шпаты, слюды, глины, апатит, циркон и другие.

Терригенные компоненты содержат все элементы-примеси, присутствующие в углях. Но так как минералогический состав их компонентов близок к составу нормальных осадочных пород, то содержания редких металлов в терригенном классе очень близки к соответствующим кларкам для осадочных пород. Например, зола, представленная терригенным классом, обычно содержит около 1 - 3 г/т германия и 10 - 20 г/т галлия.

- Пятый класс – инфильтрационный. В отличие от ранее приведенных четырех классов, сформировавшихся вместе с углем, компоненты этого класса появились в углях на последующих стадиях. Это минералы, отложившиеся в трещинах и порах угольных пластов из подземных вод. Если в углях присутствует этот класс, то в составе золы мы обнаружим сульфиды металлов, например сфалерит  $ZnS$ , пирит  $FeS_2$  [12].

#### 1.2.4 Проблема золоотвалов

Зола – это несгораемый остаток, образующийся из минеральных примесей топлива при полном его сгорании. Уголь перед подачей в топку, как правило, обогащают по средствам удаления минеральных компонентов с целью снижения зольности и измельчают. Далее он попадает в топку, где температура сгорания колеблется от 1000 до 1600 °С. Органическая составляющая угля сгорает, минеральная (несгорающая) образует твердые остатки: шлак (размером частиц более 0,25 мм) и мелкодисперсную золу-уноса, которая продвигаясь по внутренним коммуникациям ТЭС, задерживается фильтрами (как правило, электрофильтрами) и попадает в золоборники. Далее сухая зола транспортируется в силос для выдачи потребителям с целью её дальнейшего промышленного использования (производство строительных материалов, дорожные работы и другие) либо смешивается с водой и вместе со шлаком в виде пульпы сбрасывается в золоотвал.

Климатические условия Томской области (среднегодовая температура – 2 °С, длительность отопительного сезона – 8 месяцев: с сентября по май) требуют значительных энергетических затрат. Расходы на теплоносители в годовом бюджете области составляют 44 % - более 1,4 трлн. рублей. Потребление – 5,5 млн. тонн условного топлива в год [13].

Золоотвал – это место складирования, хранилище золы тепловых электростанций, работающих на твердом топливе. Золоотвалы очень часто служат источниками загрязнения воздуха, подземных и поверхностных водоисточников.

Старый золоотвал ГРЭС-2 был введен в эксплуатацию в 1973 году и находится в долине Ушайки (в районе конца улицы Сибирской), и в настоящее время не используется.

На нем накоплено 450 тыс. тонн золошлаковых отходов на площади 35,8 га.

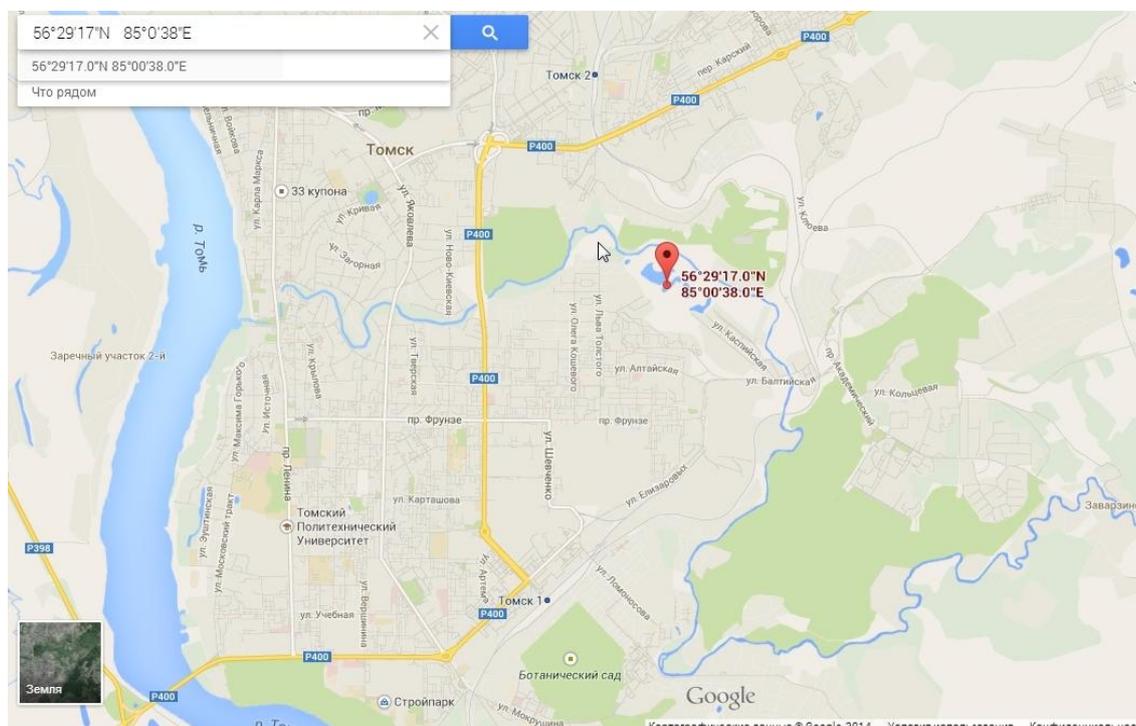


Рисунок 1.2 - Золоотвал ГРЭС-2

Новый золоотвал в долине Малой Киргизки (в районе станции Томск – Северный) введен в эксплуатацию в 1986 году, и сейчас на его площади в 60,9 га накоплено 1251 тыс. тонн отходов [14].

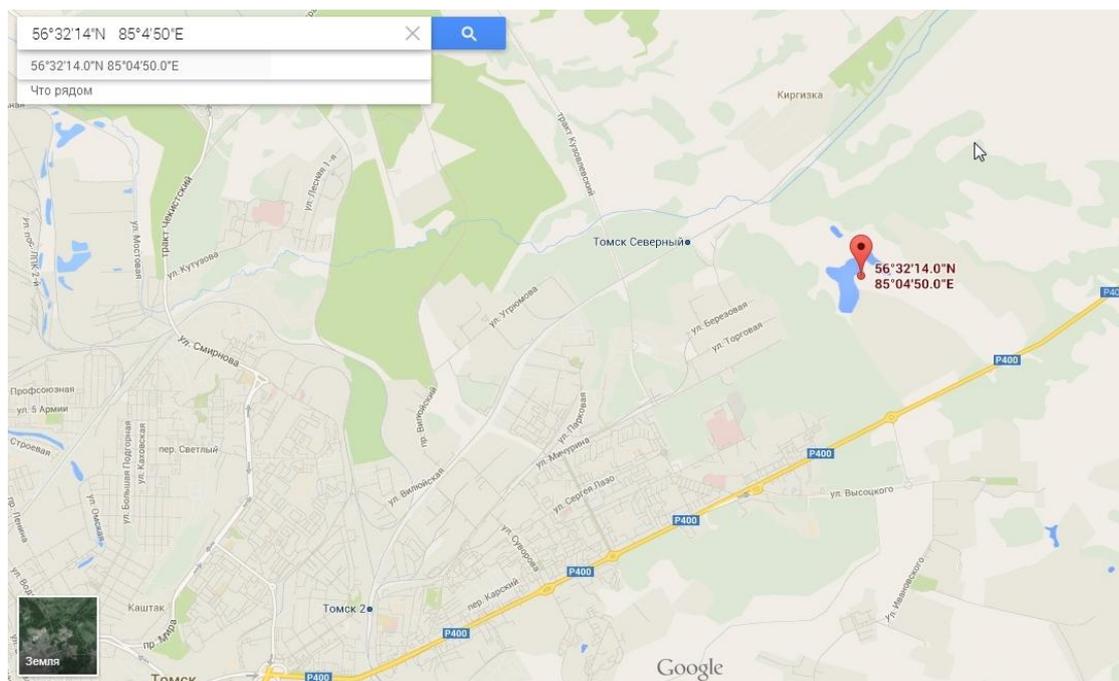


Рисунок 1.3 – Золоотвал в долине Малой Киргизки

Проблема утилизации золошлаковых отходов (ЗШО), в которые переходит 10 – 15 % перерабатываемых углей, образуемых при эксплуатации тепловых электростанций, муниципальных и производственных котельных, работающих на твердом топливе, вызывает серьезную озабоченность органов исполнительной власти субъектов РФ и муниципальных образований. Фактически в настоящее время эта проблема не решается, степень утилизации этого вида отходов крайне низка. В основном технологический процесс утилизации ЗШО ограничивается производством стеновых шлакоблоков и тротуарной плитки.

Общеизвестно, что ЗШО являются источником повышенной экологической опасности, и оказывают негативные воздействия на население (здоровье человека) и окружающую среду, а также являются причиной отчуждения земель, которые практически безвозвратно изымаются из полезного использования. В тоже время ЗШО обладают определенными физико-химическими свойствами, в том числе и вновь приобретенными, которые, при определенных технологических возможностях, можно реально и экономически целесообразно использовать в народном хозяйстве.

По сути ЗШО являются вторичными ресурсами сырьевого значения, т.е. их можно рассматривать как техногенные месторождения полезных ископаемых.

Содержание рудных химических элементов (золото, серебро, платина, уран, торий и редкоземельные элементы РЗЭ) в ЗШО также колеблется в значительных пределах. В частности, по содержанию золота в пределах от 0,45 до 1 г/т, платины от 6 до 26 г/т, по сумме РЗЭ содержание может достигать 0,15 %.

Небезынтересно отметить, что содержание платины и видимо других рудных элементов в исходных углях и ЗШО значительно различаются, что позволяет говорить о приобретении вторичным сырьем новых свойств, и следовательно рассматривать их, как новый вид сырья.

В первом приближении ЗШО представляют собой рыхлые или слабо сцементированные скопления золы и шлака с содержанием полезных химических элементов или соединений в концентрациях, позволяющие при определенном технологическом уровне рентабельно производить товары народного потребления и извлекать полезные компоненты.

Для выявления закономерностей распределения полезных химических элементов и изучения строения участков золоотвала в первую очередь необходимо проводить геологоразведочные работы, позволяющие оконтурить продуктивные участки и определиться с их химическим составом [15].

Таким образом, можно констатировать, что ЗШО являются весьма перспективной сферой для инноваций и инвестиций, имеющих многоцелевую направленность, и их переработка позволяет оказать существенное влияние на эколого-социально-экономическое развитие любого региона по следующим направлениям:

1. Социально-экологический аспект. Устранение потенциального загрязнения, возникающего в результате образования ЗШО и как следствие устранение его негативного воздействия на население и окружающую среду.

Основное направление деятельности по этому аспекту – утилизация золоотвалов, позволяющее уменьшить или в идеале вообще ликвидировать накопленный объём данного вида отходов.

2. Социально-экономический аспект. Создание инфраструктуры по производству товаров народного потребления и извлечения минерального сырья, что позволяет создать новые рабочие места, обеспечить рациональное использование вторичных ресурсов, увеличить налоговые поступления в бюджеты всех уровней и как следствие обеспечить рост экономического потенциала региона. Основное направление деятельности по этому аспекту – применение экономически эффективной технологии переработки ЗШО, позволяющей получать полезную продукцию и вторичное (минеральное) сырьё.

### **1.2.5 Области применения золошлакового материала**

Зола-унос и золошлаковые смеси отвалов тепловых электростанций могут применяться при изготовлении различных строительных материалов: цементов, силикатного и глиняного кирпича, бетонных камней, пористых заполнителей для бетонов, асфальтобетона и другие. Топливный шлак может быть использован при производстве тяжелого и легкого бетонов. Применение золошлаковых материалов в производстве строительных материалов и изделий нормируется рядом действующих нормативных документов: ГОСТ 379-95, ГОСТ 530-2007, ГОСТ 6133-84, ГОСТ 9128-97, ГОСТ 9757-90, ГОСТ 10178-85, ГОСТ 16557-78, ГОСТ 17608-91, ГОСТ 20910-90, ГОСТ 22266-94, ГОСТ 23558-94, ГОСТ 25485-89, ГОСТ 26644-85, ГОСТ 28013-98, ГОСТ 30491-97, ГОСТ 31108-2003 и другие.

В России действуют стандарты, определяющие требования к золе-унос, шлаку и золошлаковой смеси теплоэнергетики для использования в различных секторах экономики [16].

Пригодность золы и шлака в качестве основного сырья при производстве строительных материалов и в бетонах различного назначения, в качестве наполнителя или взамен части вяжущего материала определяется, прежде всего, отсутствием или ограниченным содержанием в них вредных компонентов, ухудшающих физико-механические характеристики строительных материалов и бетонов, снижающих их эксплуатационно-технические свойства или затрудняющих технологические процессы производства и ограничивающих область применения [17].

Производство цемента. В России золошлаковые материалы часто применяются на цементных заводах в качестве алюмосиликатного компонента сырьевой смеси портландцементного клинкера и активной минеральной добавки при его помоле, на предприятиях по производству ячеистого бетона и силикатного кирпича – при получении золоизвестковых вяжущих. В соответствии с ГОСТ 10178-85 зола-унос может вводиться в состав портландцемента в количестве до 20 %, шлакопортландцемента – не более 10 % [18], а в состав пуццоланового портландцемента – до 40 % от массы вяжущего. Портландцемент с добавкой золы ТЭС отличается от обычного портландцемента более длительным нарастанием прочности и меньшей скоростью твердения в начальные сроки, повышенной водопотребностью и сульфатостойкостью, пониженным тепловыделением, деформациями усадки и набухания, морозостойкостью. Согласно ТУ 3470-10347-92 в качестве компонента сырьевой смеси клинкера и активной минеральной добавки в цементе могут использоваться зола-унос, шлак и золошлаковая смесь, удовлетворяющие следующим требованиям:

- Влажность – не более 15 %;
- Удельная поверхность – не менее 200 м<sup>2</sup>/кг;
- В основной золе содержание свободного оксида кальция не должно превышать 10 %;
- Содержание хлорид-Иона – не более 0,10 %;

- При использовании в качестве сырьевого компонента: потери массы при прокаливании в золошлаковые материалы должны быть не более 16 %; содержание в них щелочей ( $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ ) – не более 4 %; сернистых соединений в пересчете на  $\text{SO}_3$  – не более 4 %;

- При использовании в качестве минеральной добавки в цементе: потери массы при прокаливании золошлаковых материалов должны быть не более 5%; содержание в них щелочей ( $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ ) – не более 2 %; в кислых и основных золошлаковых материалах содержание сернистых соединений в пересчете на  $\text{SO}_3$  – не более 2 и 6 % соответственно;

- Конец схватывания известково-золяного теста – не позднее 7 суток;

- Образец известково-золяного камня после 3 суток твердения является водостойким;

- Цементы с добавкой золошлаковых материалов выдерживают испытание на равномерность изменение объема по ГОСТ 310.3-76 [19].

По новому стандарту на общестроительные цементы ГОСТ 31108-2003 в качестве минеральной добавки могут быть использованы топливные золы-унос кислого и основного состава, в портландцементе с минеральными добавками типа ЦЕМ II в количестве 6...20 %, композиционного портландцемента – не более 14 %, пуццоланового цемента типа ЦЕМ IV – от 21 до 35 % от массы цемента [20]. Кроме того, зола-унос может использоваться в составе цементов, наряду с другими минеральными добавками, также в качестве вспомогательного компонента в количестве не более 5 % от массы цемента. Данный стандарт не предусматривает применение в качестве минеральной добавки отвалной золошлаковой смеси и топливного шлака.

ГОСТ 31108-2003 регламентирует требования к основным и вспомогательным компонентам цементов, в том числе к активным минеральным добавкам. Зола-унос тепловых электростанций, применяемая в качестве минеральной добавки, должна удовлетворять следующим требованиям по составу и свойствам:

- В кислой золе содержание реакционноспособного  $\text{SiO}_2$  должно быть не менее 25 %; реакционноспособного  $\text{CaO}$  – менее 10 %; количество свободного оксида кальция – не более 1 %. В основной золе содержание реакционноспособного  $\text{CaO}$  должно быть менее 10 %, а при количестве реакционноспособного  $\text{CaO}$  от 10 до 15 % содержание в ней реакционноспособного  $\text{SiO}_2$  – не менее 25 %;

- Потери массы при прокаливании в течение 1 ч – не более 5 %. Золо-унос, характеризующиеся потерями массы при прокаливании от 5 до 7 %, применяют при условии выполнения цементными бетонами и растворами требований к долговечности, особенно по морозостойкости, с учетом климатических факторов района их использования;

- Различие между пределом прочности при сжатии цемента с золо-унос и цемента с кварцевым песком (t-критерий Стьюдента) – не менее 2,07;

- Конец схватывания золоизвесткового теста – не позднее 7 суток;

- Водостойкость золоизвесткового камня не менее 3 суток.

Показатель t-критерий Стьюдента, конец схватывания золоизвесткового теста и водостойкость золоизвесткового камня определяют по ГОСТ 25094-94 [21].

Бетоны и растворы. При производстве бетонных смесей и строительных растворов в качестве минеральной добавки, частично заменяющей цемент, а также для частичной или полной замены мелкого заполнителя могут использоваться зола-унос и золошлаковая смесь, образующиеся на тепловых электростанциях при пылевидном сжигании твердого топлива. Наиболее эффективно применение золы-уноса в бетонах, применяемых для строительства плотин, фундаментов, оснований. Количество золы колеблется от 30 до 90 кг на  $1\text{ м}^3$  бетонной смеси.

Качество применяемой в бетонах и строительных растворах золы-уноса тепловых электростанций должно соответствовать требованиям ГОСТ 25818-91 [22], золошлаковой смеси – ГОСТ 25592-91 [23].

ГОСТ 25818-91 распространяется на золу-унос, которая применяется в качестве для изготовления тяжелых, легких, ячеистых бетонов и строительных растворов, а также в качестве тонкомолотой добавки для жаростойких бетонов и минеральных вяжущих для приготовления смесей и грунтов в дорожном строительстве. Стандарт не распространяется на золу от сжигания горючих сланцев. ГОСТ 25592-91 устанавливает требования к золошлаковой смеси тепловых электростанций, применяемой в качестве заполнителя для тяжелых и легких бетонов сборных и монолитных бетонных и железобетонных конструкций зданий и сооружений. Данный стандарт не разрешает использовать золошлаковые смеси в качестве заполнителя в бетонах гидротехнических сооружений, дорожных покрытий, труб, шпал, опор линий электропередач и в конструкциях из специальных бетонов.

В соответствии с ГОСТ 25818-91 золы по виду сжигаемого угля подразделяют на: антрацитовые, образующиеся при сжигании антрацита, полуантрацита и тощего каменного угля; каменноугольные (КУ), образующиеся при сжигании каменного угля; буроугольные (Б) – от сжигания бурых углей. По химическому составу золы подразделяют на типы: кислые (К) – антрацитовые, каменноугольные и буроугольные, содержащие СаО по массе до 10 %; основные (О) – буроугольные, содержащие СаО более 10 %.

Золы-унос в зависимости от качественных показателей делят на четыре вида: I – для железобетонных конструкций и изделий из тяжелого и легкого бетона; II – для бетонных конструкций и изделий из тяжелого и легкого бетона, строительных растворов; III – для изделий и конструкций из ячеистого бетона; IV – для бетонных и железобетонных конструкций, применяемых при строительстве гидротехнических сооружений, дорог, аэродромов и другие.

Для изготовления тяжелых и легких бетонов, строительных растворов золы-унос применяют для снижения расхода цемента и заполнителей, улучшения технологических свойств бетонных и растворных смесей, повышения качества бетона и растворов.

При изготовлении ячеистых бетонов кислые золы следует использовать в качестве кремнеземистого компонента смеси, а также с целью экономии цемента в неавтоклавных бетонах.

Основные золы с содержанием СаО не менее 30 % рекомендуется применять в качестве минеральной добавки в цементе или компонента другого вяжущего при изготовлении строительных бетонов и растворов, в качестве вяжущего для частичной замены извести или цемента в ячеистых бетонах автоклавного и неавтоклавного твердения.

В конструкционно-теплоизоляционных бетонах кислую золу следует использовать для частичной или полной замены пористых песков и снижения плотности бетона. Для конструкций подводных и внутренних зон гидротехнических сооружений следует применять кислую золу IV вида.

Оптимальное содержание золы в тяжелых, легких, ячеистых бетонах и строительных растворах устанавливают в результате подбора составов на конкретных материалах при условии обеспечения требуемых показателей качества бетона и раствора в изделиях, конструкциях и коррозионной стойкости арматуры. В целях обеспечения коррозионной стойкости ненапрягаемой арматуры в железобетонных конструкциях, эксплуатируемых в неагрессивных средах, содержание кислой среды в бетоне не должно превышать по массе расход портландцемента. Возможность увеличения содержания среды золы в бетонах устанавливают после проведения исследований по коррозионной стойкости арматуры, деформативным свойствам и долговечности бетонов, выполненных на конкретных материалах.

Качественные показатели золы-уноса для строительных бетонов и растворов должны соответствовать требованиям, указанным в таблице 1.2. Влажность золы должна быть не более 1 %. Золо-унос в смеси с портландцементом должны обеспечивать равномерность изменения объема при кипячении в воде, основные золы III вида – в автоклаве.

При производстве ячеистого бетона золу-унос используют в качестве вяжущего вещества и кремнеземистого компонента бетонной смеси.

По ГОСТ 25485-89 для производства ячеистого бетона в качестве вяжущего вещества может применяться основная зола, содержащая общего СаО не менее 40 %, в том числе свободного СаО – не менее 16 %, SO<sub>3</sub> – не более 6 %, сумму оксидов К<sub>2</sub>О и Na<sub>2</sub>О – не более 3,5 %. При использовании золы-унос в качестве кремнеземистого компонента бетонной смеси она должна содержать не менее 45 % SiO<sub>2</sub>, не более 10 % К<sub>2</sub>О + Na<sub>2</sub>О не более 3 % SO<sub>3</sub>.

Ранее в инструкции по изготовлению изделий из ячеистого бетона СН 277-80 к золам тепловых электростанций предъявляли следующие требования. Основные золы от сжигания горючих сланцев и бурых углей должны иметь химический состав: содержание общего СаО – не менее 30 %; в том числе свободного СаО – 15...25 %; содержание SiO<sub>2</sub> – 20...30 %, SO<sub>3</sub> – не более 6 %, сумма оксидов К<sub>2</sub>О и Na<sub>2</sub>О не более 3 %. Удельная поверхность золы-уноса должна быть в пределах от 300 до 350 м<sup>2</sup>/кг.

Таблица 1.2 - Требования к золам-унос ТЭС для строительных бетонов и растворов (ГОСТ 25818-91)

№ п/п	Наименование показателя	Вид угля	Значение показателя для вида золы			
			I	II	III	IV
1	Содержание оксида кальция, масс. %					
	Кислая зола, не более	Для всех	10	10	10	10
	Основная зола, более, в том числе свободного СаО, не более:	Бурый	10	10	10	10
	Кислая зола	Для всех	-	-	-	-
	Основная зола	Бурый	5	5	-	2
2	Содержание оксида магния, масс. %, не более	Для всех	5	5	-	5
3	Содержание					

	сернистых соединений в пересчете на SO <sub>3</sub> , масс. %, не более:					
	Кислая зола	Для всех	3	5	3	3
	Основная зола	Бурый	5	5	6	3
4	Содержание щелочных оксидов в пересчете на Na <sub>2</sub> O, масс. %, не более:					
	Кислая зола	Для всех	3	3	3	3
	Основная зола	Бурый	1,5	1,5	3,5	1,5
5	Потери массы при прокаливании, масс. %, не более:					
	Кислая зола	Антрацит	20	25	10	10
		Каменный	10	15	7	5
		Бурый	3	5	5	2
Основная зола	Бурый	3	5	3	3	
6	Удельная поверхность, м <sup>2</sup> /кг, не менее:					
	Кислая зола	Для всех	250	150	250	300
	Основная зола	Бурый	250	200	150	300
7	Остаток на сите № 008, масс. %, не более:					
	Кислая зола	Для всех	20	30	20	15
	Основная зола	Бурый	20	20	30	15

Кислая зола-унос должна иметь стекловидных и оплавленных частиц не менее 50 %, потери массы при прокаливании для буроугольной и каменноугольной соответственно не более 3 и 5 %, удельную поверхность для буроугольной и каменноугольной соответственно не менее 400 и не более 500 м<sup>2</sup>/кг. Зола-унос должна выдержать испытания на равномерность изменения объема. По ГОСТ 26644-85 из шлаков от сжигания твердого топлива могут быть получены фракционированный щебень с размером зерен 5- 10, 10 - 20 и 5 - 20 мм, шлаковый песок с размером зерен до 5 мм, рядовой несортированный шлак с размером зерен до 20 мм. Требования к зерновому составу фракционированного щебня, шлакового песка и рядового шлака приведены в таблице 1.3.

Насыпная плотность щебня из плотного шлака, применяемого для тяжелого бетона, должна быть не менее 1000 кг/м<sup>3</sup>, шлакового песка из плотного шлака – не менее 1100 кг/м<sup>3</sup>. В зависимости от насыпной плотности щебень из пористого шлака, применяемый для легкого бетона, подразделяют на марки 500, 600, 700, 800, 900 и 1000. Песок – на марки 600, 700, 800, 900, 1000 и 1100.

Потери массы при прокаливании в плотном шлаковом щебне и песке не нормируют, а в пористых каменноугольных и буроугольных шлаках они не должны превышать значений, соответственно, при использовании заполнителей в бетоне 7 и 3 % в железобетонных изделиях – 5 и 3 %. Содержание сернистых и сернокислых соединений в пересчете на SO<sub>3</sub> в шлаковом щебне и песке не должно превышать 3 %, свободного CaO – 1 %.

Щебень должен обладать устойчивой структурой: потери массы шлака при определении стойкости против силикатного и железистого распадов соответственно не должна превышать 8 и 5 %.

Морозостойкость шлакового щебня должна характеризоваться потерей массы не более 8 % при 15 циклах попеременного замораживания и оттаивания для пористого щебня и 100 циклов – для плотного щебня.

В щебне и песке не должно быть посторонних засоряющих примесей (растительные остатки, грунт, кирпич и т.п.).

К вредным компонентам в составе золы и шлака относятся соединения серы, несгоревшие частицы твердого топлива (кокс и полукокс), свободные оксиды кальция и магния, особенно в крупнокристаллическом или пережженном состоянии, оксиды щелочных металлов. Кроме того, отрицательное действие на их свойства оказывает наличие в золе и шлаке неустойчивых фаз, приводящих к разрушению частиц золы или гранул шлака в результате объемных изменений необожженного глинистого вещества, присутствующего в шлаках низкотемпературного сжигания. Глинозем другой разновидности (дегидратированный) способен к регидратации и вызывает объемные изменения шлака. Вредное влияние на деформационные свойства строительных материалов и изделий на основе золошлаков оказывают сульфиды железа, окисляющиеся при совместном воздействии воздуха и воды.

Таблица 1.3 – Требования к зерновому составу щебня и песка из шлаков ТЭС

Наименование показателя	Величина показателя для различных материалов		
	Фракционированный щебень	Шлаковый песок	Рядовой несортированный шлак
Полные остатки на ситах с диаметром отверстий, соответствующего наименьшему номинальному размеру зерен фракций, масс. %	90-100	-	-
Полные остатки на ситах с диаметром отверстий, соответствующего наибольшему номинальному размеру зерен фракций, масс. %	До 10	До 10	До 10
Содержание зерен, проходящих через сито № 0315, масс. %, не более	5	20	10

Золошлаковая смесь ТЭС, применяемая в составе жаростойких бетонов (с температурой эксплуатации до 1800 °С) для экономии цемента и улучшения эксплуатационных свойств, по химическому составу и дисперсности должна соответствовать требованиям ГОСТ 20910-90. К золошлаковой смеси, используемой в качестве тонкомолотой добавки в бетонах на портландцементе и жидком стекле, предъявляются следующие требования: тонкость помола должна быть не менее 50 % при просеивании через сито № 008; содержание свободных СаО и MgO в сумме не должно превышать 3 %, а карбонатов – 2 %.

При применении золошлаковой смеси в качестве заполнителя жаростойкого бетона ее химический состав должен удовлетворять следующим требованиям: общее содержание оксидов SiO<sub>2</sub> и Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> должно быть не менее 75 %, в том числе оксида SiO<sub>2</sub> – не менее 40 %; количество сульфатов в пересчете на SO<sub>3</sub> – не более 3 %, сумма свободных СаО и MgO – не более 4 %, потери массы при прокаливании – не более 5 %. Золошлаковые смеси не должны быть загрязнены другими материалами, способными снизить эксплуатационные свойства или привести к разрушению бетона после нагрева (известняк, ранит, доломит, магнезит и другие).

Применяемые в России стандарты на золу-унос, шлак и золошлаковую смесь теплоэнергетики регламентируют требования к основным свойствам и учитывают особенности их химического состава при использовании в производстве строительных материалов и строительстве автомобильных дорог.

Способ переработки. Изобретение относится к способам переработки твердых промышленных отходов, в частности золы и/или шлака котельных и теплоэлектростанций. Способ включает флотацию и удаление легких и тяжелых частиц из водной суспензии золы и/или шлака. Переработку производят комплексно в одном реакторе с получением ряда полезных продуктов в определенной последовательности.

В реактор загружают золу-унос ТЭС и/или размолотый котельный шлак, заливают их водой и размешивают, получая водную суспензию и при необходимости добавляя в воду поверхностно-активные и изменяющие плотность воды вещества для регулирования долей легкой и тяжелой фракций. Затем удаляют из реактора всплывшие легкие частицы, вводят в реактор гидроксид натрия, в результате чего получают жидкое техническое стекло, которое выпускают из реактора. Оставшееся содержимое промывают водой, получая слабощелочной раствор, также выпускаемый из реактора. Затем постадийно обрабатывают остаток реагентами при повышенных до 100 °С температурах, растворяя соединения металлов и получая электролиты, выпускаемые из реактора. При каждой вышеописанной операции золу и/или шлак перемешивают с добавляемыми реагентами, а в последнюю очередь выгружают из реактора нерастворенный остаток. Золошлаковые материалы сложны в использовании, для этого применяют золошлаковые смеси. Основная масса разработок направлена на получение зольно-известковых и зольно-щелочных вяжущих [24].

## 2 Экспериментальная часть

Цель работы - определение основных качественных показателей золы в золошлаковом материале Северской теплоэлектростанции, определение возможности его использования в качестве источника вторичного ресурса для снижения антропогенной нагрузки на окружающую среду, исследование путей использования золошлаковых отходов.

### 2.1 Характеристика объекта исследования

При проведении экспериментов в качестве объекта исследований был использован золошлаковый материал (ЗШМ) Северской теплоэлектростанции, который был отобран в районе труб гидроудаления. ЗШМ был предварительно подвергнут рассеиванию на ситах и отобрана фракция < 2 мм. Золошлаковый материал Северской теплоэлектростанции имеет примерный состав, который представлен в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Химический состав золошлакового материала Северской теплоэлектростанции

Макроэлемент	Минимум	Максимум
SiO <sub>2</sub>	47,01	59,53
TiO <sub>2</sub>	0,63	0,83
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15,61	21,83
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,08	15,93
MnO	0,08	0,44
MgO	0,82	1,63
CaO	1,77	3,52
Na <sub>2</sub> O	0,42	0,86
K <sub>2</sub> O	1,82	2,45
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,14	0,42

### 2.2 Определение гранулометрического состава золошлакового материала

Гранулометрический состав – это содержание в горной породе, почве или искусственном продукте зерен различной крупности, выраженное в процентах от массы или количества зерен исследованного образца. Он является важным показателем физических свойств и структуры естественного или искусственного материала. Был определен гранулометрический состав ЗШМ.

### **2.3 Определение содержания свободного оксида кальция ускоренным методом**

Определение содержания свободного кальция ускоренным методом ГОСТ 25818-91.

1. Аппаратура, реактивы и растворы: сахароза, 10 %-ный раствор по ГОСТ 58 33, кислота соляная 0,1 н раствор по ГОСТ 3118, фенолфталеин (индикатор), 1 %-ный спиртовой раствор по ТУ 609-53-60, агатовая ступка, магнитная мешалка «Мультитест ПС – 11».

#### 2. Проведение анализа

Навеску золы массой 1,5 г растирают в агатовой ступке в течение 5 мин. Навеску свежерастертой золы массой  $(0,2 \pm 0,0002)$  г помещают в стакан вместимостью  $500 \text{ см}^3$  и добавляют  $100 \text{ см}^3$  10 %-ного раствора сахарозы. Перемешивают в магнитной мешалке в течение 10 мин, после чего фильтруют в коническую колбу вместимостью  $500 \text{ см}^3$ . С помощью пипетки отбирают  $50 \text{ см}^3$  фильтрата и переносят в колбу вместимостью  $250 \text{ см}^3$ , прибавляют 2-3 капли фенолфталеина и титруют 0,1 н раствором соляной кислоты. Титрование проводят по каплям до исчезновения окраски.

#### 3. Обработка результатов

Массовую долю свободного оксида кальция в процентах вычисляют по формуле:

$$CaO_{cs} = \frac{V \cdot V_1 \cdot 0,002804}{V_2 \cdot m} \cdot 100, (2.1)$$

где V- объем раствора HCl, пошедший на титрование,  $\text{см}^3$ ;

$V_1$ - объем исходного раствора,  $\text{см}^3$ ;

$V_2$ - объем аликвотной части раствора,  $\text{см}^3$ ;

0,002804 – количество оксида кальция, соответствующее 1 см<sup>3</sup> 0,1 н раствора соляной кислоты;

m – масса навески пробы, г.

#### 2.4 Комплексометрический метод определения оксида железа (III)

Определение содержания оксида железа (III) комплексометрическим методом [26]. Метод основан на образовании яркоокрашенного комплекса трехвалентного железа с сульфосалициловой кислотой в кислой среде, разрушении этого комплекса при титровании ди-Na-ЭДТА и образовании слабоокрашенного комплексного соединения трехвалентного железа с ди-Na-ЭДТА.

1. Аппаратура, материалы, реактивы и растворы: печь муфельная электрическая с автоматическим регулятором, обеспечивающим постоянную температуру нагрева; шкаф сушильный электрический с автоматическим регулятором, обеспечивающим постоянную температуру нагрева; тигель корундовый с крышкой вместимостью 30-40 см<sup>3</sup>; чашка фарфоровая диаметром 15 см<sup>3</sup> с плоским дном; баня песчаная; шпатель; щипцы тигельные; натрия карбонат (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>), безводный; кислота соляная по ГОСТ 3118 плотностью 1,19 г/см<sup>3</sup> растворы 1:1 и 1 %-ный; кислота серная по ГОСТ 4204 плотностью 1,84 г/см<sup>3</sup> и раствор 1:1; водорода пероксид по ГОСТ 10929, 30 %-ный раствор; аммония гидроксид по ГОСТ 3760, раствор 1:1; соль динатриевая этилендиаминтетрауксусной кислоты (C<sub>10</sub>H<sub>14</sub>O<sub>8</sub>Na<sub>2</sub>·2H<sub>2</sub>O); кислота сульфосалициловая (C<sub>7</sub>H<sub>6</sub>O<sub>6</sub>S·2H<sub>2</sub>O) по ГОСТ 4478, 10 %-ный раствора.

##### 2. Проведение анализа

Золу топлива прокаливают до постоянной массы по ГОСТ 11022. Навеску золы топлива массой 1 г помещают в тигель, предварительно прокаленный до постоянной массы, прибавляют 6 г плавня, перемешивают до однородной массы и смесь покрывают сверху 2 г плавня. Тигель должен быть заполнен не более чем на 1/3.

Тигель с содержимым закрывают крышкой, помещают в холодную муфельную печь, температура нагрева постепенно повышают до 950 °С, при которой сплавляют смесь в течение 25 - 30 мин до однородной прозрачной массы. Затем раскаленный тигель охлаждают. Остывший тигель обмывают снаружи дистиллированной водой и вместе с крышкой переносят в фарфоровую чашку, приливают 100 см<sup>3</sup> (1:1), 3 капли раствора пероксида водорода и помещают чашку на нагретую песчаную баню. Для предотвращения разбрызгивания раствора чашку покрывают перевернутой стеклянной воронкой.

После полного растворения плава воронку снимают, обмывают ее над чашкой водой, извлекают щипцами тигель и крышку и тщательно ополаскивают их водой над фарфоровой чашкой. Если в фарфоровой чашке видны неразложившиеся частицы, то разложение повторяют с уменьшенной навеской золы топлива.

Разложенную и переведенную в раствор навеску золы топлива выпаривают на песчаной бане досуха, осторожно растирая стеклянной палочкой с расплюснутым концом образовавшиеся комочки, и нагревают до полного удаления соляной кислоты.

Остаток смачивают раствором соляной кислоты (1:1) и вновь выпаривают досуха, растирая образовавшиеся комочки. Сухой остаток в фарфоровой чашке подвергают дальнейшей сушке в сушильном шкафу при температуре 135 °С в течение 1 ч.

Остаток в чашке охлаждают, затем приливают сначала 50 см<sup>3</sup> соляной кислоты, а через несколько минут 150 см<sup>3</sup> воды и слегка нагревают, помешивая раствор.

После отстаивания раствор фильтруют через фильтр в стакан вместимостью 400 см<sup>3</sup>. Приставшие к чашке частицы кремниевой кислоты переносят на фильтр при помощи увлажненных кусочков фильтра.

Осадок кремниевой кислоты на фильтрате промывают 50 см<sup>3</sup> горячего 1 %-ного раствора соляной кислоты до отрицательной реакции на трехвалентное железо, а затем 150 см<sup>3</sup> горячей воды до отрицательной реакции на ион хлора.

Фильтрат и промывные воды выпаривают до 150 см<sup>3</sup>, дают остыть и переносят в мерную колбу вместимостью 500 см<sup>3</sup> и доводят до метки. Этот основной раствор используют для определения оксида железа (III).

Для проведения анализа берут 20 см<sup>3</sup> основного раствора. Эту пробу помещают в коническую колбу вместимостью 500 см<sup>3</sup> и приливают 60 см<sup>3</sup> дистиллированной воды. Раствор нейтрализуют при постоянном перемешивании раствором гидроксида аммония до устойчивого помутнения. Затем приливают при перемешивании по каплям раствор соляной кислоты до рН 1,4 - 1,8 и добавляют 3 см<sup>3</sup> раствора сульфосалициловой кислоты. Раствор нагревают до 80 °С и в горячем состоянии титруют раствором ди-Na-ЭДТА, тщательно перемешивая раствор до перехода красно-фиолетовой окраски в бесцветную или зеленовато-желтую.

### 3. Обработка результатов

Массовую долю оксида железа (III) в золе топлива (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) в процентах вычисляют по формуле

$$Fe_2O_3 = \frac{V \cdot K \cdot 0,00399}{m_3} \cdot 100, (2.2)$$

где  $V$  – объем раствора ди-Na-ЭДТА, израсходованный на титрование, см<sup>3</sup>;

$K$  – коэффициент молярности 0,1 моль/дм<sup>3</sup> раствора ди-Na-ЭДТА;

0,00399 – масса оксида железа (III), соответствующая 1 см<sup>3</sup> раствора ди-Na-ЭДТА, г/см<sup>3</sup>;

$m_3$  – масса золы в граммах, соответствующая объему основного раствора, взятого для определения оксида железа, вычисленная по формуле

$$m_3 = \frac{m \cdot V_1}{V_2}, (2.3)$$

где  $V_1$  – объем основного раствора, взятый для анализа, см<sup>3</sup>;

$V_2$  – общий объем основного раствора, см<sup>3</sup>.

## 2.5 Гравиметрический метод определения углерода в золе

1. Аппаратура, реактивы и растворы: муфельная печь; аналитические весы; сушильный шкаф, тигель, щипцы тигельные.

### 2. Проведение анализа

Взвесить тигель, поставить в муфельную печь на 1 час. Взвесить тигель после высушивания. Взвесить тигель с золой, поставить тигель с золой в сушильный шкаф, взвесить после высушивания. Поставить тигель с навеской в муфельную печь. Нагреть до  $t = 850\text{ }^{\circ}\text{C}$ , время проведения эксперимента 3 часа. Охладить и взвесить тигель с навеской после прокаливания.

### 3. Обработка результатов

$m_1$  – масса тигля до высушивания, г;

$m_2$  – масса тигля после высушивания, г;

$m_3$  – масса тигля с золой, г;

$m_4$  – масса тигля с золой после высушивания, г;

$m_5$  – масса тигля с золой после прокаливания, г.

### **3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

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

##### **3.1.1 Введение**

Целевым результатом проведенной исследовательской работы стало определение качественных показателей золы тепловых электростанций.

Развитие топливно-энергетического комплекса, строительной индустрии, строительство городов и новых населенных пунктов, экологические и связанные с ними социальные проблемы прямо или косвенно зависят от утилизации твердых продуктов сгорания углей – зол уноса и шлаков. В СССР их не разделяли и отправляли вместе гидротранспортом в золоотвалы, порождая золошлаковые отходы в огромном количестве в городской черте или в непосредственной близости.

Эта проблема приобретает особую остроту в России в связи с суровыми климатическими условиями, а также рассогласованием в сроках производства и потенциального потребления твердых продуктов от сгорания углей. В процессе деятельности предприятий электроэнергетики образуется много золошлаковых отходов.

Золошлаковые материалы по химическому и минералогическому составу во многом идентичны природному минеральному сырью. Использование их в промышленности, строительной индустрии и сельском хозяйстве – один из стратегических путей решения экологической проблемы в зоне работы ТЭС.

##### **3.1.2 Потенциальные потребители результатов исследования**

Золошлаковые смеси отвалов тепловых электростанций могут применяться при изготовлении различных строительных материалов: цементов, силикатного и глиняного кирпича, бетонных камней, пористых заполнителей для бетонов, асфальтобетона и другие.

Топливный шлак может быть использован при производстве тяжелого и легкого бетонов.

Так как задачей выпускной работы является определение качественных показателей золы тепловых электростанций, то основной сегмент рынка, на который будем ориентироваться – это компании по изготовлению строительных материалов.

Основные сегменты рынка потребления золошлаковых материалов показаны на рис 3.1

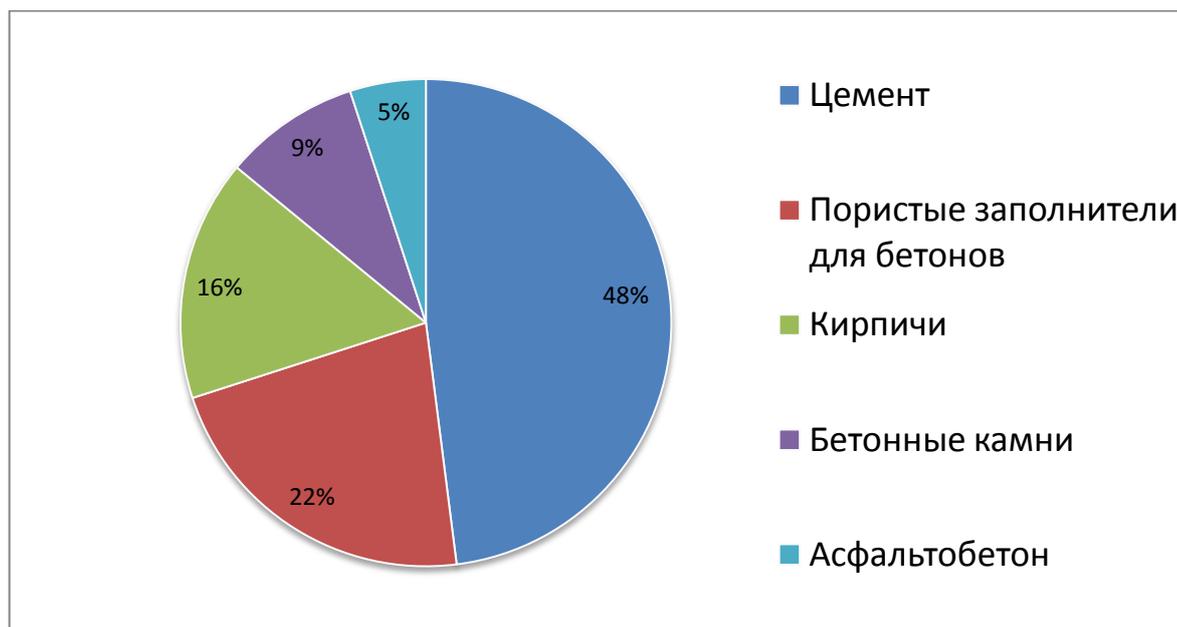


Рисунок 3.1 – Карта сегментирования рынка применения золошлаковых материалов

Таким образом, исходя из результатов сегментирования, можно увидеть, что производство цемента является основным потребителем золошлаковых материалов. Также золошлаковые материалы используются для изготовления пористых заполнителей для бетонов [27].

### 3.1.3 Анализ конкурентных технических решений

При ведении собственного производства необходим систематический анализ конкурирующих разработок во избежание потери занимаемой ниши рынка.

Периодический анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности позволяет оценить эффективность научной разработки по сравнению с конкурирующими предприятиями [28]. К предприятиям-конкурентам в области строительной отрасли можно отнести «Строительные Технологии Сибири» (Новосибирск) и «Haiyuan Group» (Казань).

В таблице 3.1 приведена оценочная карта, включающая конкурентные технические разработки в области обогащения полезных ископаемых.

Таблица 3.1 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических 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. Повышение производительности труда пользователя	0,1	5	4	3	0,5	0,4	0,3
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,18	5	3	3	0,9	0,54	0,54
3. Надежность	0,05	5	4	3	0,3	0,2	0,15
4. Простота эксплуатации	0,1	5	3	3	0,5	0,3	0,3
5. Влажность	0,05	5	4	5	0,3	0,2	0,25
6. Энергоэкономичность	0,02	5	5	4	0,1	0,1	0,08
7. Содержание свободного СаО	0,25	4	5	3	1,2	1,5	0,9
8. Содержание Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,15	4	5	3	1,2	1,5	0,8
9. Безопасность	0,1	5	5	5	0,5	0,5	0,5
<b>Итого</b>	<b>1</b>	<b>43</b>	<b>38</b>	<b>32</b>	<b>5,5</b>	<b>5,24</b>	<b>3,82</b>

**Б<sub>ф</sub>** – продукт проведенной исследовательской работы;

**Б<sub>к1</sub>** – «Строительные Технологии Сибири»;

**Б<sub>к2</sub>** - «Haiyuan Group».

### 3.1.4 Диаграмма Исикавы

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

Область применения диаграммы:

- выявление причин возникновения проблемы;
- анализ и структурирование процессов на предприятии;
- оценка причинно-следственных связей.

Сначала формулируется существенная проблема или дефект качества.

Главные категории потенциальных причин – это оборудование, материалы, человек, процессы, менеджмент, измерительные средства и т.д. [29]. Для каждой главной категории на диаграмму наносятся все вероятные причины проблемы. Диаграмма Исикавы представлена на рис. 3.2.

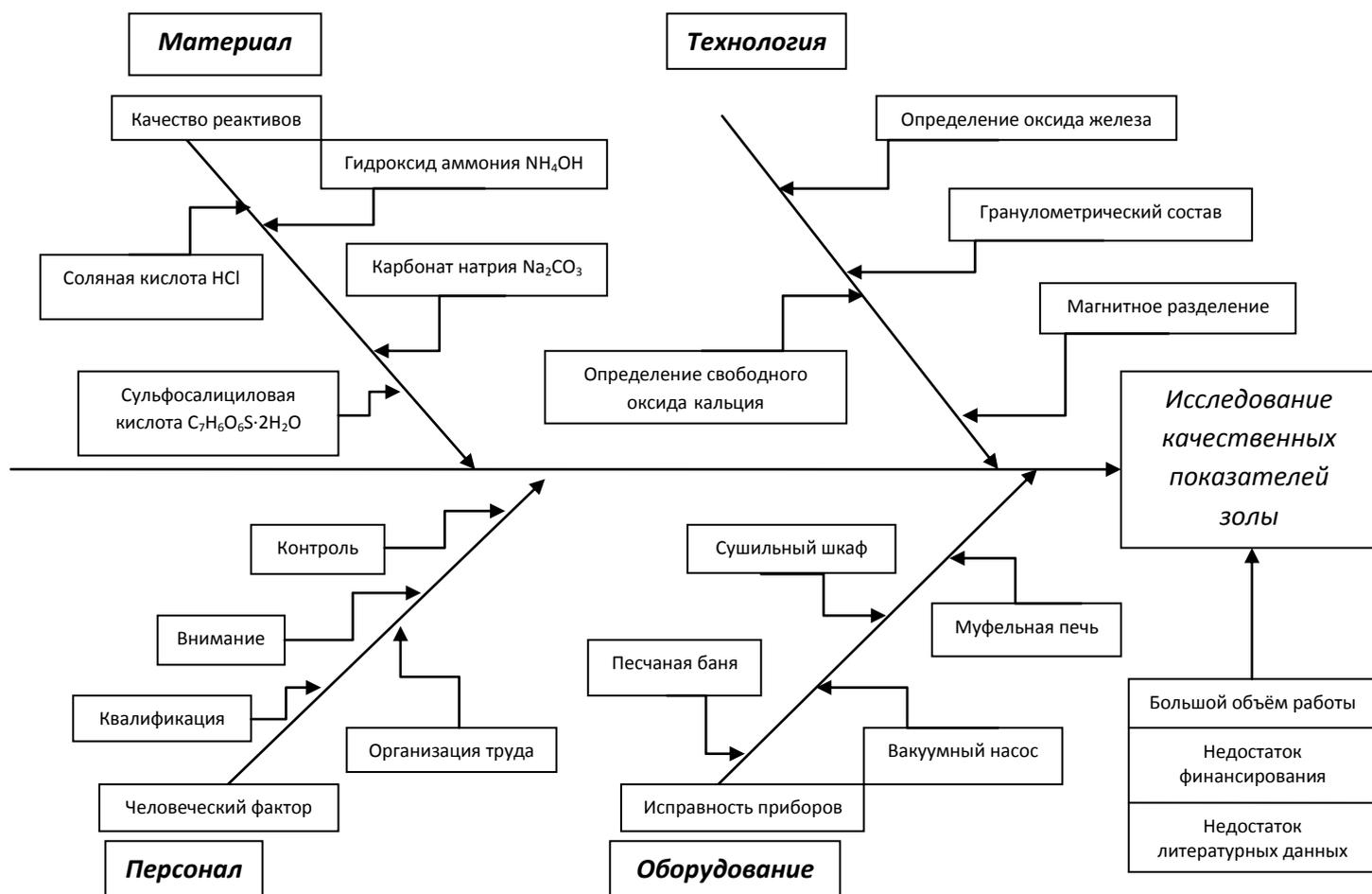


Рисунок 3.2 – Диаграмма Исикавы

### 3.1.5 SWOT-анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта [30].

Таблица 3.2 - SWOT-анализ

	<b>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</b>	<b>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</b>
	<p>С1. Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии</p> <p>С2. Экологичность технологии</p> <p>С3. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями</p> <p>С4. Наличие бюджетного финансирования</p> <p>С5. Квалифицированный персонал</p>	<p>Сл1.Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров</p> <p>Сл2.Отсутствие инжиниринговой услуги, способной обучить работать в рамках проекта</p> <p>Сл3.Отсутствие необходимого оборудования для проведения испытания опытного образца</p> <p>Сл4. Большой срок поставок материалов и комплектующих, используемых при проведении научного исследования</p>
<p><b>Возможности:</b></p> <p>В1.Использование инновационной инфраструктуры ТПУ</p> <p>В2.Появление дополнительного спроса на новый продукт</p> <p>В3. Снижение таможенных пошлин на сырье и материалы, используемые при научных исследованиях</p> <p>В4. Повышение стоимости конкурентных разработок</p>	<p>СиВ:</p> <p>Разработка использования золотлакового материала в строительной промышленности с целью получения готового продукта с конкурентными преимуществами с оптимальной себестоимостью, высоким качеством и инжиниринговой услугой.</p>	<p>СЛиВ:</p> <p>Для проведения экспериментов по данной теме требуется дорогостоящее оборудование. Процесс длительный и трудоемкий. Поиск инвесторов для финансирования научной работы.</p>
<p><b>Угрозы:</b></p> <p>У1.Отсутствие спроса на новые технологии производства</p> <p>У2.Развитая конкуренция технологий производства</p> <p>У3.Введение дополнительных государственных требований к сертификации продукции</p> <p>У4. Рост цен на электроэнергию</p>	<p>СВиУ:</p> <p>1. Создание конкурентных преимуществ готового продукта</p> <p>2. Привлечение заинтересованных сторон в финансировании новых разработок</p>	<p>СЛиУ:</p> <p>1.Приобретения необходимого оборудования для проведения испытания опытного образца</p> <p>2.Сокращение поставок или смена поставщика</p> <p>3. Продвижение программы с целью создания спроса</p> <p>4.Сертификация и стандартизация продукта</p>

### 3.1.6 Оценка готовности проекта к коммерциализации

На какой бы стадии календарного цикла не находилась научная разработка, уместным будет оценить степень ее готовности к коммерциализации и выяснить уровень собственных знаний для проведения (завершения) разработки. Для этого необходимо заполнить специальную форму, содержащую показатели степени проработанности проекта с позиции коммерциализации и компетенциям разработчика научного проекта.

Перечень вопросов приведен в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Оценка степени готовности научного проекта к коммерциализации

№ п/п	Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
1	Определен имеющийся научно-технический задел	4	4
2	Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	5	5
3	Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	5	5
4	Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	3	4
5	Определены авторы и осуществлена охрана их прав	5	5
6	Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	3	4
7	Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	4	3
8	Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	5	4
9	Определены пути продвижения научной разработки на рынок	3	4
10	Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	3	4
11	Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	1	3
12	Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	2	4
13	Проработаны вопросы финансирования коммерциализации	3	5

	научной разработки		
14	Имеется команда для коммерциализации научной разработки	2	5
15	Проработан механизм реализации научного проекта	2	4
	<b>ИТОГО</b>	<b>51</b>	<b>63</b>

При проведении анализа по таблице 3.3 каждый показатель оценивается по пятибалльной шкале. При этом системы измерения по каждому направлению (степень проработанности научного проекта, уровень имеющихся знаний у разработчика) различаются.

При оценке степени проработанности научного проекта:

- 1 балл означает непроработанность проекта;
- 2 балла – слабую проработанность;
- 3 бала – выполнено, но есть сомнения в качестве;
- 4 балла – выполнено качественно;
- 5 баллов – имеется положительное заключение независимого эксперта.

Для оценки уровня имеющихся знаний у разработчика система баллов принимает следующий вид:

- 1 – не знаком или слабо знаком;
- 2 – в объёме теоретических знаний;
- 3 - владею теорией и практическими примерами применения;
- 4 – владею теорией и самостоятельно выполняю;
- 5 – владею теорией, выполняю и могу консультировать.

Оценка готовности научного проекта к коммерциализации (или имеющихся знаний у разработчика) определяется по формуле (3.1):

$$B_{\text{сум}} = \sum B_i, \quad (3.1)$$

где  $B_{\text{сум}}$  – суммарное количество баллов по каждому направлению;

$B_i$  – балл по  $i$ -му показателю.

Значение  $B_{\text{сум}}$  позволяет говорить о мере готовности научной разработки и ее разработчика к коммерциализации. Так, значение  $B_{\text{сум}}$  получилось от 51 до 63, что значит перспективность выше средней, или же разработка действительно перспективна.

Объемы инвестирования в текущую разработку низки. Улучшение инвестирования позволило бы провести более качественные и глубокие исследования.

### **3.1.7 Метод коммерциализации результатов научно-технического исследования**

Существуют различные методы коммерциализации научных разработок. На данной стадии представленной научной разработки успешному продвижению способствует торговля патентными лицензиями, с помощью которой будет достигнута передача третьим лицам интеллектуальной собственности на лицензионной основе. Не исключена и организация совместного предприятия типа «университет – производство», когда идеи первого воплощаются ресурсами второго.

При коммерциализации научно-технических разработок продавец (т.е. владелец соответствующих объектов интеллектуальной собственности) преследует вполне определенную цель, которая определяется тем, куда в последующем он намерен направить полученный коммерческий эффект. Возможных путей немало:

- получение средств для продолжения научных исследований и разработок (получение финансирования, оборудования, уникальных материалов, других научно-технических разработок и пр.);
- одноразовое получение финансовых ресурсов для каких-либо целей (в качестве гранта);
- обеспечение постоянного притока финансовых средств.

Допускаются и различные сочетания перечисленных возможностей.

При этом время продвижения товара на рынок во многом зависит от правильности выбора метода коммерциализации. Для данной работы был выбран инжиниринг, как средство продвижения результатов исследований. Инжиниринг предполагает предоставление на основе договора одной стороной (консультантом) другой стороне (заказчику) комплекса или отдельных видов инженерно-технических услуг, связанных с проектированием, вводом в эксплуатацию, производством продукции.

### 3.2 Инициация проекта

Группа процессов инициации состоит из процессов, которые выполняются для определения нового проекта или новой фазы существующего. В рамках процессов инициации определяются изначальные цели и содержание и фиксируются изначальные финансовые ресурсы. Определяются внутренние и внешние заинтересованные стороны проекта, которые будут взаимодействовать, и влиять на общий результат научного проекта. Данная информация закрепляется в Уставе проекта [31].

*Устав проекта* документирует бизнес - потребности, текущее понимание потребностей заказчика проекта, а также новый продукт, услугу или результат, который планируется создать.

*Устав научного проекта магистерской работы:*

#### 3.2.1 Цели и результат проекта

Информация о заинтересованных сторонах проекта представлена в таблице 3.4.

Таблица 3.4 - Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
Кафедра ОХХТ	Исследование золошлакового материала с целью использования в строительной индустрии. Улучшение состояния окружающей среды. Уменьшение отходов производства. Научные открытия в области исследования золошлакового материала. Написание научных статей.

В таблице 3.5 представлена информация об иерархии целей проекта и критериях достижения целей.

Таблица 3.5 - Цели и результат проекта

<b>Цели проекта:</b>	Исследовать качественные показатели золы
<b>Ожидаемые результаты проекта:</b>	Обосновать возможность использования полученных в ходе исследований данных для использования золы в строительной области
<b>Критерии приемки результата проекта:</b>	Результат должен технологически, экономически и экологически обоснован
<b>Требования к результату проекта:</b>	<b>Требование:</b>
	Проблема проекта должна быть актуальной, имеющей технологическое, экономическое и экологическое значение
	Решить проблему истощения минеральных ресурсов и снизить негативное воздействие производственной деятельности предприятия на окружающую среду.

### 3.2.2 Организационная структура проекта

Организационная структура проекта представлена в таблице 3.6

Таблица 3.6 - Рабочая группа проекта

<b>№ п/п</b>	<b>ФИО, основное место работы, должность</b>	<b>Роль в проекте</b>	<b>Функции</b>	<b>Трудовые затраты, час.</b>
1	Горлушко Д.А.	руководитель проекта	Отвечает за реализацию проекта, координирует деятельность участников проекта.	838
2	Меньшикова Е.В.	эксперт	Консультирует по вопросам финансового менеджмента, ресурсоэффективности и ресурсосбережения	64
3	Волков Ю.В.	эксперт	Консультирует по вопросам безопасности жизнедеятельности	64
4	Устюжанина А.К.	эксперт	Консультирует по части английского языка	18
5	Ширей-Седлецкая В.В.	исполнитель	Выполняет отдельные работы по проекту	2634
<b>ИТОГО:</b>				<b>3618</b>

### 3.2.3 Ограничения и допущения проекта

Ограничения проекта – это все факторы, которые могут послужить ограничением степени свободы участников команды проекта, а так же «границы проекта» - параметры проекта или его продукта, которые не будут реализованных в рамках данного проекта [32].

Таблица 3.7 - Ограничения проекта

<b>Фактор</b>	<b>Ограничения/ допущения</b>
3.1. Бюджет проекта	731407 рублей
3.1.1. Источник финансирования	Госкорпорация «Росатом»
3.2. Сроки проекта:	01.10. 2015 г. – 31.05. 2017 г.
3.2.1 Дата утверждения плана управления проектом	01.06.2017 г.

### 3.3 Планирование управления научно-техническим проектом

Группа процессов планирования состоит из процессов, осуществляемых для определения общего содержания работ, уточнения целей и разработки последовательности действий, требуемых для достижения данных целей.

#### 3.3.1 Иерархическая структура работ проекта

Иерархическая структура работ (ИСР) – детализации укрупненной структуры работ.

На рис. 3.3 представлен шаблон иерархической структуры работ по проекту.



Рисунок 3.3 - Иерархическая структура работ проекта

### 3.3.2 Контрольные события проекта

Контрольные события проекта представлены в таблице 3.8.

Таблица 3.8 – Контрольные события проекта

№ п/п	Контрольное событие	Дата	Результат (подтверждающий документ)
1	Литературный обзор по теме проекта	Сентябрь – октябрь, 2015 г.	Литературный обзор в ВКР
2	Постановка цели и задач	Октябрь, 2015 г.	Раздел цели и задачи в ВКР
3	Разработка плана экспериментальных работ	Ноябрь, 2015 г.	План работ
4	Проведение гравиметрического метода определения оксида кремния и приготовление основного раствора	Декабрь 2015 – Апрель 2016 г.	Результаты экспериментов, представленных в ВКР
5	Проведение комплексонометрического метода определения оксида железа	Май – Октябрь 2016 г.	Результаты экспериментов, представленных в ВКР
6	Проведение гравиметрического метода определения оксида кремния и приготовление основного раствора	Ноябрь 2016 – Январь 2017 г.	Результаты экспериментов, представленных в ВКР
7	Проведение комплексонометрического метода определения оксида железа	Январь – Февраль 2017 г.	Результаты экспериментов, представленных в ВКР
8	Обсуждение результатов Доработка экспериментальной части ВКР	Март, 2017 г.	Результаты экспериментов, представленных в ВКР
9	Оформление ВКР	Апрель – июнь 2017 г.	Результаты экспериментов, представленных в ВКР

### 3.3.3 План проекта

В рамках планирования научного проекта построен календарный и линейный график проекта.

Линейный график представляется в виде таблицы (табл. 3.9).

Таблица 3.9 – Календарный план проекта

Код работы (из ИСР)	Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников (ФИО ответственных исполнителей)
1	Составление технического задания	13	01.09.15	15.09.15	Горлушко Д.А., Ширей-Седлецкая В.В.
2	Изучение литературы	87	16.09.15	27.12.15	Горлушко Д.А., Ширей-Седлецкая В.В.
3	Выбор направления исследования	18	12.01.16	31.01.16	Горлушко Д.А., Ширей-Седлецкая В.В.
4	Теоретические и экспериментальные исследования	229	02.02.16	29.01.17	Горлушко Д.А., Ширей-Седлецкая В.В.
5	Обобщение и оценка результатов	21	01.02.17	26.02.17	Горлушко Д.А., Ширей-Седлецкая В.В.
6	Разработка технической документации и проектирование	51	29.02.17	29.04.17	Горлушко Д.А., Ширей-Седлецкая В.В.
7	Оформление комплекта документации	20	04.05.17	27.05.17	Ширей-Седлецкая В.В.
<b>Итого:</b>		<b>439</b>			

Диаграмма Ганта – это тип столбчатых диаграмм (гистограмм), который используется для иллюстрации календарного плана проекта, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ. График приведен в таблице 3.10.

Таблица 3.10 – Календарный план-график проведения НИОКР по теме

Код работ ы (из ИСР)	Вид работ	Исполнители	Тк, кал · дни	Продолжительность выполнения работ																																											
				2015									2016									2017																									
				сен.			окт.			нояб.			дек.			январь			февраль			март			апрель			май			июнь			январь			февраль			март			апрель			май	
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2						
1	Составление технического задания	Руководитель, дипломник	13	1	2	3																																									
2	Изучение литературы	Руководитель, дипломник	87				1	2	3	1	2	3	1	2	3																																
3	Выбор направления исследования	Руководитель, дипломник	18										1	2	3																																
4	Теоретические и экспериментальные исследования	Руководитель, дипломник	229													1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3														
5	Обобщение и оценка результатов	Руководитель, дипломник	21																												1	2	3														
6	Разработка технической документации и проектирование	Руководитель, дипломник	51																															1	2	3	1	2	3								
7	Оформление комплекта документации	Дипломник	20																																					1	2						

 - руководитель;  дипломник.

### **3.3.4 Бюджет научного исследования**

Бюджет затрат на выполнение НИР составлялся с учетом проведения НИР за один год (365 дней). Затраты на НИР рассчитывали по статьям калькуляции, которые включают две группы затрат прямые затраты и накладные затраты.

#### **3.3.4.1 Расчет материальных затрат научно-технического исследования**

Данная статья включает стоимость всех материалов, используемых при разработке проекта:

- приобретаемые со стороны сырье и материалы, необходимые для создания научно-технической продукции;
- покупные материалы, используемые в процессе создания научно-технической продукции для обеспечения нормального технологического процесса.

Все затраты на оборудование, реактивы, лабораторную посуду и средства защиты приведены в таблицах 3.11 – 3.15.

Стоимость оборудования, используемого при выполнении конкретного научного проекта и имеющегося в данной научно-технической организации, учитывается в виде амортизационных отчислений. Все расчеты по приобретению спецоборудования и оборудования, имеющегося в организации, но используемого для выполнения конкретной темы.

Таблица 3.11 – Материальные затраты на оборудование

Наименование	Количество, шт	Стоимость с НДС, руб/шт	Сумма, руб.	Срок эксплуатации, лет	Амортизация, руб (за 15 месяцев)
Ситовой анализатор	1	30000	30000	10	3750
Сушильный шкаф	1	35000	35000	10	4380
Весы аналитические	1	44600	44600	10	5580
Муфельная печь	1	213000	213000	10	26625
Песчаная баня	1	2500	2500	10	315
Итого:			40650 рублей		

Таблица 3.12 – Материальные затраты на реактивы

Наименование	Масса, кг	Стоимость с НДС, руб/кг	Сумма, руб
Карбонат натрия	0,1	30	3
Соляная кислота	1	256	256
Перекись водорода	0,1	60	6
Фенолфталеин	0,1	200	20
Гидроксид аммония	0,5	580	290
Трибон Б	0,5	312	156
Сульфосалициловая кислота	0,1	340	35
Хлорид калия	0,1	170	17
Сахароза	1	70	70
Ацетат натрия	0,5	84	42
Фторид натрия	0,1	210	21
Итого:			916

Таблица 3.13 – Материальные затраты на лабораторную посуду

Наименование	Количество, шт	Стоимость с НДС, руб/шт	Сумма, руб
Тигель	2	700	1400
Чашка фарфоровая	2	700	1400
Колба коническая	1	484	484
Мерный цилиндр, 100 мл	1	250	250
Пипетка	1	70	70
Стакан мерный, 250 мл	2	50	100
Дозатор пипеточный	1	2500	2500
Фильтровальная бумага	1	170	170
Итого:			6374

Таблица 3.14 – Материальные затраты на средства защиты

Наименование	Количество, шт	Стоимость с НДС, руб/шт	Сумма, руб
Халат	2	1000	2000
Перчатки	2	100	200
Итого:			2200

Таблица 3.15 – Общие материальные затраты на научно-технические исследования

Вид затрат	Сумма, руб
Материальные затраты на реактивы	916
Материальные затраты на лабораторную посуду	6374
Материальные затраты на средства защиты	2200
Материальные затраты на оборудование	40650
Итого:	50140

### 3.3.4.2 Основная заработная плата

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

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

$$C_{зп} = З_{осн} + З_{доп}, (3.2)$$

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

$З_{доп}$  – дополнительная заработная плата.

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

$$З_{осн} = З_{дн} \cdot T_{раб}, (3.3)$$

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

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

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$З_{дн} = \frac{З_m \cdot M}{F_d}, (3.4)$$

где  $З_m$  – месячный должностной оклад работника, руб.;

$M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

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

$F_d$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн.

Расчет заработной платы научно-производственного и прочего персонала проекта проводили с учетом работы 3-х человек – научного руководителя, консультанта и исполнителя. На выполнение НИР понадобилось 251 рабочих дней. Баланс рабочего времени исполнителей представлен в таблице 3.16.

Таблица 3.16 - Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Ассистент	Инженер (дипломник)
Календарное число дней	365	365	365
Количество нерабочих дней	66	66	66
-выходные дни	52	52	52
-праздничные дни	14	14	14
Потери рабочего времени	48	48	48
- отпуск	48	48	48
- невыходы по болезни	-	-	-
Действительный годовой фонд рабочего времени	251	251	251

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_6 \cdot (k_{пр} + k_d) \cdot k_p, \quad (3.5)$$

где  $Z_6$  – базовый оклад, руб.;

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

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

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

При расчете заработной платы научно-производственного и прочего персонала проекта учитывались месячные должностные оклады работников, которые рассчитывались по формуле:

$$Z_m = Z_6 \cdot k_p \quad (3.6)$$

где  $Z_6$  – базовый оклад, руб.;

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

Расчет основной заработной платы научно – производственного и прочего персонала проекта проводился без учета премиального коэффициента  $K_{пр}$  (определяется Положением об оплате труда) и коэффициент доплат и надбавок  $K_d$ .

Согласно информации сайта Томского политехнического университета должностной оклад (ППС) доцента кандидата наук в 2016 году без учета РК составил 26300 руб., консультанта – 20800 руб., исполнителя – 14100 руб. Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 3.17.

Таблица 3.17 - Расчёт основной заработной платы

Исполнители	$Z_6$ , руб.	$k_{пр}$	$k_d$	$k_p$	$Z_m$ , руб	$Z_{дн}$ , руб.	$T_p$ , раб. дн.	$Z_{осн}$ , руб.
Руководитель	26300	-	-	1,3	34190	1140	140	159600
Ассистент (инженер)	20800	-	-	1,3	27040	901	30	27030
Инженер дипломник	14100	-	-	1,3	18330	611	439	268229

### 3.3.4.3 Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала

В данную статью включается сумма выплат, предусмотренных законодательством о труде, например, оплата очередных и дополнительных отпусков; оплата времени, связанного с выполнением государственных и общественных обязанностей; выплата вознаграждения за выслугу лет и т.п. (в среднем – 12 % от суммы основной заработной платы).

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

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн}, \quad (3.7)$$

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

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

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

В таблице 3.18 приведена форма расчёта основной и дополнительной заработной платы.

Таблица 3.18- Заработная плата исполнителей НИИ

Заработная плата	Руководитель	Ассистент (инженер)	Инженер (дипломник)
Основная зарплата	159600	27030	268229
Дополнительная зарплата	23940	4055	40234
Итого по статье $C_{\text{зп}}$	183540	31085	308463

#### 3.3.4.4 Отчисления на социальные нужды

Статья включает в себя отчисления во внебюджетные фонды.

$$C_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (3.8)$$

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

Отчисления на социальные нужды составляет 27 % от суммы заработной платы всех сотрудников.

#### 3.3.4.5 Накладные расходы

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

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

Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле:

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (3.9)$$

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

Электроэнергия на оборудование:

Ситовой анализатор =  $6 \cdot 1 \cdot 0,25 \cdot 5,8 = 87$  руб.

Сушильный шкаф =  $6 \cdot 30 \cdot 1,5 \cdot 5,8 = 1566$  руб.

Муфельная печь =  $6 \cdot 20 \cdot 2,8 \cdot 5,8 = 1949$  руб.

Песчаная баня =  $6 \cdot 156 \cdot 0,8 \cdot 5,8 = 4343$  руб.

На основании полученных данных по отдельным статьям затрат составляется калькуляция плановой себестоимости НИР. В проекте не предусмотрены затраты, связанные с выплатой дополнительной заработной платы научно – производственного и прочего персонала проекта, научными и производственными командировками, оплатой работ, выполняемых другими организациями и предприятиями. Смета затрат приведена в таблице 3.19.

Таблица 3.19 – Смета затрат на выполнение НИР

Статьи затрат	Затраты, руб.
Сырье и материалы	9490
Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	40650
Фонд заработной платы	523088
Отчисления на социальные нужды	141234
Накладные расходы	7945
Итого	731407

Проанализировав смету затрат на выполнение научно – исследовательской работы позволило сделать вывод, что существующий вариант решения, поставленной в магистерской диссертации химической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности является наиболее приемлемым.

### 3.3.4.6 Матрица ответственности

Для распределения ответственности между участниками проекта формируется матрица ответственности (таблица 3.20).

Таблица 3.20 - Матрица ответственности

Этапы проекта	Горлушко Д.А., руководитель проекта	Меньшикова Е.В., эксперт	Волков Ю.В., эксперт	Устюжанина А.К., эксперт	Ширей-Седлецкая В.В., исполнитель
Составление технического задания	О				
Изучение литературы					И, О
Выбор направления исследования	О, И				И, О
Теоретические и экспериментальные исследования	О, И				И, О
Обобщение и оценка результатов	О, И				И, О
Разработка технической документации и проектирование	О				И, О
Оформление комплекта документации	О, С	О, С	О, С	О, С	И, О

Степень участия в проекте может характеризоваться следующим образом:

*Ответственный (О)* – лицо, отвечающее за реализацию этапа проекта и контролирующее его ход.

*Исполнитель (И)* – лицо (лица), выполняющие работы в рамках этапа проекта.

*Утверждающее лицо (У)* – лицо, осуществляющее утверждение результатов этапа проекта (если этап предусматривает утверждение).

*Согласующее лицо (С)* – лицо, осуществляющее анализ результатов проекта и участвующее в принятии решения о соответствии результатов этапа требованиям.

### 3.3.4.7 План управления коммуникациями проекта

План управления коммуникациями отражает требования к коммуникациям со стороны участников проекта. План управления коммуникациями приведен в таблице 3.21.

Таблица 3.21 - План управления коммуникациями

№ п/п	Какая информация передается	Кто передает информацию	Кому передается информация	Когда передает информацию
1.	Статус проекта	Руководитель проекта	Представителю заказчика	Ежеквартально
2.	Обмен информацией о текущем состоянии проекта	Исполнитель проекта	Участникам проекта	Еженедельно
3.	Документы и информация по проекту	Ответственное лицо по направлению	Руководителю проекта	Не позже сроков графиков и к. точек
4.	О выполнении контрольной точки	Исполнитель проекта	Руководителю проекта	Не позже дня контрольного события по плану управления

### 3.3.4.8 Реестр рисков проекта

Идентифицированные риски проекта включают в себя возможные неопределенные события, которые могут возникнуть в проекте и вызвать последствия, которые повлекут за собой нежелательные эффекты.

Возможные риски проекта приведены в таблице 3.22

Таблица 3.22 - Реестр рисков

№	Риск	Вероятность наступления (1-5)	Влияние риска (1-5)	Уровень риска	Способы смягчения риска	Условия наступления
1	Технический	3	5	высокий	Повышение требований, проработка технологии	Неисправность оборудования
2	Организационный	5	5	высокий	Финансирование проекта, расстановка приоритетов	Нехватка ресурсов
3	Управление проектом	1	4	низкий	Долгосрочное планирование	Некомпетентное управление

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

Эффективность научного ресурсосберегающего проекта включает в себя социальную эффективность, экономическую и бюджетную эффективность. Показатели общественной эффективности учитывают социально-экономические последствия осуществления инвестиционного проекта как для общества в целом, в том числе непосредственные результаты и затраты проекта, так и затраты и результаты в смежных секторах экономики, экологические, социальные и иные внеэкономические эффекты.

Показатели экономической эффективности проекта учитывают финансовые последствия его осуществления для предприятия, реализующего данный проект. В этом случае показатели эффективности проекта в целом характеризуют с экономической точки зрения технические, технологические и организационные проектные решения.

Бюджетная эффективность характеризуется участием государства в проекте с точки зрения расходов и доходов бюджетов всех уровней.

Кроме выше перечисленных видов эффективности можно выделить ресурсный эффект (характеризуется показателями, отражающими влияние инновации на объем производства и потребления того или иного вида ресурса), научно-технический (оценивается показателями новизны и полезности) и другие [33].

### 3.4.1 Оценка сравнительной эффективности исследования

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

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования (таблица 3.23). Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\phi}^p = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\max}}, \quad (3.10)$$

где  $I_{\phi}^p$  - интегральный финансовый показатель разработки;

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

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

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в размах (значение больше единицы), либо соответствующее численное удешевление стоимости разработки в размах (значение меньше единицы, но больше нуля).

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

$$I_m^a = \sum_{i=1}^n a_i b_i^a, \quad I_m^p = \sum_{i=1}^n a_i b_i^p \quad (3.11)$$

где  $I_m$  – интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов;

$a_i$  – весовой коэффициент  $i$ -го параметра;

$b_i^a, b_i^p$  – бальная оценка  $i$ -го параметра для аналога и разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

$n$  – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности рекомендуется проводить в форме таблицы, пример которой приведен ниже.

Таблица 3.23 - Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Объект исследования	Весовой коэффициент параметра	Золошлаковый материал Северной теплоэлектростанции Исп. 1	Золошлаковый материал Экибастузского месторождения Исп. 2
Использование отходов производства в качестве сырья	0,20	5	3
Содержание оксида кальция	0,40	5	3
Способствует росту производительности труда пользователя	0,15	4	5
Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,1	4	4
Энергосбережение	0,15	4	3
Итого	1,00	4,6	3,4

$$I_{p-uch1} = 5 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,4 + 4 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,1 + 4 \cdot 0,15 = 4,6$$

$$I_{p-uch2} = 3 \cdot 0,2 + 3 \cdot 0,4 + 5 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,1 + 3 \cdot 0,15 = 3,4$$

Сравнение значений интегральных показателей эффективности позволяет понять и выбрать более эффективный вариант решения поставленной в магистерской работе технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности, то есть определение оксидов кальция и железа более эффективно, так как меньше материалоемкость, больше выход продукта и ускоренный процесс.

### Список публикаций студента

1. Седлецкая В.В., Ширей Р.В. Определение содержания свободного оксида кальция в золошлаковых материалах Северской теплоэлектростанции// XIX Международный научный симпозиум студентов и молодых ученых имени академика М.А. Усова «Проблемы геологии и освоения недр» 13 секция, 1 подсекция, Россия, Томск, 6-10 апреля 2015 г.

2. Ширей-Седлецкий Р.В., Ширей-Седлецкая В.В. Исследование возможности применения в строительстве золошлаковых материалов Северской теплоэлектростанции// XVII Международная научно-практическая конференция студентов и молодых ученых имени профессора Л.П. Кулева «Химия и химическая технология в XXI веке» секция 1, Россия, Томск, 17-20 мая 2016 г.

3. Ширей-Седлецкая В.В., Ширей-Седлецкий Р.В. Определение качественных показателей золы тепловых электростанций// XXI Международный научный симпозиум студентов и молодых ученых имени академика М.А. Усова «Проблемы геологии и освоения недр» 15 секция, Россия, Томск, 3-7 апреля 2017 г.

4. Ширей-Седлецкий Р.В., Ширей-Седлецкая В.В. Исследование применения золошлаковых материалов в строительстве// XXI Международный научный симпозиум студентов и молодых ученых имени академика М.А. Усова «Проблемы геологии и освоения недр» 15 секция, Россия, Томск, 3-7 апреля 2017 г.

5. Ширей-Седлецкая В.В., Ширей-Седлецкий Р.В. Определение качественных показателей золы тепловых электростанций// XVIII Международная научно-практическая конференция студентов и молодых ученых имени профессора Л.П. Кулева «Химия и химическая технология в XXI веке», 1 секция, Россия, Томск, 29 мая -1 июня 2017 г.