

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт химии и энергетики

(наименование института полностью)

Кафедра «Химическая технология и ресурсосбережение»

(наименование)

18.03.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии
и биотехнологии

(код и наименование направления подготовки, специальности)

Рациональное природопользование, рециклинг и утилизация отходов

(направленность (профиль) / специализация)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему Разработка технического решения по снижению техногенного влияния
золошлакоотвала ТЭЦ

Студент

Д.Ю. Копеистова

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

Ю.Н. Шевченко

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Аннотация

Бакалаврскую работу выполнил студент: Копеистова Д.Ю., группа ЭРТб-1701а.

Тема бакалаврской работы: Разработка технического решения по снижению техногенного влияния золошлакоотвала ТЭЦ.

Целью работы является анализ техногенного влияния золошлакоотвала ТЭЦ и предложение технического решения по его снижению.

Актуальность данной проблемы связана с отрицательным влиянием золошлаковых отходов на окружающую среду, выраженным: в образовании пылений, в выделении в атмосферу загрязняющих химических элементов и их соединений (в том числе CO, NO_x, SO_x), в использовании огромных площадей под золоотвалы.

Задачи: провести анализ техногенного влияния золошлакоотвала ТЭЦ, предложить оптимальное технологическое решение по переработке ЗШО.

Выпускная квалификационная работа состоит из пояснительной записки на 65 страницах, введения, включает 9 рисунков, 18 таблиц, литературный список из 28 ссылок, включая 5 иностранных источников.

В первой главе представлена общая характеристика золошлаковых отходов, а именно их химический состав и условия эксплуатации. Также в главе представлена информация о теплоэлектростанциях и ТЭЦ Центрального района города Тольятти, которая является объектом бакалаврской работы.

Во второй главе предложено решение по снижению техногенного влияния золошлаков на примере производства обжигового зольного гравия.

В третьей главе проведен расчет по предложенной технологической схеме.

Abstract

The title of the graduation work is «The development of the technical solution for reducing the technogenic impact of the ash dump of the Thermal power plant (TPP)».

This senior thesis is devoted to the analysis of the technogenic impact of the ash dump of the TPP and the proposal of a technical solution to reduce it.

The graduation work consists of an explanatory note on 65 pages, an introduction, including 9 figures, 18 tables, the list of 28 references, including 5 foreign sources.

The object of the graduation work is the ash dump obtained as a result of work at the TPP of the central district of Togliatti.

We give full coverage to the ash and slag waste, their chemical composition and operating conditions, technological solutions for the use of ash and slag, and the patent search is conducted with the best available recycling technologies. A solution is proposed to reduce the technogenic impact of ash and slag on the example of the production of fired ash gravel.

It can be concluded that the developed method of ash and slag processing is advisable to use for obtaining roasted ash gravel and reduce anthropogenic load.

Оглавление

Перечень сокращений и обозначений	5
Введение	6
Глава 1 Состояние проблемы золошлакоотвала ТЭЦ	7
1.1 Общая характеристика тепловых электростанций (ТЭЦ)	7
1.2 Расположение и климатические условия объекта	11
1.3 Эксплуатация золошлакоотвалов	13
1.4 Химический состав и токсичность золошлака	16
Глава 2 Анализ технологических решений по эксплуатации ЗШО	19
2.1 Использование ЗШО в строительстве и сельском хозяйстве	19
2.2 Предлагаемое технологическое решение по переработке ЗШО	24
Глава 3 Расчетная часть предлагаемой технологии	27
3.1 Материальный баланс	27
3.2 Тепловой баланс	33
3.3 Расчет барабанной вращающейся печи	36
3.4 Расчет материального баланса гранулятора	39
3.5 Расчет циклона и его материальный баланс	40
3.6 Расчет материального баланса миксера	47
3.7 Материальный баланс мешалки	49
3.8 Материальный баланс сушилки	50
3.9 Материальный баланс транспортера	53
3.10 Расчет валковой дробилки и его материальный баланс	55
3.11 Материальный баланс всего технологического процесса	58
Заключение	60
Список используемой литературы	61

Перечень сокращений и обозначений

ЗШО – золошлаковые отходы

СЗЗ – санитарно-защитная зона

ТЭЦ – тепловая электростанция

Введение

Ежегодно от типовой тепловой электростанции мощностью от 1295 МВт до 1540 МВт образуется порядка 1,7 миллионов тонн золошлаковых отходов. По подсчетам специалистов, к 2030 году от одной ТЭЦ будет вырабатываться около 2 миллиардов тонн ЗШО. Это является очень серьезным показателем, так как в настоящее время в России использование золошлаковых отходов составляет всего 10% от их годового выхода (или 2,5 миллиона тонн в год), а расширение золоотвалов невозможно, так как этот процесс является очень затратным с финансовой точки зрения.

В городе Тольятти (близ села Васильевка) находится золошлакоотвал от ТЭЦ Центрального района города, куда ежегодно свозится более миллиона тонн отработанного топлива.

Актуальность данной проблемы связана с отрицательным влиянием ЗШО на окружающую среду, выраженным:

- в образовании пылений;
- в выделении в атмосферу загрязняющих химических элементов и их соединений (в том числе CO, NOX, SOX);
- в использовании огромных площадей под золоотвалы.

Таким образом, целью данной выпускной квалификационной работы является снижение антропогенной нагрузки от золошлакоотвала ТЭЦ.

Задачи:

- Провести анализ техногенного влияния золошлакоотвала ТЭЦ.
- Предложить оптимальное технологическое решение по переработке ЗШО.

Глава 1 Состояние проблемы золошлакоотвала ТЭЦ

1.1 Общая характеристика тепловых электростанций (ТЭЦ)

Тепловая энергетика России обеспечивается теплом за счет тепловых электростанций, работающих на органическом топливе (каменный уголь, бурый уголь, природный газ). По данным на 2020 год, в России используются тепловые электростанции общая мощность которых составляет 164612 МВт. [23].

Основным оборудованием электростанций являются паровые котлы, газовые и паровые турбины, газотурбинные и парогазовые установки, электрические генераторы, электрические трансформаторы подстанций.

По состоянию на 1 января 2019 года, 79 % мощности тепловых электростанций России представлено электростанциями с паротурбинными установками, 15,5 % – с парогазовыми установками, 4,8 % – с газотурбинными установками, 0,7 % – с установками других типов (дизельные, газопоршневые) [6].

Расход условного топлива на выработку электроэнергии по итогам 2018 года составляет 309,8 грамм на кВт.ч.. Статистика мощности тепловых электростанций России показана на рисунке 1.

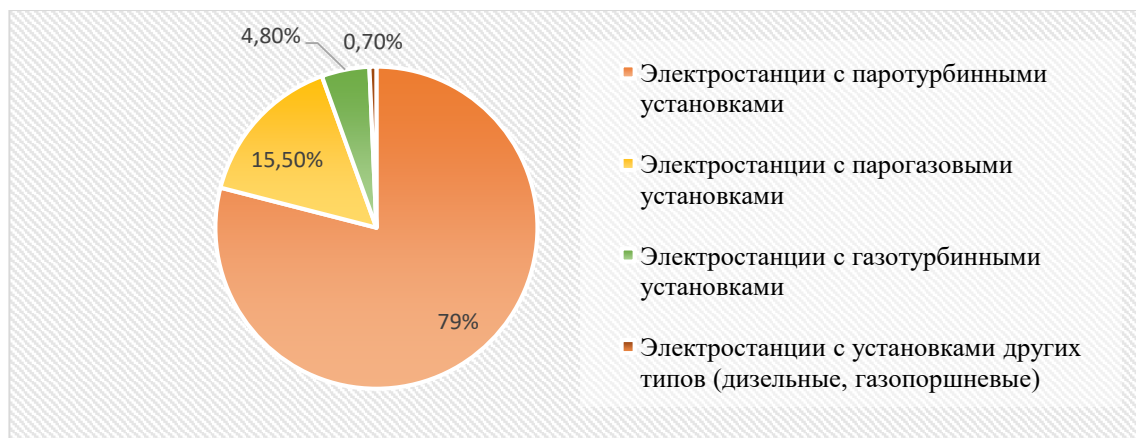


Рисунок 1 – Статистика мощности тепловых электростанций России

Основным топливом для ТЭЦ России служит природный газ. Также в приоритете каменный уголь, бурый уголь, нефтяное топливо и торф. Последний вид топлива используется только на Шарьинской ТЭЦ и Кировской ТЭЦ-4. На рисунке 2 мы можем видеть расход различного топлива в МЛН. ТОНН.

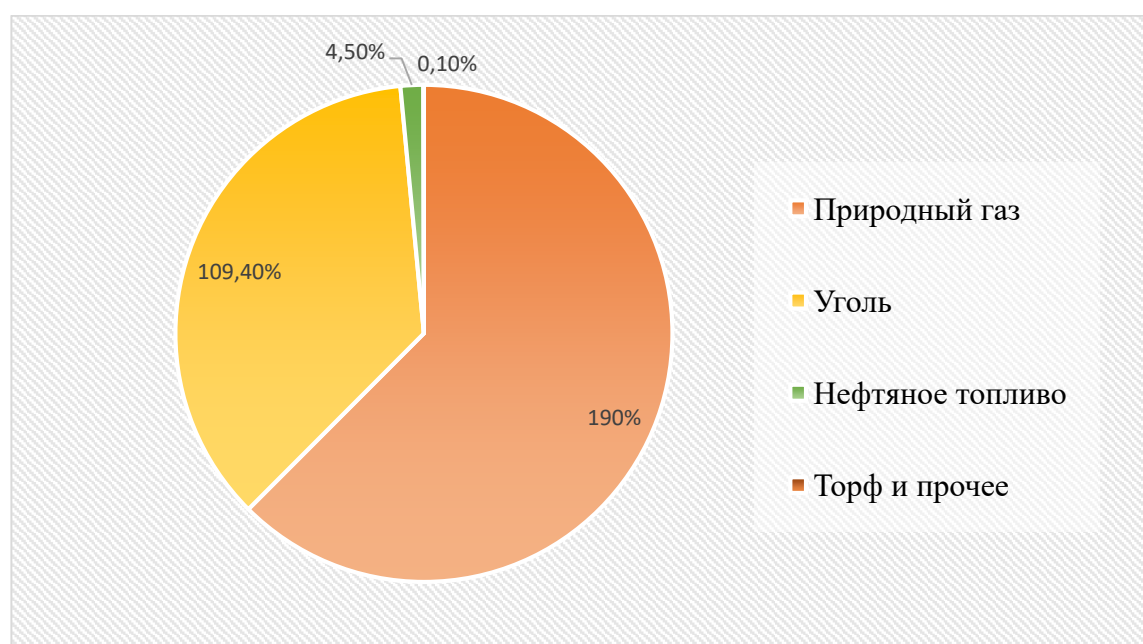


Рисунок 2 – Топливообеспечение

Количество тепловых электростанций в России более ста семидесяти штук, крупнейшие из них приведены в таблице 1

Таблица 1 – Крупнейшие тепловые электростанции России

Название	Установочная мощность, МВт	Вид топлива	Ввод в эксплуатацию, год	Регион
Сургутская ГРЭС-2	5657,1	Природный газ	1985	Ханты-Мансийский АО
Рефтинская ГРЭС	3800	Каменный уголь	1970	Свердловская область
Костромская ГРЭС	3600	Природный газ	1969	Костромская область
Пермская ГРЭС	3363	Природный газ	1986	Пермский край
Сургутская ГРЭС-1	3333	Природный газ	1972	Ханты-Мансийский АО
Рязанская ГРЭС	3130	Бурый уголь, каменный уголь, природный газ	1973	Рязанская область
Киришская ГРЭС	2595	Природный газ	1969	Ленинградская область
Конаковская ГРЭС	2520	Природный газ	1964	Тверская область
Ириклинская ГРЭС	2430	Природный газ	1970	Оренбургская область
Ставропольская ГРЭС	2423	Природный газ	1975	Ставропольский край
Берёзовская ГРЭС	2400	Бурый уголь	1987	Красноярский край

Продолжение таблицы 1

Название	Установочная мощность, МВт	Вид топлива	Ввод в эксплуатацию, год	Регион
Новочеркасская ГРЭС	2258	Каменный уголь, природный газ	1965	Ростовская область
Заинская ГРЭС	2204,9	Природный газ	1963	Татарстан
Нижневартовская ГРЭС	2031	Попутный нефтяной газ	1993	Ханты-Мансийский АО
Верхнетагильская ГРЭС	1062,15	Природный газ	1956	Свердловская область
Среднеуральская ГРЭС	1578,5	Природный газ	1936	Свердловская область
Серовская ГРЭС	451	Природный газ	1954	Свердловская область
Яйвинская ГРЭС	1048	Природный газ	1963	Пермский край
Кармановская ГРЭС	1831,1	Природный газ	1968	Республика Башкортостан
Южная ТЭЦ (ТЭЦ-22)	1207	Природный газ	1978	Санкт-Петербург
Печорская ГРЭС	1060	Природный газ	1979	Республика Коми
Невинномысская ГРЭС	1530,2	Природный газ	1960	Ставропольский край
Краснодарская ТЭЦ	1025	Природный газ	1954	Краснодарский край

В данной бакалаврской работе объектом исследования является золошлакоотвал от Тольяттинской ТЭЦ.

Работу Тольяттинская ТЭЦ осуществляет с 1960 года по настоящее время. Основным топливом служит природный газ. Также есть оборудование, использующее уголь. Тольяттинская ТЭЦ обеспечивает тепловой энергией Центральный и Автозаводский районы города Тольятти.

1.2 Расположение и климатические условия объекта

Тольяттинская ТЭЦ расположена в Самарской области, город Тольятти, улица Новозаводская, 8А, координаты 53.548494, 49.448052 и показана на рисунке 3.

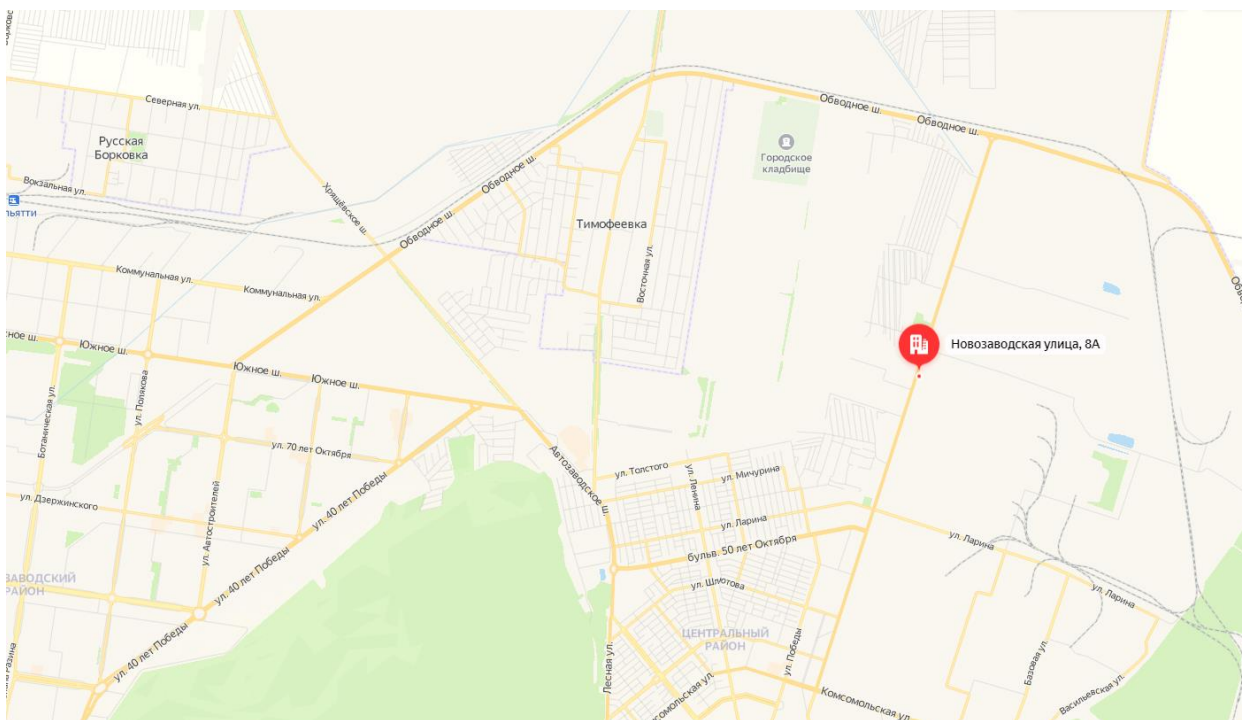


Рисунок 3 – Расположение Тольяттинской ТЭЦ на карте

Золоотвал находится в шести километрах от ТЭЦ по координатам 53.523882, 49.512434. Ближайшим населенным пунктом является село Васильевка, которое располагается в трех километрах от золоотвала. Согласно

СанПиН 2.2.1/2.1.1.-14 «Санитарно-защитные зоны, санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов» (проект) санитарно-защитная зона золоотвала составляет 300 метров (рисунок 4).

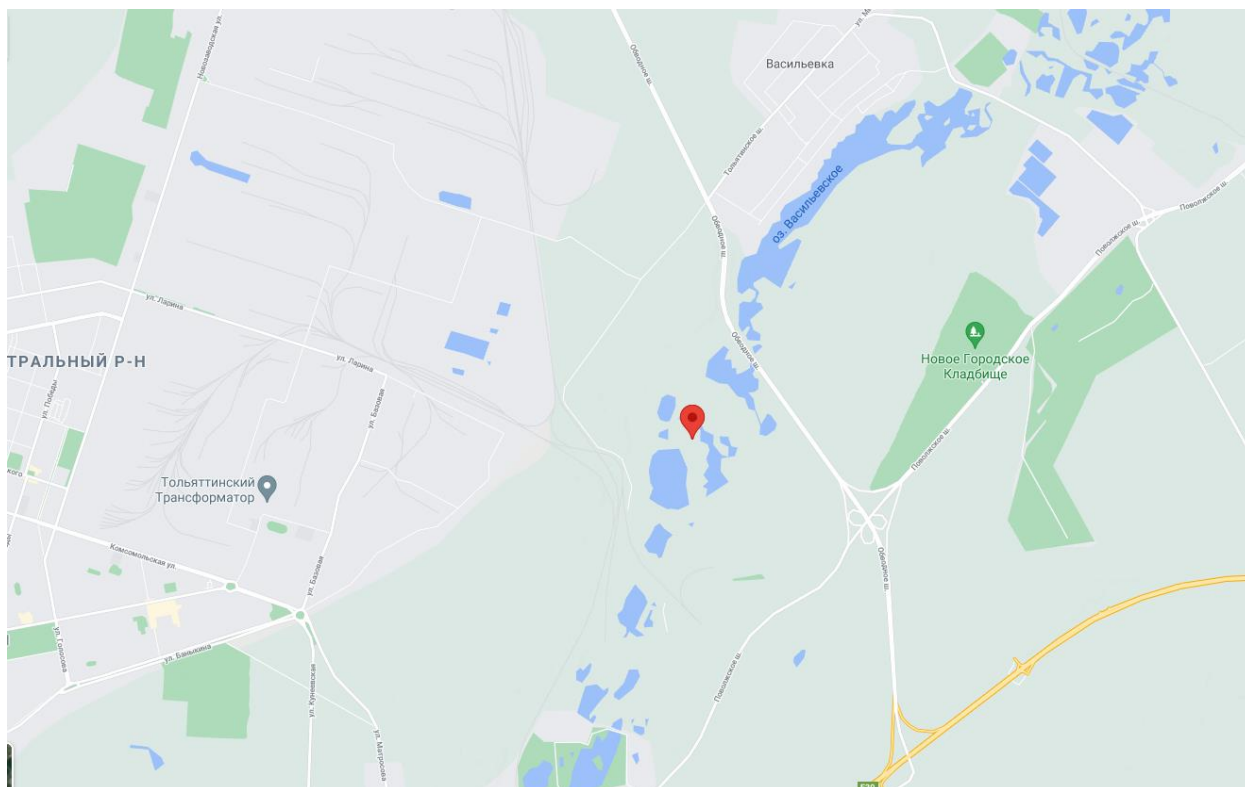


Рисунок 4 – Расположение золошлакоотвала ТоТЭЦ

При транспортировке золы от ТЭЦ до золошлакоотвала происходит ее потеря. Это связано с мелкодисперсными частичками золы ($2000-4000 \text{ см}^2/\text{г}$), которые легко поднимаются попутным ветром, так как перевозка ЗШО осуществляется в открытых вагонах либо камазах.

На рисунке 5 представлена роза ветров городского округа Тольятти. Проанализировав её, мы видим, что основным направлением ветра в Тольятти является южный (19%). Также преобладающими направлениями являются юго-западный (17%) и юго-восточный (14%). Самый редкий ветер в городе – восточный (7%).



Рисунок 5 – Роза ветров Тольятти

Придем к выводу, что при образовании пылений, большая часть переносится с ветром в сторону Комсомольского района города Тольятти.

1.3 Эксплуатация золошлакоотвалов

Золошлаковые отходы – несгораемый остаток, возникающий в результате сжигания угля (природного газа) на ТЭЦ.

По федеральному классификационному каталогу отходов (ФККО), золошлаковые имеют 5 класс опасности, следовательно, считаются практически безопасными отходами, которые не угрожают состоянию окружающей среды.

Золошлакоотвал – сооружение, предназначенное для складирования и хранения продуктов сгорания ТЭЦ. Отходы могут располагаться на золошлакоотвале от пяти до десяти лет. Санитарно-эпидемиологические

требования к размещению, устройству, технологии, режиму эксплуатации и рекультивации золошлакоотвалов установлены СанПиН 2.1.7.1322-03. Когда уголь сжигается на тепловой электростанции, то образуются два вида твердых отходов: шлак и зола-унос. Эти отходы сбрасываются в золоотвалы, где хранятся на открытом воздухе, являясь неиспользуемым сырьем – антропогенные отложения, в которых сосредоточены ценные микроэлементы [4], [27].

Требования к эксплуатации золошлакоотвалов регламентированы СО 34.27.509-2005 «Типовая инструкция по эксплуатации золошлакоотвалов».

Для обеспечения работоспособного состояния и безаварийной работы ЗШО руководство ТЭС и эксплуатационный персонал должны осуществлять:

- эксплуатацию ЗШО в непрерывном режиме с нормальным уровнем безопасности;
- рациональное использование емкости ЗШО (наращивание, разработка золошлаковых отходов с последующим намывом, равномерное заполнение секций);
- эффективный намыв золошлаковых отходов и обеспечение оптимальных режимов эксплуатации (равномерность заполнения секции ЗШО, возврат на ТЭС вод, осветленных в отстойном пруду, и т.п.);
- организацию и проведение систематического контроля за состоянием ЗШО и прилегающей к нему территории, за технологическими параметрами;
- постоянное техническое обслуживание с ведением документации;
- своевременное проведение профилактических мероприятий и ремонтных работ для поддержания технически исправного состояния;
- эксплуатацию ЗШО в соответствии с природоохранными нормами и выполнение природоохранных мероприятий;
- эксплуатацию, обслуживание, ремонт силами и средствами, достаточными для выполнения вышеперечисленных требований;

- меры, обеспечивающие готовность к локализации и ликвидации чрезвычайных ситуаций при возникновении опасных повреждений и аварий;
- комплекс мер, способствующих максимальному использованию золошлаковых отходов в качестве строительных и других материалов в различных отраслях.

Кроме того, собственник ТЭС должен обеспечить финансирование мероприятий по обеспечению безопасности ЗШО (в необходимых объемах) и созданию резерва свободной емкости складирования золошлаковых отходов [26].

Вопрос переработки в России по переработки золошлаковых отходов составляет 10 %, что является низким показателем переработки в экономически развитых странах (рисунок 6) [24].

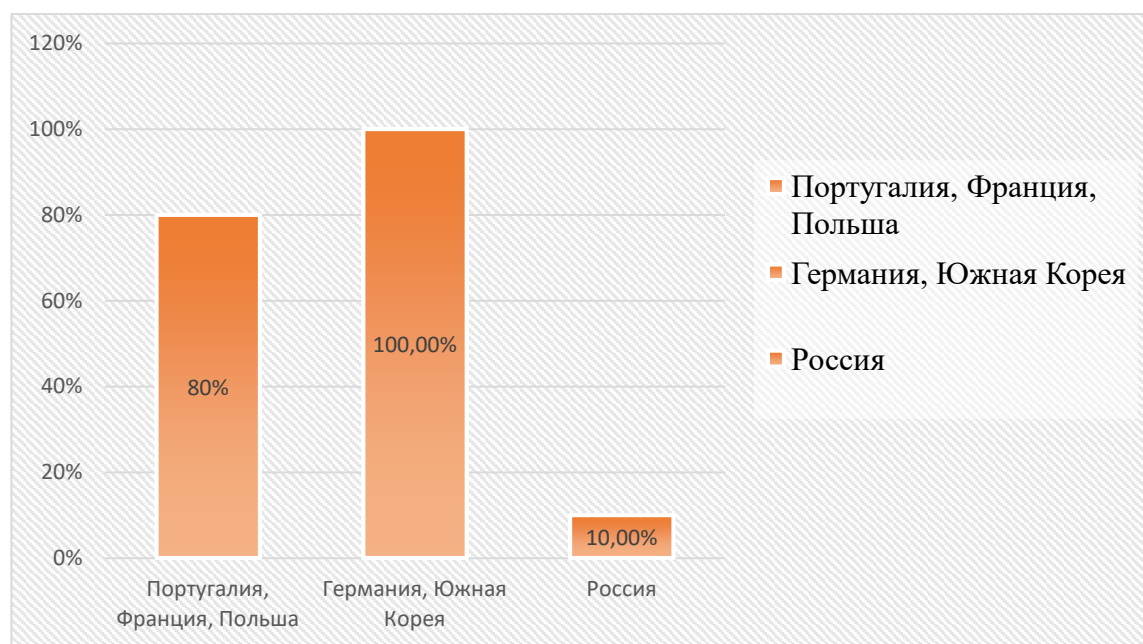


Рисунок 6 – Страны лидеры по переработке золошлаковых отходов

Лидерами в переработки ЗШО являются Англия и Германия, так как данные отходы перерабатываются практически полностью, а также Китай и Польша (переработка составляет более 80%).

1.4 Химический состав и токсичность золошлака

Зола – несгораемый остаток, образующийся из минеральных примесей топлива при полном его сгорании.

Золошлаковые отходы содержат химически активные токсичные вещества, загрязняющие почвы, грунтовые и поверхностные воды рек. На сегодняшний день уровень утилизации и использования золошлаковых отходов остается крайне низким, потому что они имеют гетерогенный и сложный химический состав, что усложняет их переработку и получение ценных компонентов, не содержащих нежелательных примесей [19], [24], [25], [26], [27], [28].

Золошлаки состоят из многих полезных компонентов, которые могут быть использованы в различных областях человеческой деятельности. При этом основное внимание уделяется переработке бумаги и получению полезных компонентов из золы. Зола содержит много полезных компонентов: алюмосиликатные микросферы (1,2%), магнетит (5,9%), глинозем (Al_2O_3 (20-27%)), кремнезем (SiO_2 (49%)) или оксидов редкоземельных металлов (7%), которые могут использоваться по-разному [4], [24].

Содержание золы после сгорания зависит от вида топлива, показано в таблице 2.

Таблица 2 – Содержание золы

Вид топлива	Содержание, %
Каменный и бурый уголь	от 1 до 45 и более
Горючие сланцы	от 50 до 80
Торф	от 2 до 30
Дрова	от 0,5 до 2
Мазут	до 0,15

Присутствие золы снижает относительное содержание горючих составных частей в топливе. При сжигании топлива некоторое количество

тепла теряется вместе с золой. В котлоагрегатах расплавленная зола оседает на трубах топочных экранов, ширм и др. элементов в виде спёкшегося шлака. Отложения золы на поверхностях нагрева препятствуют передаче тепла от топочных газов к воде или пару и увеличивают термодинамическое сопротивление котла. Летучая зола истирает котельные трубы и дымососы, при удалении с дымовыми газами зола загрязняет атмосферу.

Также при использовании золошлаков также должны учитываться следующие критерии:

- Дисперсность золы (2000 – 4000 см²/г);
- Размер частиц после помола (не более пяти миллиметров);
- Огнеупорность (не более 1400°С, возможна наибольшая огнеупорность для изготовления жаростойких и высокопрочных наполнителей);

4. Влажность (определяется по результатам испытаний проб);

Химическая структура золошлаков многообразна. В его состав входят оксиды кремния, алюминия, титана, калия, натрия, железа, магния и кальция (таблица 3). Присутствие оксида кальция в золе жесткого горючего изменяет ее радиотоксичность [27].

Таблица 4 – Содержание основных химических составляющих в ЗШО

Химическое составляющее	Содержание, процент по массе
Диоксид кремния	не более 70
Свободный диоксид кремния	не более 30
Оксид алюминия	10 – 20
Диоксид титана	0,5 – 1,5
Сумма оксидов железа (II) и (III)	2,5 – 10
Оксид кальция	не более 5
Оксид магния	не более 4
Сумма оксидов натрия и калия	2 – 6

Продолжение таблицы 4

Химическое составляющее	Содержание, процент по массе
Сумма соединений серы в пересчете на оксид серы (VI)	не более 2
в том числе сульфидной серы	не более 1
Остатки несгоревшего топлива (частицы углерода)	не более 3

Также в составе золошлаков присутствуют радионуклиды, удельную активность которых мы можем наблюдать в таблице 4.

Таблица 3 – Активность естественных радионуклидов в ЗШО

Тип отхода	Ra	Th	K	$A_{эфф}$
Зола уноса	48,7	18,6	101	81,7
Шлак	46,7	18,5	111	80,3

$A_{эфф}$ – показатель удельной эффективной активности. Исходя из его данных, ЗШО относят к строительным материалам первого класса ($A_{эфф} < 370$ Бк/кг), которые используются при строительстве жилых и промышленных помещений без ограничения по радиационному факту.

Вывод: в первой главе были рассмотрены основные характеристики золошлаковых отходов. Был проанализирован химический состав ЗШО, а также нормативная документация, регламентирующая обращение и отнесение к классу опасности (5 класс опасности) ЗШО. В результате проведенного анализа, установлена их безопасность для окружающей среды.

Глава 2 Анализ технологических решений по эксплуатации ЗШО

2.1 Использование ЗШО в строительстве и сельском хозяйстве

Золошлаковые отходы активно используются в производстве строительных материалов (3-5 %), Применение ЗШО снижает себестоимость производства строительных материалов (цемент, сухой раствор, бетон, строительный раствор, бетонные стеновые и пенобетонные блоки, кирпич, тротуарная плитка и другие изделия) на 15-30 %. Применение ЗШО очень разнообразно: например, засыпка шахт, уплотнение грунта, создание насыпей над свалками, вертикальная герметизация стен для предотвращения просачивания сточных вод со свалки, звукоизоляция стен [17], [18].

По экспертным оценкам, стоимость тонны золошлаковых отходов колеблется от 200 до 500 рублей или 5-7 % от стоимости производства электроэнергии и тепла на угольной электростанции. Затраты на реконструкцию золоотвала могут составить 1 миллиард рублей. В течение 3-5 лет переработка золошлаковых отходов примет массовые размеры [12].

Во Франции золошлаковые отходы активно применяются при всех видах строительных работ. Его используют как вяжущий материал, как добавку при производстве покрытия, что дает дополнительное укрепление и позволяет материалу медленнее изнашиваться. В городе Ленс-ла-Басс построена трасса RN 47 длиной 7,5 километров, состоящая на 70% из золы, что является отличным показателем при ее утилизации.

В Германии и Дании при производстве строительных материалов используется почти 100% годового объема производства ЗШО (в Германии хранение золошлаков запрещено законом). До 70% годового объема переработки ЗШО используется в США, Великобритании, Польше, Китае и других странах. Изменения в законодательстве Индии в 1999 году, а затем в 2003 году привели к увеличению объема утилизации золошлаков в стране с

29,6% (2003-2004 годы) до 53% годового объема производства (2007-2008 годы), что составляет около 70 миллионов тонн в год [27].

При постройке трассы М4 было использовано 600 тысяч тонн золошлаковых отходов, произведенных на Каширской ГРЭС. Такое применение ЗШО снижает себестоимость выполняемой работы и улучшает качество грунта [16], [19].

В России введение ЗШО в производство строительных материалов не актуально, так как при изготовлении материалов используют отработанные технологии, в которых применяется щебень и песок [15].

Также отсутствует устоявшийся рынок ЗШО, гарантирующий их сбыт для ТЭС, что делает экономически невыгодным внедрение оборудования, предназначенного для сбора, отгрузки или предпродажной подготовки этого сырья. Отсутствие рынка золошлаков во многом связано с отсутствием мер государственного регулирования и стимулирования потенциальных потребителей ЗШО к их утилизации [20].

Использование ЗШО возможно только в соответствии с ГОСТами [1].

Содержание химических веществ в составе золошлаковых отходов определяется по результатам лабораторных испытаний проб, которые не должно превышать требований в соответствии с ГОСТ Р 57789-2017 «Золы, шлаки и золошлаковые смеси ТЭС для производства искусственных пористых заполнителей. Технические условия (Переиздание)» (требования приведены в таблице 1), но есть исключения [2]:

- Использование ЗШО с содержанием диоксида алюминия более двадцати процентов для производства наполнителей специального назначения (жаростойкие, высокопрочные наполнители).

- Использование ЗШО с содержанием несгоревшего топлива более трех процентов, но не более пятнадцати для производства зольного аглопорита и не более десяти в качестве добавки в глинистое сырье для производства керамзита.

– Использование ЗШО с содержанием оксида кальция от семи до двенадцати процентов в качестве добавки в глинистое сырье для производства керамзита.

Также существуют методики выделения полезных элементов из золошлаков. Адсорбционно-пузырьковые методы экстракции и разделение компонентов являются более перспективными по сравнению с гидрометаллургической переработкой сырья, требующей больших затрат реагентов и энергии. Ионная флотация является одним из таких методов. В этом случае возникает процесс разделения «жидкость – газ» продуктов взаимодействия поверхностно-активного вещества с ионами неорганических соединений. Этот метод подходит для извлечения веществ, в том числе редких и редкоземельных металлов, из растворов с очень низкой концентрации компонентов до 10^{-8} моль/л. Метод ионной флотации имеет высокую скорость процесса и селективность [27], [28].

Для исследования содержания компонентов в золошлаковых отходах используется ИК – спектроскопию и оптико-эмиссионную спектрометрию индуктивно связанной плазмы с использованием iCAP 6500 двойной спектрометр. ИК спектроскопический анализ проводится с помощью FTIR спектрометра Agilent Cary 630 в диапазоне $4000-650\text{ см}^{-1}$. Для концентрирования соединений редкоземельных металлов основной целью является разделение соединений алюминия, кремния и железа, содержание которых в угольной золе и шлаке очень высоки. После обработки килограмма золы, в течении суток должны образовываться такие компоненты, как гель ортокремневой кислоты и силикаты. Затем следует повторно промыть и отфильтровать полученную смесь через фильтр «белая лента» [27].

Экстракт, полученный в результате фильтрации, нейтрализуют двенадцатипроцентным раствором аммиака до pH 5 и большим количеством гидроксида железа трехвалентного до выпадения осадка. Во время процесса необходимо не превышать уровень pH выше указанного значения, так как возможно совместное осаждение гидроксидов. После фильтрации осадка pH

экстракта необходимо довести до 8,5 с помощью раствора аммиака для совместного осаждения гидроксидов редкоземельных металлов и алюминия. В ходе дальнейшей обработки полученные гидроксиды повторно растворяют в 0,5 N азотной кислоты и повторно осаждают оксалаты редкоземельных металлов щавелевой кислотой при pH 1 [27].

При увеличении pH раствора до 8 происходит полное осаждение, но выпадают в осадок оксалаты щелочноземельных металлов и частично гидроксиды элементов. Полученные вещества высушивают и анализируют ИК-спектроскопическим методом [27].

В сельском хозяйстве золошлаковые отходы используются в качестве удобрений. При их применении улучшаются качественные свойства почвы, нейтрализуется кислотность, повышается пористость. Но важно следить за концентрацией золошлаков, так как превышение токсичных веществ в их составе способно навредить почве.

Для оценки возможности использования золошлаковых отходов необходимо провести дополнительные исследования, такие как:

- определение радиоактивности золошлаков;
- полное изучение его микроэлементного состава, в частности содержание тяжелых металлов;
- изучение канцерогенных свойств.

Наиболее удобные технологические решения приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Проведенный патентный поиск

Номер патента	Авторы	Название патента
RU 2 296 624 C2 МПК B03B 9/04(2006.01) B03B 7/00(2006.01)	Машурьян В.Н., Царев В.В.	Способ переработки золошлаковых отходов тепловых электростанций
RU 2 588 521 C1 МПК B03B 9/04(2006.01)	Прокопьев С.А., Болотин М.Л.	Способ комплексной переработки золошлаковых отходов (варианты)
RU 2 688 536 C1 МПК C05F 5/00(2006.01) C07F 7/00(2006.01) C05F 11/02(2006.01) C05F 15/00(2006.01)	Шкутник Д.В., Рыбушкин С.В.	Способ приготовления техногенного почвогрунта БЭП на основе золошлаковых отходов (варианты) и техногенный почвогрунт БЭП
RU 142957 U1 МПК B03C 7/00(2006.01) B03B 7/00(2006.01)	Делицын Л.М., Рябов Ю.В., Власов А.С., Голубев Ю.Н., Владимирова Т.А.	Система переработки летучей золы тепловых электростанций
RU 2 744 191 C1 МПК B09B 3/00(2006.01) C01F 1/00(2006.01)	Логинова И.В., Логинов Ю.Н., Шопперт А.А., Чайкин Л.И., Ситшаева А.С.	Комплекс для переработки золоотвалов
RU 2 605 987 C1 МПК B09B 3/00(2006.01) C01B 33/12(2006.01)	Логинова И.В., Чайкин Л.И., Шопперт А.А., Трубецкой С.В.	Способ комплексной переработки золы от сжигания углей
RU 2 569 132 C1 МПК B03B 9/04(2006.01) F23J 1/02(2006.01)	Набоков А.Н., Щеблыкина Т.П.	Способ переработки золошлаковых отходов из отвалов системы гидрозолоудаления тепловых электростанций с целью получения кондиционных зольных продуктов
RU 79284 U1 МПК C04B 7/00(2006.01) C04B 2/00(2006.01) C04B 12/00(2006.01) C04B 18/00(2006.01)	Власов А.С., Делицын Л.М., Шелков Е.М.	Система производства цемента и глинозема из золошлаковых отходов электростанций

Был проанализирован объем патентной литературы на предмет реализации оптимальной технологической схемы переработки ЗШО [7] – [14].

2.2 Предлагаемое технологическое решение по переработке ЗШО

В данной бакалаврской работе подробно рассматривается использование золы при производстве обжигового зольного гравия. ЗШО является его основным компонентом, так как зола придает ему дополнительную прочность и износостойкость.

Технология производства обжигового зольного гравия показана на рисунке 7.

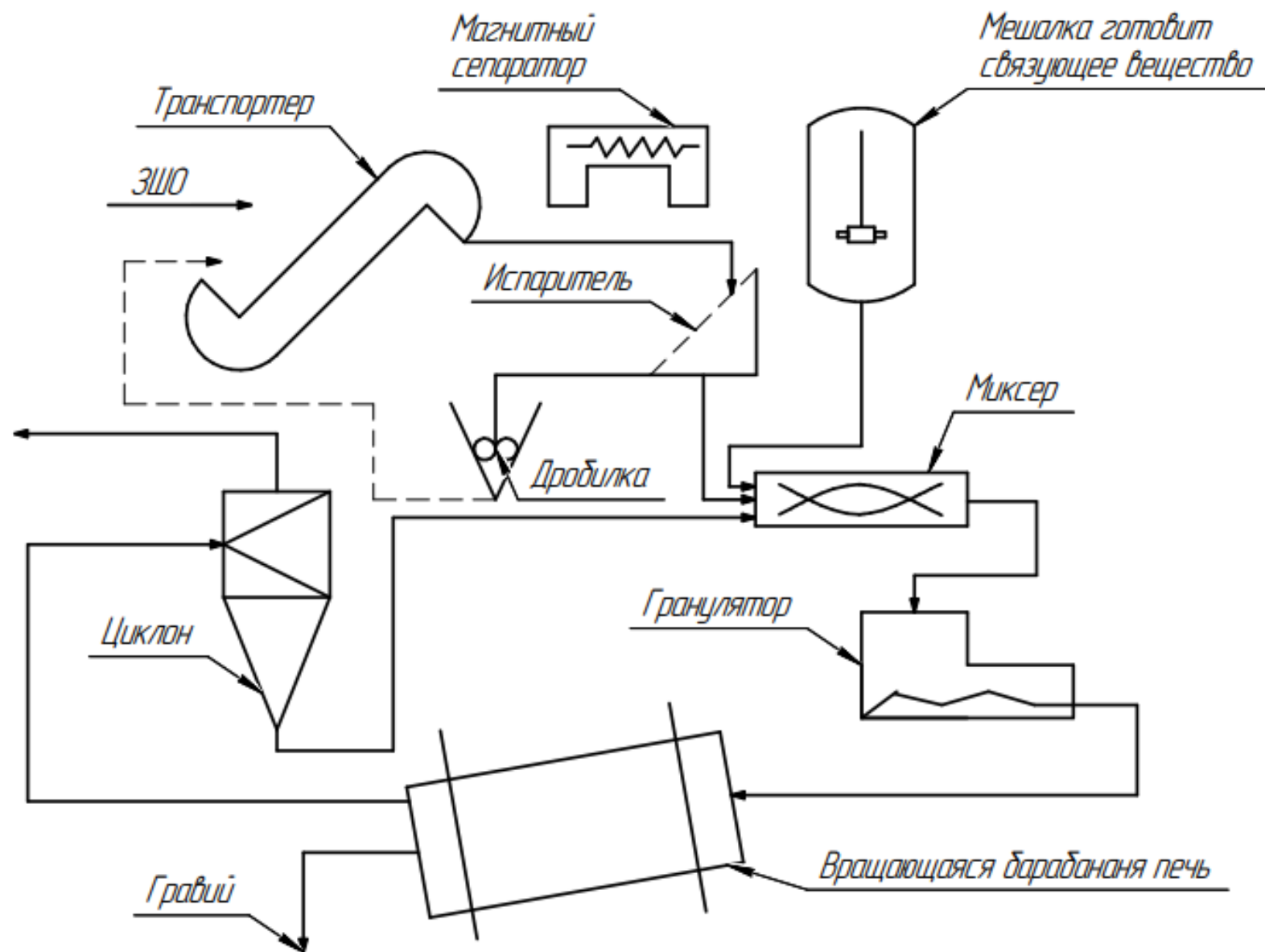


Рисунок 7 – Технология производства обжигового зольного гравия

На первом этапе идет подготовка золы. До поступления в печь, золу необходимо пропустить через магнитный сепаратор для удаления металлических примесей. После сепаратора зола поступает в испаритель для удаления лишней влаги.

Параллельно с подготовкой золы идет приготовление связующего вещества.

Сушка осуществляется в барабанном сушиле при температуре от 600 до 700 °С. Чтобы процесс гранулирования происходил легче, золу смачивают водным раствором лигносульфонатов технических (в редких случаях добавляют глину).

На втором этапе происходит процесс подсушки и обжига гравия во вращающихся печах под температурой 1200 °С. Печи представляют собой металлические барабаны цилиндрической форма диаметром 2,5-5 метров и длиной 40-75 метров, обложенные внутри огнеупорным кирпичом.

От плотности материала зависит плотность гравия. Чем ниже плотность исходной смеси, тем выше пористость продукта и выше теплоизоляционные свойства.

После обжига гранулы охлаждают в холодильных камерах до 300 °С.

Охлажденный гравий классифицируют по размерам на четыре фракции: до 5 миллиметров, от 5 до 10 миллиметров, от 10 до 20 миллиметров, от 20 до 40 миллиметров.

Вывод: во второй главе были перечислены основные способы переработки золошлаковых отходов для снижения антропогенного воздействия на окружающую среду. Также предложено технологическое решение по их утилизации, а именно использование золошлаковых отходов как один из компонентов в производстве обжигового зольного гравия.

Глава 3 Расчетная часть предлагаемой технологии

3.1 Материальный баланс

Изучив технологию производства обжигового зольного гравия, составим схему процесса обжига (рисунок 8).



Рисунок 8 – Технологическая схема производства обжигового зольного гравия

Составим материальные баланс процесса, используя исходный состав смеси из таблицы 6.

Исходные данные.

Среднесуточная производительность равна 1 т/сут.

Таблица 6 – Состав обжигового зольного гравия

Компонент	Содержание, % масс
Зола	10-20
Цемент	15-20
Шлак	0-25
Сульфат натрия (9,2 % раствор)	2
Горнблендит	10-25

1) Найдем среднечасовую производительность по формуле 1:

$$G_{\text{с.ч.}} = \frac{G_{\text{с.с.}}}{24 \text{ ч}}, \text{ т/ч (кг/ч)} \quad (1)$$

где $G_{\text{с.с.}}$ – производительность среднесуточная, примем за 1 т/ч;
24 – коэффициент перевода суток в часы.

Вычислим:

$$G_{\text{с.ч.}} = \frac{1}{24} = 0,042 \text{ т/ч} = 42 \text{ кг/ч}$$

2) Рассчитаем массу золы по формуле 2, пошедшей на производство:

$$m_{\text{зола}} = w_{\text{зола}} \cdot G_{\text{с.ч.}}, \text{ кг/ч} \quad (2)$$

где $w_{\text{зола}}$ – содержание золы в составе гравия, масс.%;
 $G_{\text{с.ч.}}$ – производительность среднечасовая, кг/ч.

Произведем расчет:

$$m_{\text{зола}} = 0,15 \cdot 42 = 6,3 \frac{\text{кг}}{\text{ч}};$$

3) Рассчитаем массу цемента по формуле 3, пошедшей на производство:

$$m_{\text{цем.}} = w_{\text{цем.}} \cdot G_{\text{с.ч.}}, \text{ кг/ч} \quad (3)$$

где $w_{\text{цем.}}$ – содержание цемента в составе гравия, масс.%;

Вычислим:

$$m_{\text{цем.}} = 0,175 \cdot 42 = 7,35 \frac{\text{кг}}{\text{ч}};$$

4) Рассчитаем массу шлака по формуле 4, пошедшей на производство:

$$m_{\text{шл.}} = w_{\text{шл.}} \cdot G_{\text{с.ч.}}, \text{ кг/ч} \quad (4)$$

где $w_{\text{шл.}}$ – содержание золы в составе гравия, масс.%;

$$m_{\text{шл.}} = 0,125 \cdot 42 = 5,63 \frac{\text{кг}}{\text{ч}};$$

5) Найдем массу горнблендита по формуле 5:

$$m_{\text{Г-ит}} = w_{\text{Г-ит}} \cdot G_{\text{с.ч.}}, \text{ кг/ч} \quad (5)$$

где $w_{\text{Г-ит.}}$ – содержание горнблендита в составе гравия, масс.%;

Вычислим:

$$m_{\text{Г-ит}} = 0,25 \cdot 42 = 10,5 \frac{\text{кг}}{\text{ч}};$$

6) Найдем массу сульфата натрия по формуле 6:

$$m_{\text{Na}_2\text{SO}_4} = w_{\text{Na}_2\text{SO}_4} \cdot G_{\text{с.ч.}}, \text{ кг/ч} \quad (6)$$

где $w_{\text{Na}_2\text{SO}_4}$ – содержание сульфата натрия в составе гравия, масс.%;

Рассчитаем:

$$m_{\text{Na}_2\text{SO}_4} = 0,02 \cdot 42 = 0,84 \frac{\text{кг}}{\text{ч}};$$

7) Найдем массу сульфата натрия по формуле 6:

$$m_{\text{воды}} = w_{\text{воды}} \cdot G_{\text{с.ч.}}, \text{ кг/ч} \quad (7)$$

где $w_{\text{воды}}$ – содержание сульфата натрия в составе гравия, масс.%;

Произведем расчет:

$$m_{\text{воды}} = 0,26 \cdot 42 = 10,92 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$$

8) Найдем потери воды при обжиге и сушке по формулам 8 и 9 соответственно:

$$m_{\text{в.о.}} = m_{\text{воды}} \cdot w_{\text{воды}}, \quad (8)$$

$$m_{\text{в.с.}} = m_{\text{воды}} \cdot w_{\text{воды}} \quad (9)$$

Произведем расчет:

$$m_{\text{в.о.}} = 42 \cdot 0,22 = 9,24 \frac{\text{кг}}{\text{ч}};$$

$$m_{\text{в.с.}} = 42 \cdot 0,04 = 1,68 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$$

9) Найдем потери при транспортировке по формуле 10:

$$m_{\text{тр}} = \frac{G_{\text{с.ч.}} \cdot w_{\text{тр}}}{100\%}, \text{ кг/ч} \quad (10)$$

Вычислим:

$$m_{\text{тр}} = \frac{42 \cdot 0,07}{100} = 0,029 \text{ кг/ч}$$

10) Найдем потери при сортировке по формуле 11:

$$m_{\text{сорт.}} = \frac{G_{\text{с.ч.}} \cdot w_{\text{сорт.}}}{100\%}, \text{ кг/ч} \quad (11)$$

Вычислим:

$$m_{\text{сорт.}} = \frac{42 \cdot 0,03}{100} = 0,013 \text{ кг/ч}$$

11) Найдем потери при охлаждении по формуле 12:

$$m_{\text{охл.}} = \frac{G_{\text{с.ч.}} \cdot w_{\text{охл.}}}{100\%}, \text{ кг/ч} \quad (12)$$

Вычислим:

$$m_{\text{охл.}} = \frac{42 \cdot 0,02}{100} = 0,008 \text{ кг/ч}$$

12) Найдем потери при обжиге по формуле 13:

$$m_{\text{обж.}} = \frac{G_{\text{с.ч.}} \cdot w_{\text{обж.}}}{100\%}, \text{ кг/ч} \quad (13)$$

Вычислим:

$$m_{\text{обж.}} = \frac{42 \cdot 0,72}{100} = 0,302 \text{ кг/ч}$$

13) Найдем потери при сушке по формуле 14:

$$m_{\text{суш.}} = \frac{G_{\text{с.ч.}} \cdot w_{\text{суш.}}}{100\%}, \text{ кг/ч} \quad (14)$$

Вычислим:

$$m_{\text{суш.}} = \frac{42 \cdot 0,9}{100} = 0,378 \text{ кг/ч}$$

14) Найдем прочие потери по формуле 15:

$$m_{\text{проч.}} = \frac{G_{\text{с.ч.}} \cdot w_{\text{проч.}}}{100\%}, \text{ кг/ч} \quad (15)$$

Вычислим:

$$m_{\text{проч.}} = \frac{42 \cdot 1,63}{100} = 0,685 \text{ кг/ч}$$

По результатам расчетов составим таблицу 7.

Таблица 7 – Материальный баланс

Приход			Расход		
Компонент	кг/ч	%		кг/ч	%
Зола	6,3	15	Обжиговый гравий	39,482	70,63
Цемент	7,35	17,5	Испаренная вода: - при обжиге - при сушке	9,24 1,68	22 4
Шлак	5,63	12,5	Потери:	0,378	0,9
Горнблендит	10,5	25			
Сульфат натрия	0,84	2			
Вода	10,92	26			
Итого:	41,54	100		41,54	100

Подводя итоги можно сказать, что при производительности 41,54 кг/ч выходит 39,482 кг/ч готового продукта.

3.2 Тепловой баланс

Технологическая схема теплового баланса представлена на рисунке 9.

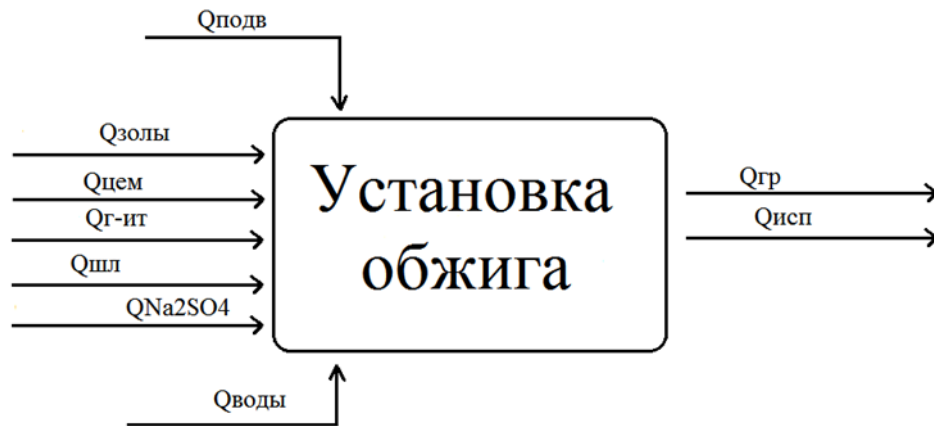


Рисунок 9 – Технологическая схема теплового баланса

1) Составим уравнение теплового баланса (формула 16):

$$Q_{\text{золы}} + Q_{\text{цем}} + Q_{\text{г-ит}} + Q_{\text{Na}_2\text{SO}_4} + Q_{\text{воды}} + Q_{\text{шл}} + Q_{\text{подвод}} = Q_{\text{гр}} + Q_{\text{исп}} + Q_{\text{потерь}} \quad (16)$$

где Q_i – количество теплоты i -го компонента, которое находится по формуле 17, кДж/ч:

$$Q_i = G_i \cdot C_i \cdot t, \text{ кДж/ч} \quad (17)$$

где G_i – масса компонента, кг/ч;

C_i – теплоемкость компонента, кДж/кг·К.

Рассчитаем:

$$Q_{\text{золы}} = 6,3 \cdot 0,75 \cdot (273 + 25) = 1408,05 \frac{\text{кДж}}{\text{ч}};$$

$$Q_{\text{цем.}} = 7,35 \cdot 1,13 \cdot (273 + 25) = 2475,04 \frac{\text{кДж}}{\text{ч}};$$

$$Q_{\text{шл.}} = 5,63 \cdot 0,75 \cdot (273 + 25) = 1258,31 \frac{\text{кДж}}{\text{ч}};$$

$$Q_{\text{г-ит}} = 10,5 \cdot 0,4 \cdot (273 + 25) = 1251,6 \frac{\text{кДж}}{\text{ч}};$$

$$Q_{Na_2SO_4} = 0,84 \cdot 1,84 \cdot (273 + 25) = 460,59 \frac{\text{кДж}}{\text{ч}};$$

$$Q_{\text{воды}} = 10,92 \cdot 4,18 \cdot (273 + 25) = 13602,39 \frac{\text{кДж}}{\text{ч}};$$

$$Q_{\text{гр}} = 39,482 \cdot 0,85 \cdot (273 + 1200) = 47688,73 \frac{\text{кДж}}{\text{ч}};$$

$$Q_{\text{исп}} = 1,68 \cdot 4,18 \cdot (273 + 1200) = 10343,10 \frac{\text{кДж}}{\text{ч}};$$

2) Найдем количество подводимого тепла при условии (формула 18), по формуле 19:

$$Q_{\text{потерь}} = Q_{\text{подв}} \cdot 5\% \quad (18)$$

$$Q_{\text{подв.}} = \frac{\sum Q_{\text{кон}} - \sum Q_{\text{исх}}}{0,95}, \text{кДж/ч} \quad (19)$$

Рассчитаем:

$$Q_{\text{подв.}} = \frac{58031,83 - 20455,98}{0,95} = 39553,53 \frac{\text{кДж}}{\text{ч}}$$

$$Q_{\text{потерь}} = 0,05 \cdot 39553,53 = 1977,68 \frac{\text{кДж}}{\text{ч}}$$

Внесем полученные данные в таблицу 8.

Таблица 8 – Тепловой баланс

	Приход	Расход
$Q_{\text{золы}}$	1408,05	-
$Q_{\text{цем.}}$	2475,04	-
$Q_{\text{шл.}}$	1258,31	-
$Q_{\text{г-ит}}$	1251,6	-
$Q_{\text{Na}_2\text{SO}_4}$	460,59	-
$Q_{\text{воды}}$	13602,39	-
$Q_{\text{подв.}}$	39553,53	-
$Q_{\text{гр}}$	-	47688,73
$Q_{\text{исп}}$	-	10343,10
$Q_{\text{потерь}}$	-	1977,68
Итого:	60009,51	60009,51

3) Рассчитаем количество природного газа, моль, необходимого для нагрева смеси по формуле 20:

$$n = \frac{Q_{\text{подв}}}{C}, \quad (20)$$

где C – удельная теплота сгорания природного газа, 50 МДж/кг или 50000 кДж/кг.

Произведем расчет:

$$n = \frac{39553,53}{50000} = 0,79 \text{ моль}$$

4) Найдем количество теплоты, формула 21, при производительности печи, равной 41,54 кг/ч:

$$Q = G_{\text{с.ч.}} \cdot Q_{\text{подвод}}, \quad (21)$$

Рассчитаем

$$Q = 41,54 \cdot 39553,53 = 1643,05 \text{ МДж/ч}$$

5) Рассчитаем объем газа на данную производительность, формула 22:

$$V_{\text{газа}} = n \cdot G_{\text{с.ч.}} \cdot V_{\text{м}}, \quad (22)$$

где $V_{\text{м}}$ – объем газа при нормальных условиях, 22,4 моль/л.

Вычислим:

$$V_{\text{газа}} = 0,54 \cdot 41,54 \cdot 22,4 = 502 \text{ л} = 0,5 \text{ м}^3$$

В результате расчета можно сделать следующий вывод: количество теплоты и объем необходимого газа для процесса обжига при производительности 41,54 кг/ч составляет 1643,05 МДж/ч и 0,5 м³ соответственно.

3.3 Расчет барабанной вращающейся печи

Произведем конструктивный расчет барабанной вращающейся печи при помощи эмпирических формул.

1) Определим суточную производительность по формуле 23:

2)

$$G_T = \frac{24 \cdot G}{1000}, \quad (23)$$

где G – производительность, 42 кг/ч.

Рассчитаем:

$$G_T = \frac{24 \cdot 42}{1000} = 1,008 \text{ т/сут}$$

3) По формуле 24 найдем диаметр барабана:

$$D = 0,4542 \cdot G_T^{0,34}, \quad (24)$$

где G_T – суточная производительность, т/сут.

Произведем расчет:

$$D = 0,4542 \cdot 1,008^{0,34} = 0,5 \text{ м}$$

4) Найдем длину барабана по формуле 25:

$$L = 2,59 \cdot G_T^{0,447}, \quad (25)$$

где G_T – суточная производительность, т/сут.

Рассчитаем:

$$L = 2,59 \cdot 1,008^{0,447} = 2,6 \text{ м}$$

5) Определим число оборотов барабана по формуле 26:

$$n = \frac{0,06 + 0,13}{\sqrt{D}}, \quad (26)$$

где D – диаметр барабана, м.

Вычислим:

$$n = \frac{0,06 + 0,13}{\sqrt{0,5}} = 0,3 \div 0,11 \text{ об/с}$$

Принимаем $n = 0,3 \text{ об/с}$.

6) Мощность для вращения барабана находится по формуле 27:

$$N = 0,0013 \cdot D^3 \cdot L \cdot r_M \cdot n \cdot \varphi, \quad (27)$$

где D – диаметр барабана, м;

L – длина барабана, м;

r_M – плотность материала, 1800 кг/м³;

φ – коэффициент заполнения аппарата, 0,2;

n – число оборотов барабана, об/с.

Произведем расчет:

$$N = 0,0013 \cdot 0,5^3 \cdot 0,3 \cdot 0,2 \cdot 1800 \cdot 2,6 = 0,05 \text{ кВт}$$

Сведем полученные данные в таблицу 9.

Таблица 9 – Характеристика барабанной вращающейся печи

Параметр	Значение
Суточная производительность, т/сут (G _т)	1,008
Длина, м (L)	2,6
Диаметр, м (D)	0,5
Число оборотов, об/с (n)	0,3
Мощность, кВт (N)	0,05

На основе материального баланса были рассчитаны мощность, длина, диаметр, число оборотов и производительность барабанной вращающейся печи.

3.4 Расчет материального баланса гранулятора

При расчете гранулятора примем потери как 5%. Введем допущение, что в результате потерь состав смеси не меняется, тогда приход каждого компонента найдем по формуле 28:

$$G_i = \frac{G_{\text{печь } i}}{1 - 0,05}, \quad (28)$$

где $G_{\text{печь } i}$ – масса компонента, полученного при расчеты материального баланса печи, кг/ч.

Рассчитаем для каждого компонента:

$$G_{\text{зола}} = \frac{6,3}{1 - 0,05} = 6,63 \frac{\text{кг}}{\text{ч}};$$

$$G_{\text{цем}} = \frac{7,35}{1 - 0,05} = 7,74 \frac{\text{кг}}{\text{ч}};$$

$$G_{\text{шл}} = \frac{5,63}{1 - 0,05} = 5,93 \frac{\text{кг}}{\text{ч}};$$

$$G_{\text{горн}} = \frac{10,50}{1 - 0,05} = 11,05 \frac{\text{кг}}{\text{ч}};$$

$$G_{\text{Na}_2\text{SO}_4} = \frac{0,84}{1 - 0,05} = 0,88 \frac{\text{кг}}{\text{ч}};$$

$$G_{\text{воды}} = \frac{10,92}{1 - 0,05} = 11,49 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$$

По результатам расчетов составим таблицу 10.

Таблица 10 – Материальный баланс гранулятора

Смесь: (из печи)	Приход, кг/ч	Расход, кг/ч
	43,72	41,54
- зола	6,63	6,30
- цемент	7,74	7,35
- шлак	5,93	5,63
- горнблендит	11,05	10,50
- сульфат натрия	0,88	0,84
- вода	11,49	10,92
Потери	-	2,18
Итого:	43,72	43,72

Вывод: в данном разделе был рассчитан материальный баланс гранулятора.

3.5 Расчет циклона и его материальный баланс

Составим материальный баланс циклона по извлекаемому компоненту, а именно – пыли. Исходя из материального баланса печи образуется 0,378 кг/ч пыли.

1) По формуле 29 найдем количество уловляемой пыли:

$$G_{y \text{ улов}} = G_y \cdot \varepsilon, \quad (29)$$

где G_y – количество образованной пыли, кг/ч;

ε – эффективность очистки, 95 %.

Произведем расчет:

$$G_{y \text{ улов}} = 0,378 \cdot 0,95 = 0,359 \text{ кг/ч}$$

2) По формуле 30 определим, сколько из этого поступает в атмосферу:

$$G_{\text{атм}} = G_y - G_{y \text{ улов}}, \quad (30)$$

Рассчитаем:

$$G_{\text{атм}} = 0,378 - 0,359 = 0,019 \text{ кг/ч}$$

Составим баланс и внесем данные в таблицу 11.

Таблица 11 – Материальный баланс циклона

	Приход, кг/ч	Расход, кг/ч
Поступающая пыль	0,378	-
Улавливаемая пыль	-	0,359
Потери в атмосферу	-	0,019
Итого:	0,378	0,378

3) Введем допущение – пыль имеет состав, идентичный гранулам, тогда массы компонентов, входящих в состав гранул, определим по формуле 31:

$$G_i = w_i \cdot G_{y \text{ улов}}, \quad (31)$$

где w_i – содержание i-го компонента, масс. %.

Вычислим:

$$G_{\text{золы}} = 0,359 \cdot 0,15 = 0,054 \frac{\text{кг}}{\text{ч}};$$

$$G_{\text{цем}} = 0,359 \cdot 0,175 = 0,063 \frac{\text{кг}}{\text{ч}};$$

$$G_{\text{шл}} = 0,359 \cdot 0,125 = 0,045 \frac{\text{кг}}{\text{ч}};$$

$$G_{\text{горнбл}} = 0,359 \cdot 0,25 = 0,090 \frac{\text{кг}}{\text{ч}};$$

$$G_{\text{Na}_2\text{SO}_4} = 0,359 \cdot 0,02 = 0,007 \frac{\text{кг}}{\text{ч}};$$

$$G_{\text{воды}} = 0,359 \cdot 0,26 = 0,093 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$$

Батарейные циклоны типа ЦБР-150У применяются в общепромышленной сфере для улавливания золы из дымовых газов котельных агрегатов при сжигании угля и торфа. Особенности конструкции: Исполнение секционное, с рециркуляцией части запыленного газа через одиночный циклон ЦН-15.

4) Определим диаметр циклона по формуле 32:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot \omega_{\text{оп}} \cdot N'}} \quad (32)$$

где Q – количество очищаемого газа, $5 \text{ м}^3/\text{с}$;

N – количество циклонов, 2 циклона.

Вычислим:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 5}{3,14 \cdot 4,7 \cdot 2}} = 0,48 \text{ м}$$

Полученное значение диаметра D округляется до ближайшего типового значения внутреннего диаметра циклона $D_{\text{ц}}$, указаны в таблице 12.

Таблица 12 - Типовые значения внутреннего диаметра циклона

$D_{\text{ц}}, \text{ м}$	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6
---------------------------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

5) По выбранному диаметру циклона ($D_{\text{ц}} = 0,5 \text{ м}$) находится действительная скорость движения газа в циклоне по уравнению 33:

$$\omega_p = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D_{\text{ц}}^2}, \quad (33)$$

Вычислим:

$$\omega_p = \frac{4 \cdot 5}{3,14 \cdot 0,5^2} = 25,5 \text{ м/с}$$

6) Параметр d_{50} определяют следующим образом: d_{50} – диаметр частиц, осаждаемых с эффективностью при рабочих условиях.

Величина d_{50} определяется по формуле 34:

$$d_{50} = d_{50}^T \sqrt{\frac{D_{\text{ц}}}{D_T} \cdot \frac{\rho_{\text{чТ}}}{\rho_{\text{ч}}} \cdot \frac{\mu}{\mu_T} \cdot \frac{\omega_T}{\omega_p}}, \quad (34)$$

Значение соответствует следующим типовым параметрам работы циклона:

$$\omega_T = 3,5 \text{ м/с};$$

$$D_T = 0,6 \text{ м};$$

$$\rho_{\text{чТ}} = 1930 \text{ кг/м}^3;$$

$$\mu_T = 22,2 \cdot 10^{-6} \text{ Па}\cdot\text{с}.$$

С учетом этих значений образуется формула 35:

$$d_{50} = d_{50}^T \sqrt{\frac{D_{\text{ц}}}{0,6} \cdot \frac{1930}{\rho_{\text{ч}}} \cdot \frac{\mu}{22,2 \cdot 10^{-6}} \cdot \frac{3,5}{\omega_p}}, \quad (35)$$

где μ – динамическая вязкость газа при рабочей температуре, Па с;

$\rho_{\text{ч}}$ – плотность частиц пыли, кг/м³.

Вычислим:

$$d_{50} = 4,5 \sqrt{\frac{0,5}{0,6} \cdot \frac{1930}{1352,4} \cdot \frac{17,3}{22,2} \cdot \frac{3,5}{25,5}} = 0,13 \text{ мкм}$$

7) Расчет параметра X определяют по формуле 36:

$$X = \frac{\lg(d_M/d_{50})}{\sqrt{\lg^2 \delta_\eta^T + \lg^2 \delta_q}}, \quad (36)$$

где $\lg \delta_\eta^T$ – стандартное отклонение функции распределения парциальных коэффициентов очистки, равен 0,352;

$\lg \delta_q$ – стандартное отклонение размеров частиц пыли, равное 0,334.

Произведем расчет:

$$X = \frac{\lg(140/0,13)}{\sqrt{0,352^2 + 0,334^2}} = 4,61$$

8) По величине параметра X , по формулам 37.1 и 37.2 определяют значение нормальной функции распределения $\Phi(X)$ – полный коэффициент очистки газа, выраженный в долях:

$$\Phi(X) = \begin{cases} 0,3762 \cdot X + 0,5 & 0 \leq X \leq 0,6 \\ 1 - \frac{1}{5,8 \cdot X + 0,5} & X \geq 0,6 \end{cases} \quad (37.1)$$

$$X \geq 0,6 \quad (37.2)$$

Так как параметр $X = 4,61$, то вычисляем полный коэффициент очистки газа по формуле 37,2 со значением $X \geq 0,6$.

Вычислим:

$$\Phi(X) = 1 - \frac{1}{5,8 \cdot 4,61 + 0,5} = 0,96$$

$$0,96 \geq 0,6$$

9) Определяется эффективность очистки газа в циклоне по формуле 38:

$$\eta = \frac{1 + \Phi(X)}{2}, \quad (38)$$

Произведем расчет:

$$\eta = \frac{1 + 0,95}{2} = 0,98$$

Полученное значение сопоставляют с начальным значением $\eta = 0,95$.

10) Определение коэффициента гидравлического сопротивления циклона определяется по формуле 39:

$$\xi = K_1 \cdot K_2 \cdot \xi_{500}, \quad (39)$$

где K_1 – поправочный коэффициент на диаметр циклона. Для циклона типа ЦН – 15 поправочный коэффициент на диаметр циклона равен $K_1 = 1,00$;

K_2 – поправочный коэффициент на запыленность газа. Для циклона типа ЦН – 15 поправочный коэффициент на запыленность газа $K_2 = 0,91$;

ξ_{500} – коэффициент гидравлического сопротивления одиночного циклона диаметром 500 мм. Для циклона типа ЦН – 15 коэффициент гидравлического сопротивления одиночного циклона диаметром 500 мм равен $\xi_{500} = 155$.

Вычислим:

$$\xi = 1,00 \cdot 0,91 \cdot 155 = 141,05$$

11) Вычисление гидравлического сопротивления циклона производят по формуле 40:

$$\Delta P = \xi \frac{\rho \cdot \omega_p^2}{2}, \quad (40)$$

где ρ – плотность газа, 3,65 кг/м³;

ω_p – скорость газа в циклоне, м/с.

Вычислим:

$$\Delta P = 141,05 \frac{3,65 \cdot 25,5^2}{2} = 167 \text{ Па}$$

12) Расчет мощности привода подачи газа. Величина гидравлического сопротивления и объемный расход (Q м³/с) очищаемого газа определяют мощность (N , Вт) привода устройства для подачи газа к циклону по формуле 41:

$$N = \frac{K_3 \Delta P Q}{\eta_M \eta_B}, \quad (41)$$

где K_3 – коэффициент запаса мощности ($K_3 = 1,2$);

η_M – КПД передачи мощности от электродвигателя к вентилятору ($\eta_M = 0,8$);

η_B – КПД вентилятора ($\eta_B = 0,8$).

Произведем расчет:

$$N = \frac{1,2 \cdot 167 \cdot 5}{0,8 \cdot 0,8} = 1565,63 \text{ Вт}$$

13) Определение концентрации пыли на выходе из циклона определяется по формуле 42:

$$C_{\text{вых}} = C_{\text{вх}}(1 - \eta) \quad (42)$$

Вычислим:

$$C_{\text{вых}} = 50(1 - 0,95) = 2,5 \text{ г/м}^3$$

Вывод: в данном разделе были рассчитаны параметры циклона ЦН-15, входящего в состав установки ЦБР-150, а также его материальный баланс.

3.6 Расчет материального баланса миксера

В миксер попадает три потока – осадок из циклона, раствор сульфата натрия и основной поток. Примем, что потери смеси составляют 5% и не изменяют состав смеси.

1) Тогда по формуле 43 массы компонентов равны:

$$G_i = \frac{G_{i \text{ гранулятора}}}{0,95} \quad (43)$$

Тогда:

$$G_{\text{золы}} = \frac{6,63}{0,95} = 6,98 \frac{\text{кг}}{\text{ч}};$$

$$G_{\text{цем}} = \frac{7,74}{0,95} = 8,15 \frac{\text{кг}}{\text{ч}};$$

$$G_{\text{шл}} = \frac{5,93}{0,95} = 6,24 \frac{\text{кг}}{\text{ч}};$$

$$G_{\text{горнб}} = \frac{11,05}{0,95} = 11,63 \frac{\text{кг}}{\text{ч}};$$

$$G_{Na_2SO_4} = \frac{0,88}{0,95} = 0,93 \frac{\text{кг}}{\text{ч}};$$

$$G_{\text{воды}} = \frac{11,49}{0,95} = 12,09 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$$

2) Теперь вычтем из полученных значений поступающие с циклона вещества, чтобы определить приход с мешалки и испарителя, формула 44:

$$G'_i = G_i - G_{\text{циклона } i} \quad (44)$$

Рассчитаем:

$$G'_{\text{зола}} = 6,98 - 0,054 = 6,876 \frac{\text{кг}}{\text{ч}};$$

$$G'_{\text{це́м}} = 8,15 - 0,063 = 8,087 \frac{\text{кг}}{\text{ч}};$$

$$G'_{\text{шл}} = 6,24 - 0,045 = 6,195 \frac{\text{кг}}{\text{ч}};$$

$$G'_{\text{горнбл}} = 11,63 - 0,090 = 11,54 \frac{\text{кг}}{\text{ч}};$$

$$G'_{\text{Na}_2\text{SO}_4} = 0,93 - 0,007 = 0,923 \frac{\text{кг}}{\text{ч}};$$

$$G'_{\text{воды}} = 12,09 - 0,093 = 11,997 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$$

Такие компоненты, как зола, цемент, шлам и горнблендит поступают с основным потоком, сульфат натрия поступает с мешалки, а воды с потоком и с мешалки.

3) Согласно данным, используется 9,2 %-й раствор сульфата натрия, тогда масса поступающей с мешалки воды будет определяться по формуле 45:

$$G_{\text{H}_2\text{O меш}} = \frac{G_{\text{Na}_2\text{SO}_4}}{0,092} \cdot (1 - 0,092) \quad (45)$$

Вычислим:

$$G_{\text{H}_2\text{O меш}} = \frac{0,923}{0,092} \cdot (1 - 0,092) = 9,110 \text{ кг/ч}$$

4) Тогда с основным потоком воды поступает (формула 46):

$$G_{\text{H}_2\text{O осн}} = G_{\text{вода}} - G_{\text{H}_2\text{O меш}} \quad (46)$$

Рассчитаем:

$$G_{\text{H}_2\text{O осн}} = 11,997 - 9,110 = 2,887 \text{ кг/ч}$$

По результатам расчетов составим таблицу 13.

Таблица 13 – Материальный баланс миксера

	Приход	Расход
Основной поток:	35,585	-
- зола	6,876	-
- цемент	8,087	-
- шлак	6,195	-
- горнблендит	11,540	-
- сульфат натрия	-	-
- вода	2,889	-
Осадок циклона:	0,359	-
- зола	0,054	-
- цемент	0,063	-
- шлак	0,045	-
- горнблендит	0,090	-
- сульфат натрия	0,007	-
- вода	0,093	-
Мешалка:	10,033	-
- сульфат натрия	0,923	-
- вода	9,110	-
Поток на выходе:	-	43,72
- зола	-	6,63
- цемент	-	7,74
- шлак	-	5,93
- горнблендит	-	11,05
- сульфат натрия	-	0,88
- вода	-	11,49
Потери	-	2,257
Итого:	45,977	45,977

Вывод: в данном разделе был рассчитан материальный баланс миксера.

3.7 Материальный баланс мешалки

Составим материальный баланс мешалки и внесем полученные данные в таблицу 14. Примем потери как 5%, состав смеси постоянный, влажность сульфата натрия примем как 0%. Тогда по формуле 47:

$$G_i = \frac{G_{i \text{ миксера}}}{0,95} \quad (47)$$

Рассчитаем:

$$G_{Na_2SO_4} = \frac{0,923}{0,95} = 0,972 \frac{\text{кг}}{\text{ч}};$$

$$G_{\text{воды}} = \frac{9,110}{0,95} = 9,589 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$$

Таблица 14 – Материальный баланс мешалки

	Приход	Расход
Сульфат натрия (сухой)	0,972	-
Вода	9,589	-
Смесь	-	10,033
Потери	-	0,528
Итого:	10,561	10,561

Вывод: в данном разделе был рассчитан материальный баланс мешалки.

3.8 Материальный баланс сушилки

Пренебрежем потерями на данной стадии. Примем влажность золы и шлака из ЗШО по 30%, цемента и горнблендита по 5%.

1) По формуле 48 найдем G_i исходя из $G_{i\text{сух}}$ и w :

$$G_i = \frac{G_{i\text{сух}}}{1 - w} \quad (48)$$

Произведем расчет:

$$G_{\text{зола вл}} = \frac{6,876}{1 - 0,3} = 9,823 \frac{\text{кг}}{\text{ч}};$$

$$G_{\text{цем вл}} = \frac{8,087}{1 - 0,05} = 8,512 \frac{\text{кг}}{\text{ч}};$$

$$G_{\text{шл вл}} = \frac{6,195}{1 - 0,3} = 8,850 \frac{\text{кг}}{\text{ч}};$$

$$G_{\text{горнбл вл}} = \frac{11,540}{1 - 0,05} = 12,147 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$$

Примем, что из сушилки в миксер поступает только 70% потока, остальные 30% отделяются на барабанном грохоте и представляют собой крупные фракции, падающие в дробилку.

2) Примем, что потоки в миксере и в сушилке равны по составу, тогда поток суммарный, поступающий в сушилку, находится по формуле 49:

$$G_{i \text{ сум}} = \frac{G_{i \text{ вл}}}{0,7} \quad (49)$$

Вычислим:

$$G_{\text{сум золы}} = \frac{9,823}{0,7} = 14,033 \frac{\text{кг}}{\text{ч}};$$

$$G_{\text{сум цем}} = \frac{8,512}{0,7} = 12,160 \frac{\text{кг}}{\text{ч}};$$

$$G_{\text{сум шл}} = \frac{8,850}{0,7} = 12,643 \frac{\text{кг}}{\text{ч}};$$

$$G_{\text{сум горнбл}} = \frac{12,147}{0,7} = 17,353 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$$

3) Часть влажного поток, приходящегося на дробилку, найдем по формуле 50:

$$G_{\text{др } i} = G_{i \text{ сум}} - G_{i \text{ вл}} \quad (50)$$

Рассчитаем:

$$G_{\text{зола др}} = 14,033 - 9,823 = 4,210 \frac{\text{кг}}{\text{ч}};$$

$$G_{\text{цем др}} = 12,160 - 8,512 = 3,648 \frac{\text{кг}}{\text{ч}};$$

$$G_{\text{шл др}} = 12,643 - 8,850 = 3,793 \frac{\text{кг}}{\text{ч}};$$

$$G_{\text{горнбл др}} = 17,353 - 12,147 = 5,206 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$$

4) Пересчитаем на сухое вещество по формуле 51:

$$G_{i \text{ сух}} = G_{i \text{ др}} \cdot (1 - w) \quad (51)$$

$$G_{\text{зола сух}} = 4,210 \cdot (1 - 0,3) = 2,947 \frac{\text{кг}}{\text{ч}};$$

$$G_{\text{цем сух}} = 3,648 \cdot (1 - 0,05) = 3,466 \frac{\text{кг}}{\text{ч}};$$

$$G_{\text{шл сух}} = 3,793 \cdot (1 - 0,3) = 2,655 \frac{\text{кг}}{\text{ч}};$$

$$G_{\text{горнбл сух}} = 5,206 \cdot (1 - 0,05) = 4,945 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$$

5) Примем, что влажность смеси в целом 8,8%, тогда по формуле 52 в дробилку поступает воды:

$$G_{\text{воды}} = \frac{\sum G_{i \text{ сух}}}{1 - 0,088} \cdot 0,088 \quad (52)$$

Произведем расчет:

$$G_{\text{воды}} = \frac{2,947 + 3,466 + 2,655 + 4,945}{1 - 0,088} \cdot 0,088 = 1,352 \text{ кг/ч}$$

Составим баланс (таблица 15).

Таблица 15 – Материальный баланс сушилки

	Приход	Расход
Исходный поток:	56,189	-
- зола		-
- цемент		-
- шлак	-	-
- горнблендит		-
Поток в миксер:	-	35,585
- зола вл	-	6,876
- цемент вл	-	8,087
- шлак вл	-	6,195
- горнблендит вл	-	11,540
- вода	-	2,887
Поток в дробилку:	-	15,365
- зола сух	-	2,947
- цемент сух	-	3,466
- шлак сух	-	2,655
- горнблендит сух	-	4,945
- вода	-	1,352
Вода испаренная	-	5,239
Итого:	56,189	56,189

Вывод: в данном разделе был рассчитан материальный баланс сушилки.

3.9 Материальный баланс транспортера

Потери отсутствуют. Пересчитаем расход на сухое вещество по формуле 53 и найдем приход с подачей влажного вещества по формуле 54:

$$G_{i \text{ сух}} = G_{i \text{ вл}} \cdot (1 - w); \quad (53)$$

$$G_{\text{под вл}} = \frac{G_{\text{зол}} - G_{\text{зол др}}}{1 - w} \quad (54)$$

Произведём расчеты:

$$G_{\text{зола}} = 14,033 \cdot (1 - 0,3) = 9,823 \frac{\text{кг}}{\text{ч}};$$

$$G_{\text{цемент}} = 12,160 \cdot (1 - 0,05) = 11,552 \frac{\text{кг}}{\text{ч}};$$

$$G_{\text{шлак}} = 12,643 \cdot (1 - 0,3) = 8,850 \frac{\text{кг}}{\text{ч}};$$

$$G_{\text{горнбл}} = 17,353 \cdot (1 - 0,05) = 16,485 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$$

$$G_{\text{зола вл}} = \frac{9,823 - 2,780}{1 - 0,3} = 10,061 \frac{\text{кг}}{\text{ч}};$$

$$G_{\text{цемент вл}} = \frac{11,552 - 3,293}{1 - 0,05} = 8,693 \frac{\text{кг}}{\text{ч}};$$

$$G_{\text{шлак вл}} = \frac{8,850 - 2,522}{1 - 0,3} = 9,040 \frac{\text{кг}}{\text{ч}};$$

$$G_{\text{горнбл вл}} = \frac{16,485 - 4,698}{1 - 0,05} = 12,407 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$$

Составим материальный баланс по результатам расчета и заполним таблицу 16.

Таблица 16 – Материальный баланс транспортера

	Приход	Расход
С дробилки	14,577	-
- зола	2,780	-
- цемент	3,293	-
- шлак	2,522	-
- горнблендит	4,698	-
- вода	1,284	-
Подача	40,201	-
- зола вл	10,061	-
- цемент вл	8,693	-
- шлак вл	9,040	-
- горнблендит вл	12,407	-

Продолжение таблицы 16

	Приход	Расход
На сушилку	-	56,189
- зола вл	-	14,033
- цемент вл	-	12,160
- шлак вл	-	12,643
- горнблендит вл	-	17,353
Вода	1,411	-
Итого:	56,189	56,189

Ко всему дополним, что для предотвращения пылений смесь орошают 1,411 кг/ч воды, а еще для того чтобы обосновать влажность сред. Поскольку с дробилки поступает сухая смесь, влажность сред должна быть меньше 30% и 5%, но с добавлением воды все уравнивается.

3.10 Расчет валковой дробилки и его материальный баланс

Так как в состав смеси для приготовления гравия входит твердая горная порода (горнблендит), то для однородности смеси его необходимо пропустить через дробилку. В технологическом процессе используется валковая дробилка, расчет которой показан ниже.

1) Определим угол захвата по формуле 55:

$$2\alpha \leq 2\arctg f, \quad (55)$$

где f – коэффициент трения материала о валок, 0,30.

Рассчитаем:

$$2\alpha \leq 2\arctg 0,30,$$

$$2\alpha \leq 33,4,$$

$$\alpha \leq \frac{33,4}{2},$$

$$\alpha \leq 17$$

2) Диаметр валка определим по формуле 56:

$$D = \frac{D_{\text{ср}} \cdot \cos \frac{\alpha}{2} - e}{1 - \cos \frac{\alpha}{2}}, \quad (56)$$

где $D_{\text{ср}}$ – средний размер куска дробления, 8,5 мм;

e – расстояние между валками, $e = d_{\text{ср}} = 4$ мм.

Вычислим:

$$D = \frac{8,5 \cdot \cos \frac{17}{2} - 4}{1 - \cos \frac{17}{2}} = 441,5 \text{ мм} = 0,44 \text{ м}$$

3) По формуле 57 определим максимальную частоту вращения валка:

$$n_{\text{ср}} = 102,5 \sqrt{\frac{f}{\rho \cdot d_{\text{ср}} \cdot D}}, \quad (56)$$

где $d_{\text{ср}}$ – размер конечного продукта, 0,004 м;

ρ - плотность исходного материала, т/м³.

Рассчитаем:

$$n_{\text{ср}} = 102,5 \sqrt{\frac{0,30}{2,5 \cdot 0,004 \cdot 0,44}} = 48 \text{ об/с}$$

4) Производительность дробилки найдем по формуле 57:

$$\Pi_{\rho} = 3600\pi \cdot D \cdot L \cdot a \cdot n \cdot \rho \cdot \mu, \quad (57)$$

где L – длина валка, 0,35 м;

μ - коэффициент разрыхления, 0,30.

Тогда:

$$P_{\rho} = 3600 \cdot 3,14 \cdot 0,44 \cdot 0,35 \cdot 17 \cdot 48 \cdot 2,5 \cdot 0,30 = 1065 \text{ кг/ч}$$

5) Мощность двигателя определяется по формуле 58:

$$N = \frac{\sigma^2 \cdot P_{\rho} \cdot (i - 1)}{2,4E \cdot \eta_d \cdot \eta_n}, \quad (58)$$

где i – степень дробления, 2,1;

E – модуль упругости материала, $2,4 \cdot 10^4$ МПа;

σ – предел прочности материала на сжатие, 46 МПа;

η_d, η_n – КПД дробилки и привода, $\eta_d = 0,2$, $\eta_n = 0,8$.

Произведем расчет:

$$N = \frac{46^2 \cdot 1065 \cdot (2,1 - 1)}{2,4 \cdot 2,4 \cdot 10^4 \cdot 0,2 \cdot 0,8} = 2,37 \cdot 10^4 \text{ Вт}$$

6) Примем, что потери в дробилке 5%, изменение состава не происходит. Тогда по формуле 59 на транспортер поступает:

$$G_i = G_{i \text{ нач}} \cdot 0,95 \quad (59)$$

Произведем расчет:

$$G_{\text{зола}} = 2,947 \cdot 0,95 = 2,780;$$

$$G_{\text{це́м}} = 3,466 \cdot 0,95 = 3,293 \frac{\text{кг}}{\text{ч}};$$

$$G_{\text{шл}} = 2,655 \cdot 0,95 = 2,522 \frac{\text{кг}}{\text{ч}};$$

$$G_{\text{горнбл}} = 4,945 \cdot 0,95 = 4,698 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$$

$$G_{\text{вода}} = 1,352 \cdot 0,95 = 1,284 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$$

Внесем полученные данные в таблицу 17.

Таблица 17 – Материальный баланс валковой дробилки

	Приход	Расход
- зола	2,947	2,780
- цемент	3,466	3,293
- шлак	2,655	2,522
- горнблендит	4,945	4,698
- вода	1,352	1,284
Потери	-	0,788
Итого:	15,364	15,365

Вывод: в данном разделе была рассчитана валковая дробилка для помола мелких фракций, а также его материальный баланс.

3.11 Материальный баланс всего технологического процесса

На транспортер подается 14,577 кг/ч смеси с дробилки; 40,201 кг/ч подается извне; 1,411 кг/ч воды (для предотвращения пылений); итого 56,189 кг/ч. Потери отсутствуют.

С транспортера поток попадает в сушилку – исходный поток 56,189 кг/ч; поток из сушилки в миксер 35,585 кг/ч; в дробилку 15,365 кг/ч; воды испаряется 5,239 кг/ч.

В дробилку поступает 15,365 кг/ч; теряется 0,788 кг/ч; в транспортер 14,577 кг/ч.

В миксер подается 35,585 кг/ч; осадок с циклона 0,359 кг/ч; с мешалки 10,033 кг/ч; поток на гранулятор 43,72 кг/ч; теряется 2,257 кг/ч.

В мешалку поступают 0,972 кг/ч сульфата натрия и 9,589 кг/ч воды; потери составляют 0,528 кг/ч; на миксер 10,033 кг/ч.

На циклон 0,378 кг/ч; на миксер 0,359 кг/ч; потери 0,019 кг/ч.

На гранулятор 43,72 кг/ч; с него на печь 41,54 кг/ч; потери 2,18 кг/ч.

На печь поступает 41,54 кг/ч; испарение воды 1,18 кг/ч; потери приемом 0,378 кг/ч; тогда расход гравия составит 39,482 кг/ч.

Составим таблицу 18 по перечисленным данным.

Таблица 18 – Материальный баланс всего технологического процесса

	Приход	Расход
Исходный поток:	40,201	-
-зола	10,061	-
-цемент	8,693	-
-шлак	9,040	-
-горнблендит	12,407	-
Вода на орошение транспортера	1,411	-
Сульфат натрия (сухой)	0,972	-
Вода на растворение сульфата натрия	9,589	-
Обжиговый гравий	-	39,482
Потери:	-	12,691
- в миксере	-	2,257
- в мешалке	-	0,528
- в дробилке	-	0,788
- в грануляторе	-	2,180
- в циклоне	-	0,019
- в печи	-	1,680
вода исп.	-	
- в сушилке	-	5,239
вода исп.	-	
-прочее	-	
Итого:	52,173	52,173

Вывод: в третьей главе была разработана технологическая схема процесса получения обжигового гравия, был рассчитан материальный баланс процесса в целом и его стадий в отдельности, осуществлен выбор ряда аппаратов расчетным путем.

Заключение

В ходе данной бакалаврской работы был рассмотрен технологический процесс переработки золошлаковых отходов путем получения обжигового зольного гравия, а также проведены поиски наилучшей доступной технологии и наиболее возможной в исполнении. был рассчитан материальный баланс процесса в целом и его стадий в отдельности.

Была проанализирована нормативная документация, из которой следует, что золошлаковые отходы, относящиеся к 5 классу опасности необходимо располагать на специальных полигонах – золоотвалах, на срок не более 10 лет.

Была изучена роза ветров городского округа Тольятти, которые показывают, что при образовании пылений от золошлакоотвалов происходит выброс их в атмосферный воздух и быстрое перемещение ветром в сторону Комсомольского района города.

Химическое разнообразие состава зол позволяет найти им применение во многих отраслях при дальнейшей переработке.

На сегодняшний день существует множество способов переработки ЗШО, главным из которых является производство строительных материалов, но для утверждения о пригодности ЗШО в производстве необходимо провести ряд лабораторных исследований, с целью выявления физико-химических свойств.

Переработка данного вида отхода необходима, так как это позволит не только снизить негативное воздействие окружающей среды на население, но и приведёт к сокращению расходов природных ресурсов.

Список используемой литературы

1. ГОСТ 32496-2013 Заполнители пористые для легких бетонов. Технические условия.
2. ГОСТ Р 57789-2017 Зола, шлаки и золошлаковые смеси ТЭС для производства искусственных пористых заполнителей. Технические условия.
3. Игумина, В. А. Анализ способов утилизации золошлаковых отходов / В. А. Игумина, А. Е. Карючина, А. С. Ровенских. — Текст: непосредственный // Исследования молодых ученых: материалы VI Междунар. науч. конф. (г. Казань, январь 2020 г.). — Казань: Молодой ученый, 2020. — С. 21-25.
4. Копылова Е.Ю. Пути утилизации золошлаковых отходов. Сборник статей Международной научно-практической конференции. Ответственный редактор: Сукиасян Асатур Альбертович. 2016. С. 34-36.
5. Косарев А.С., Смолий В.А., Скориков А.В. Оценка возможности использования золошлаковых отходов теплоэнергетики при производстве гранулированного пористого заполнителя для легких бетонов и теплоизоляционных засыпок. Южно Российский государственный университет (НПИ) имени М.И. Платова, Новочеркасск, Россия. Технические науки, 2018.
6. Кузин Е.Г., Роднов С.В. Обоснование использования золошлаковых отходов котельных и ТЭЦ. Материалы IV международной научно-практической конференции. 2015. Издательство: Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева (Кемерово). С. 42-43.
7. Патент RU 2 296 624 С2, МПК В03В 9/04(2006.01) В03В 7/00(2006.01) / Способ переработки золошлаковых отходов тепловых электростанций / Машурьян В.Н., Царев В.В.: патентообладатель Федеральное государственное унитарное научно-исследовательское геологическое предприятие (ТулНИГП) «Тульское НИГП» (RU). Начало

действия: 20.06.19. Публикация: 20.04.20. Подача: 20.06.19 (дата обращения 18.02.2021).

8. Патент RU 2 588 521 C1, МПК B03B 9/04(2006.01) / Способ комплексной переработки золошлаковых отходов (варианты) / Прокопьев С.А., Болотин М.Л.: патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью Производственная компания «Спирит» (ООО ПК «Спирит») (RU). Начало действия: 2015.05.05. Публикация: 2016.06.27. Подача: 2015.05.05 (дата обращения 18.02.2021).

9. Патент RU 2 688 536 C1, МПК C05F 5/00(2006.01) C07F 7/00(2006.01) C05F 11/02(2006.01) C05F 15/00(2006.01) / Способ приготовления техногенного почвогрунта БЭП на основе золошлаковых отходов (варианты) и техногенный почвогрунт БЭП / Шкутник Д.В., Рыбушкин С.В.: патентообладатель Шкутник Дмитрий Валентинович (RU), Рыбушкин Симон Валерьевич (RU). Начало действия: 2018.09.20. Публикация: 2019.05.21. Подача: 2018.09.20 (дата обращения 18.02.2021).

10. Патент RU 142957 U1, МПК B03C 7/00(2006.01) B03B 7/00(2006.01) / Система переработки летучей золы тепловых электростанций / Делицын Л.М., Рябов Ю.В., Власов А.С., Голубев Ю.Н., Владимирова Т.А.: патентообладатель Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Объединенный институт высоких температур Российской академии наук (ОИВТ РАН) Общество с ограниченной ответственностью «Экозола» (ООО «Экозола»). Дата регистрации: 03.06.2016. Дата публикации: 10.07.2017 (дата обращения 18.02.2021).

11. Патент RU 2 744 191 C1, МПК B09B 3/00(2006.01) C01F 1/00(2006.01) / Комплекс для переработки золоотвалов / Логинова И.В., Логинов Ю.Н., Шопперт А.А., Чайкин Л.И., Ситшаева А.С.: патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью «АЛЬФА-АЛЮМИНА» (RU). Начало действия: 2020.07.28. Публикация: 2021.03.03. Подача: 2020.07.28 (дата обращения 18.02.2021).

12. Патент RU 2 605 987 C1, МПК B09B 3/00(2006.01) C01B 33/12(2006.01) / Способ комплексной переработки золы от сжигания углей / Логинова И.В., Чайкин Л.И., Шопперт А.А., Трубецкой С.В.: патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью «Челябинский инновационный центр» (RU). Начало действия: 2015.07.20. Публикация: 2017.01.10. Подача: 2015.07.20 (дата обращения 18.02.2021).

13. Патент RU 2 569 132 C1, МПК B03B 9/04(2006.01) F23J 1/02(2006.01) / Способ переработки золошлаковых отходов из отвалов системы гидрозолоудаления тепловых электростанций с целью получения кондиционных зольных продуктов / Набоков А.Н., Щеблыкина Т.П.: патентообладатель Набоков Александр Николаевич (RU), Щеблыкина Татьяна Петровна (RU). Начало действия: 2015.05.30. Публикация: 2016.11.20. Подача: 2015.05.30 (дата обращения 18.02.2021).

14. Патент RU 79284 U1, МПК C04B 7/00(2006.01) C04B 2/00(2006.01) C04B 12/00(2006.01) C04B 18/00(2006.01) / Система производства цемента и глинозема из золошлаковых отходов электростанций / Власов А.С., Делицын Л.М., Шелков Е.М.: патентообладатель Начало действия: 2018.07.17. Публикация: 2018.12.27. Подача: 2018.07.17 (дата обращения 18.02.2021).

15. Подшивалов А.Н. Использование золошлаковых отходов от сжигания угля в производстве строительного кирпича. Сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции: в 4 частях. ООО «АР-Консалт». 2015. Издательство: Общество с ограниченной ответственностью "АР-Консалт" (Люберцы). С. 87-90.

16. Сигачев Н.П., Коновалова Н.А., Коннов В.И., Панков П.П., Ефименко Н.С. Эффективность использования золошлаковых отходов забайкальского края в производстве дорожных цементогрунтов. Журнал «Экология и промышленность России» Учредители: Калвис (Москва). 2016. С. 24-27.

17. Скрипникова Н.К., Юрьев И.Ю., Литвинова В.А., Космачев П.В., Семеновых М.А. Использование золошлаковых отходов для получения

различных видов строительных материалов. Всероссийская конференция с международным участием, посвященная 85-летию со дня рождения профессора Г.М. Рогова. Томский государственный архитектурно-строительный университет; Национальный исследовательский Томский политехнический университет; Национальный исследовательский Томский государственный университет. 2015. Издательство: Томский государственный архитектурно-строительный университет (Томск). С. 270-271.

18. Судаков В.И., Ярмолинский В.А., Ярмолинская Н.И. Вариация свойств строительных материалов с использованием золошлаковых отходов. международный сборник научных трудов. под ред. А. И. Ярмолинского. Хабаровск, 2015. Издательство: Тихоокеанский государственный университет (Хабаровск). С. 169-176.

19. Ярмолинская Н.И., Судаков В.И., Судаков А.В. К вопросу модификации золошлаковых отходов для дорожного строительства. международный сборник научных трудов. под ред. А. И. Ярмолинского. Хабаровск, 2015. Издательство: Тихоокеанский государственный университет (Хабаровск) С. 156-162.

20. Возможные технологии утилизации золы. [Электронный ресурс] URL: https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=5784 (дата обращения 16.03.2021).

21. Где можно применить золошлаковые отходы. [Электронный ресурс] URL: <https://musorniy.ru/gde-mozhno-primenit-zoloshlakovye-othody/> (дата обращения 24.02.2021).

22. Золошлаки: классификация, свойства, направления использования. [Электронный ресурс] URL: https://www.newchemistry.ru/printletter.php?n_id=2871 (дата обращения 24.02.2021).

23. Тепловые электростанции (ТЭС). [Электронный ресурс] URL: https://electric-220.ru/news/teplovye_ehlektrostancii/2019-04-05-1672 (дата обращения 16.03.2021).

24. Cherkasova T., Cherkasova E., Tikhomirova A., Golovachev A., Dormeshkin O.. Study of the Processes of Rare and Rare-Earth Metal Extraction from Ash and Slag Materials. E3S Web of Conferences 174, 02031 (2020).

25. Cristelo N., Segadães L., Coelho J., Chaves B., Sousa N., Lurdes Lopes M. Recycling municipal solid waste incineration slag and fly ash as precursors in low-range alkaline cements. Waste Manag. 2020 Mar 1;104:60-73.

26. Kalachov A.I. Integrated system of ash and slag waste disposal. ProfCement-Vector CJSC. Saint-Petersburg, 2016.

27. Menshova P.V., Khlopina Y.V., Nalesnika O.I., Makarovskikh A.V. Ash and Slag Waste as a Secondary Raw Material. XV International Scientific Conference «Chemistry and Chemical Engineering in XXI century» dedicated to Professor L.P. Kulyov. Tomsk, 2017. 184-191.

28. Cudić V., Kisić D., Stojiljković D., Jovović A. Ash from thermal power plants as secondary raw material. Arh Hig Rada Toksikol. 2017 Jun;58(2):233-8.