

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Политехнический институт
институт
Теплотехники и гидрогазодинамики
кафедра

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
_____ В.А. Кулагин
подпись инициалы, фамилия
«_____» июня 2022 г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМ ЗОЛОШЛАКОУДАЛЕНИЯ
КОТЕЛЬНЫХ МАЛОЙ МОЩНОСТИ, РАБОТАЮЩИХ НА ТВЕРДОМ
ТОПЛИВЕ

тема

13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника

код и наименование направления

13.04.01.01 Энергетика теплотехнологий

код и наименование магистерской программы

Научный руководитель	_____	<u>профессор, д.т.н.</u>	<u>М.П. Баранова</u>
	подпись, дата	должность, ученая степень	инициалы, фамилия
Выпускник	_____		<u>А.А. Лунев</u>
	подпись, дата		инициалы, фамилия
Рецензент	_____	<u>доцент, к.т.н.,</u>	<u>Т.Н. Бастрон</u>
	подпись, дата	должность, ученая степень	инициалы, фамилия

Красноярск 2022

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Политехнический институт
институт
Теплотехники и гидрогазодинамики
кафедра

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
_____ В.А. Кулагин
подпись инициалы, фамилия
« » 2022 г

ЗАДАНИЕ

НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ

в форме Магистерской диссертации
бакалаврской работы, дипломного проекта, дипломной работы, магистерской диссертации

Студенту Луневу Александру Александровичу

фамилия, имя, отчество

Группа ФЭ20-01М Направление (специальность) 13.04.01.01
Номер код

Энергетика теплотехнологий

наименование

Тема выпускной квалификационной работы Совершенствование систем
золошлакоудаления котельных малой мощности работающих на твердом
топливе

Утверждена приказом по университету № _____ от _____

Руководитель ВКР профессор, д.т.н. М.П. Баранова

инициалы, фамилия, должность, ученое звание и место работы

Исходные данные для ВКР система золошлакоудаления
АО «Красноярская ТЭЦ-1».

- Перечень разделов ВКР: 1) Введение
2) Основная часть
3) Технико-экономическая часть
4) Заключение
5) Список использованных источников

Руководитель ВКР _____
подпись

Задание принял к исполнению _____
подпись

Баранова М.П.
инициалы и фамилия

Лунев А.А.
инициалы и фамилия студента
« » 202 г.

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа по теме «Совершенствование систем золошлакоудаления котельных малой мощности работающих на твердом топливе» содержит 72 страницы текстового документа, 10 иллюстраций, 45 таблиц, 36 использованных источников.

Ключевые слова: СИСТЕМА ЗОЛОШЛАКОУДАЛЕНИЯ, ПРИМЕНЕНИЕ ЗОЛЫ И ШЛАКА, ЗОЛООТВАЛ, ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА, ТРАНСПОРТИРОВКА, ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ.

Объектом исследования является система золошлакоудаления АО «Красноярская ТЭЦ-1», транспортирующая продукты образования производственной деятельности котельного цеха от станции на золошлакоотвал.

Предмет исследования - цех золопогрузки.

Целью данной диссертации является обоснование модернизации системы золошлакоудаления путем изменения логистических структур.

Для достижения поставленной цели в магистерской диссертации были решены следующие задачи:

1. Проведен анализ информации по существующим системам золошлакоудаления энергообъектов, работающих на твердом топливе;
2. Проведен сравнительный анализ возможностей использования и реализации золошлаковых материалов, образуемых в результате работы котлоагрегатов;
3. Разработана система золошлакоудаления с изменением внутростанционных логистических структур;
4. Выполнено технико-экономическое обоснование внедрения принятых решений.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1 Современное состояние вопроса по выбранной теме	6
1.1 Классификация систем золошлакоудаления.....	8
1.1.1 Ручное и механическое золошлакоудаление.....	8
1.1.2 Гидравлическое золошлакоудаление	8
1.1.3 Пневматическое золошлакоудаление.....	9
1.1.4 Комбинированное золошлакоудаление	10
1.2 Анализ отечественного и зарубежного опыта использования золошлаковых материалов.....	13
1.3 Обоснование выбора объекта исследования.....	22
2 Возможности применения золошлаковой смеси и золы уноса АО «Красноярская ТЭЦ-1» в народном хозяйстве.....	23
2.1 Анализ исследования строительных свойств материалов из золошлаковой смеси АО «Красноярская ТЭЦ-1»	23
2.2 Анализ исследования строительных свойств золы-уноса АО «Красноярская ТЭЦ-1».....	34
2.3 Практические рекомендации по использованию золошлаковых отходов.....	45
3 Разработка системы золошлакоудаления с использованием участка автозолопогрузочного цеха.....	47
3.1 Описание действующей системы золошлакоудаления АО «Красноярская ТЭЦ-1».....	47
3.1.1 Количество образуемых золошлаковых отходов.....	50
3.2 Проект автозолопогрузочного цеха	55
4 Техничко-экономическое обоснование	60
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	68
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	69

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день электроэнергия является важнейшим ресурсом, без которого нельзя представить ни одну современную сферу деятельности человека. В России генерация на твердом топливе составляет около 65 % и, не смотря на все усилия, эту долю не удастся сократить, уменьшив использование природного угля как основного топлива. Сжигание твердого топлива различных видов – угля, торфа, дров, отходов деревообработки и сельского хозяйства – всегда сопровождается образованием продуктов сгорания – золы и шлака.

Для надежного функционирования котельной установки зола и шлак должны своевременно перемещаться от котла и станции на специальные площадки и золоотвалы, сооруженные согласно целому ряду нормативно-технических, экологических и других требований. Проблема удаления золы и шлака от котла всё чаще встает на повестке дня крупных энергетических компаний, в виду с участвовавшими случаями различных отказов оборудования золоудаления и ужесточающимися экологическими требованиями.

Обеспечение надежного и бесперебойного удаления золы и шлаков, безопасности обслуживающего персонала, экономичности работы, защиты окружающей среды от загрязнений являются одними из наиболее острых вопросов в процессе эксплуатации системы золошлакоудаления котлов и энергообъектов в целом.

Для решения вышеперечисленных задач был поставлен вопрос о возможности и целесообразности совершенствования системы золошлакоудаления путем изменения логистических структур.

Объектом исследования являлась система золошлакоудаления АО «Красноярская ТЭЦ-1», отводящая продукты образования производственной деятельности котельного цеха от станции на золошлакоотвал.

Целью данной диссертации является обоснование модернизации системы золошлакоудаления путем изменения логистических структур.

Для достижения поставленной цели в магистерской диссертации были решены следующие задачи:

1. Проведен анализ информации по существующим системам золошлакоудаления энергообъектов, работающих на твердом топливе;
2. Проведен сравнительный анализ возможностей использования и реализации золошлаковых материалов, образуемых в результате работы котлоагрегатов;
3. Разработана система золошлакоудаления с изменением внутристанционных логистических структур;
4. Выполнено технико-экономическое обоснование внедрения принятых решений.

Методы исследования. Для решения поставленных задач в работе использовались данные по исследованию свойств золошлаковых отходов и возможностей использования их в различных технологиях.

Практическая значимость работы заключалась в демонстрации широкого спектра возможностей использования золошлаковых отходов при изменении логистических структур энергообъектов и как следствие этого повышение экономических показателей в работе станций, а также снижение экологического воздействия энергообъектов на окружающую среду.

1 Современное состояние вопроса по выбранной теме

В процессе работы тепловых электрических станций продукты сгорания твердого топлива удаляются из котла устройствами золоудаления на отведенную территорию, называемую золошлакоотвалом. Своевременное и качественное удаление продуктов сгорания – золы и шлака – на золошлакоотвал имеет большое значение для надежности работы всей станции.

Объем золошлаковых отходов после сжигания углей, сланцев и торфа, по официальным данным Всероссийского теплотехнологического научно – исследовательского института (ВТИ), составляет 40 – 50 млн. тонн в год. По данным других источников, объемы ежегодного прироста золошлаков составляет порядка 60 млн. тонн [1].

В настоящее время в нашей стране только около 10 – 15 % золошлаковых отходов предприятий перерабатывается заново для получения цемента, шлакоблоков, иных строительных материалов. Подавляющая же часть этих отходов складывается на территориях предприятий и представляет собой определенную угрозу окружающей среде [2].

Зола имеет две формы: летучую, уходящую вместе с дымовыми газами, и так называемый провал – порошкообразный остаток, проваливающийся в холодную часть топки, называемый шлаком. Отличие золы от шлака заключается в том, что зола, проходит длительную термообработку под действием температур топочных процессов. На рисунке 1 показаны зола и шлак.



а)

б)

Рисунок 1 – а) зола, б) шлак

Согласно стратегии развития топливно-энергетической отрасли до 2035 г., твердое органическое топливо будет оставаться востребованным в энергетическом и сырьевом балансе Российской Федерации. При этом формирования целей устойчивого развития (ЦУР) ООН диктуют новые, более ужесточенные правила к рациональному использованию экосистемы суши.

В энергетической отрасли РФ давно зреет сопутствующая проблема. Если в 2010 г. общая установленная мощность угольных ТЭС составляла 44,9 ГВт, то по прогнозу Интер РАО ЕЭС к 2030 г. она возрастет до 68,2 ГВт. При сжигании углей образуется от 10 до 50% золошлаковых отходов (ЗШО). Ежегодно ТЭС РФ отправляют в отвалы миллионы тонн ЗШО. Таким образом, к 2030 г. в золоотвалах РФ будет складировано порядка 2 млрд. тонн золошлаковых смесей (ЗШС) [3].

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 [4].

Золоотвалы в мегаполисах занимают от 200 до 1000 га пригородных территорий (общая площадь золоотвалов в РФ превышает 30 тыс. га.), которые полностью извлекаются из хозяйственного оборота. Каждый отвал является потенциальным источником опасности. Нередки аварии, происходящие на золоотвалах, в результате которых прорыв дамбы становился причиной гибели целой природной экосистемы и разрушения прилегающих зданий и сооружений, как это было в декабре 2008 г. в Тенесси [5,6] и в Северной Каролине в феврале 2014 г. [7].

Один из наиболее пагубно влияющих факторов пылеугольных электростанций на биогеоценоз являются золошлакоотвалы, за счёт:

- сокращения численности лесов, растительности, животных, изменения биоразнообразия;
- отчуждения земель;
- фильтрации отвальной воды, обогащенной растворимыми зольными компонентами, в подземные горизонты;
- неизбежного сброса избытков осветленной воды в поверхностные водоисточники;
- деформации поверхности, изменения рельефа;
- загрязнения токсичными элементами, тяжелыми металлами;

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 [8].

Также, для энергетических компаний, вывоз и размещение ЗШО является колоссальной статьей затрат, и увеличение реализации сухой золы уноса и ЗШМ может не только снизить затраты на вывоз, но и уменьшить издержки на ремонт трасс ГЗУ, гребней дамб золоотвала, увеличить срок работы секций для существующих золоотвалов, а также уменьшить капитальные затраты на строительство золоотвала для, вновь проектируемых станций.

1.1 Классификация систем золошлакоудаления

Удаление продуктов сгорания твердого топлива - золы и шлака, образующихся в топках котлов, может осуществляться с применением двух видов: сухого и мокрого.

По характеру движущей силы шлак и зола могут удаляться следующими способами:

- ручное и механическое (механизмы);
- гидравлическое (вода);
- пневматическое (воздух);
- комбинированные способы.

1.1.1 Ручное и механическое золошлакоудаление

Ручной способ удаления шлака применяется в небольших немеханизированных котельных с ручной загрузкой топлива. Шлак удаляется через золовую дверцу и далее из котельной на тележках или вагонетках. Шлак и зола перевозятся сухими. Вагонетки двигаются по рельсам или обычной поверхности, если их колеса оборудуют резиновым ободом. Передвижение на отвал может быть осуществлено с помощью механической тяги – лебедкой, автотористой или другим способом. Однако применение вагонеток любого типа не исключает ручной труд. Перед выгрузкой его из шлакового бункера он предварительно заливается водой. Такой процесс может быть трудозатратным.

Шлакоудаление механическим способом осуществляется при помощи механизмов периодического или непрерывного действия. Это могут быть скреперные установки, перемещающие шлак горизонтально и с подъемом, скребковые и шнековые транспортеры. Шлак при этом предварительно гасится водой. Для борьбы с запылением применяется вытяжная вентиляция и герметизация узлов пересыпки. При выборе производительности механизированной системы удаления шлака необходимо учитывать запас для перерывов в работе на несколько часов. Таким образом, система не может работать в автономном режиме.

1.1.2 Гидравлическое золошлакоудаление

Для удаления шлака и золы, образующихся при сжигании твердого топлива на теплоэнергоисточниках средней и большой мощности, наибольшее распространение в России получили гидравлические системы, в которых в качестве транспортирующего агента используется вода. Любые гидравлические системы включают следующие элементы: котлоагрегаты, золоуловители, золовые бункера под ними, течи для сброса золы из бункеров, затворы непрерывного и периодического действия, золосмывные аппараты, золошлаковые каналы внутри теплоэнергоисточника (самотечные),

различные насосные установки и трубопроводы для транспортирования золошлаковой пульпы снаружи теплоэнергоисточника (напорные) к золоотвалу.

Эффективность систем характеризуется рядом показателей, в том числе надежностью и экономичностью, стоимостью сооружения и эксплуатации, санитарно-гигиеническими условиями работы эксплуатационного персонала. Указанная эффективность определяется расходом смывной воды и золошлаковой пульпы, затратами электроэнергии на их транспортирование, количеством задействованного оборудования и обслуживающего персонала.

При эксплуатации систем гидрозолошлакоудаления наблюдается ряд недостатков, самые существенные из них представлены ниже:

- большие расходы смывной воды и электроэнергии для ее перекачки;

- места складирования золошлаковых материалов выбираются обычно вблизи тепловых электрических станций, причем для этой цели чаще всего используются бросовые, неудобные для сельского хозяйства земли. Если для районных электрических станций, построенных сравнительно далеко от населенных пунктов, вопрос о расположении золоотвалов решается относительно просто, то для электрических станций, построенных вблизи больших городов (а нередко и в их черте), проблема складирования золошлаковых материалов приобретает большую остроту.

- в настоящее время на золоотвалах скопилось большое количество золошлаковых отходов. Эта проблема возникает вследствие того, что при гидравлическом способе удаления золошлаковый материал теряет свои ценные качества, позволяющие их использовать в народном хозяйстве, в первую очередь в строительстве. Поэтому использование золошлаковых отходов по-прежнему невелико и составляет в среднем 1400 тыс. т, или около 3,5 % общего их выхода. В результате этого продолжается накопление их в золошлакоотвалах, где уже находится около 1,3 млрд т, а площадь земель, отведенных под золошлакоотвалы, оставляет 22 тыс. га.

Уменьшению указанных недостатков посвящены различные разработки и публикации [9]. В частности уменьшение расходов смывной воды в напорных трубопроводах достигается установкой золоотстойников, а также лучшей герметизацией ложа золоотвала (с использованием специальной пленки). Для уменьшения расхода смывной воды в самотечных трубопроводах в отдельных случаях возможна централизация сброса золы от нескольких бункеров в общий золосмывной аппарат, достигаемая применением различных устройств.

1.1.3 Пневматическое золошлакоудаление

Пневматическая система золошлакоудаления основана на способности потока газов при достаточной скорости, перемещать сыпучие материалы. Данная система может быть осуществлена по нагнетательной и

всасывающей схемам. В первом случае система находится под давлением, во втором - под разрежением. Применяют обычно системы, осуществляемые по всасывающей схеме, при которых в качестве транспортирующего агента используется воздух и вся система находится под разрежением, создаваемым паровыми эжекторами или вакуум-насосами.

Концентрация золы и шлака, взвешенных в воздухе, не должна превышать 4-7 кг/кг. Диаметр золопроводов обычно выбирают 90-120 мм, Скорость потока при транспорте золошлаковой смеси должна быть более 25 м/с. При транспорте одной золы скорость принимают не менее 12 м/с. При этом разрежение, создаваемое эжекторами или вакуум-насосами, должно быть 30-40кПа. Расход пара эжекторами составляет 0,8-1 кг/кг транспортируемой массы шлака и золы. Расход энергии на дробление шлака 0,8 кВт-ч/т.

Транспорт шлака и золы может производиться на расстояние до 200 м при подъеме их до 30 м. Преимуществами пневматической системы золошлакоудаления являются простота устройства и обслуживания, возможность непосредственного использования получаемых в сухом виде шлака и золы для различных целей, а также отсутствие загрязненных сточных вод. Недостатками системы являются быстрый износ золошлакопроводов, а также ограниченный радиус действия, что определяет необходимость дополнительного применения внешнего железнодорожного или иного вида транспорта.

Пневмозолошлакоудаление применяют для котельных установок малой производительности при нецелесообразности устройства гидрозолоудаления, а также в случае необходимости получения сухого шлака и золы по условиям их дальнейшего использования. В котельных установках большой производительности пневматический транспорт золы применяют в сочетании с гидрозолоудалением.

1.1.4 Комбинированное золошлакоудаление

Пневмогидравлические (комбинированные) системы ЗШУ чаще всего применяются на крупных ТЭС, в которых зола улавливается в электрофильтрах. В 70-х годах XX в. преимущественно на блочных ТЭС России было начато сооружение установок по отгрузке сухой золы (УОСЗ) потребителям. Нормами технологического проектирования на ТЭС с сухими золоуловителям предусматривается внутрисканционное пневмогидравлическое золоудаление: зола из-под золоуловителей собирается пневмосистемами в промежуточный бункер, а из него транспортируется в УОСЗ по пневмозолопроводам (ПЗП) или при отсутствии потребителей сухой золы подается по каналам ГЗУ в насосную станцию, откуда совместно со шлаком в виде пульпы транспортируется на ЗШХ. Потребителям сухая зола может отгружаться непосредственно из промежуточных бункеров или со склада сухой золы. При этом на ЗШХ также могут сооружаться узлы

отгрузки ЗШС потребителям. Блок-схема комбинированной системы ЗШУ с отгрузкой потребителям сухой золы из УОЗС и ЗШС из ЗШХ представлена на рис. 2.

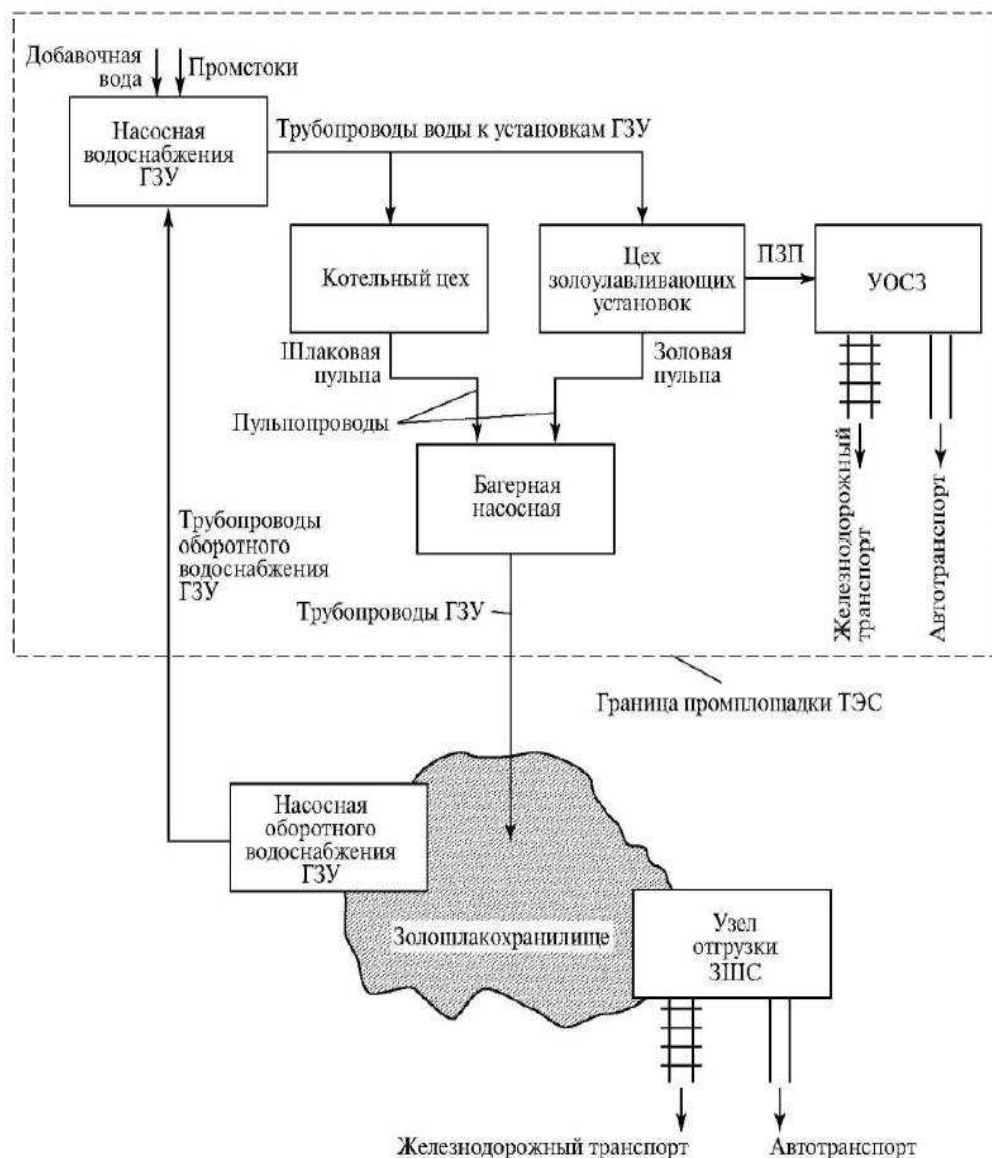


Рисунок 2 – Блок схема комбинированной системы золошлакоудаления с отгрузкой потребителям сухой золы из УОЗС и золошлаковой смеси из золошлакохранилищ

Характерной чертой любых систем ГЗУ является наличие ЗШХ в виде золошлакоотвала и использование воды для внешнего транспорта золошлаков в ЗШХ. Использование воды в системах ГЗУ определяет как их достоинства, так и недостатки.

Широкое распространение систем ГЗУ различных конфигураций объясняется рядом присущих им достоинств:

- возможностью непрерывного удаления большого количества золошлаков на значительные расстояния (до нескольких десятков километров);

- совмещением процессов охлаждения, грануляции и транспортирования шлака; возможностью полной механизации всего процесса перемещения и укладки золошлаков в отвал;

- использованием в работе сравнительно простого и надежного оборудования и возможностью полной механизации всего процесса перемещения и укладки золошлаков в отвал;

Однако гидрозолошлакоотвалы существенно загрязняют окружающую среду.

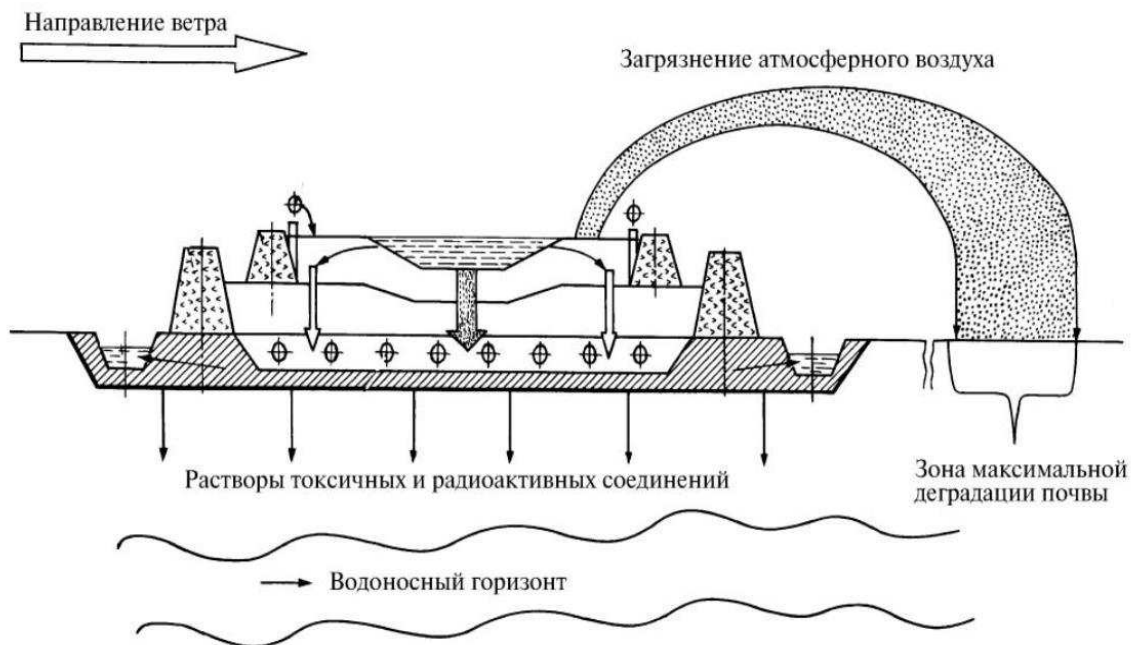


Рисунок 3 - Схема загрязнения окружающей среды гидрозолошлакоотвалами ТЭС

Кроме того, сочетание рыночных условий экономической деятельности и постоянно ужесточающегося природоохранного законодательства вынуждает более тщательно подходить к эколого-экономической оценке систем ГЗУ. В целом при анализе технико-экономических и экологических показателей систем ГЗУ были установлены следующие их основные недостатки:

- образование твердых отложений в трубопроводах системы ГЗУ, которые могут привести ее в неработоспособное состояние;

- необходимость достаточно частой замены напорных золошлакопроводов вследствие их абразивного и коррозионного износа;

- неоправданно высокие энергозатраты на внешний гидротранспорт золошлаков из-за практической нерегулируемости производительности установок внешнего ГЗУ в зависимости от массы транспортируемых золошлаков;

- необходимость значительных инвестиций и достаточно продолжительный период для модернизации технологической схемы

системы ЗШУ при изменении марок сжигаемых углей и/или технических требований к потребительским свойствам отгружаемых потребителям золошлаков;

- потребность в большом удельном расходе воды: 10...50 м³ воды на 1 тонну золошлаков;
- необходимость дополнительных затрат на кондиционирование золошлаков при их отгрузке из ЗШХ в соответствии с техническими требованиями потребителей на их поставку;
- ухудшение потребительских свойств золы при взаимодействии с водной средой;
- необходимость очистки оборотной воды системы ГЗУ от растворенных соединений во избежание образования отложений в трубопроводах возврата осветленной воды;
- изъятие из рационального землепользования значительных площадей для размещения ЗШХ и трубопроводов внешнего ЗШУ;
- загрязнение атмосферного воздуха вследствие пыления ЗШХ;
- загрязнение подземных вод растворами соединений токсичных и тяжелых металлов, фильтрующихся через ложе золошлакоотвалов;
- деградация почв в зоне влияния золошлакоотвалов;
- достаточно частое использование систем ГЗУ не только по прямому назначению, но и для канализации промышленных сточных вод ТЭС, объем которых может превышать в несколько раз достаточное количество воды для надежного транспортирования удаляемых золошлаков.

По сравнению с ГЗУ системы пневмозолоудаления (ПЗУ) имеют ряд существенных преимуществ:

- достигнутый уровень надежности современных систем ПЗУ не ниже, а в случае транспортирования высококальциевых зол и выше надежности систем ГЗУ;
- возможность регулирования в широких пределах производительности установок внешнего пневмотранспорта золы;
- технологическая гибкость и адаптируемость в короткие сроки к изменяющимся техническим условиям на поставку золы потребителям без значительных инвестиций;
- неизменность потребительских свойств золы при ее сборе, транспортировании, временном хранении и отгрузке;
- возможность отгрузки сухой золы по группам фракций в зависимости от потребительского спроса.

1.2 Анализ отечественного и зарубежного опыта использования золошлаковых материалов.

В результате наблюдений за опытом применения техногенных отходов промышленности нашей Родины и зарубежных стран можно однозначно сказать о колоссальных возможностях применения золошлаковых

материалов при их использовании во всех слоях оснований дорожных одежд для любой транспортной нагрузки. Дорожные одежды с использованием зол и шлаков имеют достаточную прочность, морозостойкость, долговечность. Стабилизированные с помощью цемента и золы материалы продолжают увеличивать свою прочность с течением времени, т.е. параллельно с увеличением интенсивности движения, что делает конструкцию более экономичной.

Потребление материальных ресурсов при строительстве автомобильных дорог чрезвычайно велико. На возведение 1 км автомобильной дороги в зависимости от ее категории и местных условий требуется [10]:

- для сооружения земляного полотна – 6-60 тыс. м³ грунта;
- для создания дренирующих и морозозащитных слоев – 1,6-6 тыс. м³ песка;
- для строительства дорожного основания – 0,8-5,4 тыс. м³ – щебня или грунта, укрепленного вяжущими материалами;
- для строительства дорожных покрытий – 1,1-4,7 тыс. тонн асфальтобетона (что требует 55-235 тонн битума) или 1,2-4,8 тыс. м³ цементобетона (480-1700 тонн цемента).

Уменьшение потребности в дорожно-строительных материалах и повышение эффективности их использования остается важнейшей проблемой. Многолетние научные исследования и практика дорожного строительства показали, что одним из путей ее решения является использование вторичных ресурсов – отходов промышленности, которые можно использовать в качестве непосредственно дорожно-строительного материала или как исходный продукт для его получения. К таким отходам относятся продукты сжигания на ТЭС твердого топлива: угля, торфа, сланцев и других горючих материалов (золошлаковые смеси и золы уноса).

В 1976 г. Министерство транспортного строительства СССР утвердило «Технические условия по использованию зол уноса и золошлаковых смесей от сжигания различных видов твердого топлива для сооружения земляного полотна и устройства дорожных оснований и покрытий автомобильных дорог» (ВСН 184-75), в которых были установлены требования к применению зол и золошлаковых материалов в дорожном строительстве. ОДН 218.2.031-2013 во многом повторяет требования этого документа.

Золошлаковые смеси применяют в качестве материала для сооружения насыпей земляного полотна или малоактивной гидравлической добавки, в сочетании с цементом при укреплении грунтов на дорогах III-IV категорий. Критерием пригодности золошлаковой смеси для возведения земляного полотна считают их пучинистость, которая характеризуется величиной коэффициента морозного пучения (Кпуч). Он представляет собой отношение вертикальной деформации пучения при промораживании образца к его первоначальной высоте, выраженной в процентах. Непучинистые и слабо пучинистые золошлаковые смеси применяют при возведении насыпей

земляного полотна без ограничений. Пучинистые золошлаковые смеси допускаются при обязательном осуществлении комплекса мероприятий по обеспечению устойчивости земляного полотна, особенно верхних его слоев, находящихся в зоне промерзания. Сильно пучинистые золошлаковые смеси для возведения насыпей земляного полотна не допускаются.

Отходы от сжигания твердого топлива на ТЭС широко используются при строительстве автомобильных дорог за рубежом. Основные области их применения рассмотрены ниже.

Зола сухого отбора:

- медленнотвердеющее самостоятельное вяжущее для устройства оснований дорожных одежд из укрепленных грунтов и каменных материалов;
- активная гидравлическая добавка в сочетании с неорганическими вяжущими (цементом или известью) для устройства оснований;
- активная гидравлическая добавка в сочетании с битумными или полимерно-битумными вяжущими;
- составная часть минерального порошка или для его замены при приготовлении асфальтобетонной смеси;
- добавка взамен части цемента и заполнителя при приготовлении тяжелого бетона и раствора.

Отвальные золошлаковые смеси гидроудаления:

- техногенный грунт для сооружения дорожных насыпей;
- материал, укрепленный цементом или другими вяжущими, для устройства оснований и дополнительных слоев дорожных одежд;
- малоактивная гидравлическая добавка к извести при приготовлении золоизвестковых вяжущих для укрепления грунтов и каменных материалов;
- взамен минерального порошка и частично песка при приготовлении асфальтобетона;
- заполнитель при приготовлении тяжелого песчаного бетона.

Ведущее место среди стран Западной Европы в решении проблемы использования топливных отходов ТЭС в строительстве занимает Франция [11]. Зола уноса используются во всех элементах дорожных конструкций. В зависимости от их состава и свойств они могут входить в тело насыпи как техногенный грунт; 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 состав бетона.

Влажные золы уноса применяют для возведения насыпей, если невозможно заложить резервы или карьеры из естественных грунтов, а также

при их неудовлетворительном качестве. Золой укладывают слоями по 40-50 см с уплотнением, откосы укрепляют дерном.

В нижних слоях оснований широко применяют смеси зол-уноса с известью и гипсом, в верхних - дробленую гравийно-песчаную смесь, укрепленную золо-известковым вяжущим. Оптимальные результаты получены при соотношении извести и золы 1:4. Если установки для приготовления смесей размещены около отвалов зол уноса, то на территорию ТЭС завозят гравийно-песчаную смесь, известь и гипс, подводят водопровод; если они находятся на строительной площадке, то на нее завозят все материалы. Для приготовления смесей используют смесители с принудительным перемешиванием производительностью 300 т/ч. При укладке смесей особое внимание уделяют качеству уплотнения. Его осуществляют виброкатками, катками на пневматических шинах, пневмовиброкатками. На укрепленном слое основания устраивают защитный слой типа одиночной или двойной поверхностной обработки путем розлива 0,5-2 л/м² катионной битумной эмульсии и распределяют 0,5-6 л/м² песка или щебня фракции 10-20 мм. Укладка асфальтобетонного покрытия непосредственно на гравийно-песчаную смесь, содержащую известь и золу, не допускается.

В Англии зола уноса от сжигания каменного угля была применена в начале 60-х годов прошлого века как материал для возведения насыпей. Исследования показали, что зола уноса является материалом, пригодным для сооружения насыпей и устройства нижних слоев основания дорожной одежды, которые должны находиться на глубине не менее 40 см от поверхности покрытия в связи с их недостаточной морозоустойчивостью. Аналогичные исследования золошлаковых смесей из отвалов тепловых электростанции доказали их пригодность для сооружения насыпей и устройства оснований дорожных одежд. Из этого материала были отсыпаны две насыпи при реконструкции дороги А1, в которые уложено около 172800 м³ золошлаковой смеси. Рекомендовано не сооружать насыпи из мелкого и влажного материала. Зола уноса использовали в жестком укатываемом бетоне для устройства дорожных одежд, а также для укрепления подстилающих слоев. Образцы бетона с добавкой 42% (массы вяжущего) золы в возрасте 28 сут. показали большую прочность, чем обычного бетона.

Несколько насыпей из золошлаковых смесей построено в Венгрии: одна высотой 2-3 м, объемом 4000 м³, вторая - соответственно 1,7 м и 22744 м³, третья - 1,5 м и 2700 м³. Чрезвычайно неблагоприятная погода (за 8 дней выпало 400 мм осадков в виде дождя) не помешала строительству благодаря хорошей дренирующей способности смесей. Кроме того, в 1986г. с применением золы было уложено около 2 млн. м² дорожных покрытий [12]. Исследования, проведенные в США, показали, что золы можно использовать для гидротехнических насыпных сооружений. Опыты на свежеложенных образцах по определению сопротивляемости сдвигу показали, что зола уноса имеет некоторое сцепление при увлажнении вследствие поверхностного

натяжения в поровой воде. Отмечается, что если процесс консолидации в лабораторных условиях длится считанные минуты, то осадка насыпи из золошлакового материала происходит на протяжении всего строительного периода.

В Польше проведены исследования и опытные работы по укреплению золы уноса как самостоятельным вяжущим не только песков, но и глинистых грунтов [13]. Получены положительные результаты при устройстве однослойного основания из глины, укрепленной 85% золой уноса, и двухслойного основания с нижним слоем из пылеватых лессовых суглинков, укрепленных 8-12% золой уноса и верхним слоем из того же грунта, укрепленного 6% золой уноса и таким же количеством портландцемента. Установлено, что грунты (пылеватые пески, глины, суглинки), укрепленные 5-15% золой уноса, удовлетворяют требованиям, предъявляемым к грунтам, укрепленным цементом или известью. Однако нарастание - прочности протекает медленней. Морозостойкость укрепленных грунтов в 42-суточном возрасте в большинстве случаев достигает значений, получаемых при укреплении аналогичных грунтов цементом в возрасте 28 суток.

Исследования по применению золошлаковых смесей в хозяйстве выполняются в отдельных научных организациях и вузах Сибири, см., например, [14-16].

Заметное оживление исследований по применению золошлаковых отходов в хозяйстве обозначилось в последние годы [17-21]. Особенно это заметно в части строительства земляного полотна [17]. Отчасти, это можно объяснить тем, что все более осложняются вопросы отвода земли под карьеры с кондиционным грунтом. Наиболее остро этот вопрос стоит при проектировании и строительстве городских и пригородных дорог. Учитывая ценность пригородных земель и экологическую напряженность на этих территориях, зачастую под грунтовые карьеры отводят неудобья и обводненные территории с некондиционными переувлажненными грунтами. Сегодня дальность транспортировки грунтов может измеряться десятками километров, при этом стоимость земляного полотна и всей дороги значительно возрастает.

На пригородных территориях растут отвалы, площадь которых измеряется сотнями гектаров, в которых скапливаются десятки миллионов тонн золошлаковых отходов. Стоимость расширения или строительства золоотвалов измеряется сотнями миллионов рублей.

В настоящее время в мировой и отечественной практике сложились три основных направления утилизации ЗШО [18]:

- прямое использование золошлаковых смесей из золоотвалов при строительстве насыпей автомобильных и железных дорог, в планировочных насыпях и обратных засыпках;
- изготовление строительных материалов, в том числе цемента и конструкций (в основном с использованием золы-уноса);

- глубокая переработка с целью извлечения ценных металлов и сырья для промышленности.

Изучение особенностей водно-теплового режима насыпи из ЗШС показало, что этот техногенный грунт может применяться для строительства земляного полотна автомобильных дорог всех технических категорий без опасности потери устойчивости и существенного морозного пучения даже при увлажнении ЗШС до полной капиллярной влагоемкости. Недопустимо морозное пучение может иметь место только в случае длительного предзимнего подтопления низкой насыпи с медленным промерзанием слоя воды, подтопляющей насыпь (третий тип местности по характеру и степени увлажнения и третья схема увлажнения рабочего слоя по СНиП 2.05.02-85*). В этом случае необходимо применять известные методы регулирования водно-теплового режима.

ЗШС обладают сравнительно высокой водопроницаемостью (по сравнению с суглинками и глинами), поэтому вода от дождевых осадков и стекающая с дорожного покрытия не течет по поверхности откоса, размывая его, а впитывается в золошлак на обочине и откосе, фильтруется через него и вытекает у подошвы откоса. Поэтому откосная часть насыпи из ЗШС не подвержена интенсивному поверхностному размыву осадками. Вопрос об устойчивости откосов может быть полностью снят за счет применения геосинтетических материалов. Санитарно-эпидемиологические заключения Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека свидетельствуют, что ЗШО от сжигания почти всех топливных углей (кузнецкие, экибастузские, канско-ачинские и др.) относятся к четвертому и пятому классу опасности для окружающей природной среды и к первому классу по удельной эффективной активности естественных радионуклидов. Следовательно, они могут применяться для дорожного строительства без каких-либо ограничений в соответствии с Федеральными законами от 24.06.1998 г. № 89-ФЗ «Об отходах производства и потребления», от 30.03.1999 г. № 52-ФЗ «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения», от 10.01.2002 № 7-ФЗ «Об охране окружающей природной среды» и СанПиН 2.6.1.2523-09 Санитарные правила. Нормы радиационной без опасности (НРБ-99/2009).

Таким образом, большинство вопросов, связанных с применением золошлаков в строительстве, и в частности для сооружения земляного полотна, могут быть успешно решены. К сожалению, не менее важная проблема остается нерешенной - до настоящего времени отсутствует действующий механизм стимулирования проектных и строительных организаций по внедрению нетрадиционных инновационных предложений, в том числе и применению ЗШО в дорожном строительстве. Известны два пути решения этой проблемы: европейский и азиатский.

Суть европейского пути, начатого во Франции 50 лет назад, заключается в экономическом стимулировании потребителей ЗШО. Вначале потребители не только брали золу бесплатно, но и поощрялись путем

снижения налогов и за счет передачи им части средств от экологических платежей ТЭС. Постепенно льготы уменьшались. Сейчас ЗШО в этой стране (и других странах Европы) полностью используются в строительстве и других отраслях.

Азиатский путь (Индия) более характерен для России. Он заключается в том, что власти законодательно запретили отвод земли под карьеры в радиусе до 50 км от золоотвалов. Только в особых случаях, при серьезном обосновании вопрос с отводом земли решается положительно. Сегодня в Индии используют в различных отраслях до 50% ЗШО (в России - около 10% от текущего выхода).

Требует дальнейшего развития и система нормативного обеспечения применения золошлаковых отходов в хозяйстве. Например, согласование карьеров нередко заканчивается выбором места, удаленного на десятки километров от объекта, причем качество грунта в выбранных карьерах оставляет желать лучшего. Все чаще рабочий слой насыпи сооружается из грунта с влажностью выше допустимой, с высокой степенью пучинистости и тому подобное. При этом редко встречаются проекты, в которых в полной мере выполняются рекомендации п. 6.20 СНиП 2.05.02-85*, предусматривающего мероприятия по обеспечению прочности и устойчивости рабочего слоя или по усилению дорожной одежды [17].

В январе 2008 г. Совет безопасности России обратил внимание на важнейшую проблему - увеличение выхода и накопления отходов промышленности, с темпами, значительно превосходящими рост объемов производства в стране. Казалось бы, что две обозначенные проблемы в двух отраслях производства можно легко решить. Однако в России все не так просто. Во-первых, инженерно-технические работники и руководители проектных и строительных подразделений слабо владеют рассматриваемым вопросом, следовательно, опасаются применять незнакомый материал. Во-вторых, «в народе» ходят разные «мифы» по поводу ЗШО - зола радиоактивна, очень вредна, неоднородна и тому подобное.

В-третьих, участники процесса напрямую не заинтересованы в использовании отходов в строительстве, снижении стоимости строительного объекта или энергетических ресурсов. Тогда как СНиП 2.05.02-85* "Автомобильные дороги (п. 3.15) рекомендовал максимально использовать при строительстве дорог пригодные для применения отвалы тепловых электростанций (золы и золошлаковые смеси ТЭС). В то же время они относятся к особым грунтам (п. 6.6), использование которых в теле земляного полотна должно обосновываться результатами испытаний на предмет изменения их прочности и устойчивости под воздействием погодноклиматических факторов и нагрузок (п. 6.22).

Следует отметить, что в настоящее время укрепление грунтов может быть выполнено на очень высоком уровне: имеются необходимые нормы, оборудование, разработаны специальные технологии.

Однако еще более широкие перспективы только открываются перед этим технологическим направлением в свете применения возможностей новых методов комплексного анализа и обработки строительных материалов и грунтов [22]. Например, современное аналитическое оборудование позволяет не только идентифицировать фазово-химический и минералогический состав глинистых грунтов, методом рентгеновской дифракции («выбирая» при этом из библиотеки дифрактограмм, включающей более 270 000 видов глин), но и проанализировать термодинамику и кинетику цементации грунта с помощью термических методов анализа, совмещенных с масс-спектрометрией. А современный «арсенал» методов модификации позволяет не только подобрать пуццолановые добавки целенаправленно для цементации $\text{Ca}(\text{OH})_2$, образующейся в ходе гидратации портландцемента, но и выбирать поверхностно активные вещества из числа энзим, питающих бациллы, способные эту известь карбонизировать. При этом при планируемых для дорожного строительства объемах применения такие «фантастические» новшества выглядят и «сказочно» экономически эффективными.

Если обратиться к экологическому аспекту, станет ясно, что наиболее опробованные и пригодные для применения в технологиях укрепления грунтов промышленные отходы одновременно являются и наиболее распространенными в нашем хозяйстве: среднегодовой баланс производства зол-уноса 25 млн. тонн (утилизируется - 3 млн. тонн), накоплено около 1200 млн. тонн.

То есть, внедряя технологии укрепления грунта, можно не только удешевить строительство региональных и межмуниципальных дорог, одновременно повышая их капитальность, но и решать экологические проблемы регионов. Правда, для этого надо действительно относиться к этому процессу профессионально, то есть как к сложной технологии, требующей совершенствования как на этапе переработки ЗШМ, так и на этапе применения продукции (к сожалению, результаты многих ранее выполненных технологических разработок и изысканий либо не вполне соответствуют современному уровню научно-технического развития, либо утрачены и требуют полного восстановления). В противном случае, может получиться «как всегда»: не зря отходы промышленности относятся к различным классам опасности и многие из них, наряду с обладанием полезными вяжущими свойствами, обладают и свойствами, часто превышающими «предельно допустимые» в десятки и сотни раз. И слишком ретивое исполнение программ по утилизации промышленных отходов, особенно популярное на закате СССР, привело к довольно печальным последствиям для ряда регионов. Но, с другой стороны, это задает перспективы для развития технологий, с одновременным созданием экономической базы для этого развития.

Золошлаки в сочетании с фосфогипсами и нефелиновыми шлаками - уникальное сырье для строительства транспортных и гидротехнических

сооружений (без которых практически «неподъемным» будет выполнение планов по удвоению строительства с одновременным возведением морских и речных портовых сооружений).

Дорожное строительство, как известно, один из крупнейших потребителей материальных ресурсов, в сметах которого не менее 50% стоимости дороги составляет стоимость материалов. Уменьшение потребности в материалах, особенно наиболее дорогостоящих и дефицитных, и повышение эффективности их использования - одна из наиболее актуальных проблем, от решения которой зависит научно-технический прогресс в строительстве.

В табл. 1.1 приведена номенклатура основных показателей золы-уноса, обозначения документов, по которым должны производиться испытания (в соответствии с ОДМ 218.2.031-2013), для золошлаковых смесей - в табл. 1.2

Таблица 1.1 – Номенклатура основных показателей золы-уноса

Показатель золы-уноса	НД на метод испытаний
Химический состав	8269.1
Потери при прокаливании	8269.1 или 11022
Содержание свободного оксида кальция	ГОСТ 23227
Удельная поверхность	ГОСТ 310.2
Влажность	ГОСТ 8735 или ГОСТ 12536
Содержание свободного оксида магния	ГОСТ 5382
Содержание щелочных оксидов в пересчете на Na ₂ O	8269.1
Остаток на сите № 008	ГОСТ 310.2
Удельная эффективная активность природных радионуклидов	ГОСТ 30108
Класс опасности для окружающей природной среды	П. 8.13 ОДМ 218.2.031-2013
Равномерность изменения объема минеральных вяжущих с золой-уноса	ГОСТ 310.3
Показатели для применения в качестве минерального порошка	ГОСТ Р 52129

Таблица 1.2 - Номенклатура основных показателей золошлаковых смесей

Показатель золошлаковой смеси	НД на метод испытаний
Химический состав	8269.1
Потери при прокаливании	8269.1 или 11022
Зерновой состав	ГОСТ 8735 или ГОСТ 12536
Влажность	ГОСТ 8735 или ГОСТ 12536
Насыпная плотность	ГОСТ 9758
Удельная эффективная активность природных радионуклидов	ГОСТ 30108
Класс опасности для окружающей среды	П. 8.13 ОДМ 218.2.031-2013
Степень морозной пучинистости	ГОСТ 25100 и 28622
Коэффициент фильтрации	ГОСТ 25584

Продолжение таблицы 1.2

Равномерность изменения объема минеральных вяжущих с золой составляющей золошлаковой смеси	ГОСТ 310.3
Показатели для применения в качестве минерального порошка	ГОСТ Р 52129

1.3 Обоснование выбора объекта исследования

Следует отметить, что технические вопросы по созданию установок внутреннего и внешнего транспорта, а также отгрузки сухой золы потребителям достаточно хорошо проработаны и имеется соответствующий нормативно-технический документ РАО «ЕЭС России» [23]. По вопросам оценки технико-экономических показателей систем ЗШУ с учетом экологических требований тоже существует нормативно-технический документ РАО «ЕЭС России» [24]. Накоплен и опыт создания и эксплуатации сухих золошлакоотвалов ТЭС в России. Одним из серьезных факторов, имеющих как технологическое, так и психологическое значение для энергетиков России, препятствующих широкому внедрению экологически и экономически более приемлемых систем ПЗУ взамен систем ГЗУ на ТЭС, являлась необходимость использования воды для эвакуации шлака из холодных воронок котлов. Получалось так, что поскольку использование воды неизбежно для удаления шлака от котлов, то и незачем заниматься созданием систем ПЗУ. Тем не менее, мировой опыт свидетельствует о том, что с 80-х годов XX в. на ТЭС промышленно развитых стран шлак удаляется с применением технологий без использования воды для его охлаждения и транспортирования [25].

Вывод по главе 1

На основании рассмотренной классификации систем золошлакоудаления и способов организации удаления золы и шлаков при сжигании твердого топлива было определено, что приоритетным направлением развития является система пневвозолошлакоудаления, с применением которой открывается более широкий спектр возможностей использования золошлаковых материалов, ввиду исключения взаимодействия материалов с водой, в ходе которого теряется ряд потребительских свойств золы и шлака при транспортировании, хранении и отгрузке. Также проанализированы и показаны возможности применения вторичных ресурсов-золошлаковых отходов (ЗШО) угольных ТЭС, которые можно использовать в качестве, как строительных материалов, так и исходных продуктов для их изготовления, благодаря чему, в том числе, решается задача экономии инертных привозных и традиционных дефицитных вяжущих материалов.

2 Возможности применения золошлаковой смеси и золы уноса АО «Красноярская ТЭЦ-1» в народном хозяйстве

2.1 Анализ исследования строительных свойств материалов из золошлаковой смеси АО «Красноярская ТЭЦ-1»

Выполнены исследования пробы золошлаковой смеси, предоставленной АО «Красноярская ТЭЦ-1», маркировано: золоотвал ЗШС, секции 1а, 1б, № 3. Перед испытанием производилось перемешивание и квартование смеси. Каждый опыт повторялся трижды, в качестве результатов испытаний ниже приведены средние значения. В целом представленная смесь отличается однородностью, не содержит посторонних загрязняющих включений. Испытания проводились по методам, регламентированным ОДМ 218.2.031-2013. Золошлаковая смесь по зерновому составу классифицируется как мелкозернистая (в соответствии с табл. 1 ГОСТ 25592-91), табл. 2.1. Максимальный размер зерен до 1,25 мм. Гранулометрический состав приведен в табл. 2.2. Остаток на сите 0,08 составил 34,3%, на сите 0,16 - 4,81%. Для удобства данные приведены в таблицах, где указаны и нормированные значения.

Таблица 2.1 - Классификация зернового состава

Наименование показателя	Фактические значения показателей	Значение показателя для различных типов золошлаковых смесей		
		Мелкозернистой (М)	Среднезернистой (С)	Крупнозернистой (К)
Максимальный размер зерен шлака шлаковой составляющей, мм, не более	5	5 (3)	20	40
Содержание шлаковой составляющей, % по массе	1,84	От 0 до 10	От 10 до 50	От 50 до 90
Содержание шлакового щебня в шалкоовй составляющей, % по массе	0	-	До 20	Св. 20

Таблица 2.2 - Гранулометрический состав

Размер сит	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	0,08	0,071	0,05	Менее
Частные остатки, %	0	0	0,41	1,42	2,97	29,52	31,23	21,98	12,46

Продолжение таблицы 2.2

Полные остатки, %	0	0	0,41	1,84	4,81	34,33	65,56	87,54	100
Полные проходы, %	100	100	99,59	98,16	95,19	65,67	34,44	12,46	0

Истинная плотность смеси составила 2,59 г/ см³. Насыпная плотность - 0,559 г/см³. Содержание глинистых частиц в песке составило 1,08%, нормируемое значение - не более 1,0%.

Вид золошлаковой смеси - III. Потери массы при прокаливании 12,26% (по ГОСТ 25592-91), табл.2.3, это означает, что золошлаковая смесь имеет высокое содержание горючих веществ - 12,26% (Вгор). Потеря массы при прокаливании определена по ГОСТ 8269.1-97 «Щебень и гравий из плотных горных пород и отходов промышленного производства для строительных работ. Методы химического анализа».

Фактически данную золошлаковую смесь следует отнести к зольным, песка в золошлаковой смеси 1,84%, соответственно, зольная составляющая – 98,16%.

Влажность золошлаковой смеси составила 64,17%, песка 98,16%. Влажность отгружаемой золошлаковой смеси должна быть не более 15% по массе, ГОСТ 25592-91.

Таблица 2.3 - Виды золошлаковой смеси

Вид золошлаковой смеси	Составляющая золошлаковой смеси	П. п. п. золошлаковой смеси, % по массе	
		Фактические	Нормированные, не более
I	Зольная	-	3
	Шлаковая, с пористым шлаком	-	3
	Шлаковая, с плотным шлаком	Не нормируются	
II	Зольная	-	5
	Шлаковая, с пористым шлаком	-	3
	Шлаковая, с плотным шлаком	Не нормируются	
III	Зольная	12,26	5

Содержание оксида кальция (CaO), по массе составляет 18,6%, по данным химсостава золошлаковой смеси. Содержание CaO+MgO - 24,9%, SO₃ 0,9%. Золошлаковую смесь следует отнести к высококальциевым, разновидности низкосульфатные, 1-Б.

Коэффициент фильтрации золошлаковой смеси 0,071 м/сут, материал слабоводопроницаемый. При испытании золошлаковой смеси по ГОСТ

28622-2012 на степень пучинистости, она отнесена к чрезмерно пучинистой. Результаты испытаний приведены в табл. 2.4, классификация пучинистости по ОДМ 218.2.031-2013 в табл.2.5.

Таблица 2.4- Классификация пучинистости

Номер пробы	Вертикальная деформация пучения, мм	Толщина промерзшего слоя, мм	Относительная деформация пучения, доли единицы	Степень пучинистости
1	12,01	120	0,100	Чрезмерно пучинистый
2	14,55	120	0,121	
3	13,78	130	0,106	
Среднеарифметическое значение			0,109	

Таблица 2.5- Классификация пучинистости по ОДМ

Группа по степени пучинистости	Разновидность грунтов	Относительная деформация пучения E_{fn} , д.е.
I	Практически непучинистый	Менее 0,01
II	Слабо пучинистый	От 0,01 до 0,035 включ.
III	Средне пучинистый	От 0,036 до 0,07 включ.
IV и V	Сильно пучинистый и чрезмерно пучинистый	Более 0,07

При испытании на равномерность изменения объема по ГОСТ 310.3-76, золошлаковая смесь в составе с портландцементом ПЦ 500-0-Н (1 часть цемента, 1 часть золошлаковой смеси), выдерживает испытания. В данном испытании большое значение имеет вид и марка цемента.

Удельная поверхность золошлаковой смеси определенная по ГОСТ 310.2-76, составила 1238,3 м²/кг, при среднем размере частиц 1,9 мкм. Результаты повторных измерений приведены в табл. 2.6.

Таблица 2.6 – Результаты измерений

№ опыта	Удельная поверхность, м ² /кг
1	1236,3
2	1237,6
3	1236,3
4	1240,2
5	1237,6
6	1238,9
7	1237,6
8	1238,9
9	1238,9
10	1238,8
11	1240,1
Среднее значение	1238,3

Золошлаковую смесь АО «Красноярская ТЭЦ-1», золоотвал ЗШС, секции 1а, 1б, №3, можно классифицировать следующим образом: высококальциевая, низкосульфатная, мелкозернистая, зольная III вида, легкая, слабОВОдОпроницаемая, переувлажненная. В соответствии с требованиями ОДМ 218.2.031.2012 (Технические характеристики и рекомендуемые требования к золошлакам) такой материал имеет существенные ограничения по использованию в строительстве.

При применении для сооружения земляного полотна:

- непригодна из-за высокого содержания горючих веществ (Вгор): 12,26%, при норме не более 5%;

- золошлаковую смесь с величиной относительного морозного пучения больше 0,07 (фактически - 0,109) для возведения верхней части (рабочего слоя) насыпей земляного полотна без укрепления не используют.

Рабочий слой земляного полотна (подстилающий слой) - верхняя часть земляного полотна в пределах от низа дорожной одежды до уровня, соответствующего 2/3 глубины промерзания конструкции, но не менее 1,5 м, считая от поверхности покрытия [26].

Применение для устройства дополнительных слоёв оснований дорожных одежд:

- непригодна из-за высокого содержания горючих веществ (Вгор), 12,26% (при норме не более 5%), относительного морозного пучения больше 0,035 (фактически 0,109), малого коэффициента водопроницаемости - 0,071, норма не менее 0,2 м/сут.

Применении золошлаковой смеси при её укреплении минеральными вяжущими:

- непригодна из-за высокого содержания горючих веществ (Вгор), 12,26% при норме не более 3% ;

- содержание оксида кальция СаО В ЗШС, предназначенной для укрепления цементом, должно быть не более 10 % по массе, фактическое содержание 18,6%;

- содержание оксида магния MgO в ЗШС должно быть не более 5 % по массе, фактическое содержание 6,3%.

Применение при обработке материалов и укреплении грунтов минеральными вяжущими:

- непригодна из-за высокого содержания горючих веществ (Вгор);

- непригодна из-за несоответствия требования по содержанию оксида кальция (СаО), включая свободный, табл. 2.7 (требования по табл. 6 ОДМ 218.2.031.2012).

Применение для асфальтобетонных и органоминеральных смесей:

- непригодна из-за высокого содержания горючих веществ (Вгор), высокой влажности.

Таблица 2.7 - Требования по содержанию оксида кальция

Наименование показателя	Фактические значения	Требования к золошлакам, применяемым			
		Как гранулометрическая добавка	Как самостоятельное вяжущее	В качестве минеральной добавки	
				В сочетании с цементом	В сочетании с известью
Содержание оксида кальция (CaO), % по массе: - общее - в том числе свободного	18,6 0	Не более 10 -	Не менее 20 Не менее 8/15 ¹⁾	Не более 10 Не более 4	- -
Удельная поверхность, м ² /кг, не менее	1283	-	300 ²⁾		
Остаток на сите № 0,08, % по массе, не более	34,33	-	15		
Содержание сернистых и сернокислых соединений, не более: - в пересчете на SO ₃ - в том числе сульфидной серы	- 0,7	5 2	3 1	- -	

Продолжение таблицы 2.7

Содержание щелочных оксидов в пересчете на Na ₂ O ₃ , % по массе, не более	0,3	3		
Содержание оксида MgO, % по массе, не более	5,3	5		
Потери при прокаливании, % по массе	Вгор	СГор, НГор	НГор	СГор, НГор

Примечания:

1. При укреплении глинистых грунтов содержание свободного оксида кальция должно составлять не менее 15 %, а при укреплении несцементированных крупнообломочных и песчаных грунтов от 8 % до 15 %.

2. По результатам испытаний допускается применять ЗУ с удельной поверхностью не менее 200 м²/кг.

Применение для цементобетонных смесей:

- непригодна из-за высокого содержания СаО - 18,6%, ГОСТ 25592 допускает не более 10%;

- непригодна из-за высокого содержания MgO - 6,3%, ГОСТ 25592 допускает не более 5%;

- непригодна из-за высоких потерь при прокаливании 12,26%, допустимо по ГОСТ 25592-91 не более 5%. Использование возможно только при условии проведения специальных исследований на коррозионную стойкость к арматуре.

Для исследования возможности применения золошлаковой смеси АО «Красноярская ТЭЦ-1», выполнены испытания асфальтобетонной горячей плотной смеси, типа Б, II марки (наиболее часто используемые смеси). Применены: щебень Барзасского карьера фракции 5-20 мм из изверженной породы, песок Мозжухинского карьера (известковый). В качестве минерального порошка использована золошлаковая смесь (в первом составе). Во втором составе (типовой) содержание частиц менее 0,071 обеспечено зерновым составом песка из отсева дробления. Данные испытаний приведены в таблице 2.8.

Таблица 2.8 – Данные испытаний

Показатели асфальтобетонной смеси	Составы смеси		Требования НД
	Минеральный порошок из ЗШМ, 5%	Типовой состав	
Средняя плотность, г/см ³	2,38	2,40	-
Водонасыщение, %	3,3	2,9	1,5-4,0
Предел прочности при сжатии, Мпа, при температуре: 50С 20С 0 С	1,6 4,2 7,3	1,2 3,7 7,7	Не менее 1,0 Не менее 2,2 Не более 12,0
Водостойкость	0,75	0,71	Не менее 0,85
Трещиностойкость по пределу прочности на растяжение при расколе при температуре 0С	3,1	3,5	3,0-6,5
Сдвигоустойчивость по: -коэффициенту внутреннего трения -по сцеплению при сдвиге при температуре 50С, МПа	0,86 0,52	0,89 0,37	Не менее 0,81 Не мене 0,35

Водонасыщение золошлаковой смеси выше на 0,4% по сравнению с типовым составом. Асфальтобетон в обоих образцах не соответствует требованиям ГОСТ 9128-2009 «Смеси асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон. Технические условия» только по водостойкости. При этом образец с применением золошлаковой смеси обладает несколько лучшей водостойкостью (на 0,04 единицы), что в пределах точности испытаний.

В постановочном эксперименте, результаты которого представлены выше, не ставилась задача подбора состава асфальтобетонной смеси, соответствующей требованиям ГОСТ 9128-2009. Такая задача не имеет практического смысла, поскольку в конкретных условиях Красноярского края, например, будут использоваться совершенно другие каменные материалы. Показано лишь, что применение минерального порошка из золошлака не ухудшает нормированных свойств асфальтобетона.

В соответствии с ГОСТ Р 52129-2003 «Порошок минеральный для асфальтобетонных и органоминеральных смесей. Технические условия» минеральный порошок из золошлака следует относить к «порошковым отходам промышленного производства» (отходы промышленного производства, не требующие измельчения, например золы-уноса и

золошлаковые смеси тепловых электростанций, пыль уноса цементных заводов, металлургические шлаки и др.). Требования к минеральным порошкам (по ГОСТ Р 52129-2003):

1. Содержание полторных окислов ($Al_2O_3 + Fe_2O_3$) в горных породах и промышленных отходах производства, используемых при приготовлении порошков, и в порошковых отходах промышленного производства, используемых в качестве порошков, не должно превышать, % по массе:

- 7,0 - для активированных порошков;
- 1,7 - для неактивированных порошков.

2. В твердых промышленных отходах производства, используемых для приготовления порошков, и в порошковых промышленных отходах производства, используемых в качестве порошков, допускается содержание, % по массе:

- активных $CaO + MgO$ - не более 3;
- водорастворимых соединений - не более 6.

3. Содержание P_2O_5 в фосфоросодержащих отходах промышленного производства, используемых для приготовления порошков, не должно быть более 2 % по массе.

Потери при прокаливании в твердых отходах промышленного производства, используемых для приготовления порошков, и в порошковых промышленных отходах, используемых в качестве порошков (например, золах уноса и золошлаковых смесях тепловых электростанций), должны быть не более 20% массы.

Из приведенных сведений следует, что для решения вопроса о возможности применения золошлаковых смесей АО «Красноярская ТЭЦ-1» в качестве минерального порошка в асфальтобетонных смесях необходимы дополнительные исследования на местных материалах и такая возможность существует. Специальные исследования показали, что минеральные порошки из техногенных отходов промышленности вполне могут быть использоваться, но требуется их активация. Разработаны специальные технологии [27-29].

Одно из наиболее эффективных направлений использования золошлаков дорожном строительстве - применение в бетоне для оснований дорожных одежд.

Влияние золошлаковой смеси на физико-механические показатели материала при ее применении в составе цементобетонных смесей, оценивалось на составах табл. 2.9. Гранулометрический состав крупного заполнителя приведен в табл. 2.10

Таблица 2.9- Характеристики составов бетонных смесей

Наименование материала	Изготовитель (завод, карьер, фирма)	Показатели материала					
		Активность, МПа	Модуль крупности	Истинная плотность, кг/м ³	Насыпная плотность кг/м ³	Содержание пылевидных и глинистых частиц, %	Нормальная густота, %
Щебень фр. 5-20мм, диабаз	Барзасский карьер	-	-	2830	1402	0,8	-
Песок природный	Яйский карьер	-	3,32	2600	1594	0,4	-
Песок из отсевов дробления	Мозжухинский карьер	-	2,99			6,6	-
Цемент ЦЕМ 1 42,5 Б	ООО «Топкинский цемент»	50,0	-	3100	1290	-	25,0
Химдобавка ЦСПК	ОАО «Азот»	-	-	-	-	-	-

Таблица 2.10- Гранулометрический состав крупного наполнителя

Наименование материала	Полные остатки, % по массе, на сите с отверстием, мм									
	40	20	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	<
Щебень	0	9,96	76,16	96,64	96,64	96,64	96,64	96,64	96,64	100
Песок природный	0	0	0,2	3,2	25,0	43,4	71,0	94,2	98,8	100
Песок из отсевов дробления	0	0	1,0	3,6	33,2	49,8	65,0	75,8	82,4	100

В последние годы наибольшее применение находят жесткие смеси с использованием крупного природного песка и шлак. Состав такой смеси и показатели бетона приведены в табл. 2.11.

Таблица 2.11- Состав смеси с природным песком и шлаком

Наименование показателя	Значение показателя
Компоненты смеси (на 1 м ³ смеси)	
Вода, л	110
Цемент, кг	250
Песок природный, кг	745
Шлак, кг	250
Щебень, кг	1120
ЩСПК, л	2,50
Физико-механически показатели бетона	
Прочность на сжатие R _{сж} , МПа	32,07
Прочность на растяжение при изгибе R _{изг} , МПа	2,86
Плотность, кг/м ³	2420

Прочность бетона приведена к прочности в 28-суточном возрасте. Образцы цементобетона с применением золошлаковой смеси при замене части песка на золошлаковую смесь показали соответствие требованиям, предъявляемым к бетонам дорожных оснований [26]. Несмотря на то, что имеется проблема несоответствия золошлаковой смеси ГОСТ 25592-91, при соответствующей переработке она может быть ценным сырьем для приготовления жестких бетонных смесей, применяемых для оснований дорожных одежд, строительства нижнего слоя сборно-монолитных покрытий технологических дорог [30-32].

Для выполнения работ по уплотнению золошлаковой выполнено определение её максимальной плотности и оптимальной влажности по стандартному методу (ГОСТ 22733-2002 «Грунты. Метод лабораторного определения максимальной плотности»). Результаты приведены в табл. 2.12. График стандартного уплотнения приведен на рис. 4.

Таблица 2.12 – Результаты испытаний

Показатели	Значения показателей
Максимальная плотность ЗШС, г/см ³	1,033
Оптимальная влажность ЗШС, %	50,93

В связи с особенностями структуры золошлаковая смесь имеет высокую оптимальную влажность (примерно в 2,5 раза выше, чем у глинистого грунта), что позволяет эффективно использовать её для устройства земляного полотна дорог из грунтов с влажностью выше допустимой по СП 34.13330.2012. Причем, в диапазоне изменения влажности от 45 до 60%, она незначительно влияет на достигаемую плотность материала, что удобно с практической точки зрения (отклонения влажности в

этом, относительно широком, диапазоне не будут иметь отрицательных последствий для качества уплотнения).

Таблица 2.13 – Результаты испытаний изменения влажности

№ испытания	1	2	3	4	5	6	7	8
Степень изменения влажности ΔW , %	2	2	2	2	2	2	2	2
Плотность влажного грунта δ_0 , г/см ³	1,204	1,260	1,322	1,374	1,458	1,559	1,53	1,551
Влажность грунта, W_0	34,39	36,58	40,08	41,31	46,65	50,93	54,86	58,37
Плотность скелета грунта, δ_s	0,896	0,922	0,944	0,972	0,995	1,033	1,003	0,979

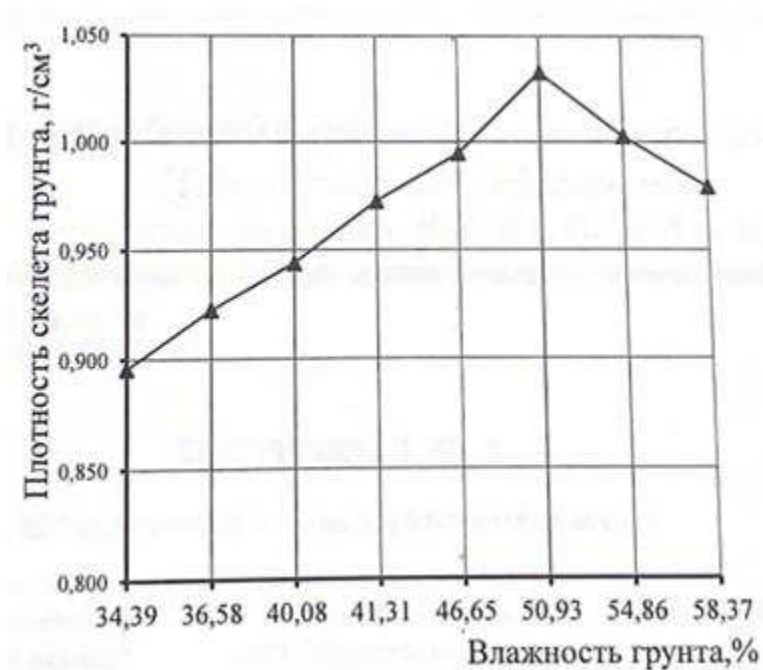


Рисунок 4 - График стандартного уплотнения

Результаты испытаний по определению содержания свободного оксида кальция в золошлаковой смеси приведены в табл. 2.14.

Таблица 2.14 – Результаты испытаний определения оксида кальция

№ опыта	Масса навески, г	pH раствора	pH суспензии	Содержание свободного оксида кальция в сухой массе, %	Среднее значение, %
1	3,0149	11,2	11,2	0,00	0,00
2	2,9897	11,2	11,2	0,00	

Для практических целей представляет интерес значение насыпной плотности золошлаковой смеси. В соответствии с ГОСТ 8735-88 «Песок для строительных работ. Методы испытаний» выполнены соответствующие испытания, результаты которых приведены в табл. 2.15. Испытания выполнены с повторностью 3-4 раза. Среднее значение - 576,2 кг/м³.

Таблица 2.15 – Результаты испытаний насыпной плотности

Насыпная плотность, кг/м ³	Влажность, %
560	0,26
602	10,70
549	21,12
541	30,45
629	41,5

2.2 Анализ исследования строительных свойств золы-уноса АО «Красноярская ТЭЦ-1».

Золы-уноса от сжигания на ТЭС бурых углей хорошо известны и исследованы многочисленными авторами для применения при производстве строительных материалов, в особенности бетонных смесей.

В рамках исследования выполнены исследования проб золы-уноса сухого отбора АО «Красноярская ТЭЦ-1», маркировано: БЦУ к. ст. № 7, 8, 11, 12, 14. в соответствии с ГОСТ 25818-91 «Зола-уноса тепловых электростанций для бетонов электростанций», зола ТЭЦ-1 по химическому составу относится по виду к высококальциевым, разновидности низкосульфатные, 1-Б. Содержание оксида кальция (CaO) по массе составляет 23,0%, содержание CaO+MgO - 28,3%, SO₃-0,7%.

Насыпная плотность золы-уноса 1290 кг/м². Наибольший размер частиц до 0,63 мм, полные проходы через сито 0,071 мм - 89,11%.

По степени дисперсности низкодисперсные, табл. 2.16 (по табл. 3 ОДМ 218.2.031-2013). Удельная поверхность золошлаковой смеси, определенная по ГОСТ 310.2-76, составила 142,4 м²/кг, при среднем размере частиц 16,7 мкм результаты испытаний приведены в табл. 2.17.

Таблица 2.16 – Показатели степени дисперсности

Степень дисперсности	Величина удельной поверхности (по воздухопроницаемости), м ² /кг	Остаток на сите № 008, % по массе, не более (фактическое значение)
Низкодисперсная (Нд)	Менее 150	30
Среднедисперсная (Сд)	От 150 до 300	20
Высокодисперсная (Вд)	Боле300	15

Таблица 2.17 – Результаты испытаний по ГОСТ

№ пп.	Удельная поверхность, м ² /кг	Средний размер частиц, мкм
1	141,7	16,8
2	142,5	16,7
3	142,5	16,7
4	142,5	16,7
5	142,5	16,7
6	142,5	16,7
7	142,5	16,7
8	142,5	16,7
9	142,5	16,7
10	142,5	16,7
11	142,5	16,7
Среднее значение	142,4	16,7

Результаты испытаний влажности, потерь при прокаливании, гранулометрического состава, истинной и средней плотности золы-уноса приведены в табл. 2.18-2.22.

Таблица 2.18 - Результаты испытаний влажности

Показатели	Значения показателей для проб			
	1	2	3	среднее
Масса тары, г	27,4	27,77	24,32	-
Масса пробы во влажном состоянии, г	57,90	52,31	61,87	-
Масса пробы в сухом состоянии, г	57,88	52,30	61,85	-
Влажность, %	0,07	0,04	0,05	0,06

Таблица 2.19 - Результаты испытаний потерь при прокаливании

Показатели	Значения показателей для проб		
	1	2	3
Масса тары, г	8,58	8,53	8,3
Масса навески + масса тары до выжигания, г	9,61	9,54	9,48

Продолжение таблицы 2.19

Масса навески + масса тары после выжигания, г	9,61	9,54	9,48
Потери при прокаливании, %	0	0	0

Таблица 2.20 - Результаты испытаний гранулометрического состава

Показатели		Значения показателей для проб	
		1	2
Масса навески, г		10,21	10,11
Пикнометр	Масса с водой, г	137,04	115,16
	Масса с навеской и водой, г	143,61	121,64
Истинная плотность, г/см ³		2,80	2,78
Среднее значение истинной плотности, г/см ³		2,79	

Таблица 2.21 - Результаты испытаний истинной плотности

Показатели		Значения показателей для проб	
		1	2
Масса нижней части формы с поддоном и уплотненным минеральным порошком, г		2086	2028
Масса нижней формы с поддоном, г		1866	
Объем порошка, см ³		100	
Средняя плотность, г/см ³		1,6	1,62
Среднее значение, г/см ³		1,61	

Таблица 2.22 - Результаты испытаний средней плотности

Размер сит, мм	0,63	0,315	0,16	0,08	0,071	0,05	менее
Объединительная проба							
Частные остатки, %	0	0,16	1,46	6,01	3,26	10,26	78,15
Полные остатки, %	0	0,16	1,62	7,63	10,89	21,5	100
Полные проходы, %	100	99,84	98,38	92,37	89,11	78,15	0
Проба № 1							
Размер сит	0,63	0,315	0,16	0,08	0,071	0,05	менее
Частные остатки, %	0	0,30	1,61	6,34	2,85	10,07	78,84
Полные остатки, %	0	0,30	1,90	8,24	11,09	21,16	100
Полные проходы, %	100	99,70	98,10	91,76	88,91	78,84	0
Проба № 2							
Размер сит	0,63	0,315	0,16	0,08	0,071	0,05	менее
Частные остатки, %	0	0,27	1,51	5,93	3,339	9,94	78,96
Полные остатки, %	0	0,27	1,78	7,71	11,40	21,04	100
Полные проходы, %	100	99,3	98,22	92,29	88,90	8,96	0
Проба № 3							
Размер сит	0,63	0,315	0,16	0,08	0,071	0,05	менее
Частные остатки, %	0	0,08	1,74	6,25	3,75	11,90	76,27
Полные остатки, %	0	0,14	1,67	8,12	11,95	21,88	100

Продолжение таблицы 2.22

Полные проходы, %	100	99,92	98,18	91,93	99,17	76,27	0
Проба № 4							
Размер сит	0,63	0,315	0,16	0,08	0,071	0,05	менее
Частные остатки, %	0	0,14	1,53	6,45	3,82	9,93	78,12
Полные остатки, %	0	0,14	1,67	8,12	11,95	21,88	100
Полные проходы, %	100	99,86	98,33	91,88	88,05	78,12	0

Влажность золы составила 0,06%, допустимо до 1%. Потеря массы при прокаливании - 0%. Гранулометрический состав золы-уноса относительно однороден.

В табл. 2.23. показатели золы-уноса сопоставлены с нормативными требованиями ГОСТ 25818-91.

При испытании на равномерность изменения объема по ГОСТ 310.3-76, золошлаковая смесь в составе с портландцементом ПЦ 500-0-Н (1 часть цемента, 1 часть золошлаковой смеси), выдерживает испытания. Уточним, что результаты испытаний на равномерность изменения объема существенно зависят от используемого цемента. В данном случае выполнена оценка потенциальных возможностей золы-уноса.

В соответствии с ГОСТ 25818-91, при условии выдерживания испытаний на равномерность изменения объема и обеспечения заданных качеств бетона отнесение данной золы уноса к 1-III виду.

Таблица 2.23 – Показатели золы-уноса в сопоставлении с ГОСТ

Наименование показателя	Вид сжигаемого угля	Значение показателя в зависимости от вида золы				Результаты испытаний
		I	II	III	IV	
Содержание оксида кальция (CaO), % по массе: Для кислой золы, не более Для основной золы, св. в том числе: свободного оксида кальция (CaO _{св}) не более: для кислой золы для основной золы	Любой	10	10	10	10	-
	Бурый	10	10	10	10	23,0
	Любой	-	-	-	-	-
	Бурый	5	5	-	2	4,2
Содержание оксида магния (MgO), % по массе, не более	любой	5	5	-	5	5,3

Продолжение таблицы 2.23

Содержание сернистых и сернокислых соединений в пересчете на SO ₃ , % по массе, не более: для кислой золы для основной золы	Любой	3	5	3	3	-
	Бурый	5	5	6	3	0,7
Содержание щелочных оксидов в пересчете на Na ₂ O ₃ , % по массе, не более: для кислой золы для основной золы	Любой	3	3	3	3	-
	Бурый	1,5	1,5	3,5	1,5	0,3
Потери массы при прокаливании (п.п.п.), % по массе, не более: для кислой золы для основной золы	Каменный	10	15	7	5	-
	Бурый	3	5	5	2	-
	Бурый	3	5	3	3	0
Удельная поверхность, м ² /кг, не менее: для кислой золы для основной золы	Любой	250	150	250	300	
	Бурый	250	200	150	300	142,5
Остаток на сите № 0,08, % по массе, не более: для кислой золы для основной золы	Любой	20	30	20	15	
	Бурый	20	20	30	15	7,63

Для оценки пригодности использования золошлаковой смеси в качестве минерального порошка в составе асфальтобетонных смесей выполнены исследования в соответствии с ГОСТ Р 52129-2003.

По зерновому составу зола-уноса более мелкая, чем требует ГОСТ Р 52129-2003 (таблица 2.24)

Таблица 2.24 – Сравнение по зерновому составу

Размер отверстий сит, мм	1,25	0,63	0,315	0,16	0,071
Частные остатки, %	0	0	0,16	1,46	9,27
Полные остатки, %	0	0	0,16	1,62	10,89
Полные проходы, %	100	100	99,84	98,38	89,11
Полные проходы, % (ГОСТ Р 52129)	Не менее 95	-	От 80 до 95	-	Не менее 60

По физико-механическим показателям зола-уноса не соответствует требованиям ГОСТ Р 52129-2003 по повышенной пористости, увеличенной набухаемости, таблице 2.25. Хотя отклонения и не являются существенными.

Таблица 2.25 - Сравнение о физико-механическим показателям

Показатели	Результаты испытаний	Показатели свойств МП-2 (ГОСТ Р 52129)
Истинная плотность, г/см ³	2,79	-
Средняя плотность, г/см ³	1,61	-
Пористость, %	42,29	Не более 40
Набухание образцов из смеси порошка с битумом, %	4,0	Не более 3,0
Водостойкость образцов из смеси порошка с битумом, %	0,94	Не менее 0,7
Показатель битумоемкости, г	67,5	Не более 80

Специальные исследования предлагают способы использования минеральных порошков из техногенных отходов промышленности [28,29]. Причем, имеется ряд работ, где обосновывается, что определенные мероприятия обеспечивают производство асфальтобетонных смесей, соответствующих ГОСТ 9128.

Для исследования возможности применения золы уноса АО «Красноярская ТЭЦ-1», выполнен подбор состава асфальтобетонной горячей плотной смеси типа Б, II марки. При этом использовались щебень Барзасского карьера фракции 5-20 мм из изверженной породы, песок природный Яйского карьера. В качестве минерального порошка применена зола-уноса в первом составе, во втором - минеральный порошок Гурьевского завода минеральной пыли (из известняка). Поскольку эксперимент постановочный, оптимизация состава асфальтобетона не производилась.

Результаты испытаний асфальтобетонной смеси приведены в таблице 2.26.

Таблица 2.26 - Результаты испытаний асфальтобетонной смеси

Показатели асфальтобетонной смеси	Минеральный порошок		Требования ГОСТ 9128
	Зола-уноса	Гурьевский ЗМП	
Средняя плотность, г/см ³	2,44	2,45	-
Водонасыщение, %	1,7	1,4	1,4-4,0
Редел прочности при сжати, МПа, при температуре:			
50С	0,7	1,0	Не менее 1,0
20С	2,6	3,1	Не менее 2,2
0С	7,2	7,3	Не более 12,0
Водостойкость	0,94	0,97	Не менее 0,85

Продолжение таблицы 2.26

Трещиностойкость по пределу прочности на растяжение при расколе при температуре 0С	4,0	4,3	3,0-6,5
Сдвигоустойчивость по: -коэффициенту внутреннего трения	0,86	0,78	Не менее 0,81
-по сцеплению при сдвиге при температуре 50С, МПа	0,34	0,38	Не менее 0,35

Асфальтобетон с применением в качестве минерального порошка золы уноса не соответствует требованиям ГОСТ 9128-2009 по прочности на сжатие при 50°С. Остальные показатели незначительно отличаются от результатов испытания образцов на известняковом минеральном порошке. Поскольку гурьевский минеральный порошок считается одним из лучших, получены вполне обнадеживающие результаты. Требуются специальные исследования по оптимизации состава асфальтобетонной смеси на конкретных заполнителях.

Многочисленные исследования показывают, что использование золы-уноса для укрепления или осушения глинистых грунтов при сооружении земляного полотна дорог наиболее перспективно. С целью оценки возможности улучшения физико-механических и технологических свойств связных грунтов проведены исследования с применением тяжелого суглинка.

На практике часто приходится иметь дело с переувлажненными грунтами. Для решения проблемы наиболее эффективны добавки извести или золы-уноса ТЭС (их совместное использование) [33,34]. Поскольку известь, пригодная для этой цели, в настоящее время промышленностью России не выпускается, интерес к золе-уноса вполне оправдан. Для осушения грунтов могут использоваться и сухие золошлаковые смеси гидрозолоудаления, но сухие золы-уноса (летучие золы) обладают еще и свойствами вяжущих. Изменение влажности суглинка тяжелого при добавлении золы уноса иллюстрируют табл. 2.27 и рис. 5.

Таблица 2.27 - Изменение влажности суглинка

Наименование материала	Влажность материала, %		
Суглинок тяжелый	18,47	23,47	29,58
Суглинок тяжелый с добавлением 1,5% золы уноса	18,04	22,99	28,35
Суглинок тяжелый с добавлением 3% золы уноса	17,97	21,74	22,72
Суглинок тяжелый с добавлением 10% золы уноса	16,21	19,88	26,10
Суглинок тяжелый с добавлением 20% золы уноса	14,76	17,66	21,77
Суглинок тяжелый с добавлением 30% золы уноса	13,01	15,66	19,82

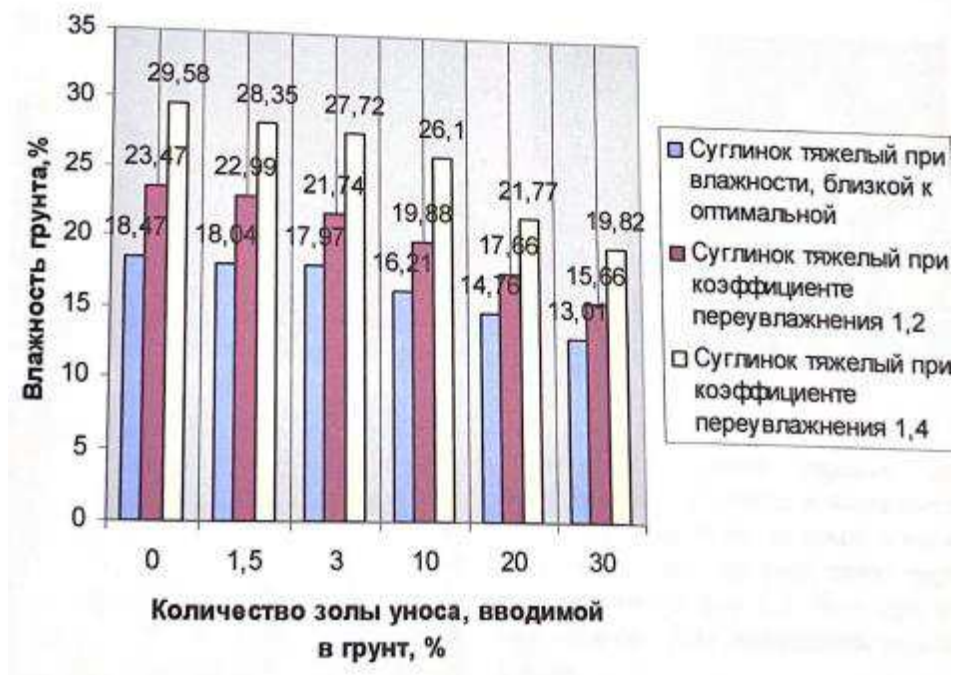


Рисунок 5 - Изменение влажности грунта при введении золы уноса

Влияние добавляемой золы-уноса на оптимальную влажность и максимальную плотность суглинка тяжелого иллюстрируют табл. 2.28 и рис. 6.

Таблица 2.28 - Влияние на оптимальную влажность и плотность

Материал	Оптимальная влажность, %	Максимальная плотность, г/см ³
Суглинок тяжелый	20,11	1,69
Суглинок тяжелый с добавлением 10% золы уноса	20,20	1,69
Суглинок тяжелый с добавлением 20% золы уноса	20,28	1,67
Суглинок тяжелый с добавлением 30% золы уноса	21,09	1,64

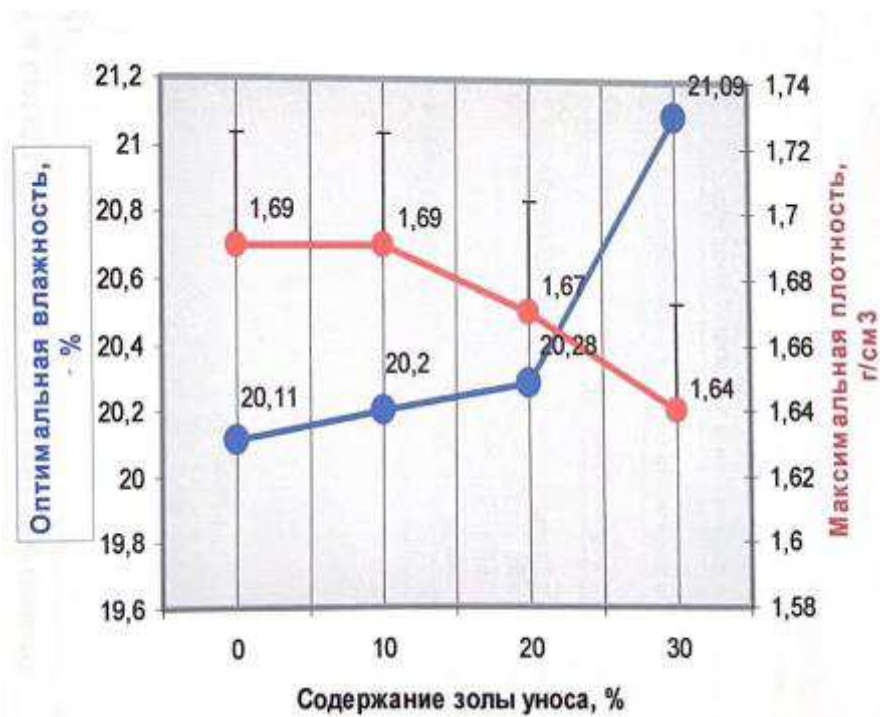


Рисунок 6 - Изменения влажности и максимальной плотности грунта

Таблица 2.29 - Показатели грунта, укрепленного золами уноса

Материал	Прочность на сжатие, МПа			Водостойкость после капиллярного водонасыщения	морозостойкость	
	В воздушно-сухом состоянии	Марка по прочности (п. 4.1.1 ГОСТ 23558-94)	После капиллярного водонасыщения (марка)		Прочность на сжатие после 5 (10) циклов замораживания, МПа	Марка по морозостойкости (ГОСТ 23358-94)
Грунт – суглинок тяжелый						
Суглинок тяжелый при $W_{\text{опт}} = 20,11\%$	2,63	M20	0,26	0,10	0,10	<F5
Суглинок тяжелый при $1,2 \times W_{\text{опт}} = 24,13\%$	1,05	M10	0,24	0,23	0,08	<F5

Продолжение таблицы 2.29

Суглинок тяжелый при $1,4 \times W_{\text{опт}} = 28,15\%$	0,98	<M10	0,14	0,14	0,06	<F5
Суглинок тяжелый с добавлением 1,5% золы уноса при $W_{\text{опт}} = 20,11\%$	3,58	M20	0,37	0,10	0,07	<F5
Суглинок тяжелый с добавлением 3% золы уноса при $W_{\text{опт}} = 20,11\%$	3,48	M20	0,11	0,03	0,08	<F5
Суглинок тяжелый с добавлением 1,5% золы уноса при $1,2 \times W_{\text{опт}} = 24,13\%$	2,34	M20	0,08	0,03	0,04	<F5
Суглинок тяжелый с добавлением 3% золы уноса при $1,2 \times W_{\text{опт}} = 24,13\%$	1,79	M10	0,11	0,06	0,07	<F5
Суглинок тяжелый с добавлением 1,5% золы уноса при $1,4 \times W_{\text{опт}} = 28,15\%$	1,68	M10	0,16	0,10	0,05	<F5

Введение золы-уноса в тяжелый суглинок с оптимальной влажностью и степенями переувлажнения до 1,4, ведет к снижению общей влажности на 5-10%. Уменьшение влажности, в свою очередь, улучшает технологические свойства суглинистого грунта. Грунт уменьшает липкость, становится более рыхлым.

При введении золы уноса до 20% оптимальная влажность грунта практически не изменяется, при введении 30% золы-уноса оптимальная влажность увеличивается на 5%.

Максимальная плотность уменьшается с введением золы-уноса более 10% и при 30% несколько уменьшается, табл. 2.28.

Как известно, зола-уноса относится к медленно твердеющим вяжущим и с течением времени можно ожидать существенного улучшения таких свойств, как прочность, морозостойчивость.

Применение золы-уноса в жестких бетонных смесях регламентировано ОДМ 218.2.035-2013 [35]. Это направление использования отходов АО «Красноярская ТЭЦ-1» может быть одним из наиболее перспективных. Для оценки возможного эффекта выполнены подбор жесткой бетонной смеси испытания бетона. В табл. 2.30 приведены состав жесткой смеси и результаты испытаний цементобетона.

Таблица 2.30 - Результаты испытаний цементобетона

Показатели	Составы	
	Контрольный	С золой уноса Красноярской ТЭЦ-1

Продолжение таблицы 2.30

Компоненты бетонной смеси		
Вода, л	141	138
Цемент, кг	277	225
Песок из отсевов дробления, кг	891	765
Щебень, кг	1299	1290
Зола-унос, кг	0	170
Химдобавка ЩСПК, л	2,77	2,25
Физико-механические показатели бетона		
Прочность на сжатие R _{сж} , МПа	38,86	41,11
Прочность на растяжение при изгибе R _{изг} , МПа	4,61	4,30
Плотность, кг/м ³	2580	2550

Из табл. 2.30 видно, что показатели бетона с добавкой золы-уноса не хуже показателей бетона контрольного состава. При этом достигнута экономия 19% химической добавки, 14% песка и 19% цемента. Существенных технологических проблем при этом не возникает. К сожалению, зола-уноса АО «Красноярская ТЭЦ-1» не полностью соответствует требованиям ГОСТ 25818-91, ОДМ 218.2.035-2013 и ОДМ 218.2.031-2013. Необходимы более глубокие исследования. В таблице 2.31 приведены состав подвижной (пластичной) бетонной смеси и результаты испытаний цементобетона.

Таблица 2.31 - Результаты испытаний цементобетона

Показатели	Составы	
	Контрольный	С золой уноса Красноярской ТЭЦ-1
Компоненты бетонной смеси		
Вода, л	203	198
Цемент, кг	380	327
Песок из отсевов дробления, кг	900	794
Щебень, кг	1403	1430
Зола-унос, кг	0	149
Химдобавка «Бенотех D-4», л	3,04	2,62
Физико-механические показатели бетона		
Прочность на сжатие R _{сж} , МПа	33,40	29,07
Плотность, кг/м ³	2480	2450
Подвижность смеси (осадка конуса, см)	9	1

При введении золы-уноса в количестве 54,4% от массы цемента прочность бетона не существенно уменьшается (в пересчете на прочность в возрасте 28 суток). Поскольку набор прочности бетонов с добавками золы-уноса происходит медленнее бетонов без неё, через 90 и более суток, скорее всего, разницы не будет. Применение состава с золой-уноса позволяет экономить 14% цемента, 12% песка.

Как отмечалось выше, зола-уноса не отвечает требованиям ГОСТ 25818-91, ОДМ 218.2.035-2013 и ОДМ 218.2.031-2013, поэтому её применение в бетонах возможно только после специальных исследований. Наибольшее отклонение от норм в содержании оксида кальция: фактически - 23%, норма - более 10%.

Результаты испытаний по определению содержания свободного оксида кальция в золе-уноса приведены в таблице 2.32

Таблица 2.32- Результаты испытаний содержания свободного оксида кальция

№ опыта	Масса навески, г	pH раствора	pH суспензии	Содержание свободного оксид кальция в сухой массе, %	Среднее значение, %
1	0,9605	11,1	11,4	4,26	4,20
2	0,9496	11,2	11,5	4,13	

2.3 Практические рекомендации по использованию золошлаковых отходов

На основании результатов исследований золошлаковых материалов АО «Красноярская ТЭЦ-1», испытания опытных образцов и анализа опыта применения золошлаковых материалов в промышленном и гражданском строительстве можно рекомендовать применение золошлаковых материалов в следующих конструкциях и полуфабрикатах:

Таблица 2.33 Возможности применения золошлаковых материалов АО «Красноярская ТЭЦ-1»

Конструктивный элемент, материал	Материал	
	Золошлаковая смесь	Зола-уноса
Насыпи автомобильных и железных дорог, элементов благоустройства	+ ¹⁾	+
Использование в качестве минерального порошка в составе асфальтобетонов	+ ²⁾	+
Использование в качестве компонентов плотных смесей каменных материалов	+	+
Использование для приготовления цементобетонных смесей	-	+
Использование в составе укрепленных грунтов и каменных материалов неорганическими вяжущими	-	+

Примечания. ¹⁾ – кроме рабочего слоя; ²⁾ – после проведения соответствующих исследований.

Золошлаковая смесь, являясь фактически золой с высокой влажностью и высоким содержанием негоревших частиц, может найти применение в

составе плотных смесей по ГОСТ Р 25607-2009 в качестве минеральной пыли (в небольших объемах). Применение данных смесей возможно только в основаниях, подстилающих слоях дорожных одежд. Использование в смесях С1, С2 для покрытий, нежелательно из-за повышенной пылимости золы. При условии согласования с заказчиком и выполнения соответствующих исследований может применяться для отсыпки земляного полотна (кроме рабочего слоя).

Зола-уноса может применяться в качестве осушающей добавки в переувлажненные грунты, как связные, так и скальные в объемах до 20%. При проведении соответствующих исследований процент добавки золы уноса быть скорректирован под конкретные грунты. Наибольшее применение зола-уноса может найти применение при укреплении грунтов, как самостоятельное вяжущее, совместно с цементом или известью.

Зола-уноса в составе плотных смесей по ГОСТ Р 25607-2009 может использоваться как мелкодисперсная фракция. Недостаток минеральной пыли, как правило, остро стоит при производстве плотных смесей из высокопрочных горных пород, гравийно-песчаных смесей. Использование глинистой составляющей в данных смесях ухудшает их показатели в слоях дорожных одежд. Зола-уноса, обладая вяжущими свойствами, увеличит сдвиговые характеристики плотных смесей, что особенно важно при увлажнении слоев дорожной одежды.

Применение зол-уноса в составе цементобетонных смесей, смесей каменных материалов, укрепленных неорганическими вяжущими, позволит уменьшить расход вяжущего, улучшит технологические свойства смесей.

При использовании зол-уноса в составе жестких цементобетонных смесей уменьшаются внутренние напряжения в ходе набора прочности и в процессе эксплуатации дороги, что снижает трещинообразование слоев цементобетона.

Использование зол-уноса в составе асфальтобетонных смесей, в качестве минерального порошка, требует дальнейших исследований. Технически применение зол-уноса возможно при соответствующем экономическом обосновании.

Вывод по главе 2

В ходе исследования возможностей использования золошлаковой смеси и золы уноса АО «Красноярская ТЭЦ-1» в строительных технологиях, установлено, что зола-уноса сухого удаления (летучая зола), является наиболее ценным продуктом, в отличие от шлаковых отходов, которую можно применять в качестве материала для приготовления цементобетонных смесей, использовать в составе укрепленных грунтов и каменных материалов неорганическими вяжущими и прочих конструктивных элементах и материалов. Однако, несмотря на это, золошлаковая смесь также является потенциально ценным материалом для строительства, но только после проведения более глубоких дополнительных исследований над ее свойствами

в совокупности с местными материалами и некоторыми соответствующими изменениями при переработке.

3 Разработка системы золошлакоудаления с использованием участка автозолопогрузочного цеха

3.1 Описание действующей системы золошлакоудаления АО «Красноярская ТЭЦ-1».

В состав АО «Красноярская ТЭЦ-1» входят 17 котлоагрегатов. Котлы ст. №№ 4-7 ПК-10Ш-230-100, ст. №№ 8-16 ПК-10Ш2-220-100 – с твердым шлакоудалением и ст. №№ 17-20 БКЗ-320-140 с жидким шлакоудалением. В настоящий момент котлы БКЗ-320-140 перемаркированы на паропроизводительность 270 т/ч, а котел ст.№ 18 переведен на твердое шлакоудаление.

В качестве твердого топлива на котлах Красноярской ТЭЦ-1 сжигается борозинский бурый уголь марки 2 Бр со следующими средними показателями качества: $Q = 3775$ ккал/кг, $A = 6,56\%$, $W = 32,85\%$, топливо ухудшенного качества имеет следующие характеристики: $Q = 3330$ ккал/кг, $A = 10,8\%$, $W = 35\%$. На Красноярской ТЭЦ-1 действует гидравлическая система внешнего гидрозолоудаления, обратная, совместная для золы и шлака.

Система золошлакоудаления - совместная. Шлак из-под котла поступает в охлаждающую ванну шнекового шлакоудалителя, а оттуда в шлаковый канал. Зола от золоулавливающих установок пневмоструйными аппаратами подается в осадительные циклоны, расположенные над шлаковым каналом, из циклонов сбрасывается в конусные золосмывные аппараты эжекторного типа, в которых смачивается и в виде пульпы подается в шлаковый канал.

Исключение составляют котлы ст.№№ 17, №18, осадительные циклоны и золосмывные аппараты, которых расположены над золовым каналом, куда и поступает золовая пульпа. Золовые каналы остальных котлов в настоящее время не используются.

В приемные емкости багерной насосной № 1 по шлаковым каналам транспортируется золошлаковая пульпа от котлов ст. №№ 4-7, в багерную №2 от котлов ст.№№ 8-14 и в багерную №3 от котлов ст.№15-20.

Багерная насосная №1 размещается между котлами ст. №№ 4 и 6 и включает два багерных насоса (БН1, БН2 марки ГрАТ-900/67 производительностью 900 м³/ч и напором 67 м.вод.ст.) и золосмывной аппарат «Москалькова». Багерный насос БН1 по пульпопроводу Ду450 подает пульпу в приемный приямок багерной насосной № 3, а БН2 - по пульпопроводу Ду450 на золоотвал, аппарат «Москалькова» является аварийно-резервным и работает только на приямок багерной насосной № 3.

Багерная насосная № 2 размещается между котлами ст. №№ 8 и 14 и включает 2 багерных насоса (БН3, БН4 марки ГрАТ-900/67 производительностью 900 м³/ч и напором 67 м.вод.ст.) и аппарат

«Москалькова». Багерный насос БН3 и БН4 каждый по отдельному пульпопроводу Ду450 подает пульпу на золоотвал, а БН4 может подавать пульпу и в приямок багерной насосной №3, аппарат «Москалькова» является аварийно-резервным и работает только на приямок багерной насосной №3.

Багерная насосная № 3 размещается между котлами ст. №№ 16 и 17 и включает 4 багерных насоса (БН8-10 с насосами марки ГрАТ-900/67 и БН11 ГрТ-1250/71 производительностью 1250 м³/ч и напором 71 м.вод.ст.). Багерные насосы БН8-11 по двум отдельным пульпопроводам Ду450 подают пульпу на золоотвал. На случай выхода из строя работающего пульпопровода имеется резервная перемычка для подачи пульпы в приямок багерной насосной № 2, что позволяет откачивать пульпу из багерной насосной № 3 вторым резервным насосом багерной № 2.

Протяженность пульпопроводов с разводящей сетью для заполнения золоотвала составляет 5,8 км.

По данным «Урал ОРГРЭС» на тушение и транспорт шлака, на смыв и транспорт золы расходуется воды больше, чем это требуется по нормативному расчету см. таблицу 3.1.

Таблица 3.1 – Расход пульпы через багерные насосные.

Вид потребления	1 багерная	2 багерная	3 багерная	Всего
Фактический расход пульпы через багерные по данным обследования «УралОРГРЭС», м ³ /ч	676	614	1374	2664
Расчётный расход пульпы через багерные при максимальной зольности угля А=10,8%, м ³ /ч	322	268	378	968

Для отгрузки сухой золы потребителям, ТЭЦ располагает силосным складом сухой золы. Силосный склад сухой золы имеет шесть металлических силосов диаметром 5,5 м емкостью 350 м³ каждый (общая емкость склада – 2100 м³). Силоса оборудованы установками марки С-926 для загрузки железнодорожных цементовозов, которые после загрузки взвешиваются на железнодорожных весах. Для перемещения вагонов при загрузке, по фронту силосного склада, применяются маневровые лебедки. Пневмоструйные насосы внутренних и внешних пневмотранспортных линий обеспечиваются сжатым воздухом от общестанционной компрессорной в составе шести поршневых компрессоров 305ВП30/8, одного поршневого компрессора 303ВП20/8, одного компрессора ДЭН-132ШМ, одного нагнетателя 140-21-1 и двух воздуходувок ТВ80-1.6.

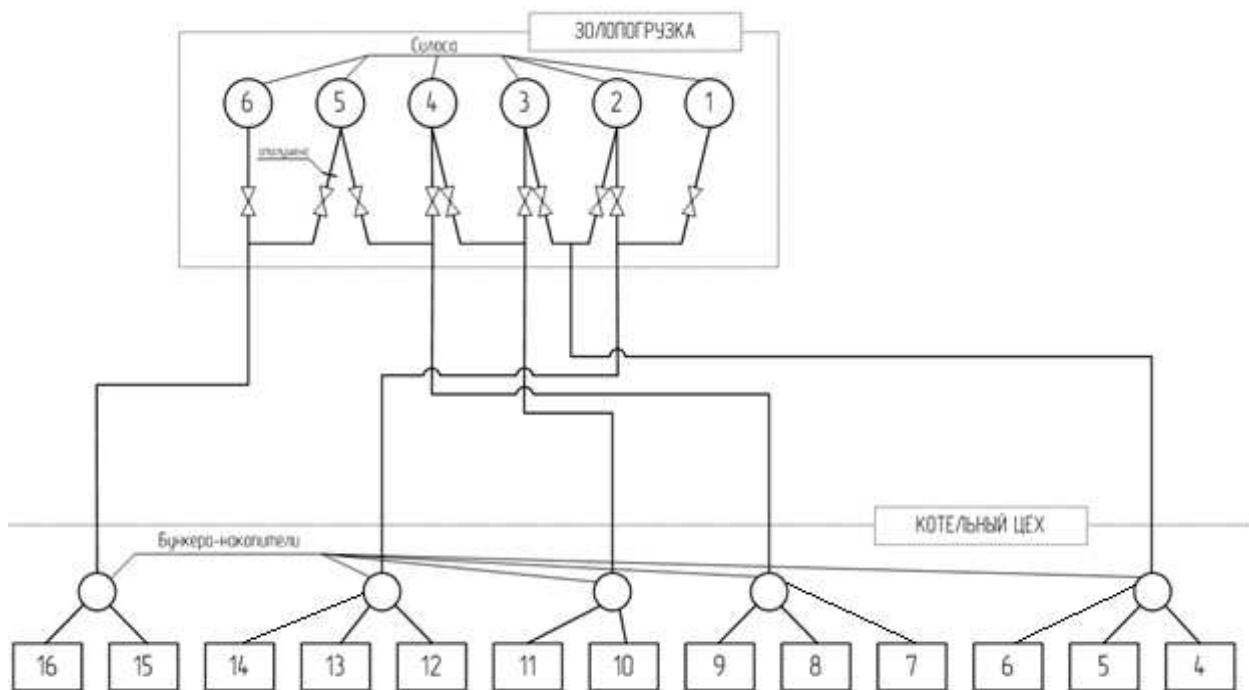


Рисунок 7 – Схема отбора золы на силоса

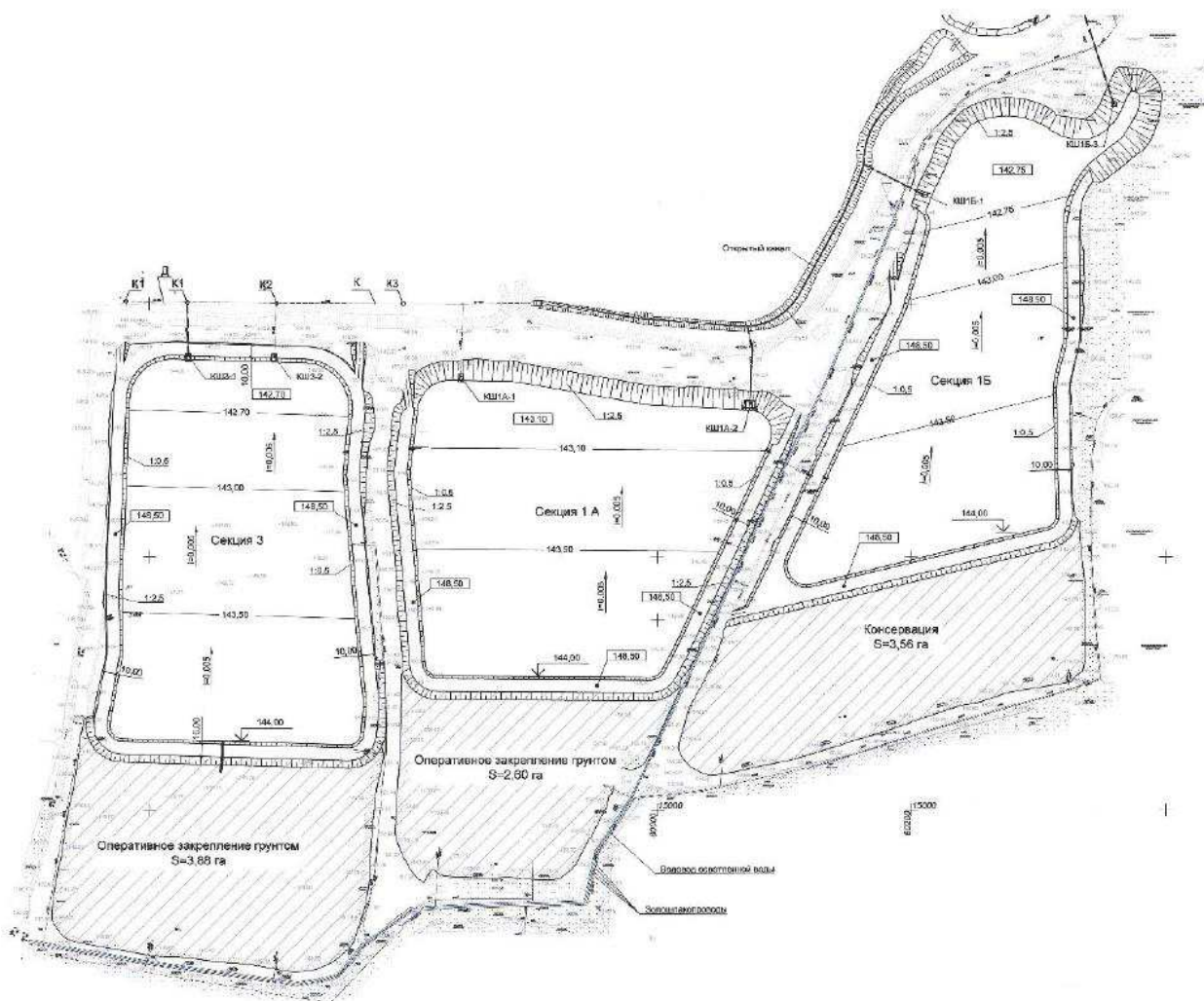


Рисунок 8 – План-схема золоотвала Красноярской ТЭЦ-1

3.1.1 Количество образуемых золошлаковых отходов

Расчёт образования массы золы производим по формуле (3.1):

$$M_z = B \cdot (A^p + q_{\text{мех}} \cdot \frac{Q_H^p}{32,68}) / 100 \cdot a_{\text{ун}} \cdot (\eta_{\text{зу}}/100) \quad (3.1)$$

где $a_{\text{ун}}$ – доля золы уноса, принимаем 0,95; B – расход натурального топлива, тонн; A^p – зольность топлива, равная 6,72%; $\eta_{\text{зу}}$ – КПД золоулавливающего устройства, %; Q_H^p – низшая теплота сгорания топлива, равная 16,245 МДж/кг; $q_{\text{мех}}$ – механический недожог топлива, %; 32,68 МДж/кг – средняя теплота сгорания.

На примере котла ст. № 9 производим расчёт (данные взяты из технико-экономических показателей работы станции за январь 2021 года):

$$M_3 = 23274,025 \cdot (6,72 + 0,093 \cdot \frac{16,245}{32,68}) / 100 \cdot 0,95 \cdot (\frac{95}{100}) = 1491,234$$

ТОННЫ

Расчёт образования массы шлака производим по формуле (3.2):

$$M_{ш} = B \cdot (A^p + q_{мех} \cdot \frac{Q_H^p}{32,68}) / 100 \cdot (1 - a_{ун}) \quad (3.2)$$

$$M_{ш} = 23274,025 \cdot (6,72 + 0,093 \cdot \frac{16,245}{32,68}) / 100 \cdot (1 - 0,95) = 78,739 \text{ ТОННЫ}$$

Общее количество золошлаковых отложений считаем по формуле (3.3):

$$M_{зшо} = M_3 + M_{ш} \quad (3.3)$$

$$M_{зшо} = 1421,234 + 78,739 = 1499,972 \text{ ТОННЫ}$$

По примеру расчёта котла ст. № 9 производим расчёт остальных котлов, данные сводим в таблицу 3.2.

Таблица 3.2 - Образование золошлаковых отходов АО «Красноярская ТЭЦ-1» в 2021 году (тонн).

<i>Котлы</i>	январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь	ГОД
котел № 4	1 230,3	776,1	990,8	1 083,3	767,9	506,7	482,6	582,4	616,0	1 156,9	1 003,7	1 311,0	10 507,7
котел № 5	1 256,3	1 186,6	936,5	931,2	620,3	496,6	530,3	874,0	699,4	1 282,8	996,3	1 060,2	10 870,4
котел № 6	1 127,1	92,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1 105,6	2 324,8
котел № 7	862,0	1 159,5	161,4	108,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	138,6	1 041,4	1 158,5	4 630,3
котел № 8	0,0	0,0	187,5	934,8	600,0	1188,8	293,0	0,0	1 105,6	1 330,8	1 083,9	259,5	6 984,0
котел № 9	1 500,0	1 198,3	1 045,1	1 185,0	592,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	594,8	6 116,0
котел № 10	1 273,8	1 115,9	609,4	405,0	44,3	1207,3	1053,0	1066,9	1 108,2	882,9	1 095,2	1 410,1	11 272,0
котел № 11	1 211,7	995,9	133,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	425,0	705,6	823,8	4 295,6
котел № 12	1 318,1	907,1	115,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	431,1	1 392,0	4 163,8
котел № 13	1 410,0	696,0	510,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	50,3	988,4	3 654,6
котел № 14	936,2	698,5	894,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	849,2	3 378,3
котел № 15	478,5	989,4	1 130,3	392,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2 990,8
котел № 16	1 322,3	1 182,7	1 015,3	868,2	949,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5 338,1
котел № 17	914,8	542,0	413,1	761,1	134,3	496,8	915,9	721,6	326,6	554,1	310,0	0,0	6 090,3
котел № 18	1 700,2	1 079,1	0,0	99,4	1373,1	35,0	0,0	691,4	108,9	1 109,0	519,0	1 439,5	8 154,7
котел № 19	1 349,4	1 101,8	1 550,2	361,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	395,8	4 758,8
котел № 20	1 574,0	711,7	637,4	979,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3 902,4
за месяц -	19665	14 546,8	10437	8 221,9	5159,1	3 987,0	3 330,8	3 968,6	3 998,8	6 880,1	7 236,6	12 788,2	100 220,2
за квартал -	44 649,1			17 367,9			11 298,3			26 904,9			100 220,2

Таблица 3.3 - Образование сухой золы по месяцам за 2021 год

Месяц	Тонн
Январь	17423,389
Февраль	13040,307
Март	9068,893
Апрель	7131,428
Май	4845,128
Июнь	3624,450
Июль	2873,629
Август	3536,952
Сентябрь	3688,117
Октябрь	6346,642
Ноябрь	6764,644
Декабрь	11997,513

Ввиду того, что в настоящее время ведутся работы по модернизации станции в рамках программы ДПМ-2, в ходе которой будет проведена частичная замена основного оборудования, а именно, двух котлоагрегатов, двух турбоагрегатов, установка 14 электрофильтров, снос трех старых дымовых труб и строительство новой - высотой 275 метров.

Так как, по программе будут заменены все блочные циклонные уловители на электрофильтры с большим КПД, выход золы со станции будет существенно увеличен [36].

Таблица 3.4 – Отгрузка золы АО «Красноярская ТЭЦ-1» за 2021 год

Отпуск золы	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	Всего на текущую дату
Заявлено на отгрузку (тн)	560	980	980	560	350	350	0	0	0	0	0	0	3 780
Отпущено (тн)	493	766	689	487	496	138	65	115	0	0	0	0	3 248
Стоимость тонны на момент отгрузки, без НДС (руб.)	175	175	175	175	175	175	175	175	175	175	175	175	
Всего (руб.)	86 310	134 050	120 514	85 216	86 721	24 159	11 296	20 169	0	0	0	0	568 435
Стоимость отпущенной золы (руб.), с НДС (20%)	103 572	160 860	144 617	102 260	104 056	0	13 556	24 203	0	0	0	0	653 122
Отпущено (тн)	493	766	689	487	496	138	65	115	0	0	0	0	3 248
Стоимость отпущенной золы (руб.), с НДС (20%)	103 572	160 860	144 617	102 260	104 056	0	13 556	24 203	0	0	0	0	653 122

По причине того, что на АО «Красноярская ТЭЦ-1» зола-уноса отгружается потребителям с помощью железнодорожного транспорта, а большинство потенциальных покупателей имеют техническую возможность производить отгрузку только автомобильным транспортом, было принято решение о разработке проекта строительства автозолопогрузочного цеха.

3.2 Проект автозолопогрузочного цеха

В ходе проектных работ возникает необходимость замена части старого оборудования станции с целью реализации программы по увеличению объемов сухой золы в полном объеме.

Пневмоструйные насосы внутренних и внешних пневмотранспортных линий обеспечиваются сжатым воздухом от общестанционной компрессорной в составе шести поршневых компрессоров 305ВП30/8, одного поршневого компрессора 303ВП20/8, одного компрессора ДЭН-132ШМ, одного нагнетателя 140-21-1 и двух воздуходувок ТВ80-1-6. Воздухоочистное оборудование силосного склада изношено, выработало свой ресурс и требует замены. Оборудование компрессорной станции, кроме компрессора ДЭН-132ШМ, так же выработало свой ресурс, крайне изношено и требует замены.

В связи с увеличением отгрузки сухой золы потребителям требуется реконструкция технологических золопроводов, силосного склада, а именно:

Монтаж технологических золопроводов для транспортировки золы от котлов ст.№№ 17-20 в силосный склад, с установкой пневмокамерных насосов на котлах 17-20.

- Приобретение и монтаж компрессоров ДЭН-132ШМ (2 шт.), и оборудования по осушению сжатого воздуха.

- Приобретение и замена двух воздуходувок, монтаж коллектора воздуха от воздуходувки с переводом ПСЗ котлов на воздух давлением 1-1,2 кгс/см².

- Изготовление и монтаж циклонов очистки запыленного воздуха на накопителях золы котлов 4-16.

- Приобретение и замена загрузочных устройств (С-926) силосов 1-6.

- Замена лебедок.

- Восстановление схемы отбора запыленного воздуха при загрузке вагонов.

- Реконструкция здания силосного склада.

- Внедрение системы «Этран».

Выполнение всех мероприятий «Программы по увеличению объемов реализации сухой золы» обеспечит:

- реализацию всей образующейся золы потребителям;

- снижение затрат на содержание золоотвала;
- снижение экологических платежей за размещение отходов на золоотвале.

В процессе поиска технических решений по вопросу строительства автозолопогрузочного цеха были рассмотрены два варианта транспортировки золы внутри склада – механический и пневматический.

Система воздухообеспечения выполнена из одной магистрали сжатого воздуха от компрессорной на все элементы ПЗУ, что исключает наличие отдельных коллекторов на разные группы технологического оборудования и соответственно возможность регулирования параметров подаваемого воздуха. Также схема воздухообеспечения не обеспечивает необходимые параметры сжатого воздуха в виду отсутствия достаточного количества элементов удаления влаги (влагомаслоотделителей), было принято решение рассмотреть проект механической схемы для транспортировки и погрузки золы.

Основными потребителями золы при производстве стройматериалов являются: ЗАО «Алтайкровля», ООО «Завод Технониколь-Сибирь», АО «Сибирский цемент», а также производители бетона на заводах в Московском регионе. Годовая потребность в сухой золе составляет 100 000 тонн и более.

Исходя из данных 2021 года, самое большое количество выхода золы со станции было в январе и составило 17423,389 тонны за месяц. Соответственно, целесообразно будет привязываться к данным именно этого месяца, и производить расчёт установки по данному количеству золы.

Расчитаем часовой максимально возможный требуемый отпуск золы со станции по формуле (3.4):

$$Q_{з.час} = \frac{M_{з.мес}}{n_{сут} * \tau * \rho} = \frac{17423,389}{31 * 24 * 1,3} = 18,614 \text{ м}^3/\text{ч} \quad (3.4)$$

где, $n_{сут}$ – количество суток в месяце; τ – количество часов в сутках; ρ – плотность золы.

Согласно данному расходу золы подбираем подходящее оборудование:

Спуск золы из силосов № 1,2,3 будет производиться тремя винтовыми конвейерами марки DEMIX ITALTECH-219 в два разнонаправленных общих винтовых конвейеров DEMIX ITALTECH-273, а затем в телескопическую загрузочную станцию JETPACK 1000SA/03

Характеристики основного оборудования автозолопогрузочного цеха:
Винтовой конвейер марки DEMIX ITALTECH-219-4000-5,5кВт:

- Производительность: до 33 м³/ч
- Число оборотов: 280 об/мин
- Масса: 190 кг

Винтовой конвейер марки DEMIX ITALTECH-219-3000-5,5кВт:

- Производительность: до 33 м³/ч
- Число оборотов: 280 об/мин
- Масса: 144 кг

Общий винтовой конвейер марки DEMIX ITALTECH-273-8000-11,0кВт:

- Производительность: до 47,5 м³/ч
- Число оборотов: 187 об/мин
- Масса: 507 кг

Общий винтовой конвейер марки DEMIX ITALTECH-273-6000-11,0кВт:

- Производительность: до 47,5 м³/ч
- Число оборотов: 187 об/мин
- Масса: 380 кг

Телескопическая загрузочная станция JETPACK 1000SA/03

- Производительность: до 250 м³/ч
- Диаметр заградительного отверстия: 300 мм
- Длина в сложенном состоянии: 1699 мм
- Длина в разложенном состоянии: 2313 мм
- Потребляемая мощность:
- Подъемное устройство – 1,5 кВт
- Мощность вентилятора – 1,5 кВт
- Электрическое питание: 380В/50Гц
- Масса: 200 кг

Телескопическая загрузочная станция с системой аспирации JETPACK 1000 SA служит для беспылевой загрузки хорошо сыпучих зерновых, гранулированных и порошкообразных материалов в приемные бункеры, цементовозы и вагоны, оснащенные загрузочным люком диаметром не менее 400 мм. Использование телескопических загрузчиков позволяет свести к минимуму негативное влияние на экологию и окружающую среду при погрузке пылящих материалов, а также исключить потери продукта. В состав телескопического загрузочного устройства входит:

Приводное устройство – электрическая лебедка, располагается в верхней части загрузчика и служит для позиционирования телескопа в пространстве.

Система аспирации – интегрированная в корпус загрузочного устройства система пылеулавливания.

Система пневмоочистки – автоматическая система очистки фильтрующих элементов аспирации.

Загрузочные конусы – конусные элементы, служащие для транспортировки материала и предотвращающие абразивный износ.

Загрузочная головка – устройство, служащее для герметичной стыковки с загрузочным люком.

Гофрированная оболочка – рукав из специализированного пыленепроницаемого материала, закрывающий составные элементы телескопического устройства, а также служащий аспирационным рукавом.

Вытяжной вентилятор – служит для создания разрежения между загрузочными конусами и гофрооболочкой, что в свою очередь, предотвращает пыление.

Оператор, подавая сигнала, с помощью шкафа управления либо выносного пульта управления (поставляется в качестве дополнительной опции) производит стыковку загрузочной головки с люком загружаемой емкости. После чего включается подающее устройство и материал под собственным весом, проходя через загрузочные конусы, подается в загружаемую емкость. По заполнению емкости, на шкаф управления с лопастного датчика уровня, установленного на загрузочной головке, поступает сигнал, после чего, происходит подъем загрузчика. По достижению крайнего положения, подъем загрузчика останавливается автоматически, по срабатыванию концевого выключателя.



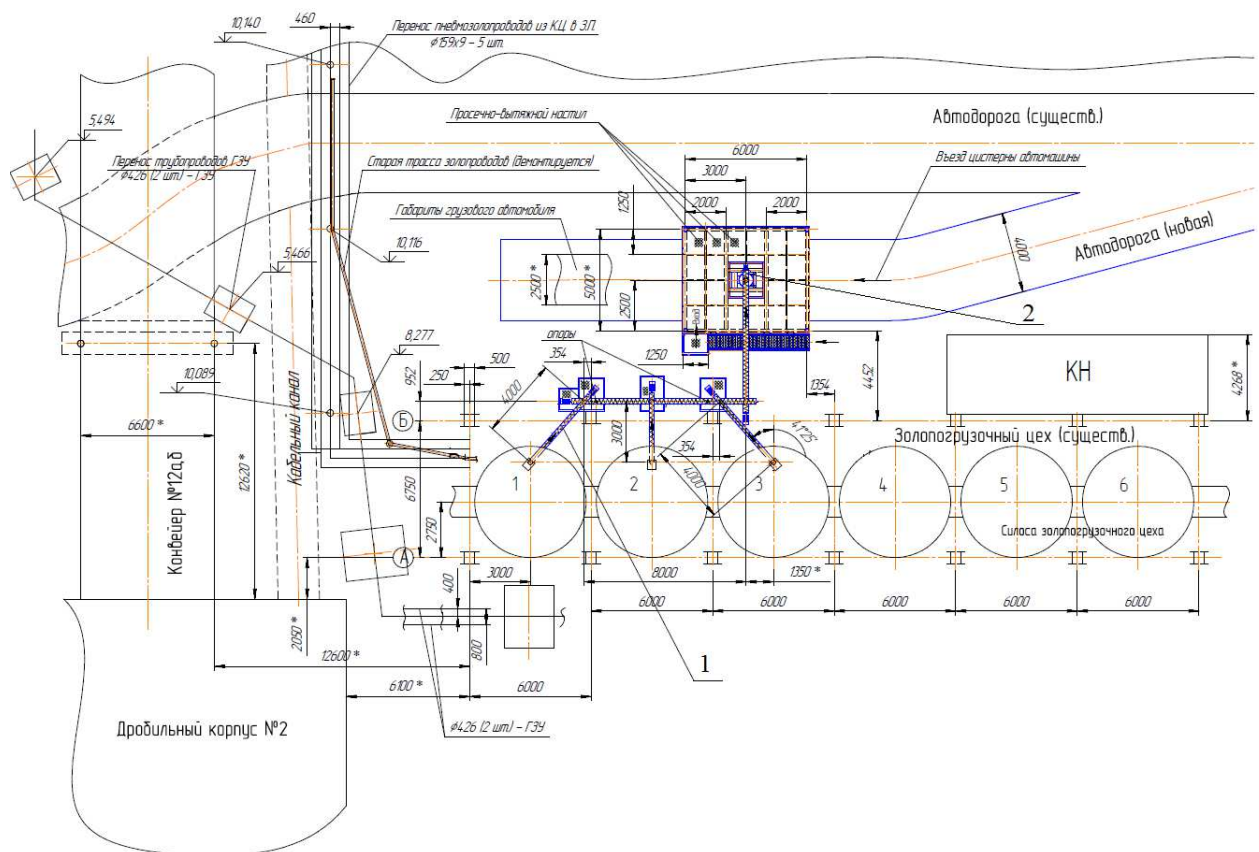
Рисунок 9 - Телескопическая загрузочная станция JETPACK 1000 SA/01

Для полной реализации проекта автозолопогрузочного цеха дополнительно потребуется соорудить металлическую площадку для

размещения оборудования для отгрузки золы в автомашины (стена со стороны котельного цеха покрывается профлистом); отлить фундамент для размещения на нем площадки; для обеспечения работы установки понадобится проложить силовой кабель, от питающего трансформатора длиной 400 метров; для свободного подъезда автомобильного транспорта отсыпаяем грунтовую дорогу (350 метров) и асфальтовую дорогу до нового КПП (270 метров); для беспрепятственного попадания автомобилей на территорию станции сооружаем новый контрольно-пропускной пост. Данные по капитальным затратам сводим в таблицу 3.5.

Таблица 3.5 - Капитальные затраты на строительство автозолопогрузочного цеха:

Капитальные затраты:	
Оборудование	Стоимость млн. руб.
Монтаж 5-ти больших струйных насосов на силоса участка золопогрузки. Для организации транспорта сухой золы с силосов №6,5,4,3,1 в силос № 2 (поддержание уровня золы в силосе №2 и постоянной отгрузке сухой золы на ж/д весах)	5
Замена 2- маневровых лебедок	1,12
Замена СНИК(насос) 4-шт.	1,96
Монтаж масловлагоотделителей 2- шт.	0,6
Замена загрузочных устройств 6- шт.	3,35
Металлическая площадка для размещения оборудования для отгрузки золы в автомашины (стена со стороны котельного цеха покрывается профлистом)	3,8
Стоимость фундаментов	0,9949
Телескопическая загрузочная станция JETPACK 1000SA/03	0,412
Общий винтовой конвейер марки DEMIX ITALTECH-273-6000	0,14885
Общий винтовой конвейер марки DEMIX ITALTECH-273-8000-11,0кВт	0,173
Винтовой конвейер марки DEMIX ITALTECH-219-3000-5,5кВт	0,108
Винтовой конвейер марки DEMIX ITALTECH-219-4000-5,5кВт	0,22884
Прокладка силового кабеля от питающего трансформатора	0,7276
Устройство грунтовой дороги(ПГС), 350м	2,5
Устройство асфальтовой дороги до нового КПП, 270м	5,076
Устройство нового КПП для автомобилей	1,4
ИТОГО (млн. руб.):	27,59919



1 – винтовой конвейер DEMIX ITALTECH; 2 - Телескопическая загрузочная станция
 JETPACK

Рисунок 10 - Проект автозолопогрузочного цеха

Вывод по главе 3

По результатам анализа работы действующей системы золошлакоудаления АО «Красноярская ТЭЦ-1» установлено, что существует возможность повышения эффективности путем изменения логистической схемы, расчётным путем было показано количество, образуемых золошлаковых отходов. На основании полученных данных была установлена необходимость строительства цеха по золопогрузке автомобильным транспортом. В настоящее время ведется масштабная модернизация станции, в ходе которой будет установлено более эффективное золоулавливающее оборудование, что послужит причиной еще большего выхода летучей золы и отгрузки ее потребителю, что также показывает необходимость дополнительного строительства цеха по золопогрузке.

4 Технико-экономическое обоснование

Эффективность инвестиционного проекта характеризуется системой экономических показателей, отражающих соотношение связанных с проектом затрат и результатов, и позволяющих судить об экономической

привлекательности проекта для его участников, об экономических преимуществах одних проектов над другими.

Показатели эффективности могут определяться разными методами. Статические методы не учитывают изменения движения капитала в течение времени осуществления проекта, методы дисконтирования позволяют учесть неравноценность одинаковых сумм поступлений и платежей, относящихся к разным периодам времени осуществления проекта.

В рамках данной работы будут оценены следующие экономические показатели:

1. «Чистый дисконтированный доход» отражающий эффективность проекта и целесообразности вложения в этот проект средств, вложение средств является эффективным, если показатель больше нуля;
2. «Индекс доходности» – показатель высокой устойчивости проекта, если показатель больше 1, проект можно считать эффективным;
3. Значение «внутренней нормы доходности», который свидетельствует о «резерве безопасности проекта», при которой величина приведенных эффектов равна капиталовложениям;
4. Срок окупаемости проекта представляет собой период, начиная с которого первоначальные вложения и суммарные затраты, связанные с инвестиционным проектом покрываются суммарным результатом его осуществления.

Выручка от реализации золы от ТЭЦ составит, млн. руб. формула (4.1):

$$\text{ВРП} = V_{\text{зола}} \cdot C_{\text{зола}} \quad (4.1)$$

Экономия затрат на содержание системы ГЗУ и золоотвала принимаем прямопропорционально зависимой от объема золы и шлака, перемещенного на золоотвал формула (4.2):

$$\text{Э} = \sum C_{\text{раб}} \cdot \frac{V_{\text{ЗШО}}}{V'_{\text{ЗШО}}} \quad (4.2)$$

где $C_{\text{раб}}$ – стоимость работ, выполненных для поддержания функционирования существующего золоотвала и системы ГЗУ в 2021 году (таблица 4.1);

$V_{\text{ЗШО}}$ – среднегодовой объем ЗШО, размещенных на золоотвале после реконструкции системы золопогрузки равная тн.;

$V'_{\text{ЗШО}}$ – среднегодовой объем ЗШО, размещенных на золоотвале в 2021 году, тн. формула (4.3):

$$V'_{\text{ЗШО}} = V'_{\text{шлак}} + V'_{\text{зола}} - V'_{\text{прод}} \quad (4.3)$$

где $V'_{\text{шлак}}$ – количество шлака, образовавшегося в процессе эксплуатации станции в 2021 году;

$V'_{\text{зола}}$ – количество золы, образовавшейся в процессе эксплуатации станции в 2021 году;

$V'_{\text{прод}}$ – количество золы, проданной станцией в 2021 году.

Величина $V_{\text{ЗШО}}$ рассчитывается аналогично $V'_{\text{ЗШО}}$ по данным за расчетный год.

Таблица 4.1 - Стоимость работ, выполненных в 2021 году

Наименование работ	Дата проведения	Стоимость работ, без НДС	Кроме того, материалы, без НДС
Чистка всасов насосов осветленной воды 1, 2, и 3 золошлакоотвала	Август 2021	659552	0
Очистка всасывающего бассейна насосов осветленной воды 1, 2 и 3 и дренажного канала золошлакоотвала	Август - октябрь 2021	1 644 183	0
Поддержание в работоспособном состоянии контрольно-измерительной аппаратуры золошлакоотвала (прокачка скважин)	Июль 2021	347 246	0
Замена прямых участков золошлакопровода (правая трасса ГЗУ)	Февраль 2021	35 682	11 089
Техническое обслуживание насосного оборудования(НОВ-2, НОВ-3, др. насосы 1-4) (гидросфера), ремонт багерного насоса 4.	Март 2021	426 138	200 400,96
Ремонт золошлакопровода наложением заплат	Апрель 2021	32 647	313
Ремонт задвижек 4ОВ, 5ОВ (гидросфера)	Май 2021	69 629	6 034
Расшлаковка БЦУ котла 19 (атмосфера)	Июнь 2021	162 946	0
Ремонт Багерного насоса 4.	Июнь 2021	216 437	106 967
Ремонт золошлакопровода наложением заплат: площадью до 0,25м ² (5 заплат 0,500*0,445)	Июнь 2021	6 886	2 019
Ремонт багерного насоса 3	Июль 2021	31 268	9 866
Ремонт золошлакопровода наложением заплат: площадью до 0,25м ² (5 заплат 0,500*0,445)	Июль 2021	7 193	2 309
Ремонт золошлакопровода наложением заплат: площадью до 0,25м ² (5 заплат 0,500*0,445)	Август 2021	4 216	1 242
Ремонт багерного насоса 3	Сентябрь 2021	146 904	32 245
Ремонт багерного насоса 3	Сентябрь 2021	106 938	31 609

Продолжение таблицы 4.1

Ремонт багерного насоса 11	Сентябрь 2021	105 457	30128
Ремонт 3 и 4 шп (гидросфера)	Сентябрь 2021	211 152	160 532
Ремонт золошлакопровода наложением заплат: площадью до 0,25м ² (5 заплат 0,500*0,445)	Сентябрь 2021	6 787	730
Ремонт золошлакопровода наложением заплат: площадью до 0,25м ² (5 заплат 0,500*0,445)	Ноябрь 2021	116 198	56 647
Ремонт НОВ-2	Ноябрь 2021	198 738	5 302
Ремонт насосов НОВ-1 (гидросфера)	Ноябрь 2021	117 856	9 559
Ремонт задвижек 5ОВ, 6ОВ, 7ОВ	Ноябрь 2021	318 579	210 641
Ремонт трасс ГЗУ и ОВ наложением заплат и переваркой дефектных сварных швов (гидросфера)	декабрь 2021	6 209	385
Замена отдельных участков трасс ГЗУ (гидросфера)	Сентябрь – ноябрь 2021	1 587 116	1 058 387
Очистка трасс ГЗУ и ОВ от внутренних отложений.	Июнь – ноябрь 2021	1 300 000	0
Выемка, погрузка, транспортировка образовавшегося вторичного материального ресурса в виде осушенной золошлаковой смеси и/или приготовленного золошлакового материала для нужд АО «Красноярская ТЭЦ-1» в 2021 г.	Апрель – декабрь 2021	67 120 302	0

Для примера, расчет экономии для 2023 г. представлен в таблицах 4.2 и 4.3:

Таблица 4.2 – Стоимость работ в 2021 году

Объемы по ЗШО в 2021 г.	
Количество золы, образованной за год, в среднем	90341
Количество шлака, образованного за год, в среднем	9879,24
Количество золы, проданной за год	3248
Суммарное количество ЗШО, транспортируемых на золоотвал за год	100220,24
Суммарные затраты на поддержание системы ГЗУ и золоотвала, млн. рублей	70,623

Таблица 4.3 - Стоимость работ в 2023 году

Объемы по ЗШО в 2023 г.	
Количество золы, образованной за год, в среднем	90341
Количество шлака, образованного за год, в среднем	9879,24
Количество золы, проданной за год	25291

Продолжение таблицы 4.3

Суммарное количество ЗШО, транспортируемых на золоотвал за год	74929,24
Суммарные затраты на поддержание системы ГЗУ и золоотвала, млн. руб.	54,57
Экономия относительно 2021 г., млн. руб.	16,05

Доход от основной деятельности, млн. руб. формула (4.4):

$$D_{\text{осн}} = \text{ВРП} - C_{\text{рем}}, \quad (4.4)$$

где $C_{\text{рем}}$ –затраты ремонта и ТО золопогрузки в год, принимаем равной 10% от капитальных затрат, млн. руб.

Налог на прибыль по ставке 20% составит, млн. руб. формула (4.5):

$$H_{\text{пр}} = D_{\text{осн}} \cdot 0,2, \quad (4.5)$$

Чистая прибыль, млн. руб. формула (4.6):

$$\text{ЧП}_t = D_{\text{осн}} + \text{Э} - H_{\text{пр}}, \quad (4.6)$$

Чистый денежный поток, млн. руб. формула (4.7):

$$\text{ЧДП}_t = \text{ЧП}_t + U_a, \quad (4.7)$$

Чистый денежный поток нарастающим итогом, млн. руб. формула (4.8):

$$\text{ЧДПНИ}_t = \text{ЧДПНИ}_{t-1} + \text{ЧДП}_t, \quad (4.8)$$

В нулевой год принимается равным капитальным затратам со знаком минус.

Дисконтированный денежный поток, млн. руб. формула (4.9):

$$\text{ДДП}_t = \frac{\text{ЧДП}_t}{(1+r)^t}, \quad (4.9)$$

где r – норма дисконта для ТЭЦ принимается равной $r = 10 \%$.

Дисконтированный денежный поток нарастающим итогом, млн. руб. формула (4.10):

$$\text{ДДПНИ}_t = \text{ДДПНИ}_{t-1} + \text{ДДП}_t, \quad (4.10)$$

Расчет экономических показателей и срока окупаемости проекта модернизации золопогрузки представлен в таблице 4.4. Основные экономические показатели представлены в таблице 4.5

Таблица 4.4 - Расчет экономических показателей и срока окупаемости проекта

Расчет окупаемости											
Год	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Денежный поток от инвестиционной деятельности	-27,6										
Стоимость 1 тн. золы, руб.		175,0	175,0	175,0	175,0	175,0	175,0	175,0	175,0	175,0	175,0
Объем проданной золы за год, тонн		25291	39090	35837	31179	33715	32479	33213	35493	36403	26937
Выручка от реализации, млн. руб.		4,43	6,84	6,27	5,46	5,90	5,68	5,81	6,21	6,37	4,71
Затраты на ремонт и ТО, млн. руб.		2,76	2,76	2,76	2,76	2,76	2,76	2,76	2,76	2,76	2,76
Амортизационные отчисления		2,21	2,21	2,21	2,21	2,21	2,21	2,21	2,21	2,21	2,21
Налогооблагаемая прибыль (Доход от основной деятельности)		1,67	4,08	3,51	2,70	3,14	2,92	3,05	3,45	3,61	1,95
Налог на прибыль		0,33	0,82	0,70	0,54	0,63	0,58	0,61	0,69	0,72	0,39
Уменьшение затрат на золоотвал		16,05	26,10	23,73	20,34	22,19	21,29	21,82	23,48	24,15	17,25
Чистая прибыль		17,39	29,37	26,54	22,50	24,70	23,63	24,26	26,24	27,03	18,82
Денежный поток от основной деятельности		19,59	31,58	28,75	24,71	26,91	25,84	26,47	28,45	29,24	21,02
Чистый денежный поток	-27,6	19,5	31,5	28,7	24,7	26,9	25,8	26,4	28,4	29,2	21,0
ЧДПНИ	-27,6	-8,0	23,5	52,3	77,0	103,9	129,7	156,2	184,7	213,9	234,9
ДДП	-27,60	17,81	26,10	21,60	16,87	16,71	14,58	13,58	13,27	12,40	8,11
ДДПНИ	-27,6	-9,7	16,3	37,9	54,7	71,4	86,0	99,6	112,9	125,3	133,4

Таблица 4.5 - Основные экономические показатели

Оценка коммерческой эффективности проекта			
Чистый дисконтированный доход проекта (NPV)	133,44		
Дисконтированный индекс доходности (DPI)	5,83		
Простой срок окупаемости (PP)	1,25	лет	
Дисконтированный срок окупаемости (DPP)	1,375	лет	

Вывод по главе 4

Таким образом, расчет экономической эффективности проекта модернизации показал, что при реализации на станции автозолопогрузочного цеха ожидается получение следующих результатов:

5. «Чистый дисконтированный доход» значительно больше нуля, следовательно, проект эффективный и целесообразно вкладывать средства в этот проект, т.к. при его реализации прирост капитала компании составит 133,44 млн. руб.

6. «Индекс доходности» больше единицы – это доказывает высокую устойчивость проекта и можно сделать вывод, что данная модернизация системы золошлакоудаления очень привлекательна для инвестора, так как на один рубль инвестиций прибыль составляет 4,83 руб.

7. Значение «внутренней нормы доходности» свидетельствует о достаточно высоком «резерве безопасности проекта» свыше 89 %, так как она в несколько раз превышает «цену капитала».

8. Быстрый срок окупаемости проекта 1 год и 4 месяца.

Достаточно высокие результаты показателей коммерческой эффективности инвестиций в проект свидетельствует о его высокой перспективности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе работы было:

- Рассмотрено функционирование систем золошлакоудаления котлов, работающих на твердом топливе. Проведен анализ теоретических данных по существующим системам золошлакоудаления энергообъектов, работающих на твердом топливе, который показал, что наиболее эффективным и современным способом удаления является пневмозолошлакоудаление, что позволяет использовать золу-уноса в
- Определена методология и основные методики расчета базовых параметров в ходе численных исследований и элементов проектирования системы золоудаления;
- Проведен сравнительный анализ возможностей использования и реализации золошлаковых материалов, образующихся в результате работы котлоагрегатов, по результатам которого были определены направления применения для золы-уноса и золошлаковых отходов АО «Красноярская ТЭЦ-1» в строительных целях;
- Разработана система золошлакоудаления с изменением внутрисканционных логистических структур, которая предполагает использование автозолопогрузочного цеха. Это позволит в полной мере выполнить программу увеличения объемов реализации сухой золы;
- Выполнено технико-экономическое обоснование предложенных решений.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Котлер В.Р. Влияние технологии удаления шлака на вредные выбросы их энергетических котлов / Котлер В.Р., Штегман А.В. // Сб. международного научно-практического семинара «Золошлаки ТЭС: удаление, транспорт, переработка, складирование» под общей редакцией В.Я. Путилова, М., Издательский дом МЭИ, 2007, С. 46-50.
2. Строгонова Л.Н. Геоэкологическая оценка воздействия на окружающую среду полигонов захоронения золошлаковых отходов теплоэлектростанций / Л.Н. Строгонова, П.Н. Крамарев // Геологи XXI века : материалы VI Всерос. науч. конф. – Саратов, 2006. – С. 117-119.
3. Лунёв А.А. Сопоставление деформационных параметров золошлаковой смеси, полученных в лабораторных и природных условиях / А.А. Лунёв, В.В. Сиротюк // Вестник ТГАСУ. – Томск, 2019. - №2. – С. 215-227. DOI: 10.31675/1607-1859-2019-21-2-215-227
4. 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.
5. Bartov G. Environmental Impacts of the Tennessee Valley Authority Kingston Coal Ash Spill. 1. Source Apportionment Using Mercury Stable Isotopes / G. Bartov, A. Deonarine, T.M. Johnson, L. Ruhl, A. Vengosh, H. Hsu-Kim // Environmental Science & Technology. – Washington, D.C., 2012. – Vol. 47(4). – Pp. 2092-2099. DOI: 10.1021/es303111p
6. Deonarine A. Environmental Impacts of the Tennessee Valley Authority Kingston Coal Ash Spill. 2. Effect of Coal Ash on Methylmercury in Historically Contaminated River Sediments / A. Deonarine, G. Bartov, T.M. Johnson, L. Ruhl, A. Vengosh, H. Hsu-Kim // Environmental Science & Technology. – Washington, D.C., 2012. – Vol. 47(4). – Pp. 2100-2108. DOI: 10.1021/es303639d
7. Shin J. Article: Assessing the impact of coal ash exposure on soil microbes in the Dan River / J. Shin, A. Natanson, J. Khun, N. Odorizzi, J. DeCreny-Jackson, H. Fowowe, C. Jackson, S. Springthorpe, T. Rhodes, H. Lutz, J. Askey, L. Aleman, A. Ciccolella, B. Wesley, K. Lewis, D. Kuppinger, and L. DeFord-Watts. R. Article // BIOS journal. – 2017. – Vol. 88(2). – Pp. 72-85. DOI: 10.1893/BIOS-D-16-00006.1
8. Рябов Ю.В., Делицын Л.М., Власов А.С., Голубев Ю.Н. Получение магнитных продуктов из золы уноса Каширской ГРЭС // Обогащение руд. – 2013. – № 6.
9. Назмеев Ю.Г. Системы золошлакоудаления ТЭС. – Москва : Изд-во МЭИ, 2002. – 572 с.
10. Путилин Е.И. Применение зол уноса и золошлаковых смесей при строительстве автомобильных дорог. Обзорная информация отечественного

и зарубежного применения опыта отходов от сжигания твердого топлива на ТЭС / Е.И. Путилин, В.С. Цветков // СоюздорНИИ. – М., 2003 .

11. Опыт использования активных и неактивных зол уноса ТЭС Франции в дорожном строительстве (по материалам зарубежного опыта) / Экспресс-информация. – Вып. 18 / Повышение эффективности производства и качества дорожных работ/ ЦБНТИ Минавтодора РСФСР.- М., 1977.

12. Использование отходов тепловой энергетики и угольной промышленности для производства строительных материалов в странах СЭВ // Экспресс-информация /ВНИИЭСМ. – 1981. – Сер. 20. – Вып.5.

13. Гурячков И.Л. Укрепление грунтов золошлаковыми материалами. – В кн.: Укрепленные грунты. – М.: Транспорт, 1982.

14. Епишева Т.Г., Овчаренко Г.И., Францен В.Б. Применение высококальциевых и других отходов для получения дорожных оснований // Пути повышения качества и эффективности строительства, реконструкции, содержания автомобильных дорог и искусственных сооружений на них: Тр. Всерос. науч.-паркт. конф. – Барнаул, 2001.

15. Прокопец В.С., Малышева Е.А. Повышение надежности слоев дорожных одежд из золоминеральных материалов // Пути повышения качества и эффективности строительства, реконструкции, содержания автомобильных дорог и искусственных сооружений на них: Тр. Всерос. науч.-паркт. конф. – Барнаул, 2001.

16. Овчаренко Г.И., Кузнецов А.С. Использование золошлаков для производства асфальтобетонов // Пути повышения качества и эффективности строительства, реконструкции, содержания автомобильных дорог и искусственных сооружений на них: Тр. Всерос. науч.-паркт. конф. – Барнаул, 2001.

17. Сиротюк В.В. Применение золошлаковой смеси тепловых электростанций для строительства земляного полотна автомобильных дорог / В.В. Сиротюк, Е.В. Иванов // Автомобильные дороги. – 2012. – № 5. – С. 62-65.

18. Бирюков В.В. Энергопроизводство и утилизация золошлаковых отходов / В.В. Бирюков, С.Е. Метелев, В.В. Сиротюк, В.Р. Шевцов // Вестник Российского государственного торгово-экономического университета. Научный журнал. – 2008. – № 2. – С. 221-229.

19. Сиротюк В.В. Стандартизация и перспективы использования золошлаков энергетики для дорожного строительства в России / Материалы III Международного научно-практического семинара «Золошлаки ТЭС: удаление, транспортировка, переработка, складирование. М.: Издательский дом МЭИ, 2010. – С. 58, 59.

20. Материалы III Международного научно-практического семинара «Золошлаки ТЭС: удаление, транспортировка, переработка, складирование. М.: Издательский дом МЭИ, 2010. – 216 с.

21. Известковозолопесчаные смеси для оснований автомобильных дорог, аэродромов и площадок различного назначения (временные технические условия). Омск: Облисполком, СибАДИ, 1989. – 10 с.
22. Мамулат С.Л. Устойчив ли базис развития регионов? // // Автомобильные дороги. – 2013. - № 9. – С. 98-101.
23. Методические указания по проектированию систем пневмоудаления золы от котлоагрегатов ТЭС, установок отпуска сухой золы потребителям и отгрузки ее на насыпные золоотвалы. РД 34.27.109—96 / Б.Л. Вишня, В.Я. Путилов. Екатеринбург: Уралтехэнерго, 1996.
24. Методика оценки технико-экономических показателей систем ЗШУ ТЭС с учетом экологических требований. РД 34.02.103—98 / В.Я. Путилов и др. М: НТФ «Энергопрогресс», 1997.
25. Применение технологии сухого шлакоудаления МАС — возможность значительного повышения надежности, экономичности и экологичности угольных электростанций / Д. Коппола и др. // Труды II Междунар. науч.- практ. конф. и спец. выст. «Экология в энергетике — 2005», 19—21 октября 2005 г. М.: Издательство МЭИ, 2005. С. 237—242.
26. СП 34.13330. 2012 «Автомобильные дороги» / Госстрой России. – М., 2013. – 108 с.
27. Ярмолинская Н.И., Цупикова Л.С. Повышение коррозионной стойкости асфальтобетона на основе отходов ТЭС // Строительные материалы. – 2007. – № 9. – С. 46-47.
28. Ярмолинская Н.И. Дорожный асфальтобетон с применением минеральных порошков из техногенных отходов промышленности. – Хабаровск: Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2007. – 337 с.
29. Ярмолинская Н.И. Технология газовой активации отходов ТЭС для улучшения свойств дорожных асфальтобетонов: Дис. ... канд. техн. наук. – М.: 1989. – 227 с.
30. Афиногенов О.П. Сборно-монолитные покрытия технологических автомобильных дорог. – Новосибирск: Наука, 1997. -142 с.
31. Афиногенов О.П. Обеспечение эффективности жестких одежд карьерных автомобильных дорог. – Кемерово: Кузбассвуиздат, 1998. – 120 с.
32. Афиногенов О.П. Теоретические основы обеспечения долговечности жестких одежд автомобильных дорог горнодобывающих предприятий / О.П. Афиногенов, В.В. Иванов. – Кемерово: Кузбассвуиздат, 2001. – 174 с.
33. Левчановский Г.Н. Укрепление грунтов известью в дорожном и аэродромном строительстве / Г.Н. Левчановский, Л.А. Марков, Г.А. Попандуполо. –М.: Транспорт, 1977. – 149 с.
34. Безрук В.М. Основные принципы укрепления грунтов. – М.: Транспорт, 1987. – 32 с.
35. ОДМ 218.2.035-2013. Рекомендации по применению золы-уноса в бетоне оснований автомобильных дорог / Росавтодор. – М., 2013. – 26 с.

36. Лунев А.А., Возможности снижения зольных выбросов на ТЭЦ / А.А. Лунев, Н.К. Догдурбеков, М.П. Баранова // В сборнике: Борисовские чтения. Материалы III Всероссийской научно-технической конференции с международным участием. Отв. за выпуск Е.С. Воеводин. Красноярск, 2021. С. 158-162

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Политехнический институт
институт
Теплотехники и гидрогазодинамики
кафедра

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой


подпись

В.А. Кулагин
инициалы, фамилия

« 23 » июня 2022 г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМ ЗОЛОШЛАКОУДАЛЕНИЯ
КОТЕЛЬНЫХ МАЛОЙ МОЩНОСТИ, РАБОТАЮЩИХ НА ТВЕРДОМ
ТОПЛИВЕ

тема

13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника

код и наименование направления

13.04.01.01 Энергетика теплотехнологий

код и наименование магистерской программы

Научный руководитель

Баранова М.П. 16.06.22 профессор, д.т.н.
подпись, дата должность, ученая степень

М.П. Баранова
инициалы, фамилия

Выпускник

Лунев А.А. 16.06.2022
подпись, дата

А.А. Лунев
инициалы, фамилия

Рецензент

Бастрон Т.Н. 16.06.22 доцент, к.т.н.,
подпись, дата должность, ученая степень

Т.Н. Бастрон
инициалы, фамилия

Красноярск 2022