

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Политехнический институт
Кафедра «Инженерная экология и безопасность жизнедеятельности»

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой

подпись
Т. А. Кулагина
« ____ » _____ 2019г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

по направлению 20.03.01 «Техносферная безопасность»

«Использование золошлаковых отходов в производстве строительных
материалов»

Руководитель

подпись, дата

к. т. н, доцент

Ю.Д. Кан

Выпускник

подпись, дата

С. О. Чаш

Нормоконтролер

подпись, дата

ст. преподаватель

Е.Н. Зайцева

Красноярск 2019

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Политехнический институт
Кафедра «Инженерная экология и безопасность жизнедеятельности»

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой

подпись
Т. А. Кулагина
« ____ » _____ 2019 г.

**ЗАДАНИЕ
НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ
в форме бакалаврской работы**

Студенту: Чаш Сумуяа Орлановне
Группа ФЭ 15-10Б Направление (специальность) 20.03.01 «Техносферная
безопасность»
Тема выпускной квалификационной работы: «Использование
золошлаковых отходов в производстве строительных материалов»
Утверждена приказом по университету: № 18983/с от 17 декабря 2018 г.
Руководитель ВКР: Ю.Д. Кан, канд. техн. наук, доцент.
Исходные данные для ВКР: технологическая инструкция, нормативная,
справочная и другая литература.

Перечень разделов ВКР: общая характеристика золошлаковых отходов;
применение золошлаковых остатков, утилизация золошлаковых отходов;
воздействие золошлаковых отходов на окружающую среду; обзор
существующих способов применения отходов энергетики: образование отходов
энергетики, их основные показатели и характеристики, использование отходов
энергетики как вторичных материальных ресурсов на примере зарубежных
стран, обращение с отходами энергетики в России; использование
золошлаковых отходов в строительной сфере: общая характеристика методов
применения отходов тепловых электрических станций в строительной отрасли,
использование отходов энергетики в производстве строительных материалов;
ЗШМ Красноярских ТЭЦ, требования и область применения; эффективность от
вторичной переработки золы; заключение; список сокращений; список
использованных источников.

Перечень графического и иллюстрационного материала с указанием
основных чертежей, плакатов:

Лист 1: Утилизация попутных продуктов сжигания угля в мире

Лист 2: Потенциал рынка золошлаковых материалов в России

Лист 3: Технологическая схема комплекса по производству строительных материалов из золошлаковых отходов ТЭЦ

Лист 4: Сравнение показателей ЗШО Красноярских ТЭЦ с качественными показателями ЗШМ

Лист 5: Функциональная модель эффекта от использования ЗШО

Руководитель

Ю.Д. Кан

подпись

Задание принял к исполнению

С. О. Чаш

подпись

« » _____ 2019 г.

**КАЛЕНДАРНЫЙ ГРАФИК
выполнения ВКР**

Наименование и содержание этапа	Срок выполнения
Сбор и анализ исходной литературы и документации	11.05.2019 – 23.06.2019
Постановка основной задачи, освоение расчетных методик	24.06.2019 – 28.06.2019
Выполнение расчетов, оформление результатов, составление выводов	29.06.2019 – 05.06.2019
Работа над нормативно-правовой базой, оформление расчетно-пояснительной записи	06.06.2019 – 10.07.2019
Графическое оформление чертежей	11.07.2019 – 14.07.2019
Оформление прочей документации	15.07.2019 – 17.07.2019

«___» _____ 2019 г.

Руководитель

Ю. Д. Кан

подпись

Задание принял к исполнению

С. О. Чаш

подпись

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа по теме «Использование золошлаковых отходов в производстве строительных материалов» содержит 68 страниц текстового документа, включает 11 таблиц, 8 рисунков, 26 литературных источников и 5 листов графического материала.

ЗОЛОШЛАКОВЫЕ ОТХОДЫ; ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ; СПОСОБЫ ПРИМЕНЕНИЯ; СТРОИТЕЛЬНЫЙ МАТЕРИАЛ; ЗОЛОШЛАКОВЫЙ МАТЕРИАЛ КРАСНОЯРСКИХ ТЭЦ; ЭФФЕКТИВНОСТЬ.

Целью работы является анализ существующих способов использования золошлаковых отходов в производстве строительных материалов, оценка эффективности от вторичной переработки золошлаковых отходов.

Задачи:

- изучить общую характеристику золошлаковых отходов, их применение и утилизацию;
- рассмотреть проблему воздействия золошлаковых отходов и золоотвалов на окружающую природную среду;
- осуществить обзор существующих способов применения отходов энергетики, их основных показателей и характеристик, а также использование отходов энергетики на примере зарубежных стран и в России;
- исследовать использование золошлаковых отходов в производстве различных строительных материалов;
- рассмотреть схему переработки смеси золы и шлака в золошлаковый материал на примере Красноярских ТЭЦ, проанализировать область применения золошлаковых материалов Красноярских ТЭЦ и ознакомиться с обязательными требованиями, предъявляемыми к ним как к материалам, которые будут использоваться в различных сферах;
- провести оценку экологической и экономической эффективности от вторичной переработки золы и шлака.

В результате выполнения бакалаврской работы был осуществлен анализ существующих способов использования золошлаковых отходов в производстве строительных материалов, в процессе которого был затронут вопрос отрицательного влияния золошлаковых отходов энергетики на окружающую среду и необходимость его незамедлительного решения, рассмотрено обращение с золошлаковыми отходами на двух энергетических предприятиях Красноярска, сделан вывод о соответствии ЗШМ Красноярских ТЭЦ для использования в производстве строительных материалов и в дорожном строительстве, а также представлена эффективность от вторичной переработки золошлаковых отходов тепловых электрических станций.

АННОТАЦИЯ

Бакалаврская работа на тему: «Использование золошлаковых отходов в производстве строительных материалов» ВКР выполнена на 68 страницах текстового документа, включает 11 таблиц, 8 рисунков, 5 графических материалов и 26 литературных источников.

Целью работы является анализ существующих способов использования золошлаковых отходов в производстве строительных материалов, оценка эффективности от вторичной переработки золошлаковых отходов.

Во введении раскрывается актуальность бакалаврской работы по выбранному направлению, ставится проблема, цель и задачи.

В первой главе производится общее ознакомление с происхождением, применением и утилизацией золошлаковых отходов.

Во второй главе выдвигается проблема негативного воздействия золошлаковых отходов и мест их накопления на окружающую среду, причем не только природную, но и городскую.

В третьей главе осуществляется обзор существующих способов применения отходов энергетики, их основных показателей и характеристик, а также использование отходов энергетики на примере зарубежных стран и в России.

В четвертой главе описывается использование золошлаковых отходов в строительной сфере. В первом подпункте данной главы рассматривается общая характеристика методов применения отходов тепловых электрических станций в строительной отрасли. А во втором подпункте описывается применение золы и шлака в производстве различных строительных материалов, таких как битумные или полимерно-битумные вяжущие при дорожном строительстве, цементобетон и асфальтобетон, золосодержащие бетоны и растворы, силикатный кирпич, керамические и плавленые материалы, самостоятельный вяжущий компонент и пеностекольный материал.

В пятой главе рассказывается о показателях и схеме размещения золошлаковых отходов, а также о технологической схеме производства золошлаковых материалов Красноярской ТЭЦ-1. Также говорится о схемах золошлакоудаления и размещения золошлаковых отходов Красноярской ТЭЦ-2, а также о технологической схеме производства золошлаковых материалов из них. Данная глава описывает область применения золошлаковых материалов Красноярских ТЭЦ-1 и ТЭЦ-2 и обязательные требования, предъявляемые к ним как к материалам, которые будут использоваться в различных сферах.

Шестая глава выявляет эффективность от вторичной переработки золы и шлака, как с экологической, так и с экономической стороны.

В результате выполнения бакалаврской работы был осуществлен анализ существующих способов использования золошлаковых отходов в производстве строительных материалов, в процессе которого был затронут вопрос отрицательного влияния золошлаковых отходов энергетики на окружающую среду и необходимость его незамедлительного решения, рассмотрено

обращение с золошлаковыми отходами на двух энергетических предприятиях Красноярска, сделан вывод о соответствии ЗШМ Красноярских ТЭЦ для использования в производстве строительных материалов и в дорожном строительстве, а также представлена эффективность от вторичной переработки золошлаковых отходов тепловых электрических станций.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	9
1 Общая характеристика золошлаковых отходов	11
1.1 Применение золошлаковых остатков	11
1.2 Утилизация золошлаковых отходов	12
2 Воздействие золошлаковых отходов на окружающую среду.....	13
3 Обзор существующих способов применения отходов энергетики	15
3.1 Образование отходов энергетики, их основные показатели и характеристики	15
3.2 Использование отходов энергетики как вторичных материальных ресурсов на примере зарубежных стран	17
3.3 Обращение с отходами энергетики в России	20
4 Использование золошлаковых отходов в строительной сфере	21
4.1 Общая характеристика методов применения отходов тепловых электрических станций в строительной отрасли	23
4.2 Использование отходов энергетики в производстве строительных материалов	25
4.2.1 Применение зол сухого улавливания и золошлакового материала в качестве добавки к битумным или полимерно-битумным вяжущим при дорожном строительстве	25
4.2.2 Применение зол и золошлаковых смесей в асфальтобетоне и цементобетоне.....	26
4.2.3 Золосодержащие бетоны и растворы.....	27
4.2.4 Силикатный кирпич, керамические и плавленые материалы на основе зол и шлаков ТЭС	36
4.2.5 Зола и золошлаковый материал в качестве вяжущего компонента	42
4.2.6 Получение пеностекольных материалов	44
4.2.7 Извлечение силикатных микросфер из ЗШМ ТЭС	45
5 ЗШМ Красноярских ТЭЦ, требования и область применения	47
5.1 ЗШМ Красноярской ТЭЦ-1	47
5.1.1 Схема размещения ЗШО.....	47
5.1.2 Показатели ЗШО	48
5.1.3 Технологическая схема производства ЗШМ	49
5.1.3.1 Производство ЗШМ на площадке производства продукта	50
5.2 ЗШМ Красноярской ТЭЦ-2	51
5.2.1 Описание схемы золошлакоудаления.....	51
5.2.2 Показатели ЗШО	52
5.2.3 Технологическая схема производства ЗШМ	53
5.3 Область применения ЗШМ Красноярских ТЭЦ, требования.....	54
6 Эффективность от вторичной переработки золы	61
Заключение	64
Список сокращений	66
Список использованных источников	67

ВВЕДЕНИЕ

Важность и неотложность вопросов охраны окружающей среды хорошо понимают не только обычные горожане и профессиональные экологи, но и крупные компании. Наиболее ответственные предприятия вкладывают значительные средства в разработку технологий, позволяющих преобразовать производственные отходы в полезную продукцию.

Современная энергетика наносит ощутимый вред окружающей среде, ухудшая условия жизни людей. Основа современной энергетики – различные типы электростанций. Технология производства электрической энергии на ТЭС связана с образованием большого количества отходов. Предприятия теплоэнергетики России можно отнести к основным источникам загрязнения окружающей среды, так как на них приходится более 30% выбросов вредных веществ от общего объема выбросов промышленных предприятий.

При сжигании топлива на ТЭС образуются продукты сгорания, в которых содержатся: летучая зола, частички несгоревшего пылевидного топлива, серный и сернистый ангидрид, оксид азота, газообразные продукты неполного сгорания. В золе некоторых видов топлива присутствует мышьяк, свободный диоксид кальция, свободный диоксид кремния. Температура в кotle от 1300 до 1700 °C. В процессе сжигания твердого топлива и в зависимости от способа улавливания и удаления образуются следующие попутные продукты:

- зола-унос – тонкодисперсный материал (размер частиц от 3-5 до 100-150 мкм), образующийся из минеральной части пылевидного топлива, улавливаемый специальными аппаратами из дымовых газов ТЭС;
- шлак – агрегированные и сплавленные частицы золы размером от 0,15 до 40 мм;
- золошлаковая смесь – смесь золы-уноса и шлака, образовавшаяся при совместном их удалении в отвал. При сжигании топлива в топках с твердым шлакоудалением образуется 10-20 % шлака, в топках с жидким шлакоудалением – 20-40 %, в топках с кипящим слоем – шлак не образуется, но частицы золы имеют размер до 10 мм [1].

Кроме того, деятельность теплоэлектростанций связана с образованием большого количества отходов различных классов опасности, значительную часть которых составляют золошлаковые отходы (ЗШМ). Отвалы золошлаковых материалов занимают большие площади, а их уход требует значительных эксплуатационных расходов, которые влияют на повышение себестоимости производства энергоносителей. Они являются источником загрязнения окружающей среды, представляют опасность для здоровья населения и угрозу растительному и животному миру прилегающих территорий.

К настоящему моменту в России накоплено огромное количество золошлаков. Во всей России под ЗШО ТЭС отданы тысячи квадратных километров земель. В границах одного Красноярска находится три шламонакопителя и пять золошлакоотвалов. Одним из возможных путей

решения данной проблемы является утилизация отходов, то есть возвращение их в материальный кругооборот, что имеет важное экологическое, экономическое и энергосберегающее значение [2].

Цель: провести анализ использования золошлаковых отходов теплоэнергетических предприятий Красноярска и России в производстве строительных материалов и оценку эффективности от вторичной переработки золошлаковых отходов.

Задачи, которые необходимо выполнить для достижения данной цели:

- изучить общую характеристику золошлаковых отходов, их применение и утилизацию;
- рассмотреть проблему воздействия золошлаковых отходов и золоотвалов на окружающую природную среду;
- осуществить обзор существующих способов применения отходов энергетики, их основных показателей и характеристик, а также использование отходов энергетики на примере зарубежных стран и в России;
- исследовать использование золошлаковых отходов в производстве различных строительных материалов;
- рассмотреть схему переработки смеси золы и шлака в золошлаковый материал на примере Красноярских ТЭЦ, проанализировать область применения золошлаковых материалов Красноярских ТЭЦ и рассмотреть обязательные требования, предъявляемые к ним как к материалам, которые будут использоваться в различных сферах;
- провести оценку экологической и экономической эффективности от вторичной переработки золы и шлака.

1 Общая характеристика золошлаковых отходов

Среди промышленных отходов имеются группы, которые носят название золошлаковые отходы и металлургический шлак. Золошлаковые отходы также имеют название золошлаковые смеси, которые представляют собой смесь шлака и золы. По данным статистики в России каждый год образуется приблизительно 27 миллионов тонн таких отходов. Образуются они в результате сжигания твердого топлива, то есть в энергетической промышленности. Соотношение зола – шлак в рассматриваемых отходах составляет около 0,8 / 0,2, то есть золошлаковые отходы примерно на 80 % состоят из золы и на 20 % из угольного шлака. Нельзя отнести золошлак к определенному классу опасности, так как их класс варьируется в пределах 3-5 классов, но после обработки золошлаковых отходов в большинстве случаев их относят к 5 классу опасности. Эти отходы являются подходящим сырьем для производства множества различных строительных материалов.

1.1 Применение золошлаковых остатков

Как и некоторые другие отходы, эта группа может подвергаться переработке. Но на территории России эти объемы не такие, как хотелось бы. На самом деле, переработка золошлаковых отходов – не только полезный для экологии, но и выгодный бизнес. По результатам оценки оборудование одного шлакоотвала затрачивает примерно 3 миллиарда рублей.

Золошлаковые отходы используют для изготовления:

- тяжелого бетона;
- ячеистого бетона;
- силикатного бетона;
- строительных смесей;
- цементного клинкера;
- глинозольного керамзита;
- керамического кирпича;
- алюмосиликатных микросфер;
- земляного полотна автомобильных дорог;
- изоляционного материала для полигонов ТКО.

В результате использования остатков золы и шлака 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, антисорбционность. Кроме того уменьшается тепловыделение при твердении. Отходы могут заменить песок полностью или частично в процессе производства.

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.

Если добавить золошлаки в земляное полотно автодорог, можно снизить себестоимость выполняемых работ и улучшить качество грунта.

1.2 Утилизация золошлаковых 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 переработку принимаются следующие виды отработок:

- золошлаковые остатки мусоросжигательных заводов, ТЭС;
- отработки газоочистки;
- металлургические шлаки, в том числе свинцовые.

В нашем государстве функционирует более 170 ТЭС, которые работают на угольном топливе. На практике становится видно, 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. Всем известен тот факт, что золошлаки являются доступным и практичным сырьем. Сибирский федеральный округ лидирует по использованию золошлака. В 2014 году объем использованных отработок составил 3 миллиона тонн.

Находят и другие, кто не остается 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 отходов с близлежащих ТЭЦ выровняли рельеф одного из поселков. Таким методом можно выровнять 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.

А 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 %. Интересно то, что в Германии запрещено формировать шлакоотвалы. В Польше, Китае и США процент использования примерно равен 60%.

2 Воздействие золошлаковых отходов на окружающую среду

Накопление значительной массы промышленных отходов является актуальной природоохранной проблемой, которую необходимо срочно решать. Золошлаки от сжигания угольного топлива образуются на ТЭС в огромных количествах. Их транспортировка осуществляется при помощи систем гидро- и пневмозолоудаления. В большинстве случаев золошлаки транспортируются в виде пульпы с низкой концентрацией для размещения в гидрозолоотвалах, которые и становятся из-за этого одним из основных источников загрязнения окружающей среды от энергетической отрасли.

Строительство и эксплуатация технологического хозяйства на ТЭС по сбору, транспортировке и хранению золошлаковых отходов требует огромных финансовых затрат, в том числе расходов на его обслуживание. Отвалы золошлаковых материалов занимают обширные территории, уход за ними также требует значительных эксплуатационных расходов. Размещение отходов на золоотвале сопряжено с определенным воздействием на окружающую природную среду и значительными затратами. Срок службы золоотвала ограничен технической возможностью, условием надежности и экологической безопасностью.

Золошлакоотвалы обладают повышенной экологической опасностью за счет:

- пыления пляжей, в особенности в летнее время;
- фильтрации отвальной воды, обогащенной растворимыми зольными компонентами, в подземные горизонты;
- неизбежного сброса избытков осветленной воды в поверхностные водоисточники;
- отчуждения земель;
- деформации поверхности, изменения рельефа;
- загрязнения токсичными элементами, тяжелыми металлами;
- снижения плодородия почв и урожайности сельскохозяйственных культур;
- загрязнения дымовыми газами;
- пыления золоотвалов при транспортировке, складировании и ветровой эрозии;
- сокращения численности видов лесов, растительности, животных, биоты; изменения биоразнообразия;
- ухудшения эколого-эстетического состояния поверхностных водотоков.

В процессе временного или постоянного складирования золошлакового материала образуется фильтрационный поток, содержащий находящиеся в золошлаковых материалах водорастворимые соединения, многие из которых являются токсичными (соединения мышьяка, селена, ванадия, фтора, хрома). Данный поток оказывает неблагоприятное воздействие как на золоотвал в целом, включая его основание, так и на окружающую среду [2].

Почвы испытывают воздействие золоотвала за счет осаждения пыли из атмосферного воздуха.

В связи с тем, что при складировании золошлаков выбросы загрязняющих веществ в атмосферу являются незначительными, специальных мер по контролю над загрязнением атмосферного воздуха не предусмотрено. Предприятием осуществляется только визуальное наблюдение за степенью запыленности. Схема воздействия золоотвалов ТЭС на окружающую природную среду представлена на рисунке 1.

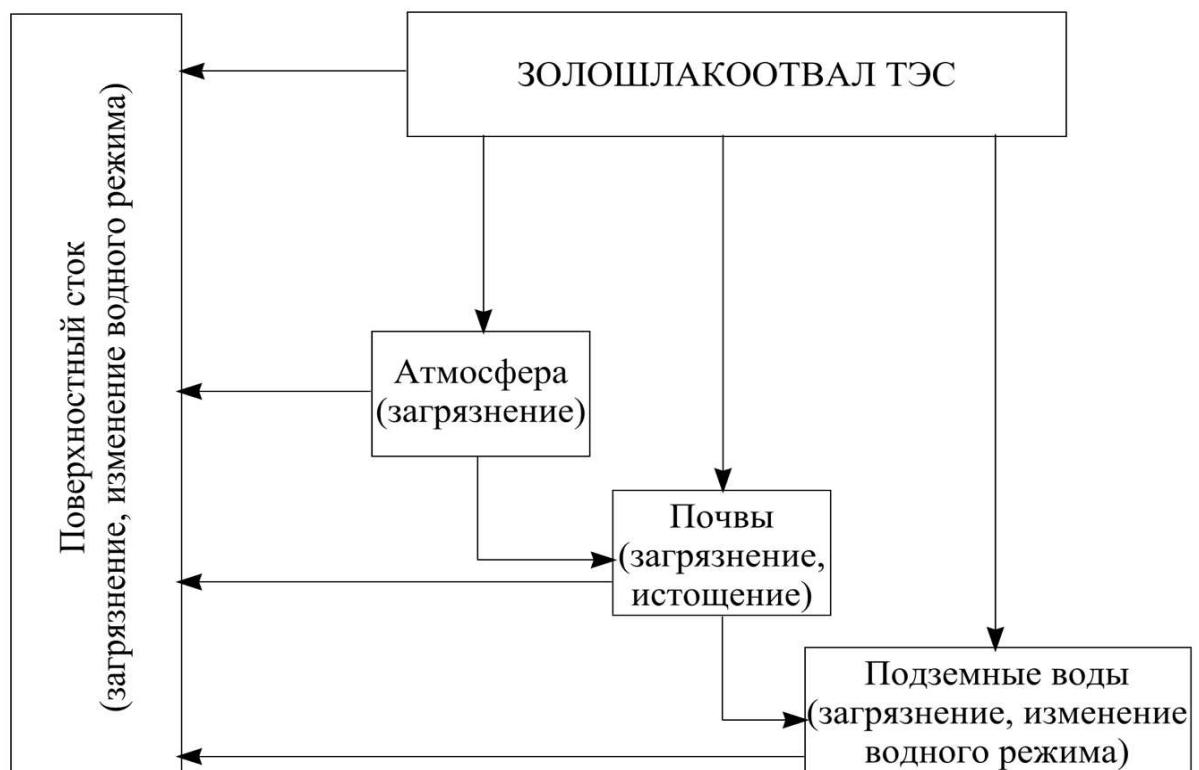


Рисунок 1 – Принципиальная схема воздействия золошлакоотвалов ТЭС на окружающую природную среду

В золоотвалах накоплено, по разным оценкам, от 1,5 до 1,8 млрд т ЗШО. Среднегодовой выход шлаков достиг 30 млн. т и в связи с ухудшением качества топлива имеет тенденцию к росту. Это создает технологические и экологические проблемы, поскольку увеличиваются производственные затраты и стоимость природоохранных мероприятий.

3 Обзор существующих способов применения отходов энергетики

3.1 Образование отходов энергетики, их основные показатели и характеристики

При сжигании твердого топлива в топках тепловых электрических станций при температуре около 1700-1900° К образуются большие объемы твердых минеральных отходов, представленных шлаком и летучей золой. Мелкие и легкие частицы с удельной поверхностью 1500-3000 см²/г, содержащиеся в количестве около 90%, уносятся из топки газами, а более крупные оседают на топке и под ней и сплавляются в кусковые шлаки.

На современных ТЭС уголь сжигают в пылевидном состоянии. Шлак образуется в результате слипания размягченных частиц золы в объеме топки и накапливается в шлаковом бункере под топкой. Размер зерен шлака 1-50 мм. Зола уносится из топки с дымовыми газами (зола уноса) и улавливается при их очистке в различных газоочистных установках. Размер частиц золы менее 1 мм. Большинство зол имеют сферическую форму частиц, гладкую остекловатую фактуру поверхности. Размер сферических частиц колеблется от нескольких микрон до 50-60 мкм.

Одна ТЭС средней мощности ежегодно выбрасывает в отвалы до 1 млн. т. золы и шлака, а ТЭС, сжигающая многозольное топливо, – до 5 млн. т. Складирование и хранение такой массы материала, как упоминалось выше, требует значительных капиталовложений. Золоотвал, занимающий очень большие земельные площади, является источником неблагоприятной экологической обстановки на местности.

По химическому составу зола состоит на 85-90% из оксидов кремния, алюминия, железа, кальция и магния. Золы каменных и бурых углей, антрацита и торфа, как правило, являются кислыми. Исходя из вещественного состава и физико-механических характеристик минеральной части сгоревшего топлива, отходы ТЭС можно рассматривать как сложное техногенное сырье, пригодное для переработки известными методами, с целью получения конечных продуктов, при производстве практически большинства строительных материалов и изделий [3].

Отходы золы и шлака могут разделяться на следующие виды получения:

1. зола уноса сухого улавливания – зола, поступающая с электрофильтров и из циклонов ТЭС в золосборники и направляющаяся специальным пневмотранспортом в силосные склады либо непосредственно в транспортные средства потребителей;

2. золошлаковая смесь гидроудаления – зола и шлак, удаляющаяся в отвалы в виде золопульпы при очистке золосборников с помощью воды.

Таблица 1 - Классификация топливных отходов от сжигания твердого топлива

Химические свойства		Золошлаковые отходы		
		Активные	Скрыто активные	Инертные
Показатели качества	M_o	0,5-2,8	0,1-0,5	<0,1
	M_c	1,5-7,8	1,4-3,6	1,3-3,2
	K	1,0-3,6	0,5-1,3	0,4-0,9
Содержание форм кальция	$CaO_{общ}$	20-60	5-20	0,5-5
	$CaO_{своб}$	0-30	0-2	0-1
	$CaO_{сульф}$	0,5-9	0,2-2	0,1-1,6
	$CaO_{карб}$	15-45	5-15	0-5
Возможные области использования	Самотвердеющий материал. Местное вяжущее, изделия на его основе, преимущественно автоклавного твердения. Дорожное строительство	Требует интенсификации твердения. Производство изделий, твердеющих при тепловой обработке с активизаторами. Дорожное строительство	Сырье для производства кирпича, зольного гравия Техногенный грунт. Дорожное строительство	

M_o – модуль основности (гидросиликатный модуль), который представляет собой отношение суммы основных оксидов к сумме кислотных оксидов:

$$M_o = (CaO + MgO + K_2O + Na_2O) \div (SiO_2 + Al_2O_3),$$

где M_c – силикатный (кремнеземистый) модуль, показывающий отношение оксида кремния, вступающего в реакцию с другими оксидами, к суммарному содержанию оксидов алюминия и железа:

$$M_c = SiO_2 \div (Al_2O_3 + Fe_2O_3);$$

K – коэффициент качества, показывающий отношение оксидов, повышающих гидравлическую активность, к оксидам, снижающим ее:

$$K = (\text{CaO} + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{MgO}) \div (\text{SiO}_2 + \text{TiO}_2).$$

К активным относятся ЗШО горючих сланцев, углей Канско-Ачинского угольного бассейна, ангренского угля, некоторых торфов. Общее содержание оксида кальция колеблется в пределах 20-60%, свободного оксида кальция - до 30%.

К скрыто активным относятся ЗШО от сжигания райчихинских, богословских, харанорских, черемховских, хакасских и некоторых других углей. Общее содержание оксида кальция в этих ЗШО составляет 5-20%, содержание свободного оксида кальция - не выше 2%. Модуль основности составляет не более 5. Как правило, они используются в качестве комплексных вяжущих с активизаторами.

К инертным относятся ЗШО от сжигания экибастузских, подмосковных, кузнецких, донецких, нерюнгринских и других углей. Они характеризуются высоким содержанием оксидов кремния и алюминия и низким количеством оксидов кальция и магния. Свободного оксида кальция содержится менее 1%, а в некоторых ЗШО этой группы его может и не быть. В большинстве случаев они применяются в качестве техногенных грунтов [4].

В Красноярском крае на 796 котельных и теплоэлектростанциях сжигается 14,4 млн тонн углей (в основном Канско-Ачинского бассейна). При сжигании углей образуется в год 906 тыс.тонн золошлаковых отходов.

В углях основных месторождений (Березовское, Назаровское, Ирша-Бородинское) Канско-Ачинского бассейна содержатся следующие элементы:

- оксиды кремния (SiO_2) 29-48%,
- оксиды железа (FeO) 10-25%,
- оксиды алюминия (Al_2O_3) 6-8%,
- общего кальция (CaO) 29-37%,
- ...в том числе свободного кальция 7-9%.

3.2 Использование отходов энергетики как вторичных материальных ресурсов на примере зарубежных стран

В России всего не более 10% от 3 тонн ежегодно образующейся золы используется для последующей переработки в строительной индустрии, дорожном строительстве и прочих промышленных отраслях. В то время как в развитых странах используют 70-95% от выхода ЗШО. Ниже показана краткая статистика применения золы и ЗШМ.

Лидером мирового рейтинга по объему переработки (до 30 млн. тонн ежегодно) является Индия. Экономический стимул: еще в начале 90-х индийские инженеры выработали свою технологию производства кирпича, в которой вместо привычной природной глины использовалась угольная зола. В итоге это привело к революции в строительной индустрии, и Индия начала увеличивать темпы застройки благодаря потоку зарубежных инвестиций в страну. Помимо изготовления кирпича, в Индии зола уносится также

для укрепления грунтов насыпи и для устройства покрытия. Лишь засыпка мокрых низин золой с дальнейшим продуктивным использованием земель оказалась нецелесообразным.

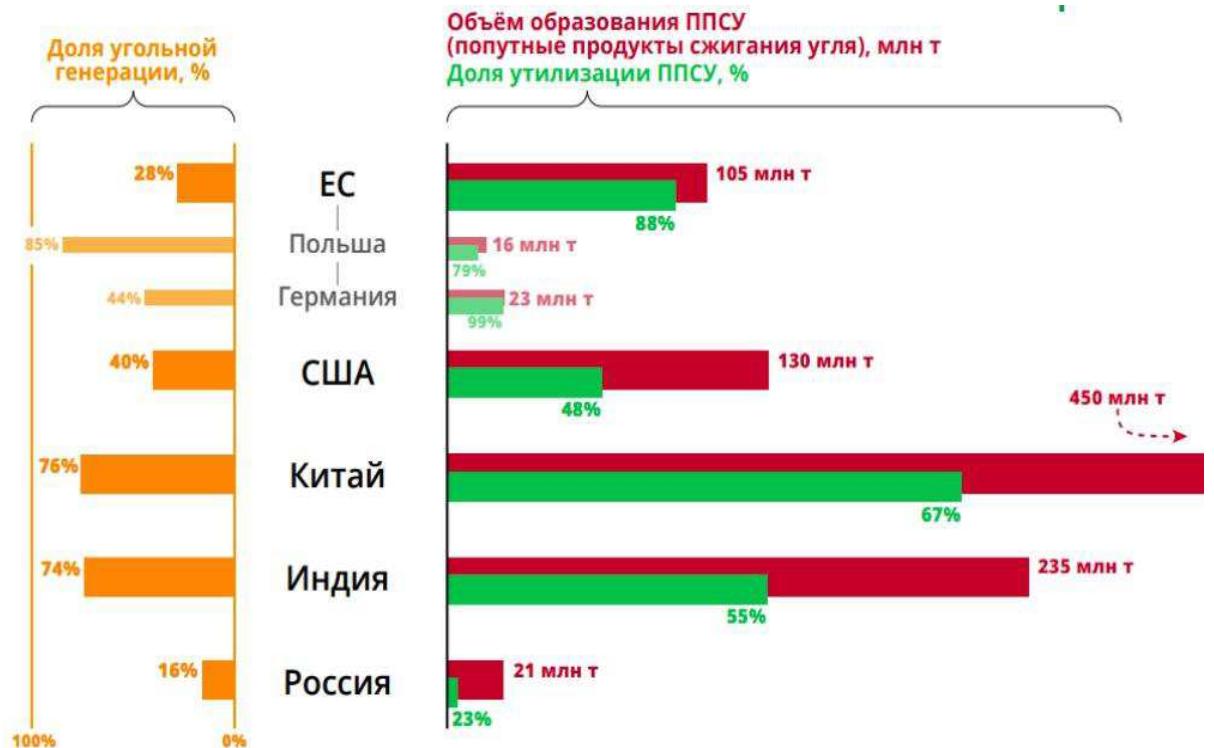


Рисунок 2 – Утилизация ППСУ (попутных продуктов сжигания угля) в мире [5]

В Западной Европе ведущая роль среди стран в решении вопроса применения топливных отходов ТЭС в дорожном строительстве принадлежит Франции. Золы уноса используются во всех частях дорожных конструкций. В зависимости от их состава и свойств они могут включаться в тело насыпи как техногенный грунт и как минеральный материал, укрепленный гидравлическим вяжущим, в нижних слоях основания; в верхних слоях основания как компонент смешанного вяжущего или в качестве самостоятельного вяжущего; в асфальтобетонных покрытиях как минеральный порошок, в цементобетонных - как добавка, улучшающая характеристики бетона. Также в Нидерландах и Дании процент применения зол составляет почти 100%.

В Великобритании впервые золу уноса от сжигания каменного угля применили в начале 60-х годов прошлого века в качестве материала для возведения насыпей. По результатам исследований выяснилось, что зола является подходящим материалом для сооружения насыпей и устройства нижних слоев основания дорожной одежды, которые должны располагаться на глубине не менее 40 см от поверхности покрытия, так как они недостаточно морозоустойчивы. Такие же исследования золошлаковых смесей из отвалов тепловых электростанций показали их пригодность для устройства оснований дорожных одежд и сооружения насыпей. Но было рекомендовано не сооружать насыпи из мелкого и влажного материала.

Золу уноса использовали в жестком укатываемом бетоне для устройства дорожных одежд, а также для укрепления подстилающих слоев. Образцы бетона с добавкой 42% (массы вяжущего) золы по завершении 28 суток показали большую прочность, чем обычного.

Некоторое число насыпей из смесей золы и шлака построено в Венгрии, одна из которых высотой 2-3 м, объемом 4000 м³. Чрезвычайно неблагоприятные погодные условия (за 8 дней выпало 400 мм осадков в виде дождя) не помешали процессу строительства благодаря хорошей дренирующей способности смесей. Помимо того, в 1986г. было уложено около 2 млн. м² дорожных покрытий с содержанием золы. О том, что золы можно использовать и для гидroteхнических насыпных сооружений, стало известно в результате проведенных в США исследований. Также в Италии зола уноса от сжигания угля используется как вяжущее и естественный заполнитель в конструкциях дорожных одежд.

В Польше проведены опыты и исследования по укреплению золы уноса как в качестве самостоятельного вяжущего не только песков, но и глинистых грунтов. Выявлены положительные результаты при устройстве однослоистого основания из глины, укрепленной 85% золы уноса, и двухслойного основания, нижний слой которого состоит из пылеватых лесовых суглинков, укрепленных 8-12% золы, а верхний слой – из того же грунта, укрепленного 6% золы уноса и таким же количеством портландцемента. Также стало известно, что грунты (глины, суглинки, пылеватые пески), укрепленные 5-15% золы уноса, не противоречат требованиям, относящимся к грунтам, укрепленным цементом или известью. Однако увеличение прочности происходит медленней. Лишь в возрасте 42 суток морозостойкость грунтов, укрепленных золями уноса, чаще всего становится равной значениям, получаемым при укреплении схожих грунтов цементом в возрасте 28 суток.

В Финляндии каменноугольная зола уноса становится полезной добавкой к известковым наполнителям в асфальтобетонных смесях. С ее применением были укреплены болотистые грунты на одном из участков дороги.

Бельгийцы используют золы от сжигания угля как эффективную добавку в пущдолановые бетоны и в качестве компонента вяжущего для укрепления песка.

В Японии же 5% (от массы смеси) золы добавляют в смешанный шлак сталеплавильного производства для сооружения дорог.

В Китае при строительстве автомобильной дороги в качестве основания использовали смесь извести с каменноугольной золой в оптимальном соотношении компонентов: известь: зола = 1:4. При наличии в составе 12% извести прочность образцов на 56-е сутки составила 33,2 кгс/см². На скоростных магистралях в качестве несущего слоя дорожных покрытий применяли грунт, укрепленный комплексным вяжущим - цементом, известью и золой уноса.

В США было выполнено укрепление грунта золой уноса под основание дорожной одежды на глубину 15 см [6].

3.3 Обращение с отходами энергетики в России

В настоящее время на 172 крупных угольных электростанциях России сжигается приблизительно 123 млн. т. твердого топлива в год. Годовой выход ЗШО в России достигает примерно 30 млн. т. В золоотвалах накоплено, по разным источникам, от 1,5 до 1,8 млрд тонн золошлаковых отходов. Несмотря на очевидные выгоды и перспективы широкого применения золошлаковых отходов, объем их полезного применения в нашей стране не превышает 10%. Утилизация золошлаков требует решения группы вопросов – от разработки технических условий на их применение, технологических линий по их переработке, транспортных и погрузочно-разгрузочных средств до перестройки психологии хозяйственников в отношении вторичных минеральных ресурсов. Золоотвалы ряда станций России уже близки к критическому наполнению или уже переполнены, а их расширение требует значительных капитальных затрат, при этом землеотвод крайне затруднен, а в ряде случаев – невозможен [7].

Например, зола-унос ни на одной из 172 угольных электростанций России, производящих более 100 000 тонн ЗШО в год и позиционирующих себя в качестве потенциальных поставщиков золы-уноса, не соответствует требованиям ГОСТ 25818–91 «Золы-уноса тепловых электростанций для бетонов. Технические условия» [8]. Достаточно отметить, что на электростанциях России нет лабораторий, способных определять технические параметры золы-уноса в соответствии с требованиями этого стандарта.

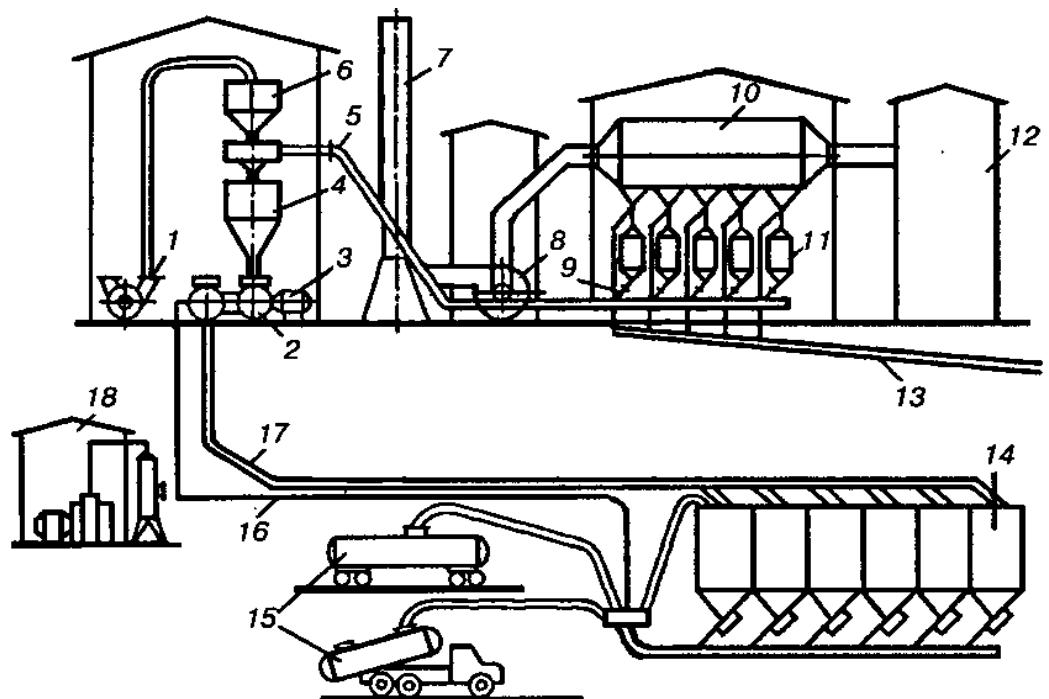
Появляются предприятия всерьез заинтересованные экономически выгодной утилизацией золошлаков, стремящиеся использовать европейские способы в России (Ээсти Энергия Нарвские электростанции, Иркутскзолопродукт, ТГК-11, Рязанская ГРЭС, Каширская ГРЭС, ТЭЦ-22 «Мосэнерго», Рефтинская ГРЭС).

4 Использование золошлаковых отходов в строительной сфере

Промышленность строительных материалов является основной отраслью строительного комплекса. Она относится к числу наиболее ресурсоемких отраслей промышленности. Материалоемкость определяется отношением количества или стоимости израсходованных на производство продукции материальных ресурсов к общему объему продукции. Учитывая, что многие минеральные и органические отходы по своему химическому составу и техническим свойствам близки к природному сырью, а во многих случаях имеют и ряд преимуществ (предварительная термическая обработка, повышенная дисперсность и др.), использование в производстве строительных материалов промышленных отходов является одним из основных направлений снижения материалоемкости этого достаточно объемного производства. В то же время снижение объемов разрабатываемого природного сырья и утилизация отходов имеет существенное экономико-экологическое значение. В ряде случаев применение сырья из отвалов промышленных предприятий практически полностью удовлетворяет потребности отрасли в природных ресурсах.

Большое количество отходов в виде золы и шлаков, а также их смесей образуется при сжигании твердых видов топлива. Их выход составляет: в бурых углях – 10-15%, каменных углях – 5-40%, антраците – 2-30%, горючих сланцах – 50-80%, топливном торфе – 2-30%. В производстве строительных материалов обычно используются золы сухого удаления и золошлаковая смесь из отвалов. Область применения золошлакового сырья в производстве строительных материалов крайне разнообразна. Наиболее значительными направлениями использования топливных зол и шлаков являются дорожное строительство, производство вяжущих, тяжелых и ячеистых бетонов, легких заполнителей, стеновых материалов. В тяжелых бетонах золы используют, в основном, в качестве активной минеральной добавки и микронаполнителя, что позволяет снизить расход цемента на 20-30%. В легких бетонах на пористых заполнителях золы применяют не только как добавки, снижающие расход цемента, но и как мелкий заполнитель, а шлаки в качестве пористого песка и щебня. Золы и шлаки используются также для изготовления искусственных пористых заполнителей легких бетонов. В ячеистых бетонах зола применяется как основной компонент или добавка для снижения расхода вяжущего.

Для применения золы в производстве строительных материалов предпочтительнее применять систему пневмоудаления золы, который представлен на рисунке 3, которая позволяет поставлять золу потребителям в сухом виде, с меньшим содержанием несгоревших частиц и предотвращать ее смерзание в отвалах зимой.



- | | |
|-----------------------------|--|
| 1 - вакуум-насос | 10 - электрофильтры |
| 2 - пневмовинтовой насос | 11 - золосборники |
| 3 - электродвигатель | 12 - котел ТЭС |
| 4 - бункер-накопитель | 13 - шламопровод на отвал золы и шлама |
| 5 - водопровод вакуумный | 14 - силосный склад золы |
| 6 - осадительная камера | 15 - отгрузка золы на ж/д и автотранспорте |
| 7- дымовая труба | 16 - трубопровод сжатого воздуха |
| 8 - дымосос | 17- водопровод напорный; компрессорная |
| 9 - пневматические задвижки | |

Рисунок 3 – Схема установки сухого отбора золы [9]

При оценке промышленных отходов как сырья для производства строительных материалов необходимо учитывать их соответствие нормам на содержание радионуклидов. Как природное, так и техногенное сырье включает радионуклиды (радий-226, торий-232, калий-40 и др.), которые являются источниками γ -радиоизлучений. При распаде радия-226 выделяется радиоактивный газ, который поступает в окружающую среду. По расчетам специалистов, он вносит до 80% в общую дозу облучения людей.

В соответствии со строительными нормами в зависимости от концентрации радионуклидов строительные материалы делятся на три класса:

1-й класс. Суммарная удельная активность радионуклидов не превышает 370 Бк/кг. Эти материалы используются для всех видов строительства без ограничений.

2-й класс. Суммарная удельная активность радионуклидов находится в диапазоне от 370 до 740 Бк/кг. Эти материалы могут быть использованы для дорожного и промышленного строительства в границах территории населенных пунктов и зоны перспективной застройки.

3-й класс. Суммарная удельная активность радионуклидов не превышает 700, но ниже 1350 Бк/кг. Эти материалы можно использовать в дорожном строительстве за границами населенных пунктов – для оснований дорог, дамб и др. В границах населенных пунктов их можно применить для строительства подземных сооружений, покрытых слоем грунта толщиной более 0,5 м, где исключено длительное пребывание людей.

Если величина суммарной удельной активности радионуклидов в материале превышает 1350 Бк/кг, вопрос о возможном применении таких материалов решают в каждом случае отдельно при согласовании с органами здравоохранения.

Содержание радионуклидов в промышленных отходах определяется их происхождением, концентрацией природных радионуклидов в исходном сырье.

4.1 Общая характеристика методов применения отходов тепловых электрических станций в строительной отрасли

Сухие золы находят наиболее широкое применение. На сегодняшний день в сфере строительства их применяют:

1. в строительстве дорог при создании дорожных полотен, одежд, сооружения насыпей, укрепления оснований и при изготовлении зольного и аглопоритового гравия;

2. в гидroteхнических сооружениях;

3. как заполнитель в асфальто- и цементобетонах, в частности реализуется:

- замена песка в тяжелых бетонах, также золошлаковые отходы могут частично заменять цемент;

- применение ЗШО при производстве легких бетонов. Одним из самых распространенных видов легкого бетона на пористых заполнителях является керамзитобетон, в котором в качестве мелкого заполнителя используется кварцевый песок;

- в производстве ячеистых бетонов – одно из самых перспективных направлений. Так как основной составляющей золы является стекловидное вещество, а не кристаллический кварц, как в песке, то зола значительно более активна и ее применение в качестве кремнеземистого компонента эффективнее;

- еще одно перспективное направление – это мелкозернистый бетон на шлакопесчаном заполнителе. Он готовится из шлака раздельного гидроудаления и природного кварцевого песка;

- в производстве портландцемента (как активные кремнеземистые добавки) в количестве 10-15%, в производстве пущолановых портландцементов марок 300-400 – до 30-40% (золопортландцемент);

- в производстве силикатного кирпича;

4. при стабилизации грунтов;

5. как самостоятельное вяжущее или добавку к неорганическим вяжущим;

6. в получении пеностекольных материалов;
7. немалое значение золошлаковые отходы могут иметь в сельском хозяйстве при производстве удобрений.

Сланцевую золу также используют для изготовления бетонов и различных типов конструкций из бетона или железобетона.

Сжигаемые на ТЭЦ угли являются природными сорбентами, содержащими примеси различных ценных элементов, включая редкие земли и драгоценные металлы. При сжигании их содержание в золе возрастает в 5-6 раз и может представлять промышленный интерес. Разработан метод доведения тяжелой фракции после гравитации с помощью усовершенствованных обогатительных установок, в результате которой из нее извлекаются драгметаллы и, по мере накопления, другие ценные компоненты (медь, редкие и др.). Выход золота из отдельных изученных золоотвалов может составлять 200-600 мг из 1 т ЗШО. Обычно это тонкое золото, которое обычными методами не извлекается. Также возможно получение так называемого вторичного угля, выводимого методом флотации. Он состоит из частиц несгоревшего угля и продуктов его термической переработки – кокса и полукукса, характеризуется повышенной теплотворной способностью (>5600 ккал) и зольностью (до 50-65%). Если к нему добавить мазут, то вторичный уголь можно сжигать на ТЭЦ, либо продавать населению как топливо в виде брикетов. Выход до 10-15% от массы перерабатываемых ЗШО. Размеры частиц угля 0-2 мм, реже до 10 мм.

Практически без переработки отходы от сжигания углей на ТЭЦ можно использовать для рекультивации отработанных золоотвалов и заполнения выработок карьеров, пустот и провалов в земной коре [10].

Помимо вышеперечисленного, золы уноса используются в литейном производстве; обработанные силикагелем золы – для удаления с поверхности воды мазута или остатков кислот; для быстрого высушивания шламов.

Большое количество золошлаковой смеси используется для строительства ограждающих дамб на золошлакоотвалах, т.е. на собственные нужды ТЭС.

Самым востребованным видом отходов теплоэнергетики является сухая зола уноса, которую также используют в производстве цемента и которую Красноярские ТЭЦ-1 и ТЭЦ-2 реализуют порядка 42 тысяч тонн, а Барнаульская ТЭЦ-3 (алтайская станция СГК) - порядка 45 тысяч тонн в год. Кроме того, завод спецматериалов на территории Беловской ГРЭС (кузбасская станция СГК) ежегодно отгружает потребителям (в том числе, зарубежным) до 10 тысяч тонн микросферы, полученной из легкой фракции золы уноса. Она применяется в качестве добавки при изготовлении тампонажных смесей для цементирования стенок нефтяных скважин. Впервые продажу сухой золы и шлаков компания СГК начала в 2007 году. Тогда было реализовано всего 7 тысяч тонн отходов. В 2013 году объемы реализации увеличились в разы и составили 36,525 тысяч тонн золошлаковых отходов. Таким образом, среднегодовые объемы реализации ЗШО за 6 лет работы на этом рынке

выросли более чем в пять раз. Такой рост спроса доказывает то, что этот вид сырья очень ценен для строительной отрасли. При этом золошлаковые отходы покупают не только предприятия из Красноярского края, но и из других регионов России.

Благодаря инициативной работе СГК в этом направлении, в минувшем году объем реализованной и вовлеченной в хозяйственный оборот ЗШО (662,023 тысяч тонн) оказался выше на 34% количества образованных энергетическими предприятиями филиала золошлаковых отходов (495 тысяч тонн).

4.2 Использование отходов энергетики в производстве строительных материалов

4.2.1 Применение зол сухого улавливания и золошлакового материала в качестве добавки к битумным или полимерно-битумным вяжущим при дорожном строительстве

В зависимости от требуемой прочности и назначения укрепленного грунта в конструкции дорожной одежды рекомендуются следующие дозировки вяжущих материалов (по массе грунта):

- зола уноса - не менее 15 %;
- известково-битумная паста - 4-5 % (в пересчете на битум);
- нефть - 4-6 %.

Приготовление укрепленного грунта осуществляется по традиционной технологии: либо в стационарных условиях, либо на месте производства работ с применением грунтосмесительных машин. Уход за готовым слоем укрепленного грунта производят розливом битумной эмульсии: 0,8-1 л на 1 м² поверхности укрепленного материала.

Глинистый грунт, укрепленный зольно-битумным вяжущим, имеет низкие водонасыщение и набухание.

Введение битумных вяжущих в зологрунты позволяет:

- оптимизировать процессы твердения последних во времени;
- использовать золы с различным содержанием свободной CaO;
- снижать расход золы на 10 % (массы грунта);
- расширять номенклатуру укрепляемых грунтов за счет использования суглинков и глин.

Установлена эффективность добавки сланцевой золы (2-4,5 % массы смеси) в сочетании с ФПС (фосфополигидрат сульфата кальция) для укрепления грунтов. Применение этого комплексного вяжущего позволяет уже после 28 суток твердения получить материал, отвечающий требованиям 1 класса прочности.

Выделяют два направления использования отвальных золошлаковых смесей гидроудаления в устройстве слоев дорожных одежд:

- обработка цементом или известью и применение в качестве конструктивных слоев дорожных одежд;
- как добавка к вяжущим в целях их экономии при укреплении грунтов.

Золошлаковые смеси, обработанные цементом или известью, проявляют в процессе твердения гидравлическую активность. Структурообразование обеспечивается взаимодействием клинкерных минералов с водой с образованием цементирующего вещества. Выделяющаяся при этом окись кальция взаимодействует с кремнеземистой и глиноземной составляющими золошлаковой смеси и способствует созданию новообразований. В результате улучшаются прочность укрепленного материала в водонасыщенном состоянии и его морозостойкость.

Доказано, что включение в состав смеси целесообразно небольших добавок (10-15% массы золошлаковой смеси) песка средней размеров частиц увеличивает прочность готового материала в 6-10 раз.

Введение в цемент известковых отходов (содержание свободной CaO – 57 %) в количестве 5-7 % (массы смеси) значительно повышает морозостойкость материала.

Для повышения морозостойкости песчаных грунтов, укрепленных цементом с добавками золошлаковых смесей гидроудаления, целесообразно использовать добавки хлористого кальция или пластифицирующие добавки типа СДБ. Введение 1-3% (массы золы) хлористого кальция позволяет активизировать формирование структуры укрепленного грунта и получать материал, отвечающий требованиям I и II классов прочности.

Золоизвестковое вяжущее готовят либо путем совместного помола золошлаковой смеси с комовой негашеной известью, либо путем ее перемешивания с известью-пушонкой или молотой негашеной известью в установках принудительного действия. Добавка извести должна составлять 15-25% массы получаемого вяжущего.

Обработка каменноугольных и буроугольных золошлаковых смесей жидким битумом позволяет значительно уменьшить значение коэффициента теплопроводности по сравнению с золошлаковыми смесями, обработанными цементом.

4.2.2 Применение зол и золошлаковых смесей в асфальтобетоне и цементобетоне

Установлена эффективность использования зол уноса и сланцевых фусов в качестве минерального порошка при приготовлении асфальтобетонных смесей для устройства покрытий автомобильных дорог и аэродромов.

Имеется опыт применения в дорожных асфальтобетонах материалов из отвалов золы и шлака, а также отходов производства органических полимеров.

Также выявлено, что введение зол и золошлаковых смесей от сжигания каменных и бурых углей, торфов в качестве минерального порошка для приготовления асфальтобетонных смесей позволяет получать материал с

нормативными физико-химическими характеристиками. Наиболее высокие показатели свойств асфальтобетонных смесей получали при активации или домоле зол. Применение золошлаковых материалов целесообразно в асфальтобетоне для повышения его сопротивления гололедице.

Отвальные золошлаковые смеси можно использовать в качестве однокомпонентного заполнителя в мелкозернистых бетонах (без природного песка и крупного заполнителя), а также в различных бетонах в сочетании с природными или искусственными заполнителями.

Содержание в золошлаковой смеси зерен мельче 0,315 мм должно составлять 20-50 % по массе. Расход цемента поднимается на 10-20 % по сравнению с бетонными смесями традиционного состава.

Мелкозернистый бетон на заполнителе из золошлаковой смеси обладает прочностью 50-500 кгс/см², морозостойкостью 15-150 циклов, теплопроводностью 0,87-0,93 Вт/(м °C).

Обосновано, что применение золошлаковых смесей при производстве бетонных и железобетонных изделий позволяет экономить до 30 % цемента.

Бетоны на золопесчаном заполнителе являются разновидностью мелкозернистых бетонов на золошлаковых смесях. Их получают введением в тоющие цементопесчаные смеси золы ТЭС, которая выполняет функции микронаполнителя и пущцолановой добавки. Она заполняет пустоты между песчинками, увеличивает содержание теста вяжущего и объемную концентрацию твердой фазы в бетонной смеси.

Оптимальные составы золопесчаных бетонов достигаются при соотношении компонентов (по массе) цемент : зола : песок = (1 : 0,2 : 3,8) - (1 : 0,8 : 5,4). Содержание золы увеличивает прочность песчаных бетонов на 20-50 %.

При приготовлении тяжелого бетона золошлаковая смесь может частично или полностью заменить песок. Целесообразно вводить золошлаковую смесь вместо мелкозернистого песка, требующего повышенного расхода цемента. Золошлак улучшает зерновой состав и укладываемость бетонной смеси при экономии дорогостоящих заполнителей, а в отдельных случаях и цемента.

Выявлена причина использования высушенной золошлаковой смеси в качестве компонента золокарбонатоцементного вяжущего для производства сухих смесей. Такое комплексное вяжущее позволяет экономить до 30-50 % цемента в зависимости от марки бетона.

Также золошлаковые смеси нашли применение в виде пористых зольных заполнителей в керамзитобетоне, в бетонах на глиноземном керамзите, на зольном аглопоритовом гравии, на безобжиговом зольном гравии.

4.2.3 Золосодержащие бетоны и растворы

Бетоны с добавкой золы-уноса. Исследованиями и практикой установлена эффективность введения сухих пылевидных зол при изготовлении бетонных и

растворных смесей в качестве активных минеральных добавок и микронаполнителей.

Бетонные смеси с золами обладают большей связностью, лучшей перекачиваемостью, меньшим водоотделением и расслоением. Бетон имеет при этом большую прочность, плотность, водонепроницаемость, стойкость к некоторым видам коррозии, меньшую теплопроводность.

Наиболее эффективны как активные добавки в бетонах кислые золы, не обладающие вяжущими свойствами; их пущоланическая активность проявляется во взаимодействии с цементным вяжущим. В зависимости от этой характеристики по отношению к конкретному цементу, водопотребности и удобоукладываемости бетонной смеси, условий и длительности твердения удается существенно сократить расход цемента.

Оптимальное содержание золы ($\text{кг}/\text{м}^3$), составляет для бетонов: пропариваемого - около 150; нормального твердения - 100. В соответствии с известными рекомендациями применение 150 кг золы-уноса на 1 м^3 тяжелого бетона классов В7,5-В30 позволяет сэкономить 40-80 кг цемента. В бетонах, подвергаемых тепловой обработке, применение золы дает возможность экономить до 25% цемента.

Значительный практический опыт применения золы-уноса в бетонах накоплен в гидротехническом строительстве. В настоящее время доказана эффективность замены 25-30% портландцемента золой-уносом для бетонов внутренних зон массивных гидротехнических сооружений и 15-20% для бетона в подводных частях сооружений. В ряде случаев обоснована целесообразность увеличения содержания в гидротехническом бетоне золы-уноса до 50-60% от массы цемента. При замене золой до 40% цемента при их совместном измельчении прочность бетона через 28 сут близка, а через 60 сут практически равна прочности бетона без добавки.

Впервые в 1961 г. произведена опытно-производственная укладка бетона с добавкой 15-20% золы-уноса в тело плотины Братской ГЭС. Было уложено около 5000 м^3 бетона с золой, который по основным физико-механическим характеристикам не отличался от бетона без добавки золы.

При строительстве Днестровского гидроузла введение в вяжущее 25% золы не снизило прочностные показатели гидротехнического бетона в возрасте 180 сут и позволило повысить коэффициент эффективности использования цемента.

В настоящее время все шире применяется зола-унос в производстве сборных железобетонных конструкций. Сухую золу вводят в бетон классов В7,5-В40 в количестве до 20-30% от массы цемента. Однако при чрезмерном содержании золы возможно всучивание поверхности пропариваемых изделий.

Одной из существенных характеристик золы как активной минеральной добавки в бетон является ее гидравлическая активность. Традиционными методами она определяется по способности зол поглощать известь из известкового раствора, а также проявлять вяжущие свойства в сочетании с гидратной известью. Ускоренным методом определения активности зол

является микрокалориметрический метод, в соответствии с которым активность золы определяется по величине теплоты ее смачивания в полярных и неполярных жидкостях, учитывая коэффициент гидрофильности и ряд других параметров.

Требования к золам, как к активным минеральным добавкам в бетонную смесь, обусловлены физико-химическим механизмом их влияния на процессы твердения и структурообразования бетона. Гидравлическая активность зол, как и других веществ пурпуроланового типа, в значительной мере обусловлена химическим взаимодействием входящих в них оксидов кремния и алюминия с гидроксидом кальция, выделяющимся при гидролизе клинкерных минералов, с образованием гидросиликатов и гидроалюминатов кальция. Гидратации зол способствует их стекловидная фаза, кристаллическая фаза в этом процессе практически инертна. Химическая активность зол непосредственно связана также с их дисперсностью.

По современным представлениям прочность цементов и бетонов с добавкой золы зависит от толщины затронутого химическими процессами поверхностного слоя зольной частицы.

Положительному влиянию золы на структурообразование бетона способствует также «эффект мелких порошков», расширяющих свободное пространство, в котором осаждаются продукты гидратации, что ускоряет процесс твердения цемента.

Действующие нормативные документы разрешают применять золу-унос в качестве добавки для приготовления бетонов сборных и монолитных конструкций зданий и сооружений, кроме конструкций, эксплуатируемых в средах со средней и сильной агрессивностью.

В зависимости от области применения золу подразделяют на виды: I - для железобетонных конструкций и изделий; II - для бетонных конструкций и изделий; III - для конструкций гидротехнических сооружений. В пределах отдельных видов дополнительно выделяют классы золы для бетонов: А - тяжелого; Б - легкого.

Удельная поверхность золы класса А должна быть не менее $2800 \text{ см}^2/\text{г}$, а класса Б - $1500-4000 \text{ см}^2/\text{г}$. Остаток на сите № 008 для золы класса А не должен превышать 15% по массе. Влажность золы сухого отбора должна быть не более 3%.

Золу-унос не рекомендуется применять в бетонах, предварительно армированных напряженной термически упрочненной арматурой.

Для применения в бетонах образцы из смеси золы и цемента проверяют кипячением в воде на равномерность изменения объема.

Подбор составов бетона с добавкой золы заключается в определении такого соотношения компонентов, включая золу, при котором требуемые свойства бетонной смеси и бетона достигаются при минимальном расходе цемента. В бетонной смеси зола выполняет роль не только активной минеральной добавки, увеличивающей количество вяжущего, но и микронаполнителя, улучшающего гранулометрию песка и активно влияющего

на процессы структурообразования бетона. Учитывая полифункциональный характер зольной добавки, введение ее лишь взамен части цемента или части песка не позволяет решить задачу оптимизации составов.

Уменьшение расхода цемента при введении золы-уноса прежде всего целесообразно при «излишней активности» цемента, т. е. в тех случаях, когда марка применяемого цемента выше рекомендуемой. При применении золы ТЭС допускается снижение минимальной типовой нормы расхода цемента для неармированных бетонных изделий до 150 кг/м³, а для армированных железобетонных - до 180 кг/м³. Суммарный расход цемента и золы при этом должен быть соответственно не менее 200 и 220 кг/м³. Количество золы назначается пропорционально требуемому проценту снижения «излишней активности» цемента.

Для бетонов с добавкой золы характерен сравнительно интенсивный рост прочности в поздние сроки твердения. По данным японских исследователей, прочность при сжатии бетонов, содержащих 190 и 240 кг/м³ цемента и 30%-ную добавку золы в 10-летнем возрасте, соответственно в 1,44 и 1,43 раза превышает прочность бетона в возрасте 3 мес. Отмечается возможность и более интенсивного роста прочности при сжатии. При испытании кернов из бетонного дорожного покрытия, в котором 30% цемента заменено золой, наблюдалась прочность при сжатии 37 МПа через 3 мес и 61 МПа - через 9,5 лет.

Данные о росте прочности бетонов нормального твердения, изготовленных на портландцементе Каменец-Подольского завода с добавкой золы Ладыженской ГРЭС приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Интенсивность роста прочности бетонов во времени

Расход, кг/м ³		Прочность при сжатии, МПа/ относительное возрастание прочности по сравнению с прочностью бетона в возрасте 28 суток		
Цемент	Зола	28 суток	90 суток	180 суток
198	-	15,3	19,5/1,27	20,8/1,35
		19,5	27,9/1,43	30,8/1,58
		18,7	23,4/1,25	30,5/1,63
		22,9	28,8/1,26	35/1,53
		28,6	38,4/1,34	41,3/1,44
		23,9	34,7/1,45	42/1,76
		37,6	48,8/1,3	51/1,36
		37,9	46,5/1,23	48,2/1,27

Из данной таблицы видно, что в период 28 - 180 суток интенсивность роста прочности при сжатии золосодержащих бетонов примерно такая же или выше, чем у бетонов, не содержащих золу.

В некоторых работах отмечается, что при длительном твердении интенсивно растет прочность золосодержащих бетонов не только при сжатии, но также при растяжении и изгибе.

Снижение расхода цемента при введении в бетонную смесь золы приводит к уменьшению тепловыделения бетона и его разогрева в начальный период. Детальные исследования применения зольных цементов в гидротехнических бетонах показали, что тепловыделение в бетоне на цементах с 25% золы Иркутской и Красноярской ТЭЦ на 15-25% ниже тепловыделения бетона на цементе без добавок.

Введение в состав цементов или непосредственно в бетонные смеси значительного количества минеральных добавок для уменьшения тепловыделения оправдан лишь в тех случаях, когда они не вызывают повышения водопотребности. К таким добавкам, наряду с доменным шлаком, относится зола. При использовании золы-унос наблюдается 50%-ное уменьшение экзотермии твердеющего бетона в возрасте 28 сут.

Зола, как и другие активные минеральные добавки, при умеренном содержании в бетонной смеси повышает водонепроницаемость бетона. Это объясняется гидравлическими свойствами зол и повышением плотности бетона. Значительно повышает водонепроницаемость введение в бетон воздухововлекающей добавки и хлористого кальция. Наиболее эффективным оказалось совместное введение двух добавок.

К отрицательным последствиям введения золы в бетонную смесь можно отнести снижение стойкости к истиранию и кавитации.

Добавка золы в бетон не рекомендуется при производстве работ в осенне-зимний период методом «термоса», так как она замедляет твердение бетона при низких температурах. При строительстве в районах с жарким и сухим климатом уход за бетоном, имеющим в своем составе золу, должен быть более длительным, чем в районах с умеренным климатом.

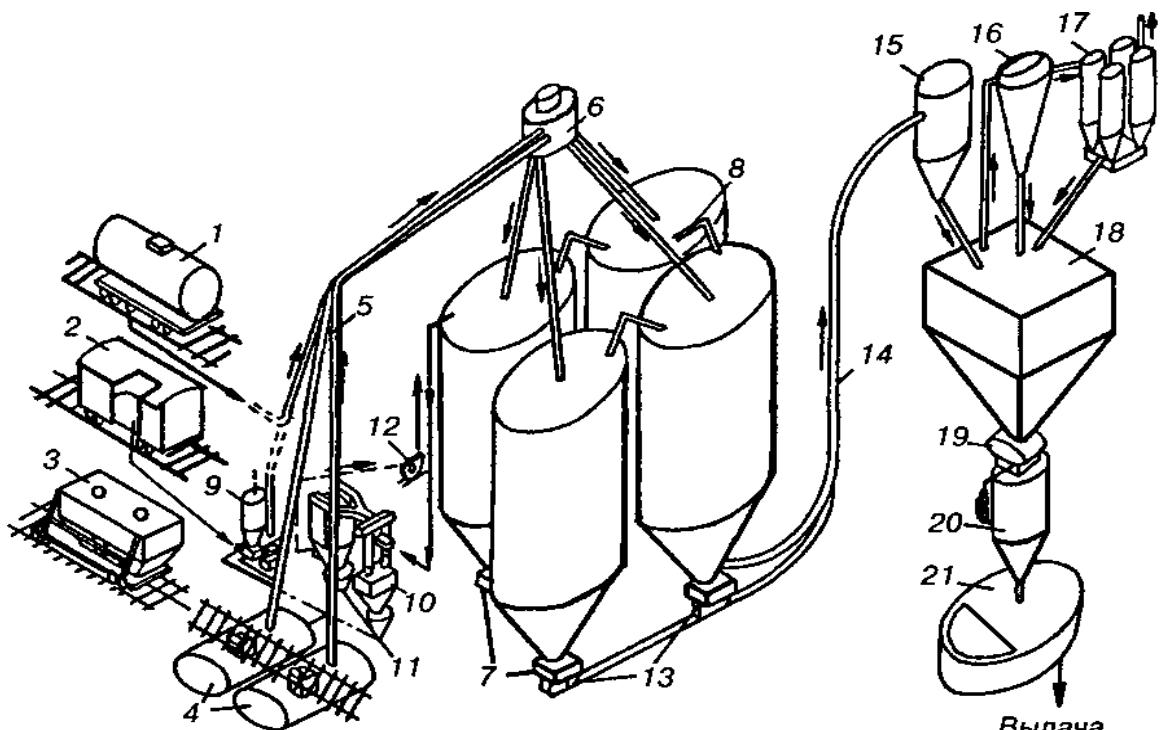
Как и другие гидравлические добавки, зола-унос снижает морозо-и воздухостойкость бетона. В бетонах морозостойкостью Р50 и выше или подвергаемых попеременному увлажнению и высушиванию возможность применения золы устанавливается специальными исследованиями. Снижение морозостойкости бетона можно компенсировать введением воздухововлекающих добавок.

Степень снижения морозостойкости бетонов при введение в них зол различна и зависит от их характеристик. К значительному разбросу основных физико-механических свойств бетона, в том числе и морозостойкости, приводит неоднородность состава и свойств золы-уноса.

Накоплен положительный опыт по применению литых золосодержащих бетонных смесей в монолитных тонкостенных железобетонных конструкциях. В состав бетона вводят 100-150 кг/м³ золы и пластифицирующую добавку. Бетоны из литых смесей с добавкой золы имеют достаточно высокие физико-механические свойства, а конструкции из них - хорошее качество поверхности.

Пластичность бетонных смесей благодаря введению в их состав золы существенно увеличивается.

Типовая технологическая линия по производству бетонной смеси с добавкой золы-уноса (рисунок 4) включает приемное устройство, склад, расходный бункер и дозатор. Золу доставляют железнодорожным транспортом в вагонах типа «Хоппер». Возможна ее доставка и другими специальными транспортными средствами.



- | | |
|---|--|
| 1 - железнодорожная цистерна | 12 - вентилятор |
| 2 - полуwagon | 13 - струйный насос |
| 3 - вагон типа «Хоппер» | 15 - бункер-осадитель |
| 4 - приемное устройство | 16 - циклон |
| 5, 14 - трубопроводы | 17 - блок мультициклонов |
| 6 - распределительное устройство сыпучих материалов | 18 - расходный бункер |
| 7 - донный пневморазгружатель | 19 - устройство для порционной подачи золы-уноса |
| 8 - силосные банки | 20 - дозатор |
| 9 - пневмо-разгрузчик | 21 – бетоносмеситель |
| 10, 11 - группа циклонов с пылесборниками | |

Рисунок 4 – Схема введения золы-уноса в бетонную смесь

После разгрузки золы сжатый воздух подается в емкость для аэрирования и создания необходимого давления, а также в смесительное отделение для образования воздушной среды определенной расчетной концентрации. Взрыхленная сжатым воздухом аэрированная зола поступает под действием разности давлений в смесительную камеру, откуда по транспортному

трубопроводу - на склад. Рабочее давление сжатого воздуха на входе трубопровода пневмосистемы зависит от концентрации золы-уноса и дальности подачи.

С помощью распределительного устройства, входящего в комплект установки, золу-унос распределяют по силосам. Для очистки воздуха, выходящего из силосов, предусмотрены фильтры и циклоны, под которыми установлены пылесборники. Пыль отсасывается и транспортируется на склад. При помощи струйных или камерных насосов зола подается в бункер-осадитель, установленный в надбункерном отделении бетоносмесительного узла, а затем в расходные бункеры.

Механизмы тракта подачи золы выключаются автоматически по сигналу указателя уровня, установленного в расходном бункере. Не осевшая зола вместе с воздухом попадает в циклоны, где смесь вторично очищается и осаждается. Из дозатора зола подается непосредственно в бетоносмеситель. Воздух, поступающий в приемное устройство и струйный насос, проходит масловодоочистку. При использовании неочищенного воздуха зола налипает на стенки трубопроводов и вся система выходит из строя.

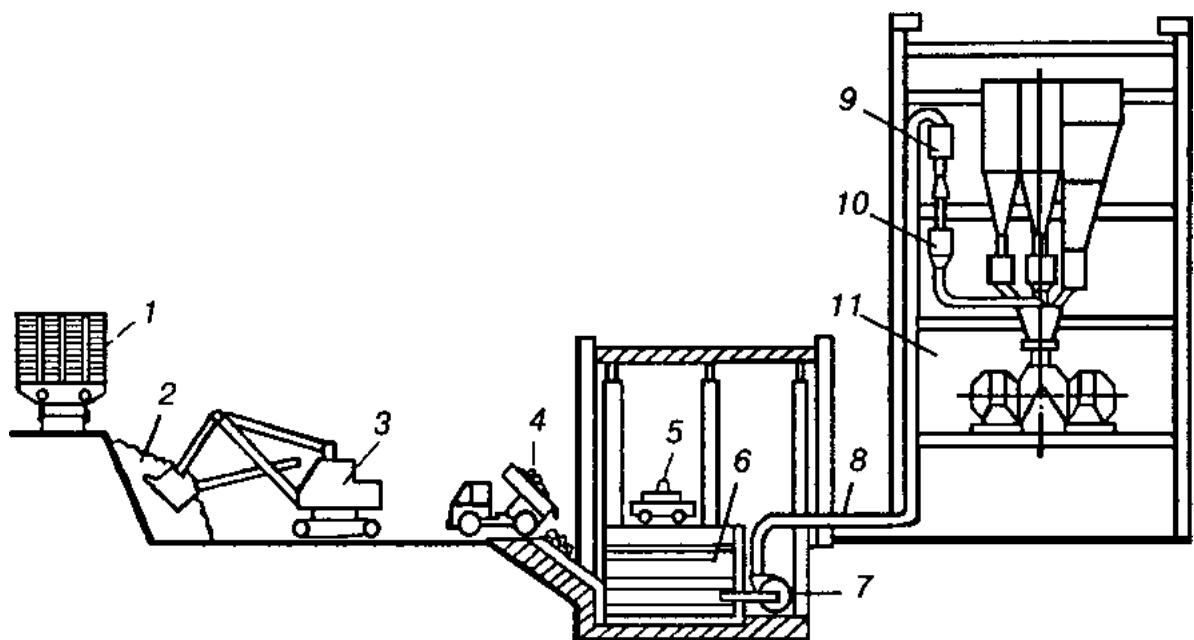
Таким образом, для хранения, транспортировки и дозирования золы сухого отбора применяют, в основном, такие же технологическое оборудование и транспортные средства, что и для цемента.

Ячеистые бетоны. Шлаковые и зольные вяжущие, как показал многолетний опыт, с успехом могут заменять в производстве ячеисто-бетонных изделий известково-кремнеземистые и известково-цементные вяжущие. Молотые топливные шлаки и пылевидные золы позволяют также заменить тонкодисперсный кварцевый песок в составе ячеисто-бетонных изделий. Наряду с автоклавной технологией при применении шлакозольных вяжущих повышенной активности представляется возможным получение ячеистых бетонов в условиях пропаривания при атмосферном давлении. В композиции с портландцементом применение высокодисперсных зол и шлаков способствует твердению ячеистых бетонов и без тепловой обработки.

На основе бесклинерных и малоклинерных шлаковых вяжущих при мокром и сухом помоле возможно получение ячеистых бетонов с прочностью при сжатии 8-12 МПа при плотности 1000-1200 кг/м³, 6-9 МПа при 800-1000 кг/м³, 4-5,5 МПа при 600-700 кг/м³ и 1-2,5 МПа при плотности 300-500 кг/м³. Верхние значения прочности относятся к ячеистым бетонам, изготовленным на основе высоко- и среднекальциевых гранулированных шлаков, а также на основе кислых гранулированных шлаков и золы-уноса с добавкой 50-75 кг/м³ портландцемента.

Замена тонкомолотого известково-песчаного вяжущего известко-вощлаковым или зольным позволяет снизить расход извести 2- 3 раза.

Зола и золошлаковые смеси в производстве ячеистых бетонов могут использоваться как в сухом виде, так и в виде шлама (рисунок 5).



- 1 - железнодорожный полувагон
 2 - открытый склад золошлаковой смеси, доставленной из отвала
 3 - экскаватор
 4 - автосамосвал для подачи золошлаковой смеси в бассейн
 5 - самоходный шламосмеситель
- 6- бассейн для приготовления шлама
 7 - шламонасос
 8 - шламопровод в бункер бетоносмесительного отделения
 9 - бункер для шлама
 10 - дозатор
 11 - бетоносмесительное отделение

Рисунок 5 – Схема переработки золошлаковой смеси и использования в производстве бетонной смеси в виде шлама

Ячеистый золобетон является разновидностью ячеистых бетонов, в которых зола выполняет роль кремнеземистого компонента. По сравнению с обычным кремнеземистым компонентом - молотым кварцевым песком - зола обладает более высокой реакционной способностью, требует значительно меньших (а при достаточной дисперсности вообще не требует) затрат на измельчение и позволяет получать ячеистый бетон меньшей средней плотности. Недостатки золы как кремнеземистого компонента следующие: наличие несгоревшего топлива и нестабильность химического состава. Технологические требования к золе, применяемой в ячеистых бетонах, таковы: содержание стекловидных и оплавленных частиц должно составлять не менее 50%, несгоревших частиц бурого угля - не более 3%, каменного - не более 5%; удельная поверхность 3000-5000 см²/г; набухание в воде не должно превышать 5%.

С применением золы-уноса выпускается пока примерно 10% общего объема производства ячеистобетонных изделий, причем значительную часть от этого количества составляют изделия, изготовленные на базе сланцевой золы. Эффективное использование сланцевой золы обусловлено ее химико-минералогическим составом (свободный оксид кальция – 15-25%, клинкерные минералы – 10-15%, ангидрит – 7-10%, активное стекло – 30-35%), а также

комплексом технологических приемов, в результате которых обеспечивается гидратация свободного оксида кальция в виде пережога до автоклавной обработки (тонкий помол золы, литьевой способ формования и выдерживания сырца при повышенной температуре в условиях, исключающих большие температурные перепады). Сланцевая пылевидная зора должна содержать оксид кальция в количестве не менее 35%, в том числе свободного CaO – не менее 15-25%, в ней недопустимо более 6% БОз и 3% ($K_2O + H_2O$).

Ячеистые бетоны с применением золы в основном выпускают в виде газозолобетонов со средней плотностью 400-1200 кг/м³. Из них изготавливают теплоизоляционные изделия, панели, блоки и плиты для наружных стен, покрытий, межэтажных перекрытий и внутренних перегородок (рисунок 6).

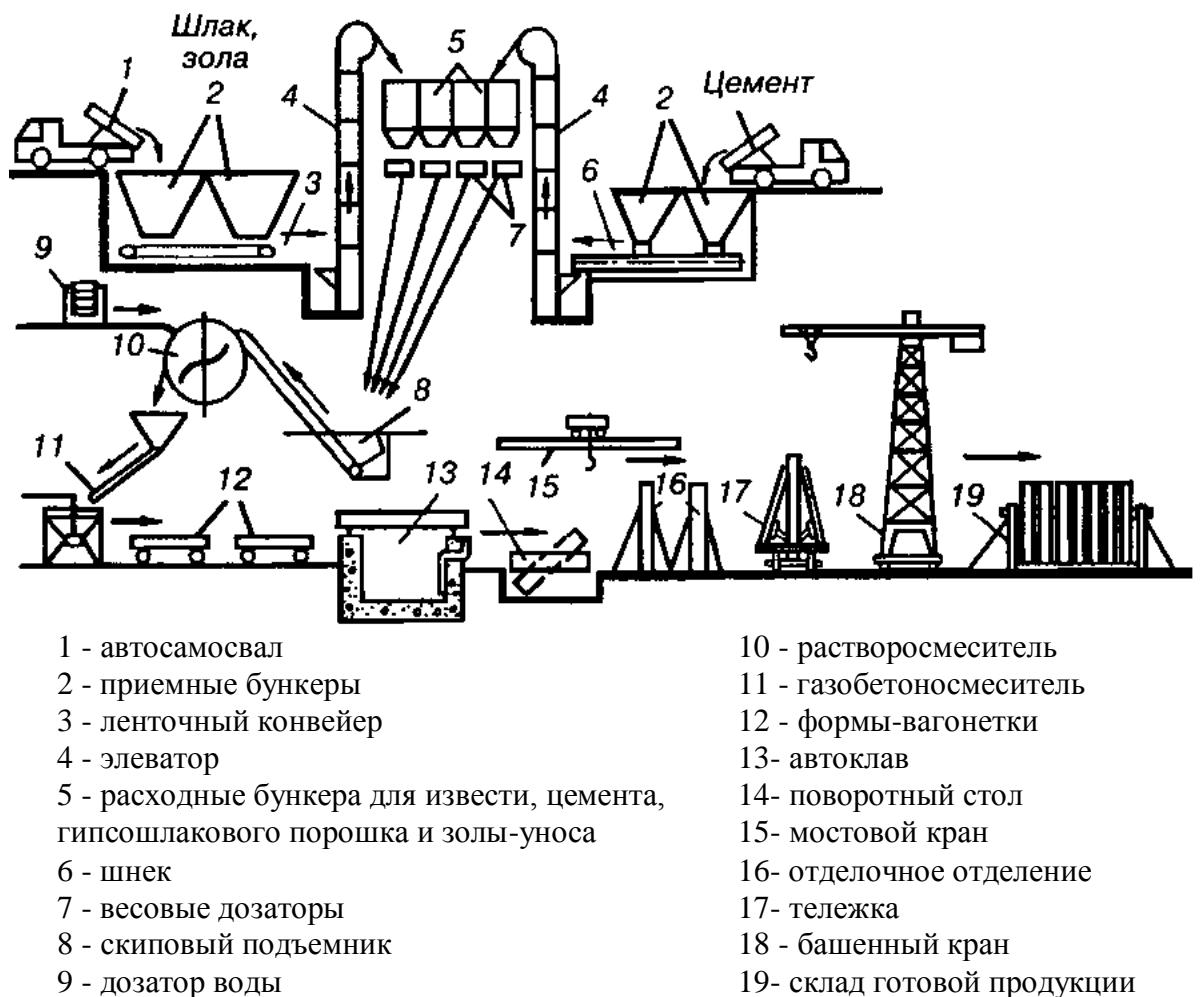


Рисунок 6 – Схема производства газозолошлакобетонных изделий

Прочность ячеистых золобетонов при сжатии составляет 0,5- 15 МПа при средней плотности 400-1200 кг/м³, а морозостойкость достигает 150 циклов. Ячеистые золобетоны на цементе имеют значительно большую стойкость, чем на извести. Негативной особенностью золобетонов является их способность к высокому сорбционному увлажнению, вызываемому значительной микропористостью золы. Они отличаются также большей чувствительностью к

циклическому увлажнению и высушиванию, чем кирпич или тяжелый бетон. Для защиты от агрессивного воздействия атмосферы на изделия из ячеистых золобетонов наносят различные покрытия.

Экономическая эффективность ячеистых золобетонов обусловлена заменой песка золой, уменьшением в 1,2-1,5 раза расхода известкового вяжущего по сравнению с известково-песчаным и сокращением примерно в 2 раза капитальных вложений на добычу и переработку исходного сырья [9].

4.2.4 Силикатный кирпич, керамические и плавленые материалы на основе зол и шлаков ТЭС

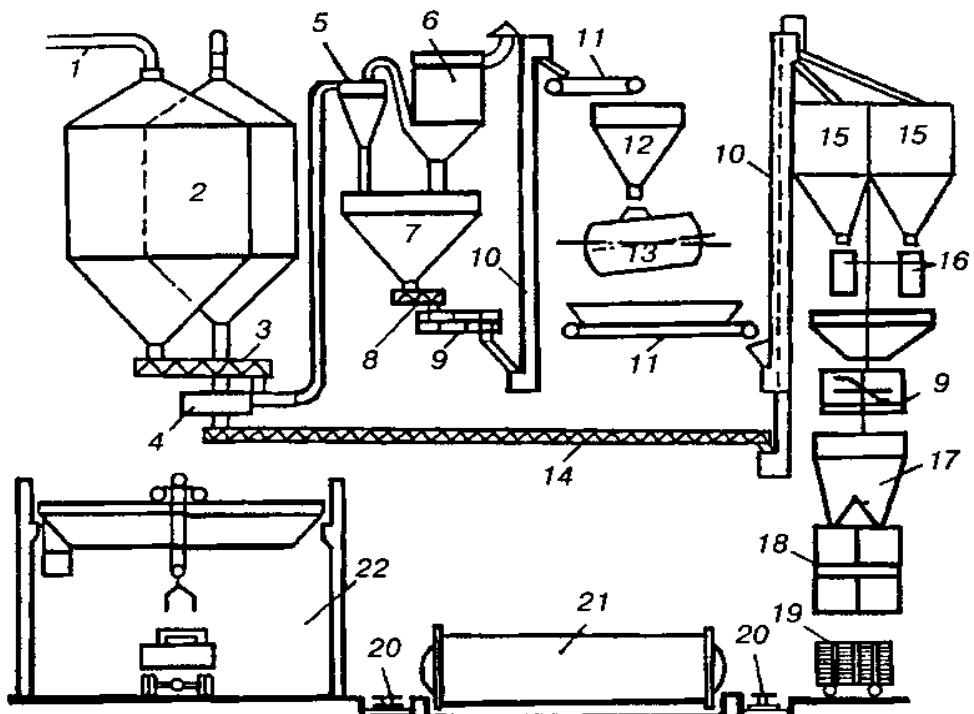
Золы и шлаки ТЭС являются эффективным сырьем для изготовления силикатного кирпича, зольной керамики, минеральной ваты, стекла. Применение топливных зол и шлаков в производстве рассматриваемых материалов обеспечивается совокупностью их свойств: химическим взаимодействием с известью, дисперсностью, спекаемостью, теплотворной способностью, способностью давать силикатный расплав. В зависимости от целевого назначения золошлакового сырья и применяемых технологий ведущее значение приобретают те или иные из указанных свойств.

Силикатный кирпич. На долю силикатного кирпича приходится значительная часть всего объема стеновых материалов. Приведенные затраты на возведение стен из силикатного кирпича составляют примерно 84% по сравнению с необходимыми затратами при использовании керамического кирпича. Расход условного топлива и электроэнергии на производство силикатного кирпича в 2 раза ниже, чем керамического. На получение 1 тыс. шт. силикатного кирпича расходуется в среднем 4,9 ГДж тепла, половина которого составляет тепло на обжиг извести, а другая - на автоклавную обработку и другие технологические операции.

В производстве этого материала золы и шлаки ТЭС используются как компонент вяжущего или заполнителя (рисунок 7). В первом случае расход золы достигает 500 кг на 1 тыс. шт. кирпича, во втором - 1,5-3,5 т. Оптимальное соотношение извести и золы в составе вяжущего зависит от активности золы, содержания в извести активного оксида кальция, крупности и гранулометрического состава песка и других технологических факторов и может колебаться в широком диапазоне. При введении угольной золы расход извести снижается на 10-50%, а сланцевые золы с содержанием ($\text{CaO} + \text{MgO}$) до 40-50% могут полностью заменить известь в силикатной массе. Зола в известково-зольном вяжущем является не только активной кремнеземистой добавкой, но также способствует пластификации смеси и повышению в 1,3-1,5 раза прочности сырца, что особенно важно для обеспечения нормальной работы автоматов-укладчиков. Эффективность введения золы повышается с ростом удельной поверхности известково-зольного вяжущего. При этом в зольном компоненте силикатного кирпича должно содержаться не более 3-5% несгоревшего топлива и не менее 10% оплавленных частиц.

Целесообразно использовать золы и шлаки антрацитовых углей, в которых содержание несгоревшего топлива составляет 15-20%. Основная масса несгоревшего топлива содержится внутри частичек аморфизированного глинистого вещества, оплавленного снаружи. Содержание остеклованных частиц в антрацитовых золах составляет 60- 80% по массе

Известково-кремнеземистое вяжущее в производстве силикатного кирпича получают совместным помолом комовой негашеной извести с золой и кварцевым песком. Удельная поверхность - 4000- 5000 см²/г, остаток на сите № 02 - не более 2%.



- | | | |
|-----------------------|------------------------|------------------------------|
| 1 - пневмоконвейер | 9 - смеситель | 16- дозатор |
| 2 - силосный склад | 10 - элеватор | 17- бункер пресса |
| 3 - шнек | 11 - конвейер | 18 - пресс |
| 4 - пневмонасос | 12 - бункер-мерник | 19 - запарочная тележка |
| 5 - циклон | 13- реактор | 20 - передаточная тележка |
| 6 - рукавный фильтр | 14 - шнек | 21 - автоклав |
| 7 - расходный бункер | 15 - бункер для золы и | 22 - склад готовой продукции |
| 8 - винтовой питатель | цемента | |

Рисунок 7 – Схема производства силикатного кирпича из высококальциевых зол

Прочность сырца и готового кирпича можно повысить частичной заменой кварцевого песка золошлаковыми отходами, в результате чего улучшается гранулометрический состав смеси. При замене в силикатных смесях 20-30% кварцевого песка золой прочность сырца повышается на 30-40%, запаренных образцов - на 60-80%. Эффективна также частичная замена кварцевого песка дробленым до крупности не более 5 мм топливным шлаком.

При замене золой более 30% кварцевого песка возможно ухудшение формовочных свойств смеси в результате вовлечения воздуха в дисперсную известково-зольную массу при формировании и расслаивании сырца. Для формования известково-зольных смесей револьверные прессы, применяемые в производстве силикатного кирпича, заменяют колено-рычажными, используемыми для прессования керамического кирпича и огнеупоров из полусухой массы. Такие прессы создают двухстороннее приложение усилий, что обеспечивает удлиненное время прессования.

Оптимальное содержание золы и шлака в силикатной смеси зависит от зернового состава и способа формования, возрастая с модулем крупности и циклом прессования.

На прессах двухстороннего действия с увеличенным циклом и повышенным давлением при прессовании можно формовать силикатные массы с содержанием золы до 50%, а шлака - до 35%. Суммарное содержание активных CaO и MgO в силикатной массе должно составлять 6-8%, влажность - 6-10%. Высококальциевые и кислые золы, содержащие значительное количество свободного оксида кальция, должны предварительно гаситься паром под давлением. Золы, не содержащие свободный оксид кальция, в гашении не нуждаются, но при смешивании с известью должны подвергаться обычному силосованию.

Силикатный кирпич с добавками зол и топливных шлаков твердеет в автоклавах при давлении насыщенного пара 0,8-1,6 МПа. Рекомендуемая выдержка - 4-8 ч. Получаемый материал по водо- и морозостойкости превосходит обычный силикатный кирпич, имеет меньшие значения водопоглощения и водопроницаемости, лучший товарный вид.

Преимуществом кирпича из золосиликатной смеси оптимального состава является более низкая, чем у обычного, средняя плотность ($1700-1800 \text{ кг}/\text{м}^3$ против $1900-2000 \text{ кг}/\text{м}^3$).

Используя золы ТЭС, получен пористый силикатный кирпич с такими свойствами: плотностью $1250-1400 \text{ кг}/\text{м}^3$; прочностью 10- 17,5 МПа, пористостью 27-28%, морозостойкостью 15-35 циклов. Применение его позволяет уменьшить толщину наружных стен на 20, а массу - на 40% и существенно сократить расход тепла на отопление зданий.

Керамические и плавленые изделия. Золошлаковые отходы ТЭС могут служить в качестве отщающих или топливосодержащих добавок в производстве керамических изделий на основе глинистых пород, а также основного сырья для изготовления зольной керамики. Наиболее широко применяют топливные шлаки и золы как добавки при производстве стенных керамических изделий. Для изготовления полнотелого и пустотелого кирпича и керамических камней прежде всего рекомендуется использовать легкоплавкие золы с температурой размягчения до 1200°C . Золы и шлаки, содержащие до 10% топлива, применяются как отщающие добавки, а 10% и более - как топливосодержащие. В последнем случае можно существенно сократить или исключить введение в шихту технологического топлива. В золах, используемых

как добавки при производстве стеновых керамических изделий, количество SO_3 не должно превышать 2% от общей массы, а шлаковых включений размером более 3 мм - 5. Недопустимы включения размером более 1 мм в виде плотных каменистых зерен.

Желательно, чтобы колебания содержания топлива в золе были минимальны и не превышали $\pm 4\%$ от средних принятых величин.

Оптимальное содержание золы в шихте зависит от ее теплотворной способности и пластичности применяемого глинистого сырья. В среднепластичные глины ориентировано вводят золу по объему 30-40%, умеренно пластичные - 20-30, малопластичные - 10-20%.

Эффективность золошлаковых добавок зависит от их дисперсности и зернового состава. Введение мелкозернистых фракций золы увеличивает выход трещиноватого сырца. В этом случае для снижения брака при сушке дополнительно вводят отощитель крупностью 0,2-0,3 мм. Требуемое соотношение мелкозернистой золы к грубозернистому отощителю уменьшается с увеличением коэффициента чувствительности глин при сушке от 3:1 до 1:1. Мелкозернистая зола, ухудшая сушильные свойства сырца, вместе с тем повышает прочность готовых изделий, спекаясь с глинистой породой при обжиге. Как отщающая добавка золошлаковая смесь наиболее эффективна при максимальном размере зерен 1,5 мм и содержании фракции менее 0,3 мм не более 30%.

Расход технологического топлива при введении зол и шлаков снижается на 20-70%, цикл сушки кирпича-сырца сокращается более чем на 20%.

Разработан ряд технологических способов получения зольной керамики, где золошлаковые отходы ТЭС являются уже не добавочным материалом, а основным сырьевым компонентом. Так, при обычном оборудовании кирпичных заводов может быть изготовлен зольный кирпич из массы, включающей золу, шлак и натриевое жидкое стекло в количестве 3% по объему. Последнее выполняет роль пластификатора, обеспечивая получение изделий с минимальной влажностью, что исключает необходимость сушки сырца.

Зольную керамику выпускают также в виде прессованных изделий из массы, включающей 60-80% золы-уноса, 10-20% глины и другие добавки. Изделия поступают на сушку и обжиг.

Установлено, что на основе зол с высоким содержанием суммы оксидов алюминия и кремния (75-95%) можно получить керамические стеновые материалы, характеризующиеся достаточно высоким пределом прочности при сжатии (10-60 МПа); предел прочности при сжатии керамического материала на основе зол с низким содержанием суммы названных оксидов (30-50%) составляет лишь 2-6 МПа. Низкое содержание оксидов Al_2O_3 в золе осложняет процесс обжига из-за незначительного интервала спекания и пониженной вязкости расплава и приводит к неравномерному обжigu изделий. Оплавление и всучивание локальных участков в верхней части изделий, недожог в нижней части определяют непригодность зол и шлаков в качестве основного керамического сырья.

Существенное влияние на процессы структурообразования золокерамических материалов оказывают значительные колебания содержания CaO, обеспечиваемого карбонатными включениями и свободным оксидом кальция. Установлено, что золы, содержащие до 4,5% CaO, могут быть использованы в качестве исходного сырья без предварительного измельчения на технологической линии с вальцами тонкого помола, которые позволяют измельчать карбонатные включения. Золы с более высоким содержанием CaO необходимо предварительно измельчать до размеров карбонатных включений, не превышающих 1 нм. Золы, содержащие CaO 30-50%, непригодны для получения золокерамических материалов. Процессы увлажнения и обработки смесей на основе зол с высоким содержанием оксида кальция сопровождаются экзотермической реакцией гидратации, тепло которой вызывает высушивание массы и вследствие этого ее рассыпание, что затрудняет процесс формования изделий.

Введение в небольшом количестве (до 20%) добавок высоко- и среднедисперсных глин позволяет зологлинянную смесь отнести к смесям, пригодным для производства полно- и пустотелого кирпича. Содержание глины в зологлинянной смеси определяется ее дисперсностью и пластичностью.

Наибольший эффект от использования золы и шлаков в качестве основного топливосодержащего сырья может быть получен при производстве золокерамических камней и зольного кирпича с пустотами. Учитывая, что оставшаяся часть топлива (в виде кокса), в золокерамических материалах не оказывает существенного влияния на их прочность, при получении полнотелого зольного кирпича нет необходимости полного выжигания из него углерода, требующего значительного продления процесса обжига и дополнительного расхода топлива. По результатам выполненных исследований предложены рациональные режимы обжига золокерамических изделий: максимальная температура – 1080-1150 °C, средняя скорость нагрева – 50-60 °C/ч, продолжительность выдержки 3-4 ч. Обжиг рекомендуется вести в первой половине зоны обжига печи (800-1000 °C) в сильно окислительной газовой среде, во второй (1000-1100 °C) – в восстановительной.

Зольный кирпич, полнотелый и щелевой, с различной пустотностью и золокерамические камни имеют предел прочности при сжатии 10-60 МПа, при изгибе 2,5-10 МПа при сравнительно низкой средней плотности – 1080-1600 кг/м³, теплопроводности – 0,398- 0,438 Вт/(м · °C) и высокой морозостойкости – 25-120 циклов.

Зольная керамика может служить не только стеновым материалом, обладающим стабильной прочностью и высокой морозостойкостью. Она характеризуется высокой кислотостойкостью и низкой истираемостью, что позволяет изготавливать из нее тротуарные и дорожные плиты, а также другие изделия, обладающие высокой химической и термической стойкостью.

При производстве зольной керамики, в зависимости от содержания в золе углерода, золы в шихте и условий обжига, расход топлива может быть сокращен в 1,5-4 раза.

В последние годы зольные отходы пополнились новым видом - золами от сжигания осадков очистных сооружений канализации населенных пунктов, темпы образования которых постоянно возрастают. Отходы этого вида существенно отличаются от отходов ТЭС. По химическому составу такая зола представляет кислое сырье с содержанием органики до 3,25%. Она включает повышенное количество красящих оксидов, легкоплавкая и относится к четвертому классу опасности (малоопасные вещества). В процессе контакта с водой зола не выделяет высокотоксичных соединений. В результате исследований установлена возможность производства на основе шихты с добавкой золы от сжигания осадков сточных вод кирпича с достаточно высокими качественными показателями.

Технология изготовления традиционных стеновых материалов, с использованием золошлакового сырья, получаемых методом полусухого формования с последующим обжигом, автоклавированием или пропариванием, связана с высоким расходом энергоносителей.

Перспективным направлением решения проблемы энергосбережения при производстве стеновых материалов представляется разработка технологий с использованием высоких давлений прессования (гиперпрессование). При этой технологии используется давление прессования до 30 МПа и выше.

Из смесей, содержащих портландцемент и золошлаковые отходы при содержании тонкодисперсных фракций не менее 30% возможно в условиях гиперпрессования получение стеновых материалов со средней плотностью 1300-1800 кг/м³ и прочностью при сжатии 10- 15 МПа. Изделия должны храниться в условиях, исключающих испарение влаги 3-7 сут.

Высокое прессующее давление увеличивает сырцовую прочность, значительно ускоряет процесс формирования структуры искусственного камня, оказывает влияние на кинетику физико-химических процессов, происходящих при отвердевании в цементном камне и бетоне; при этом улучшаются физико-механические и гидрофизические характеристики бетона, в результате снижения количества макропор за счет отжатия воздуха снижается расход вяжущего, уменьшаются энергетические затраты вследствие исключения тепловой обработки, предоставляется возможность использования некондиционных продуктов. Себестоимость изделий на основе золошлаковых отходов и цемента, получаемых гиперпрессованием, снижается на 20-25% по сравнению с себестоимостью традиционных стеновых материалов.

Плавленые материалы получают из расплавов топливных зол и шлаков так же, как из расплавов металлургических шлаков. Наиболее целесообразно применение топливных шлаков жидкого удаления. Без изменения состава этих шлаков можно получить шлаковую пемзу мелкопористой стекловидной структуры с насыпной плотностью 600-800 кг/м³, плотные литые изделия прочностью до 400 МПа, обладающие повышенной стойкостью в агрессивных средах при повышенных температурах.

Из большинства разновидностей зол ТЭС как сухого, так и гидроудаления можно получать минеральную вату с плотностью 80-200 кг/м³, с широким

диапазоном содержания CaO_2 и Al_2O_3 (40-75%). Разработана технология производства высокотемпературостойкой минеральной ваты из золы ТЭС методом плавки в электродуговой печи. Такая вата может применяться для изоляции поверхностей с температурой до 900 °C или при использовании керамической связки для изоляции поверхностей с температурой до 1150 °C. По своим характеристикам золовата подобна высокотемпературной каолиновой вате, но ее себестоимость в 2 раза меньше.

Возможно получение стекол типа марблит с содержанием в шихте 60-70% по массе отходов ТЭС. Стекла на основе зол и шлаков ТЭС имеют ряд преимуществ: сравнительно низкий коэффициент линейного термического расширения; повышенную прочность (80-100 МПа) и водоустойчивость. Кристаллизационные и вязкостные свойства таких стекол обеспечивают получение из них архитектурно-строительных изделий и облицовочных плиток.

В последние годы все более важное значение приобретает изготовление на основе топливных зол и шлаков эффективных стеклокристаллических материалов - золоситаллов и шлакоситаллов [9].

4.2.5 Зола и золошлаковый материал в качестве вяжущего компонента

Золы уноса сухого улавливания, используемые в качестве самостоятельного вяжущего или активного смешанного компонента, должны отвечать требованиям: содержание свободного кальция – не менее 4-8 %; удельная поверхность – не менее 3000 $\text{см}^2/\text{г}$; содержание сернистых и сернокислых соединений (в пересчете на SO_3) – не более 3-6 %, потери при прокаливании – не более 5% [11].

Для укрепления золами сухого улавливания в качестве самостоятельного вяжущего или как компонента смешанного вяжущего, а также золошлаковыми смесями в сочетании с цементом пригодны:

- крупнообломочные несцементированные грунты, включая различные естественные смеси;
- отходы, получаемые при дроблении каменных материалов;
- пески гравелистые, пески крупные, средние, мелкие, в том числе пылеватые, а также однородные мелкие;
- супеси всех разновидностей;
- легкие суглинки.

Водородный показатель (рН) всех видов грунтов должен быть не ниже 4. Общее содержание легкорастворимых солей в обрабатываемых грунтах допускается не более 3 % (по массе грунта) при сульфатном засолении и не более 5 % – при хлоридном.

Количество зол уноса или золошлаковых смесей, не отвечающих вышеприведенным требованиям, должно быть не менее 15-25 % совместно с 5-10 % цемента.

Большая эффективность применения сухих зол в качестве самостоятельного вяжущего наблюдается при укреплении гравийно-песчаных и песчаных грунтов, а также супесей. Гидравлическая активность зол (способность золы и шлака проявлять вяжущие свойства) обусловлена наличием свободной CaO, определяющей высокое значение рН их водных вытяжек (отношение золы к воде 1:10).

Так золы Красноярских ТЭЦ-1 и ТЭЦ-2 при содержании CaO+MgO 8 и 9,2 % соответственно продемонстрировали прочность на сжатие по прошествии 90 суток, а также 1,8 и 9,8 Мпа соответственно.

Однако не всегда содержание CaO влияет на скорость упрочнения и разупрочнения активных зол и не является единственной характеристикой их активности. Более того, при хранении активных зол на воздухе их активность снижается за счет процессов гидратации и карбонизации свободных CaO. Так, при содержании в золе свободной извести в количестве 15 % и более наблюдается снижение морозостойкости укрепленных песчаных грунтов. Для получения требуемой морозостойкости при применении зол с содержанием свободной извести выше 15 % необходимо вводить химические добавки. Установлено, что введение 3-5 % (массы золы) хлористого кальция значительно увеличивает морозостойкость укрепленного песчаного грунта как в ранние сроки твердения (28 сут), так и в более поздние (до 1 года) сроки хранения образцов.

Другой не менее важной характеристикой гидравлической активности сухих зол является наличие минералов, близких по составу к клинкерным минералам портландцемента, - CaO, MgO, SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, K₂O, Na₂O. Активность зол и процессы упрочнения зологрунтов зависят и от формы окислов - свободные, закисные, связанные в силикаты с различной основностью.

Таким образом, имеющийся опыт применения зол уноса в бетонных смесях для устройства цементобетонных покрытий в условиях Сибири позволяет:

- снизить расход цемента на 30-40 % по сравнению с обычным бетоном для получения равнопрочного по изгибу материала;
- улучшить связанность бетонной смеси;
- повысить трещиностойкость бетона.

Укатанный бетон с добавками золы уноса до 30 % обладает достаточно высокой стойкостью к шелушению.

Зола в растворах и бетонах используется:

- как добавка в обычный и гидротехнический бетоны, выступая в качестве заполнителя цемента и песка или взамен части цемента;
- при производстве пористого заполнителя (зольного гравия);
- как добавка в цементные растворы для нагнетания при ремонтных работах;
- в качестве гидравлической добавки при производстве цемента;
- как добавка при производстве кирпича [4].

4.2.6 Получение пеностекольных материалов

В настоящее время увеличивается спрос на эффективные теплоизоляционные материалы, обладающие прежде всего такими свойствами как пожаро- и экологическая безопасность, негорючесть и долговечность. Этим требованиям в значительной степени отвечает пеностекло, востребованное в промышленном, гражданском и дорожном строительстве. Несмотря на накопленный значительный научный и практический опыт, производство данного вида материалов в России развивается медленно. Это связано с высокими энергозатратами и проблемой исходного продукта – вторичного стеклобоя. К тому же специальная варка стекла повышает стоимость материала. В связи с этим особую актуальность приобретает решение задачи синтеза стеклогранулята по энергосберегающей технологии, минуя процесс варки стекла, а также расширение сырьевой базы за счет использования широкой базы природного и техногенного сырья.

Томские ученые вывели принципиальную возможность использования золошлаковых отходов ГРЭС г. Томска в качестве компонента шихты для получения пеностекольных материалов по низкотемпературной технологии, разработанной на кафедре технологии силикатов и наноматериалов.

Предлагаемая двухстадийная технология получения пеностекольных материалов предусматривает синтез стеклогранулята, представляющего собой стеклокристаллический продукт низкотемпературной обработки исходной шихты, без процесса варки стекла. По ранее полученным результатам установлено, что количество стеклообразующих оксидов и оксидов щелочных металлов в стеклогрануляте должно быть достаточным для устойчивого стеклообразования, т. е. находиться в пределах 60-75 по содержанию SiO_2 и 13-22 мас. % по Na_2O соответственно. Компоненты шихты и состав стеклогранулята должны отвечать следующим требованиям:

- размер фракции компонентов исходной шихты – 100 мкм и менее;
- содержание оксида кремния в исходном материале – не менее 80 %;
- количество жидкой фазы (расплав), образующейся при температурах ниже 900 °C, должно быть более 70 %;
- состав стеклогранулята должен обеспечивать стеклофазу с модулем вязкости в пределах 2±0,2.

Результаты проведенных экспериментов показали принципиальную возможность использования золошлаковых отходов ГРЭС г. Томска, что позволяет решать экологические проблемы утилизации отходов золошлака и расширяет сырьевую базу производства пеностекла. Также рассчитаны составы исходных шихт и режимы их термообработки; приведены результаты исследований окислительно-восстановительных характеристик материалов. С увеличением в шихте золошлаковых отходов химическая потребность смеси в кислороде увеличивается, что корректируется уменьшением в пенообразующей смеси количества газообразователя.

Выявлено, что прочностные характеристики полученного пеностекольного материала выше, чем у пеностекла, полученного на основе стеклобоя, что позволяет расширить область использования данных материалов [12].

4.2.7 Извлечение силикатных микросфер из ЗШМ ТЭС

Одним из интересных и перспективных направлений получения использования ЗШМ ТЭС является извлечение алюмосиликатных полых микросфер (АСПМ).

Алюмосиликатные полые микросфера образуются при пылеугольном сжигании твердого топлива в результате специфической грануляции расплава минеральной части углей путем ее дробления на отдельные мелкие капли и раздува последних из-за увеличения объема газовых включений.

По своим свойствам микросфера их энергетических зол близки к полым микросферам, которые получают из расплава промышленными методами. Существенно, что стоимость полых микросфер из золы ТЭС значительно ниже, чем получаемых промышленными методами.

Форма микросфер близка к сферической, и внешняя поверхность гладкая, диаметр их варьируется от 5 до 500 мкм. Газовая фаза внутри микросфер состоит преимущественно из азота, кислорода и оксида углерода.

Уникальными свойствами микросфер являются: низкая плотность, малые размеры, сферическая форма, высокая твердость и температура плавления, химическая инертность – все это обуславливает широкий спектр применения микросфер в современной промышленности.

Использование микросфер из золы ТЭС за рубежом начато в 60-тых годах.

В нашей стране исследования АСПМ из золы ТЭС проводятся рядом отраслевых НИИ, учебных заведений и других организаций. Разрабатываются технологии их использования в качестве наполнителя различных композиционных материалов и изделий с использованием этих материалов.

Были организованы и проведены исследования по определению процентного содержания АСПМ в сухой золе, уловленной электрофильтрами при пылеугольном сжигании углей Иркутского бассейна, а также в золошлаковых смесях, поступающих на золоотвал.

Установлено, что основными компонентами фазово-минерального состава АСПМ является стеклофаза, муллит и кварц. В виде примеси присутствует магнетит, полевой шпат, гидрослюдя, гематит, окись кальция. Преобладающими компонентами химического состава АСПМ являются кремний, алюминий и железо. Химический состав АСПМ ТЭС, сжигающих угли различных бассейнов, различен. Насыпная плотность АСПМ составляла от 325 до 400 кг/м³. АСПМ представляют собой дисперсный материал, плотность которого наименьшая в сравнении с остальными компонентами ЗШМ ТЭС. Тот

факт, что плотность АСПМ более чем в 2 раза ниже плотности воды, является основой их эффективного гравитационного разделения в водной среде.

Опыт показывает, что при гравитационном разделении, кроме АСПМ на поверхности воды в течение определенного времени находятся еще и частицы недожога угля, поэтому из ЗШМ предварительно выделяли недожог методом флотации, а после этого – АСПМ гравитационным разделением.

Перспективными направлениями использования АСПМ из ЗШМ ТЭС является:

- в нефтяной промышленности - тампонажные материалы для нефтяных скважин, буровые растворы, дробильные материалы, взрывчатые вещества;
 - в строительстве - сверхлегкие бетоны, известковые растворы, жидкие растворы, цементы, штукатурка, покрытия, кровельные и звукоизоляционные материалы;
 - в производстве керамики – огнеупорные материалы, огнеупорные кирпичи, покрытия, изоляционные материалы;
 - в производстве пластиков – полиэтиленовые, полипропиленовые, нейлоновые и др. материалы различных плотностей;
 - в автомобилестроении - композиты, шины, комплектующие, звукоизоляционные материалы, грунтовка;
 - в производстве мебельной фурнитуры, медицинских цементов и др.
- [13].

5 ЗШМ Красноярских ТЭЦ, требования и область применения

5.1 ЗШМ Красноярской ТЭЦ-1

АО «Красноярская ТЭЦ-1» - тепловая электростанция, осуществляющая производство тепловой и электрической энергии.

Установленная тепловая мощность - 1 677 Гкал/час, установленная электрическая мощность – 481 МВт.

Основным топливом для Красноярской ТЭЦ-1 является уголь Бородинского разреза.

Технологическое преобразование исходного сырья в ЗШМ происходит в операционных секциях 1А, 1Б, и 3 золоотвала. Золоотвал предназначен для размещения золошлаковых отходов от сжигания углей, поступающих от котлов Красноярской ТЭЦ-1 по системе внешнего гидрозолоудаления (далее - ГЗУ). Транспортирование золы и шлака системой ГЗУ - совместное.

Водоснабжение системы ГЗУ осуществляется по оборотной схеме, с возвратом осветленной воды с золоотвала на ТЭЦ для последующего использования в системе внешнего ГЗУ.

Административно золоотвал частично (секции №1А и №3) расположен в Ленинском районе г. Красноярска, в промышленной зоне на юго-восточной окраине города и частично (секция №1Б) в районе п. Березовка

5.1.1 Схема размещения ЗШО

Уголь по системе ленточных конвейеров поступает в бункера сырого угля, откуда питателями сырого угля подается в мельницы парового котла для измельчения и сушки. Далее в пылевидном состоянии горячим воздухом, подаваемым дутьевыми вентиляторами, поступает в топку котла, где происходит его сжигание. При сжигании выделяется тепло, которое используется для получения водяного пара. При сжигании твердого топлива образуется минеральный остаток (зола и шлак).

Уловленная в золоуловителях зола частично пневмотранспортной системой для накопления и временного хранения собирается в силосах сухой золы. Всего предусмотрено 6 силосов емкостью 350 м³ каждый. Из силосов сухая зола железнодорожным транспортом отгружается потребителям для использования.

Для очистки отработанного воздуха пневмотранспортных систем подачи золы в силосы используется двухступенчатая пылеулавливающая установка. Первая ступень очистки – циклон НИИОГАЗ ЦН-15 диаметром 700 мм, вторая ступень – рукавный фильтр ФВК-90.

Уловленная в золоуловителях зола и шлак удаляются в канал гидрозолоудаления и далее направляются на золоотвал.

Система ГЗУ гидравлическая, оборотная с возвратом осветленной воды в котельный цех для повторного использования. Подпитка оборотной системы

ГЗУ осуществляется свежей водой из собственного поверхностного водозабора на р. Енисей.

5.1.2 Показатели ЗШО

Исходным сырьем для производства ЗШМ являются вторичные материальные ресурсы (ВМР) (золошлаковые отходы, образованные в результате термохимических превращений неорганической части топлива (угли Бородинского разреза Канско-Ачинского угольного бассейна) при сгорании в топках котлов Красноярской ТЭЦ-1, и транспортированные на золоотвал по системе ГЗУ), полученные после их обработки (обезвоживания).

Физико-механические показатели ЗШО представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Физико-механические показатели ЗШО Красноярской ТЭЦ-1

Наименование показателя	Значение
1 Гранулометрический состав: - содержание фракций более 10,0 мм, % - содержание фракций 10,0-5,0 мм, % - содержание фракций 5,0-2,0 мм, % - содержание фракций 2,0-1,0 мм, % - содержание фракций менее 1,0 мм, %	10,9 – 11,4 17,7 – 20,2 29,0 – 30,2 29,1 – 31,2 9,6 – 13,3
2 Влажность, %	58 – 76
3 Насыпная плотность, кг/м ³	690 – 740
4 Коэффициент пористости	1,95 – 2,45
5 Коэффициент водонасыщения	0,30 – 0,32
6 Коэффициент фильтрации, м/сут	2,6 – 2,8

Химические показатели ЗШО представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Химические показатели ЗШО Красноярской ТЭЦ-1

Наименование показателя	Ед. изм.	Значение
Алюминий	мг/кг	20 831 – 24 214
Хлорид-ион	мг/кг	192 – 217
Медь	мг/кг	14 – 19
Мышьяк	мг/кг	2,5 – 4,2
Цинк	мг/кг	7,7 – 23,0
Никель	мг/кг	30 – 59
Свинец	мг/кг	5,6 – 8,7
Марганец	мг/кг	355 – 420
Хром	мг/кг	27 – 29
Кальций	мг/кг	121 912 – 141 836

5.1.3 Технологическая схема производства ЗШМ

Производство продукта «Материал золошлаковый, получаемый в результате деятельности АО «Красноярская ТЭЦ-1», осуществляется на площадке в пределах (границах) промышленной площадки действующего золоотвала Красноярская ТЭЦ-1.

Получение продукта (ЗШМ) осуществляется последовательно по схеме:
ЗШО→ВМР→ЗШМ

На основе действующей технологии намыва, складирования и обезвоживания отхода (ЗШО) осуществляется получение ВМР. При доведении показателей качества ВМР до установленных требований образуется ЗШМ.

Максимальное годовое количество получаемого ЗШМ составляет 214,30 тыс. м³ (150 тыс. т).

Специфической особенностью складирования золошлаков является самоцементация золошлаков при намыве и обезвоживании в секции золоотвала.

Преобразование ЗШО в ВМР

Согласно организации работы золоотвала в штатном режиме эксплуатации происходит заполнение секции пульпой, которое осуществляется до рабочей отметки 148,00 м (согласно действующему проекту).

После заполнения секции до рабочей отметки и переключения пульповыпусков, с целью заполнения другой секции, начинается понижение уровня воды в осушаемой секции, сопровождающееся процессом обезвоживания ЗШО за счет понижения уровня воды путем отвода свободной осветленной воды с помощью шахтных колодцев, расположенных в данной секции золоотвала, а также естественным путем (процесс испарения).

Преобразование ВМР в ЗШМ

Технология производства ЗШМ заключается в измельчении и перемешивании ВМР (обезвоженных (гидратированных) золошлаков) до показателей соответствующих ГОСТ 25100-2011[14] - техногенные, дисперсные.

Перед дальнейшей работой с ВМР производится его опробование на соответствие качественным показателям (1-й этап контроля качества): ВМР, полученные посредством осушки (обезвоживания) ЗШО, контролируются на соответствие предъявляемым химическим, микробиологическим, паразитологическим и радиологическим требованиям.

Производство готового продукта - ЗШМ, соответствующего требованиям потребителя и направлениям использования, заключается в перемешивании и измельчении для придания однородности ВМР на площадке производства продукта посредством применения спецтехники.

Площадка производства продукта, площадью 1,7 га, расположена в южной части секции 1А золоотвала Красноярской ТЭЦ-1. В данной части секции 1А заполнение золошлаками не осуществляется, так как согласно проекту «Продления срока эксплуатации существующего золоотвала Красноярской ТЭЦ-1 и перевода его в статус оперативного», ее площадь (2,60

га) оперативно закреплена грунтом. При организации площадки производства продукта предусматривается установка сигнальных ограждений.

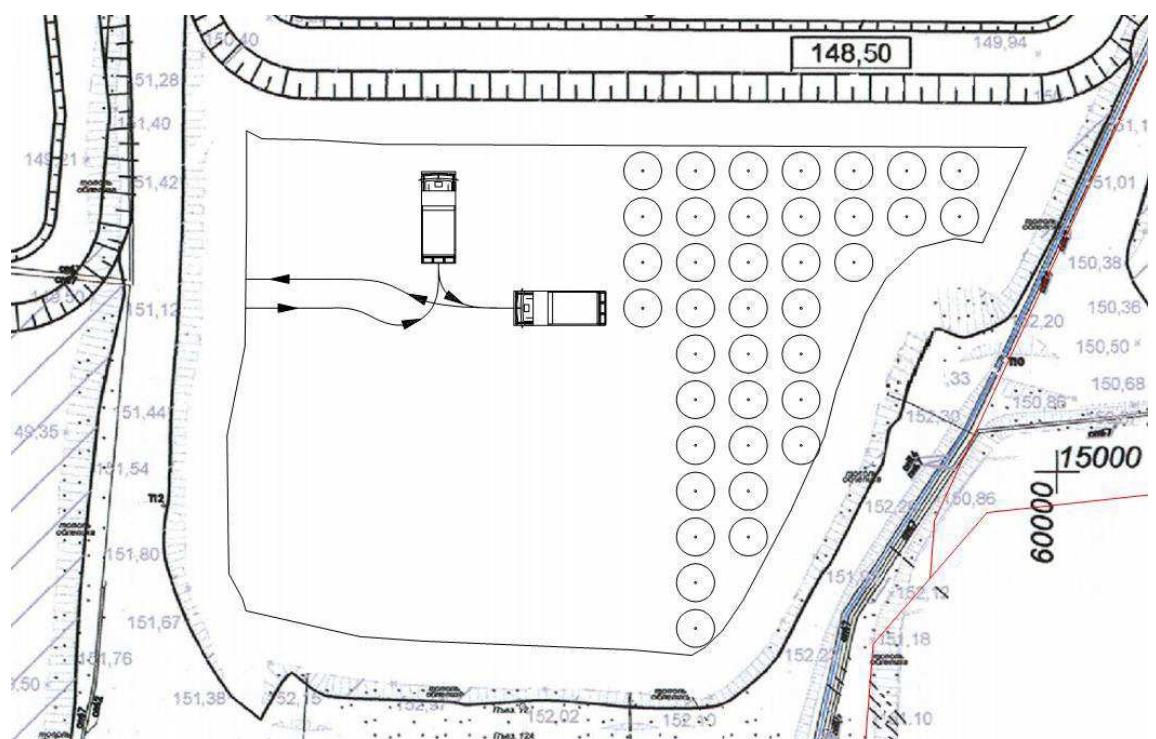
Выбор площадки обусловлен необходимостью рационального использования секций золоотвала и исключением изъятия дополнительных земельных ресурсов.

Перемещение ВМР на площадку производства продукта в течение года осуществляется циклично, объемами 35,72 тыс. м³, при общем годовом объеме производства 214,30 тыс. м³. При этом высота размещения ВМР на площадке производства продукта составит 2,1 м.

При выполнении работ по перемещению ВМР на площадку производства продукта в осушенней секции золоотвала предусматривается оставлять защитный экран для дамб (сохраные зоны) шириной 10-15 м. Границы участка разработки выделяются с помощью ограждающих устройств сплошного типа (натянутый шнур, трос и пр.). Также предусмотрено сохранение остаточного (закольматированного) слоя ЗШО в ложе секций золоотвала не менее 3 м. Разработка данного слоя не предусматривается.

5.1.3.1 Производство ЗШМ на площадке производства продукта

ВМР транспортируется из осушенней секции и размещается в восточной части площадки производства продукта с общим продвижением с востока на запад. Схема размещения ВМР на площадке производства продукта представлена на рисунке 8.



Перемешивание и измельчение (усреднение) ВМР происходит под действием давления, оказываемого гусеничным бульдозером при ведении работ на площадке производства продукта.

Площадку производства продукта разбивают на две захватки. Сначала бульдозер ведет разработку ВМР на одной захватке с перемещением их от центра. По окончании работ на первой захватке бульдозер разворачивается и аналогично ведет работы на второй захватке.

Далее бульдозер ведет разработку ВМР на одной захватке с перемещением их к центру площадки производства продукта. По окончании работ на первой захватке бульдозер разворачивается и аналогично ведет работы на второй захватке.

После выполнения операций по перемешиванию и измельчению ВМР до требуемых параметров, осуществляется их контроль (2-й этап контроля качества) с целью определения соответствия произведенного материала предъявляемым к нему требованиям по физико-механическим показателям.

Преобразование ВМР в ЗШМ (готовый продукт) осуществляется после подтверждения характеристик его качества требованиям регламента.

После подтверждения соответствия продукта установленным требованиям составляется паспорт для конкретной партии.

На основании составленного паспорта производится погрузка ЗШМ с целью дальнейшей транспортировки к месту потребления.

В освобожденную площадку производства продукта вновь осуществляется перемещение ВМР из осущеной секции [15].

5.2 ЗШМ Красноярской ТЭЦ-2

Установленная электрическая мощность Красноярской ТЭЦ-2 – 465 МВт, установленная тепловая мощность 1 405 Гкал/ч.

Основным топливом для Красноярской ТЭЦ-2 является уголь Бородинского разреза.

Технологическое преобразование исходного сырья в ЗШМ происходит в золоотвале №2 Красноярской ТЭЦ-2.

Золоотвал №2 расположен в 966 м от основной промплощадки Красноярской ТЭЦ-2, в отработанном карьере известняка «Цветущий лог», южнее действующего золоотвала №1, в пределах северного склона Торгашинского хребта.

5.2.1 Описание схемы золошлакоудаления

Водоснабжение системы внешнего гидрозолоудаления (ГЗУ) осуществляется по оборотной схеме, с возвратом осветленной воды на ТЭЦ для последующего использования.

Транспортировка золошлаковой пульпы на золоотвал №1 осуществляется по пульпопроводам. Всего по трассе проложено 5 пульпопроводов (включая резервные).

Золоотвал №1 – ГТС II-го класса, овражного типа, 4-х секционный. Золоотвал №1 расположен в 400 м от промплощадки ТЭЦ-2, в пределах отработанного карьера.

Намытые и обезвоженные (осущенные) золошлаки в операционных секциях золоотвала №1 транспортируются автомобильным транспортом на золоотвал №2.

Сухая зола от котлов БКЗ-420-140 ПТ1 и БКЗ-500-140, уловленная в электрофильтрах котлоагрегатов, системой пневмозолоудаления транспортируется в бункер выдачи золы, откуда производится отгрузка в автомобильный транспорт с последующей транспортировкой на золоотвал №2.

Сухая зола из электрофильтров котлоагрегатов и осущенные золошлаки из золоотвала №1 вывозятся и складируются на золоотвале № 2, согласно рабочему проекту «Резервное складирование золошлаков Красноярской ТЭЦ-2 в карьере «Цветущий лог» (в насыпь)». Высота яруса отсыпки не более 2 метров.

5.2.2 Показатели ЗШО

Исходным сырьем для производства ЗШМ являются вторичные материальные ресурсы: золошлаковые отходы, размещаемые в соответствии с существующей схемой организации и работы золоотвала №2 согласно утвержденным лимитам, и за размещение которых исчисляется и взымается плата за негативное воздействие на окружающую среду в установленном действующим законодательством порядке.

Физико-механические показатели золошлаков представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Физико-механические показатели ЗШО Красноярской ТЭЦ-2

Наименование показателя	Значение
1 Гранулометрический состав: - содержание фракций более 10,0 мм, %	11,3 – 13,1
- содержание фракций 10,0-5,0 мм, %	19,8 – 20,4
- содержание фракций 5,0-2,0 мм, %	22,4 – 24,5
- содержание фракций 2,0-1,0 мм, %	27,9 – 28,3
- содержание фракций менее 1,0 мм, %	13,7 – 18,6
2 Влажность, %	45 – 53
3 Насыпная плотность, кг/м ³	880 – 900
4 Коэффициент пористости	2,5 – 2,8
5 Коэффициент водонасыщения	0,33 – 0,41
6 Коэффициент фильтрации, м/сут.	8,9 – 9,5

Химические показатели золошлаков представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Химические показатели ЗШО Красноярской ТЭЦ-2

Наименование показателя	Ед. изм.	Значение
Алюминий	мг/кг	22 824 - 24 995
Хлорид-ион	мг/кг	101 - 107
Медь	мг/кг	17 - 21
Мышьяк	мг/кг	3,0 - 7,3
Цинк	мг/кг	29 - 266
Никель	мг/кг	23 - 41
Свинец	мг/кг	7,5 - 9,8
Марганец	мг/кг	701 - 722
Ванадий	мг/кг	33 - 34
Хром	мг/кг	26 - 29
Кальций	мг/кг	126 529 - 137 248

5.2.3 Технологическая схема производства ЗШМ

Производство продукта «Материал золошлаковый, получаемый в результате деятельности Красноярской ТЭЦ-2 АО «Енисейская ТГК (ТГК-13)» осуществляется на площадке в пределах (границах) промышленной площадки действующего золоотвала №2 Красноярской ТЭЦ-2.

Максимальное годовое количество получаемого ЗШМ составляет 100,00 тыс. м³.

Специфической особенностью складирования золошлаков является самоцементация золошлаков при складировании в золоотвале №2.

Получение продукта (ЗШМ) осуществляется последовательно по схеме:
ЗШО→ВМР→ЗШМ

Преобразование ЗШО в ВМР

Складирование отхода (ЗШО) на золоотвале №2 осуществляется по действующей технологии согласно рабочему проекту «Резервное складирование золошлаков Красноярской ТЭЦ-2 в карьере «Цветущий лог» (в насыпь)».

При складировании ЗШО более 11 месяцев образуется ВМР.

Преобразование ВМР в ЗШМ

При доведении показателей ВМР качества до требований, установленных настоящим регламентом, образуется ЗШМ.

Технология производства ЗШМ заключается в измельчении и перемешивании ВМР до показателей соответствующих ГОСТ 25100-2011 - техногенные, дисперсные.

Перед дальнейшей работой с ВМР производится его опробование на соответствие качественным показателям - 1-й этап контроля качества. Контроль ВМР осуществляется на соответствие предъявляемым химическим, микробиологическим, паразитологическим и радиологическим требованиям.

Производство готового продукта - ЗШМ, соответствующего требованиям потребителя и направлениям использования, заключается в перемешивании и

измельчении (усреднении) для придания однородности ВМР на площадке производства продукта посредством применения спецтехники.

В восточной части золоотвала №2 организуется площадка производства продукта площадью 1,53 га. При организации площадки предусматривается установка сигнальных ограждений.

Перемещение ВМР на площадку производства продукта в течение года осуществляется циклично, объемами 25,00 тыс. м³, при общем годовом объеме производства 100,00 тыс. м³. При этом высота навала при размещении ВМР на площадке производства продукта составит 1,65 м.

При выполнении работ по перемещению ВМР на площадку производства продукта в золоотвале №2 предусматривается оставлять защитный экран для дамб (сохранные зоны) шириной 10-15 м. Границы участка разработки выделяются с помощью ограждающих устройств сплошного типа (натянутый шнур, трос и пр.). Также предусмотрено сохранение остаточного слоя ЗШО в ложе золоотвала не менее 3 м. Разработка данного слоя не предусматривается ввиду необходимости сохранения целостности экрана из суглинков.

После выполнения операций по перемешиванию и измельчению ВМР до требуемых параметров, осуществляется их контроль (2-й этап) с целью определения соответствия произведенного материала предъявляемым к нему требованиям по физико-механическим показателям.

Преобразование ВМР в ЗШМ (готовый продукт) осуществляется после подтверждения характеристик его качества требованиям Технологического Регламента.

После подтверждения соответствия продукта установленным требованиям составляется паспорт для конкретной партии.

На основании составленного паспорта производится погрузка ЗШМ с целью дальнейшей транспортировки к месту потребления.

В освобожденную площадку производства продукта вновь осуществляется перемещение ВМР [16].

5.3 Область применения ЗШМ Красноярских ТЭЦ, требования

В настоящее время область применения ЗШМ Красноярских ТЭЦ такова:

1. выполнение технического этапа (планировка, формирование откосов, отсыпка выемок и котлованов, строительство дорог) рекультивации земель нарушенных при:

- разработке месторождений полезных ископаемых открытым или подземным способом, а также при добыче торфа;
- прокладке трубопроводов, проведении строительных, мелиоративных, лесозаготовительных, геологоразведочных, испытательных, эксплуатационных, проектно-изыскательских и иных работ, связанных с нарушением почвенного покрова;
- ликвидации промышленных объектов и сооружений;

- складировании и захоронении промышленных, бытовых и других отходов;
 - строительстве, эксплуатации и консервации подземных объектов и коммуникаций (шахтные выработки, хранилища, метрополитен, канализационные сооружения и др.);
 - завершении сроков аренды земель, использованных арендатором с нарушением обязательств по ресурсосберегающему и экобезопасному землепользованию;
2. вертикальная планировка территорий, исключая жилую застройку;
3. применение в дорожном хозяйстве:
- для сооружения земляного полотна;
 - для устройства дополнительных слоев оснований дорожных одежд;
4. применение при изготовлении строительных материалов: цемент, различные виды бетонов, пеноблоков, брускатки, асфальта, рубероида, кровельного материала;
5. формирование промежуточного изолирующего слоя на полигонах ТБО и промышленных отходов.

Классификация ЗШМ согласно ГОСТ 25100-2011 представлена в таблице 7.

Таблица 7 – Классификация ЗШМ согласно ГОСТ 25100-2011

Класс	Подкласс	Тип	Подтип	Вид	Подвид
Дисперсные	Несвязные	Техногенные	Антропогенно образованые грунты	Различные виды антропогенных грунтов	Различные подвиды антропогенных грунтов

Требования к физико-механическим показателям ЗШМ представлены в таблице 8.

Таблица 8 – Требования к физико-механическим показателям ЗШМ

Наименование показателя 1	Значение 2
1 Гранулометрический состав: - содержание фракций 5,0-2,0 мм, % - содержание фракций 2,0-1,0 мм, % - содержание фракций 1,0-0,5 мм, % - содержание фракций 0,5-0,25 мм, % - содержание фракций 0,25-0,1 мм, % - содержание фракций менее 0,1 мм, %	0,1 – 5,0 0,1 – 5,0 1,0 – 20,0 10,0 – 30,0 15,0 – 90,0 0,1 – 73,8
2 Степень неоднородности гранулометрического состава	≤ 3 (однородный)

Окончание таблицы 8

1	2
3 Насыпная плотность, кг/м ³	≤ 1200
4 Истинная плотность, г/см ³	≤ 3
5 Коэффициент пористости	$e > 0,80$ (рыхлый)
6 Коэффициент водонасыщения	$0,0 < S_t \leq 0,5$ (маловлажный)
7 Коэффициент фильтрации, м/сутки	$0,3 < K_f \leq 3$ (водопроницаемый)
8 Влажность, %	20 - 50

Качественные показатели ЗШМ для использования без ограничений для любых типов почв, исключая жилую застройку, должны соответствовать требованиям, представленным в таблице 9.

Таблица 9 – Качественные показатели ЗШМ для использования без ограничений для любых типов почв, исключая жилую застройку

№ п/п	Наименование показателя	Ед. изм.	Значение	
			1	2
1	Нефтепродукты	мг/кг	не более 1 000	
2	Бенз(а)пирен	мг/кг	не более 0,02	
Валовые формы тяжелых металлов				
3	Кадмий	мг/кг	не более 0,5	
4	Медь	мг/кг	не более 33,0	
5	Мышьяк	мг/кг	не более 2,0	
6	Цинк	мг/кг	не более 55,0	
7	Никель	мг/кг	не более 20,0	
8	Свинец	мг/кг	не более 32,0	
Подвижные формы тяжелых металлов				
9	Медь	мг/кг	не более 3,0	
10	Цинк	мг/кг	не более 23,0	
11	Никель	мг/кг	не более 4,0	
12	Свинец	мг/кг	не более 6,0	
Радиология				
13	Удельная эффективная активность естественных радионуклидов	Бк/кг	не более 370,0	
14	Удельная активность цезия - 137	Бк/г	не более 0,1	
15	Удельная активность стронция - 90	Бк/г	не более 1,0	

Окончание таблицы 9

1	2	3	4
Микробиологические показатели			
16	Индекс БГКП	кл в 1 г	менее 10
17	Индекс энтерококк	кл в 1 г	менее 10
18	Патогенные бактерии, в т.ч. сальмонеллы	в 1 г	не допускается
Паразитологические показатели			
19	Яйца и личинки гельминтов	в 1 кг	не допускается
20	Цисты патогенных кишечных простейших	в 100 г	не допускается

Качественные показатели ЗШМ для использования по назначению, исключая жилую застройку, а также применение для песчаных и супесчаных типов почв, должны соответствовать требованиям, представленным в таблице 10.

Таблица 10 – Качественные показатели ЗШМ для использования по назначению, исключая жилую застройку, а также применение для песчаных и супесчаных типов почв.

№ п/п	Наименование показателя	Ед. изм.	Значение
1	2	3	4
1	Нефтепродукты	мг/кг	не более 1 000
2	Бенз(а)пирен	мг/кг	не более 0,02
3	pH (KCl)		8,0-9,5
Валовые формы тяжелых металлов			
4	Кадмий	мг/кг	не более 2,0
5	Медь	мг/кг	не более 132,0
6	Мышьяк	мг/кг	не более 10,0
7	Цинк	мг/кг	не более 220,0
8	Никель	мг/кг	не более 80,0
9	Свинец	мг/кг	не более 32,0
Подвижные формы тяжелых металлов			
10	Медь	мг/кг	не более 3,0
11	Цинк	мг/кг	не более 23,0
12	Никель	мг/кг	не более 4,0
13	Свинец	мг/кг	не более 6,0
Радиология			
14	Удельная эффективная активность естественных радионуклидов	Бк/кг	не более 370,0

Окончание таблицы 10

1	2	3	4
15	Удельная активность цезия - 137	Бк/г	не более 0,1
16	Удельная активность стронция - 90	Бк/г	не более 1,0
Микробиологические показатели			
17	Индекс БГКП	кл в 1 г	менее 10
18	Индекс энтерококк	кл в 1 г	менее 10
19	Патогенные бактерии, в т.ч. сальмонеллы	в 1 г	Не допускается
Паразитологические показатели			
20	Яйца и личинки гельминтов	в 1 кг	Не допускается
21	Цисты патогенных кишечных простейших	в 100 г	Не допускается

При изменении характеристик основного топлива котлов Красноярских ТЭЦ, ЗШМ должен соответствовать требованиям радиационно-гигиенической безопасности (НРБ-99/2009 (СанПиН 2.6.1.2523-09)[17], ОСПОРБ 99/2010 (СП 2.6.1.2612-10)[18]) и требованиям санитарно-эпидемиологической безопасности (СанПиН 2.1.7.1287-03 [19]) согласно заявленному применению и показателям, представленным в таблицах 9, 10 [15,16].

Соответствие физико-механических и химических показателей Красноярских ТЭЦ требованиям, предъявляемым к качественным показателям ЗШМ для использования по назначению, исключая жилую застройку, согласно ГОСТ 25100-2011 представлена на таблице 11.

Таблица 11 – Сравнение показателей ЗШО Красноярских ТЭЦ с качественными показателями ЗШМ

№ п/п	Наименование показателя	Значение		
		согласно ГОСТ 25100- 2011	Красноярска я ТЭЦ-1	Красноярская ТЭЦ-2
1	2	3	4	5
1	Гранулометрический состав: - содержание фракций 5,0-2,0 мм, % - содержание фракций 2,0-1,0 мм, % - содержание фракций менее 1 мм, %	0,1 – 5,0 0,1 – 5,0 10 - 90	29,0 – 30,2 29,1 – 31,2 9,6 – 13,3	22,4 – 24,5 27,9 – 28,3 13,7 – 18,6
2	Степень неоднородности гранулометрического состава	≤ 3 (однородный)	≤ 3	≤ 3
3	Насыпная плотность, кг/м ³	≤ 1200	690 – 740	880 – 900
4	Коэффициент пористости	$e > 0,80$ (рыхлый)	1,95 – 2,45	2,5 – 2,8

Окончание таблицы 11

1	2	3	4	5
5	Коэффициент водонасыщения	$0,0 < St \leq 0,5$ (маловлажный)	0,30 – 0,32	0,33 – 0,41
6	Коэффициент фильтрации, м/сутки	$0,3 < K_f \leq 3$ (водопроницаемый)	2,6 – 2,8	8,9 – 9,5
7	Влажность, %	20 - 50	58 – 76	45 – 53
Валовые формы тяжелых металлов				
8	Медь, мг/кг	не более 132,0	14 – 19	17 – 21
9	Мышьяк, мг/кг	не более 10,0	2,5 – 4,2	3,0 – 7,3
10	Цинк, мг/кг	не более 220,0	7,7 – 23,0	29 – 266
11	Никель, мг/кг	не более 80,0	30 – 59	23 – 41
12	Свинец, мг/кг	не более 32,0	5,6 – 8,7	7,5 – 9,8
Радиология				
13	Удельная эффективная активность естественных радионуклидов, Бк/кг	не более 370,0	–	–
Паразитологические показатели				
14	Яйца и личинки гельминтов, в 1 кг	Не допускается	–	–
15	Цисты патогенных кишечных простейших, в 100 г	Не допускается	–	–

По данным таблицы 11 можно сделать вывод о том, что по некоторым показателям золошлаковые отходы Красноярских ТЭЦ, еще не проходя через переработку, уже удовлетворяют требованиям, предъявляемым к качественным показателям золошлаковых материалов [20]. Остальные показатели необходимо довести до требуемых значений согласно ГОСТ 25100-2011 для отгрузки предприятиям-потребителям, использующим ЗШМ в различных направлениях, в частности, в производстве строительных материалов.

Для этого ЗШО складируют в течение 11 месяцев, после чего золошлаки переходят в состояние ВМР. При доведении показателей ВМР качества до установленных требований образуется ЗШМ.

Технология производства ЗШМ заключается в измельчении и перемешивании ВМР до показателей соответствующих ГОСТ 25100-2011 - техногенные, дисперсные.

Перед дальнейшей работой с ВМР производится его опробование на соответствие качественным показателям - 1-й этап контроля качества. Контроль ВМР осуществляется на соответствие предъявляемым химическим, микробиологическим, паразитологическим и радиологическим требованиям.

Производство готового продукта - ЗШМ, соответствующего требованиям потребителя и направлениям использования, заключается в перемешивании и измельчении (усреднении) для придания однородности ВМР на площадке производства продукта посредством применения спецтехники.

После выполнения операций по перемешиванию и измельчению ВМР до требуемых параметров, осуществляется их контроль (2-й этап) с целью

определения соответствия произведенного материала предъявляемым к нему требованиям по физико-механическим показателям.

Преобразование ВМР в ЗШМ (готовый продукт) осуществляется после подтверждения характеристик его качества требованиям ГОСТ 25100-2011. После подтверждения соответствия продукта установленным требованиям составляется паспорт для конкретной партии.

На основании составленного паспорта производится погрузка ЗШМ с целью дальнейшей транспортировки к месту потребления.

Таким образом, после предварительной обработки золошлаковый материал, получаемый на Красноярских ТЭЦ, может использоваться в различных направлениях, например, в производстве строительных материалов и в дорожном строительстве.

В настоящий момент одно из самых перспективных направлений использования красноярского ЗШМ — изготовление бетонов. Также пристального внимания заслуживает расширение сферы применения и повышения эффективности переработки ЗШМ за счет извлечения ценных компонентов и металлов, таких как алюминий, галлий, германий, ванадий, вольфрам, ниобий, титан, цирконий и некоторых других. Немаловажным компонентом является добыча из золошлакового материала микросфер, которые успешно применяются в различных направлениях строительной индустрии [21].

6 Эффективность от вторичной переработки золы

Золошлаки энергетики – ценное минеральное сырьё техногенного происхождения, пригодное для применения во многих отраслях промышленности.

Их широкое вовлечение в хозяйственный оборот позволит снизить темпы заполнения золоотвалов, а так же получить эффект в масштабе региональной экономики за счёт:

- использования более дешевых ресурсов в строительстве;
- сокращения издержек генерирующих компаний на размещение отходов;
- восполнения дефицита природных ресурсов;
- внедрение инновационных технологий в автодорожном строительстве;
- снижения общего загрязнения окружающей среды и восстановление земель.

В текущий период государством предпринимается множество мер по осуществлению контроля и организации системы мониторинга в области обращения с отходами:

- ведение Государственного кадастра отходов;
- Федеральное государственное статистическое наблюдение в области обращения с отходами;
- учет в области обращения с отходами;
- информационное обеспечение основных групп населения в области обращения с отходами и др.

Однако вопрос эффективности этих мер остается незаконченным.

Кроме нерационального использования территории, а также ряда проблем, неучтенных законодательно в градостроительной деятельности, нельзя не обойти тот факт, что размещение золоотвалов в городской черте, несет в себе потенциальную опасность, которая может возникнуть в результате техногенных аварий и природных стихийных бедствий (в первую очередь наводнений) [22].

На основании вышеизложенного, энергетическими предприятиями проводятся мероприятия по увеличению объема реализации ЗШМ, и ежегодно рост объема реализации составляет порядка 40% [23].

Основные этапы на пути к достижению таких целей как рациональное использование земель, занятых золоотвалами и предотвращение потенциальной опасности таких гидротехнических сооружений, должны заключаться в следующем:

1. увеличение объема переработки ЗШМ до 100%;
2. разработка и внедрение эффективных методов рекультивации земель, занятых золоотвалами;
3. создание рекреационных объектов на территории золоотвалов (как правило, это посадка многолетних зеленых насаждений).

Также одним из главных инструментов управления земельными ресурсами и рационального использования городских земель должно стать

экономическое стимулирование природоохранных инициатив со стороны государства.

То есть, помимо налоговых льгот, необходимо внедрить финансовые поощрения и льготы, авансовые платежи - кредиты. В качестве оснований для получения кредита, для реализации на предприятии какого-либо природоохранного проекта, могут быть использованы проекты научно-исследовательских или опытно-конструкторских работ, планы технического перевооружения собственного производства, в том числе обеспечивающего защиту окружающей среды от загрязнения промышленными отходами и другие.

Примером реализации представленной меры может быть Нижегородская область, где в 2002 г. учреждено некоммерческое партнёрство «Ассоциация содействия экологическому предпринимательству».

Помимо экономического стимулирования, увеличение объема использования ЗШМ до 100 % способствует реализации Федерального закона «Об отходах производства и потребления» [24], согласно которому ЗШМ отнесены к отходам производства и потребления и захоронение таких отходов в черте населенного пункта запрещено.

Между тем, ЗШМ представляют собой ценное минеральное сырье, которое используется в таких областях как строительство и производство минеральных удобрений. Некоторые исследования доказывают, что применение ЗШМ является не только эффективным для улучшения свойств производимой продукции, но и уменьшает их стоимость.

Таким образом, можно сделать вывод, что меры управления земельными ресурсами, в настоящее время, приводят к нерациональному использованию земель, занятых золоотвалами. Более того, в соответствие с современным законодательством не разрешается их размещение в черте населенных пунктов. Однако существующие золоотвалы невозможно перенести за пределы населенных пунктов, по причине экономических и производственно-технических особенностей. Поэтому основным направлением минимизации экологической угрозы, которую несут золоотвалы, должно стать направление переработки и вторичного использования ЗШМ [25].

Применение отходов от сжигания твердого топлива в производстве позволит решить два насущных вопроса:

- экологическая – утилизация зол, освобождение ценных земель;
- экономическая – насыщение рынка дешевым строительным материалом, увеличение выпуска товаров народного потребления и производственно-технического назначения.

К основным мероприятиям по снижению количества золошлаковых отходов относятся:

- строительная индустрия – производство цемента, бетонов, растворов, строительных блоков, жилищное, дорожное и ландшафтное строительство, строительство земляного полотна автомобильных дорог;

- использование для заполнения горнорудных выработок при рекультивации отработанных карьеров;
- использование в сельском хозяйстве;
- глубокая (комплексная) переработка золошлаковых отходов с получением глинозема, кремнезема, концентрата железа и целого ряда редкоземельных материалов;
- извлечение ценного компонента – алюмосиликатной полой микросферы.

В основном, вышеперечисленные мероприятия направлены на деятельность, связанную со строительством и производством.

Экономическая и экологическая значимость переработки золошлаков очевидна. Поэтому необходимо переходить к массовым производствам и технологиям. Для создания системы эффективного использования природных и инвестиционных ресурсов в угольной энергетике решением координационного совета по энергетике Сибири в 2010 году в ОАО «ТГК-11» совместно с Сибирской энергетической ассоциацией была разработана и принята за основу «Стратегия повторного возобновления ресурсов из золошлаковых отходов тепловых электростанций Сибири» на 2010–2020 гг. На федеральном уровне совместно с Росавтодором доработан Стандарт организации золошлаковых материалов в автодорожном строительстве. После принятия этого документа можно будет массово применять золошлаки в дорожном строительстве. На согласование Минрегионразвития направлен Стандарт использования золошлаковых материалов для вертикальной планировки исправления неудобий. В настоящий момент ТГК-11 финансирует разработку технических и правовых нормативных стандартов по применению золошлаков, добиваясь признания их не отходами, а продуктами, что позволит проектировщикам обосновывать применение шлаков уже на этапе разработки проектов.

Следующий важный момент заключается в создании полноценной информационной базы о методах и технологиях переработки золошлаков, реализованных и планируемых проектах, их инвестиционном потенциале. Недостаток такой информации — реальный тормоз для принятия решений руководителями бизнеса по переработке золы и шлаков. Увы, сегодня в массовом сознании господствует стереотип, что зола — это всего лишь отходы.

Все это, безусловно, шаги вперед, однако главным препятствием остается то, что переработка золы для энергетиков является побочным делом, что она не имеет поддержки на федеральном уровне. Каждая компания и каждый регион решают эту проблему в одиночку, зачастую от случая к случаю. Выходит, без помощи государства в этом вопросе все равно не обойтись.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В бакалаврской работе был произведен анализ использования золошлаковых отходов в производстве строительных материалов.

По результатам анализа, выяснилось, что в настоящее время усиливается острота вопроса избавления от золошлаковых отходов, получаемых в результате сжигания углей предприятий энергетики. Безостановочное возрастание их объемов приводит к росту экологических, социальных и экономических издержек из-за предельно низкого уровня утилизации. В то же время, по своим физико-химическим и агрегатным характеристикам эти остатки являются уникальным ресурсом, который можно полезно использовать в различных сферах экономики с получением значительных положительных экологических и экономических эффектов.

В начале работы была описана общая характеристика золошлаковых отходов, их применение и утилизация.

Во втором разделе было рассмотрено воздействие золошлаковых отходов и золоотвалов на окружающую природную среду, в результате чего был сделан вывод о том, что золошлаковые отходы и места их накопления, многие из которых уже приближаются к проектному заполнению, представляют немалую опасность для окружающей среды и проблему, которая требует незамедлительного решения.

В третьем разделе осуществлен обзор существующих способов применения отходов энергетики, их основных показателей и характеристик, а также использование отходов энергетики на примере зарубежных стран и в России, в результате чего выяснено значительное отставание России в области утилизации золошлаковых отходов.

В следующем разделе было описано использование золошлаковых отходов в строительной сфере. В первом подпункте данной главы рассмотрена общая характеристика методов применения отходов тепловых электрических станций в строительной отрасли. А во втором подпункте описано применение золы и шлака в производстве различных строительных материалов, таких как битумные или полимерно-битумные вяжущие при дорожном строительстве, цементобетон и асфальтобетон, золосодержащие бетоны и растворы, силикатный кирпич, керамические и плавленые материалы, самостоятельный вяжущий компонент, пеностекольный материал и алюмосиликатные полые микросферы.

В пятом разделе были рассмотрены показатели и схема размещения золошлаковых отходов и золошлакоудаления, а также технологическая схема производства золошлаковых материалов Красноярских ТЭЦ. Тут же была проанализирована область применения золошлаковых материалов Красноярских ТЭЦ и обязательные требования, предъявляемые к ним как к материалам, которые будут использоваться в различных сферах, а также составлена сравнительная таблица значений показателей ЗШО Красноярских ТЭЦ и качественных показателей ЗШМ, установленных требованиями.

В итоговой главе представлена эффективность от вторичной переработки золы и шлака, как с экологической, так и с экономической стороны.

В результате выполнения бакалаврской работы был осуществлен анализ существующих способов использования золошлаковых отходов в производстве строительных материалов, в процессе которого был затронут вопрос отрицательного влияния золошлаковых отходов энергетики на окружающую среду и необходимость его незамедлительного решения, рассмотрено обращение с золошлаковыми отходами на двух энергетических предприятиях Красноярска и выявлена экологическая и экономическая эффективность от вторичной переработки золошлаковых отходов тепловых электрических станций.

Таким образом, применение отходов от сжигания угля в производстве строительных материалов позволяет сэкономить на стоимости основных дорогостоящих материалов без ущерба качеству изделия, одновременно решая проблему утилизации золы и шлака, а следовательно и проблему загрязнения окружающей среды и нехватки ресурсов.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

АСПМ – алюмосиликатные полые микросфераы
ВМР – вторичный материальный ресурс
ГЗУ – гидрозолоудаление
ГРЭС – государственная районная электростанция
ЗШМ – золошлаковый материал
ЗШО – золошлаковый отход
ППСУ – попутные продукты сжигания угля
СГК – сибирская генерирующая компания
ТКО – твердый коммунальный отход
ТГК – территориальная генерирующая компания
ТЭС – тепловая электрическая станция
ТЭЦ – тепловая электрическая централь
ФПС – фосфополугидрат сульфата кальция

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Ф.Л. Капустин, В.М. Уфимцев. Российские стандарты по использованию золошлаков теплоэнергетики в производстве строительных материалов. Материалы II научно-практического семинара «Золошлаки ТЭС: удаление, транспорт, переработка, складирование», Москва, 23–24 апреля 2009 г. — М.: Издательский дом МЭИ, 2009 С. 57 – 64.
2. Адеева А.Н. Научные практические основы экологических технологий комплексной переработки производственных отходов в крупном промышленном регионе : Автореф. дис. канд. техн. наук. Омск, 2010. - С. 11-13.
3. Состав и свойства золы и шлака ТЭС. Справочное пособие/ В.Г.Пантелейев, Э.А.Ларина, В.А.Мелентьев и др. Л.: Энергоатомиздат, 1985. 288 с.
4. Мингалеева Г.Р., Шамсутдинов Э.В., Афанасьева О.В., Федотов А.И., Ермолаев Д.В. Современные тенденции переработки и использования золошлаковых отходов ТЭС и котельных // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 6. Электронный ресурс. Режим доступа: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=16475> (дата обращения: 04.04.2018).
5. Программа экологизации угольной генерации РФ Консорциума «Феникс» – Комплексная система утилизации ЗШМ. – СПб.: ООО»ПЦВ», 2017. – [Электронный ресурс]. Режим доступа: www.ksfenix.ru.
6. Применение зол уноса и золошлаковых смесей при строительстве автомобильных дорог. Е.И. Путилин, В.С. Цветков. Обзорная информация отечественного и зарубежного опыта применения отходов от сжигания твердого топлива на ТЭС. - Союздорнии. М., 2003.
7. Волженский А.В., Иванов И.А., Виноградов В.Н. Применение зол и топливных шлаков в производстве строительных материалов. М.: Стройиздат, 1984.-225 с.
8. ГОСТ 25818–91. Зола-уноса тепловых электростанций для бетонов. Технические условия. Введ. 01.07.1991. М.: Изд-во стандартов, 1992.
9. Дворкин Л.И. Строительные материалы из отходов промышленности: учебно-справочное пособие. - М.: Строительство., 2007.
10. Саломатов В.В. Использование золошлаковых отходов ТЭЦ. Наука и техника 14.05.2014. - г. Новосибирск.
11. РД 34.09.603-88. Методические указания по организации контроля состава и свойств золы и шлаков, отпускаемых потребителям тепловыми электростанциями.
12. Казьмина О. В. Получение пеностекольных материалов на основе золошлаковых отходов тепловых электростанций / О.В. Казьмина, Н.А. Кузнецова, В.И. Верещагин, В.П. Казьмин // Известия Томского политехнического университета. 2011. Т. 319. № 3.
13. Научный журнал "Успехи современного естествознания" – Российская Академия Естествознания №8, 2007 год. – [Электронный ресурс]. Режим доступа: www.rae.ru.

14. ГОСТ 25100-2011. Грунты. Классификация. М.: Межгосударственная научно-техническая комиссия по стандартизации, техническому нормированию и сертификации в строительстве(МНТКС), 2013.
15. ТР 38609175-2017 Постоянный Технологический Регламент на производство продукта «Материал золошлаковый, получаемый в результате деятельности АО «Красноярская ТЭЦ-1».
16. ТР 00105457-2017 Постоянный Технологический Регламент на производство продукта «Материал золошлаковый, получаемый в результате деятельности Красноярской ТЭЦ-2 АО «Енисейская ТГК (ТГК-13)».
17. СанПиН 2.6.1.2523-09 "Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009)". Министерство юстиции Российской Федерации 14 августа 2009 года, регистрационный № 14534.
18. СП 2.6.1.2612-10 "Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ 99/2010)". Министерство юстиции Российской Федерации 11 августа 2010 года, регистрационный № 18115.
19. Санитарно-эпидемиологические требования к качеству почвы СанПиН 2.1.7.1287-03. Министерство юстиции Российской Федерации 5 мая 2003 года, регистрационный № 4500.
20. ОДМ 218.2.031-2013 Методические рекомендации по применению золы-уноса и золошлаковых смесей от сжигания угля на тепловых электростанциях в дорожном строительстве. Сиротюк В.В., Иванов Е.В. Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия (СибАДИ), 2013.
21. Салихов В.А. Оценка перспектив извлечения ценных цветных и редких металлов из золошлаковых отвалов энергетических предприятий Кемеровской области / О.С. Краснов, В.А. Салихов // Записки горного института. – 2013. – Т. 201. – с. 191-195.
22. Дубровский А. В., Ким Э. Л. Геоинформационное обеспечение раннего предупреждения и управления кризисными ситуациями // Сб. матер. Международного научного конгресса «Сиббезопасность-Спассиб-2012» 25–27 сентября 2012 г., Новосибирск. – Новосибирск: СГГА, 2012. – С. 51–56.
23. Официальный сайт ОАО «Сибирская энергетическая компания» [Электронный ресурс] - режим доступа: <http://www.sibeco.ru>.
24. Федеральный закон от 24 июня 1998 г., № 89-ФЗ «Об отходах производства и потребления - Российская газета, № 121, 30.06.1998.
25. Шишелова Т.И. Программа переработки и использования золошлаковых материалов (ЗШМ) электростанций ОАО «Иркутскэнерго» на 2005-2010 годы» / Т.И. Шишелова, М.Н. Самусева, В.В. Жабо - Журнал «Современные научноемкие технологии» Выпуск № 2/2005 - М.: Наука, 2005 - С. 73-74.
26. СТО 4.2-07-2014. Система менеджмента качества. Общие требования к построению, изложению и оформлению документов учебной и научной деятельности. - Красноярск: ИПК СФУ, 2014. – 60 с.

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Политехнический институт
Кафедра «Инженерная экология и безопасность жизнедеятельности»

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
 Т. А. Кулагина
подпись
« 17 » июня 2019г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

по направлению 20.03.01 «Техносферная безопасность»

«Использование золошлаковых отходов в производстве строительных
материалов»

Руководитель

Про 15.07.19
подпись, дата

к. т. н, доцент

Ю.Д. Кан

Выпускник

СО 15.07.19
подпись, дата

С. О. Чаш

Нормоконтролер

ЕЗ 16.07
подпись, дата

ст. преподаватель

Е.Н. Зайцева

Красноярск 2019