

Министерство образования и науки РФ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Пензенский государственный университет архитектуры и строительства»  
Институт инженерной экологии  
Кафедра «Инженерная экология»

УТВЕРЖДАЮ  
И.о.зав. кафедрой ИЭ  
\_\_\_\_\_ П.А. Полубояринов  
(подпись, и.о. фамилия)  
«23\_» июня \_\_ 2017 г.

**ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА**  
к выпускной квалификационной работе на тему:  
Использование отходов ТЭЦ

---

---

---

Автор квалификационной работы    Петров А.В

\_\_\_\_\_ подпись, инициалы, фамилия

Обозначение    ВКР-2069059 – 20.03.01 - 131341 -2017    Группа ТБ-41

Направление 20.03.01 «Техносферная безопасность»  
номер, наименование

Руководитель работы    Демьянова В.С

\_\_\_\_\_ подпись, дата, инициалы, фамилия

Консультанты по разделам:

\_\_\_\_\_ наименование раздела

\_\_\_\_\_ подпись, дата, инициалы, фамилия

\_\_\_\_\_ Нормоконтролёр

Министерство образования и науки РФ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Пензенский государственный университет архитектуры и строительства»

Институт инженерной экологии  
Кафедра «Инженерная экология»

УТВЕРЖДАЮ  
И.о.зав. кафедрой ИЭ  
\_\_\_\_\_ П.А. Полубояринов  
(подпись, и.о. фамилия)  
«23»июня 2017 г.

**ЗАДАНИЕ**  
**НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ**  
**ПО НАПРАВЛЕНИЮ**  
**20.03.01 «Техносферная безопасность»**

Студенту 4 курса группы № ТБ-41 Петрову Антону Владимировичу  
(№ группы, фамилия, и.о.)

**предлагается выполнить выпускную квалификационную работу на тему:**  
Использование отходов ТЭЦ

**Тема ВКР утверждена приказом по университету № 06-09-332 от 01.12.2016 г.**

**Руководитель ВКР** д.т.н.профес. Демьянова В.С  
(должность, уч. степень, уч. звание, и.о.фамилия)

Разделы квалификационной работы:

- 1.Номенклатура и виды отходов образующихся на ТЭЦ. д.т.н.профес.  
Демьянова В.С
- 2.Зарубежный опыт утилизации золошлаковых отходов на ТЭЦ д.т.н.профес.  
Демьянова В.С
- 3.Перспективные направления утилизации золошлаковых отходов ТЭЦ  
д.т.н.профес. Демьянова В.С
- 4.Эффективность использования отходов ТЭЦ д.т.н.профес. Демьянова В.С  
(наименование раздела, должность, уч.степень, уч.звание, и.о.фамилия)

### Состав работы:

Чертежи - на 5 листах формата А-1;  
Пояснительная записка и расчеты - 64 стр.  
Другое: \_\_\_\_\_

Срок представления работы к защите - «23» июня 2017 г.

### Исходные материалы и данные для выполнения КР(н):

1. Индивидуальное задание по теме ВКР по производственной практике и материалам проектов \_\_\_\_\_

2. Наименование и состав объекта \_\_\_\_\_

3. Другие исходные данные: \_\_\_\_\_

Задания по разделам ВКР:

1 Номенклатура и виды отходов образующихся на ТЭЦ. д.т.н.профес. Демьянова В.С\_

\_\_\_\_\_  
(дата, подпись консультанта по разделу)

2 Зарубежный опыт утилизации золошлаковых отходов на ТЭЦ д.т.н.профес. Демьянова В.С

\_\_\_\_\_  
(дата, подпись консультанта по разделу)

3 Перспективные направления утилизации золошлаковых отходов ТЭЦ д.т.н.профес. Демьянова В.С\_

\_\_\_\_\_  
(дата, подпись консультанта по разделу)

4 Компьютерное обеспечение ВКР \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
(дата, подпись консультанта по разделу)

Подбор литературы по теме ВКР. Составление реферативных обзоров по материалам книг и журналов.

Обязательная литература: \_\_\_\_\_

Руководитель квалификационной работы студента \_\_\_\_\_  
(дата, подпись)

Задание к выполнению принял Петров А.В

1.12.2016  
(дата, подпись студента)

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1 НОМЕНКЛАТУРА И ВИДЫ ОТХОДОВ, ОБРАЗУЮЩИХСЯ НА ТЭЦ.....	7
1.1 Характеристики золошлаковых отходов.....	11
1.2 Минеральный состав золошлаковых отходов.....	15
2 ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ УТИЛИЗАЦИИ ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ ТЭЦ.....	19
3 ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ УТИЛИЗАЦИИ ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ ТЭЦ.....	27
3.1 Производство строительных материалов.....	32
3.2 Сельское хозяйство.....	34
3.3 Дорожное строительство.....	37
3.4 Проектирование полигонов ТБО.....	40
3.5 Комплексное использование золошлаковых отходов.....	41
4 ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОТХОДОВ ТЭЦ....	44
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	55
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	57
ПРИЛОЖЕНИЕ.....	60

					<i>ВКР – 2069059 – 20.03.01 – 131341 – 17</i>		
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			
Выполнил	Петров А.В.				Лит.	Лист	Листов
Руководитель	Демьянова В.С.				4	64	
Н. Контр.	Москалец П.В.				<i>ПГУАС, ИЭ, гр. ТБ-41</i>		
Зав.каф.	Полубояринов П.А.						

## ВВЕДЕНИЕ

В России насчитывается около 700 крупных и средних ТЭС. Они производят до 70% электроэнергии, используя при этом органическое топливо – уголь, нефть, газ, мазут, сланцы, торф.

Теплоэнергетика обладает развитыми внешними и внутренними связями и её развитие неотделимо от всех направлений жизнедеятельности человека, связанных с использованием энергии (в промышленности, сельском хозяйстве, строительстве, на транспорте и в быту).

Тепловые электрические станции (ТЭС), вырабатывая электроэнергию и тепло, оказывают негативное влияние на окружающую природную среду, загрязняя воздух, воду и землю. Наряду с выбросами в воздушный бассейн продуктов сгорания топлива и сбросами в водоемы сточных вод на ТЭС образуется колоссальное количество отходов производства. При сжигании твердого топлива образуются золошлаковые отходы. Ввиду большого количества их трудно складировать, особенно на теплоэлектроцентралях (ТЭЦ), расположенных в пределах городской застройки.

В настоящее время весьма остро стоит проблема утилизации золы и шлака ТЭС. Сжигание на ТЭС высокозольных углей приводит к прогрессирующему увеличению объемов золошлакоотвалов и изъятию значительных площадей полезных земель; при этом наносится серьезный ущерб окружающей среде.

Количество золошлаковых отходов от наиболее типовой ТЭЦ электрической мощностью 1295/1540 МВт и тепловой мощностью 3500 Гкал/ч составляет порядка 1,6-1,7 млн. т в год. В связи с этим анализ возможностей использования золошлаковых отходов, образующихся при сжигании твердого топлива, в различных отраслях промышленности является актуальной задачей.

*Целью выпускной квалификационной работы* является выявление и обоснование перспективных направлений использования золошлаковых отходов ТЭЦ.

					ВКР – 2069059 – 20.03.01 – 131341 – 17	Лист
Изм.	Лист	№ докум.№	Подпись	Дата		5

Для реализации поставленной цели в выпускной квалификационной работе были сформулированы следующие *задачи*:

1. Определить количество теплоэнергостанций и теплоэнергоцентралей, функционирующих на твердом топливе, и охарактеризовать номенклатуру, объемы и состав образующихся отходов;

2. Проанализировать зарубежный опыт утилизации золошлаковых отходов ТЭЦ;

3. Выявить перспективные направления использования ЗШО применительно к России;

4. Обосновать экономическую эффективность наиболее многообещающих направлений использования золошлаковых отходов ТЭЦ.

*Структура выпускной квалификационной работы*: введение, 4 главы, заключение, библиографический список, приложение. Работа содержит 16 рисунков, 7 таблиц и 30 литературных источников.

					<i>ВКР – 2069059 – 20.03.01 – 131341 – 17</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.№</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		6

# 1 НОМЕНКЛАТУРА И ВИДЫ ОТХОДОВ, ОБРАЗУЮЩИХСЯ НА ТЭЦ

Электроэнергетика занимается производством электрической энергии, ее транспортировкой и распределением с помощью линий электропередач. Энергия производится на электростанциях разных типов, на некоторых станциях вместе с электрической производится также тепловая энергия. В России электроэнергия производится на электростанциях трех основных типов: тепловых (ТЭС), гидравлических (ГЭС) и атомных (АЭС). По производству электроэнергии Россия занимает четвертое место в мире после США, Японии и Китая.

Суммарное производство электроэнергии в 2016 году составило 1071,8 млрд. кВт·ч, причем более половины произведенной энергии приходится на работу теплоэлектростанций (ТЭС) и теплоэнергоцентралей (ТЭЦ), как показано на рисунке 1.1.

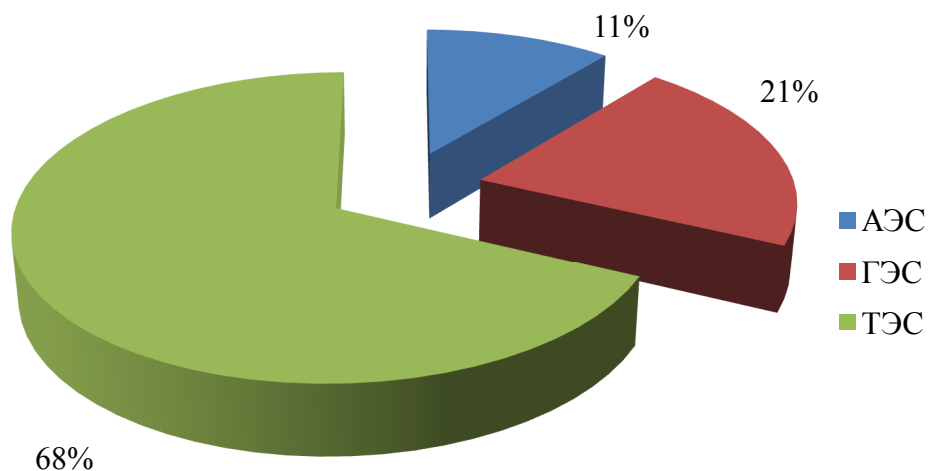


Рисунок 1.1 – Структура мощностей электростанций в РФ

По данным СО ЕЭС – системного оператора единой электроэнергетической системы России – суммарная установленная электрическая мощность тепловых

электростанций ЕЭС России на 1 января 2015 года составляла 158,4 ГВт или 68,2 % от мощности всех электростанций, на 1 января 2016 года – 160,2 ГВт или 68,1 % от мощности всех электростанций, на 1 января 2017 года – 160,2 ГВт или 67,8 % от мощности всех электростанций.

Развитие всех отраслей промышленности в России повлекло за собой увеличение потребления электроэнергии и тепла во всех отраслях экономики. В связи с этим возрастают и объемы производства требуемых ресурсов. Так в 2016 году уровень производства электрической энергии достиг 244,15 ГВт. Динамика роста производственных мощностей электростанций РФ за последние 7 лет представлена на рисунке 1.2.

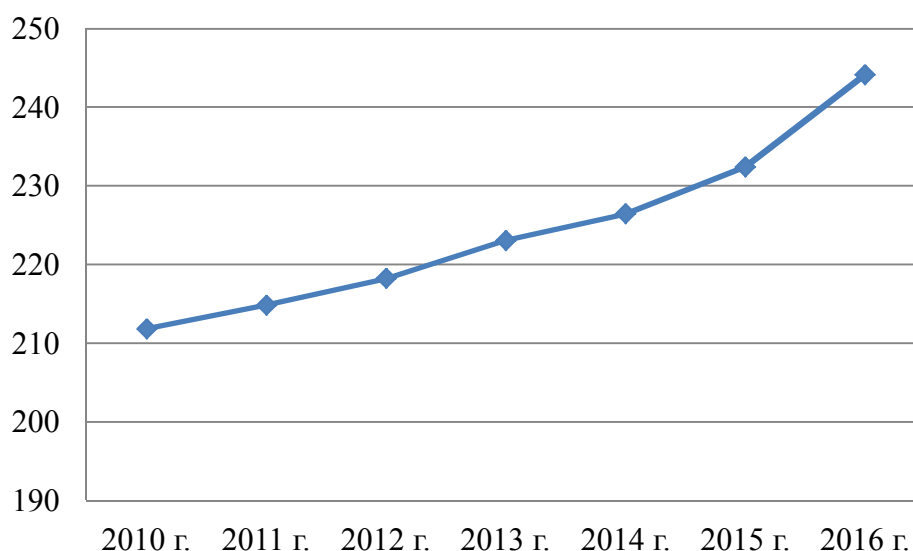


Рисунок 1.2 – Мощность электростанций РФ, ГВт

На территории Российской Федерации насчитывается более 370 действующих тепловых электростанций и тепловых электроцентралей, установленная мощность которых составляет 25 МВт и выше. Если условно разделить территорию РФ на участки, то наибольшее количество ТЭС и ТЭЦ находится на территории Урала (96 шт), меньшее – в центральном районе страны (77 шт.), и третий по количеству – территория Сибири (57 шт.).



По виду используемого топлива все существующие ТЭЦ можно разделить на три основные категории:

- газовые;
- угольные;
- мазутные.

Известно, что вид используемого топлива зависит от месторасположения ТЭЦ. На рисунке 1.3 представлено условное деление территории Российской Федерации по преобладающему виду применяемого топлива.

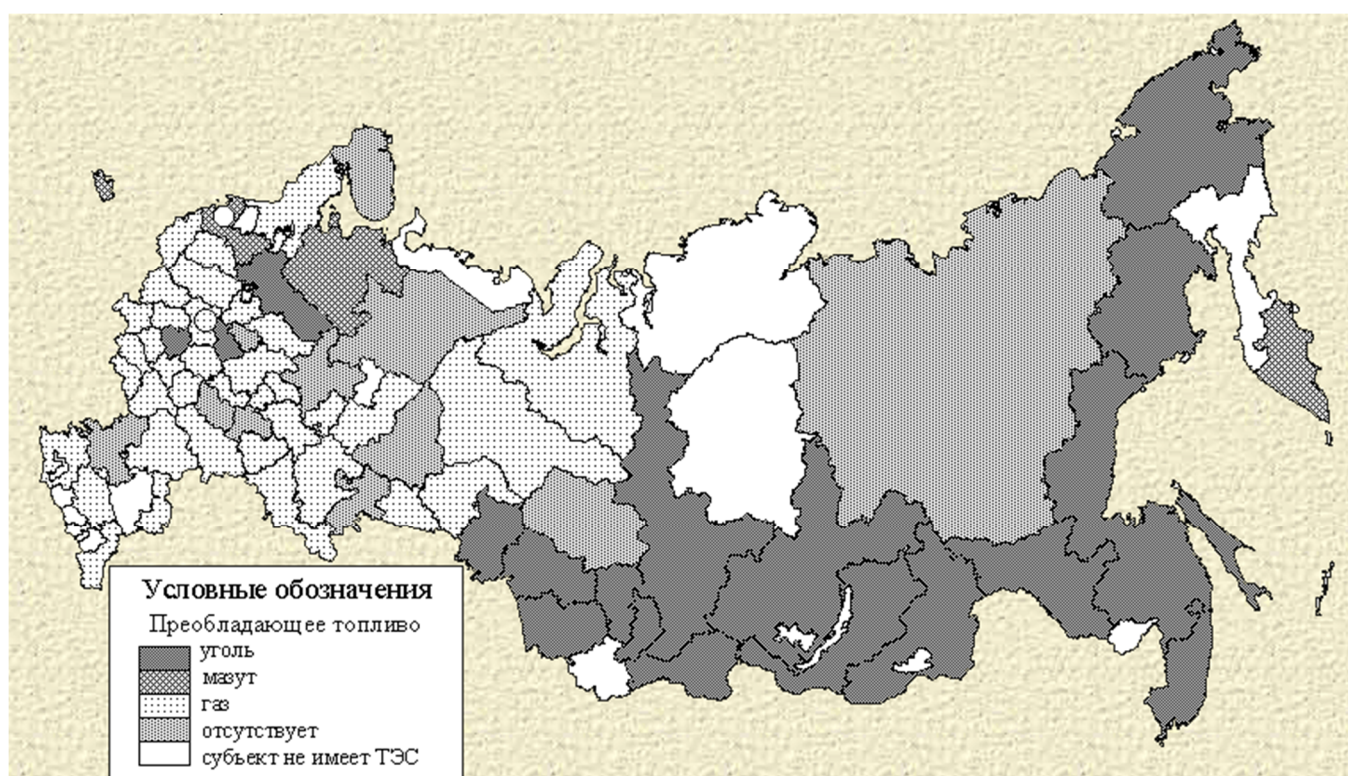


Рисунок 1.3 – Условное деление территории Российской Федерации по преобладающему виду применяемого топлива

Как видно, основным топливом для ТЭС служит уголь, так как на его долю приходится до 92% всех запасов ископаемых химических топлив (остальные 8% это в сумме: нефть, газ, торф, сланцы и пр.). Распространенность и дешевизна углей обуславливают ориентацию на них большинства крупных ТЭС.

Крупнейшими российскими ТЭЦ, работающими на твердом топливе, являются Рефтинская ГРЭС (Свердловская область), Рязанская ГРЭС (Рязанская область), Череповецкая ГРЭС (Вологодская область), Южноуральская ГРЭС (Челябинская область) и др. В таблице 1.1 приведены наиболее крупные ГРЭС России.

Таблица 1.1 – Перечень наиболее крупных ГРЭС России

№	Наименование	Регион	Основное топливо
1	Сургутская ГРЭС-2	ХМАО	газ
2	Рефтинская ГРЭС	Свердловская обл.	уголь
3	Костромская ГРЭС	Костромская область	газ
4	Сургутская ГРЭС-1	ХМАО	газ
5	Рязанская ГРЭС	Рязанская область	газ, уголь
6	Киришская ГРЭС	Ленинградская область	газ
7	Конаковская ГРЭС	Тверская область	газ
8	Ириклинская ГРЭС	Оренбургская область	газ
9	Пермская ГРЭС	Пермский край	газ
10	Заинская ГРЭС	Татарстан	газ
11	Ставропольская ГРЭС	Ставрополье	газ
12	Березовская ГРЭС	Красноярский край	уголь
13	Новочеркасская ГРЭС	Ростовская область	газ, уголь
14	Нижевартовская ГРЭС	ХМАО	газ
15	Каширская ГРЭС	Московская обл.	газ, уголь
16	Черепецкая ГРЭС	Тульская обл.	уголь
17	Южноуральская ГРЭС	Челябинская область	уголь, газ
18	Среднеуральская ГРЭС	Свердловская область	уголь, газ
19	Троицкая ГРЭС	Челябинская область	уголь
20	Невиномысская ГРЭС	Ставрополье	газ
21	Верхнетагильская ГРЭС	Свердловская область	газ, уголь
22	Шатурская ГРЭС	Московская область	газ
23	Приморская ГРЭС	Приморский край	уголь
24	Няганская ГРЭС	ХМАО	газ
25	Красноярская ГРЭС-2	Красноярский край	уголь
26	Гусиноозёрская ГРЭС	Бурятия	уголь
27	Иркутская ТЭЦ	Иркутская обл.	уголь
28	Печорская ГРЭС	Республика Коми	газ
29	Череповецкая ГРЭС	Вологодская область	газ, уголь
30	Яйвинская ГРЭС	Пермский край	газ, уголь

При сжигании твёрдого топлива на ТЭЦ образуется огромное количество минеральных отходов, представленные шлаками и золой-уноса. По своей сути данные отходы являются экологическим бедствием, т.к. золоотвалы занимают

значительные земельные площади, пригодные для использования в сельском хозяйстве.

В связи с этим разработка мероприятий по массовому использованию золошлаковых отходов ТЭЦ в настоящее время является весьма актуальной задачей.

Направления использования отходов ТЭЦ зависят от химического и минерального состава, а они в свою очередь могут видоизменяться в зависимости от месторождения сжигаемого топлива.

### 1.1 Основные характеристики золошлаковых отходов ТЭЦ

Во время сжигания порошкообразного угля на современных электростанциях в высокотемпературных топках в присутствии кислорода воздуха при температуре 800°C, как представлено на рисунке 1.4, летучие вещества и уголь сгорают, в то время как большинство таких минеральных включений в угле, как глины, кварц и шпат, расплавляются. Расплавленное вещество быстро транспортируется в низкотемпературные зоны, где оно затвердевает в виде сферических частиц. Часть минерального вещества агломерируется с образованием шлака, но большинство его улетает с потоком отходящих газов.



Рисунок 1.4 – Процесс сгорания твердого топлива при производстве электрической и тепловой энергии

					ВКР – 2069059 – 20.03.01 – 131341 – 17	Лист
Изм.	Лист	№ докум. №	Подпись	Дата		11

При удалении мелкой и легкой фракции золы, которая уносится дымовыми газами из топок и улавливается фильтрами ТЭЦ в золоборники (такая зола называется золой-уноса), получают золу сухого отбора, которая поступает с помощью пневмотранспорта либо непосредственно в транспортирующие средства, либо в силосы потребителя. Золошлаковая смесь гидроудаления, которая образовалась при очистке золоборников с помощью воды, в виде золопульпы удаляется в отвалы, имеющиеся при каждой ТЭЦ, как показано на рисунке 1.5, и составляет основную массу золо-шлаковых материалов (ЗШМ).

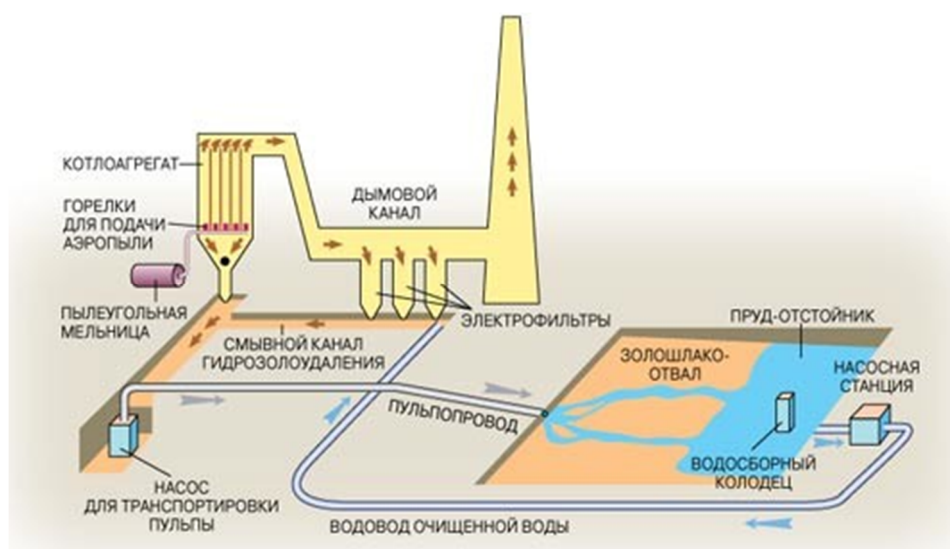


Рисунок 1.5 – Схема образования золошлаковых отходов

Выход золошлаковых отходов зависит от вида топлива и составляет:

- при сжигании бурых углей 10–15%,
- при сжигании каменных углей – 30–40%,
- при сжигании горючих сланцев – 50–80%,
- при сжигании мазута – 0,15–0,20%.

При характеристике золошлаковых отходов следует различать между собой золу-уноса и золошлаковые отходы.

Зола-уноса представляет собой тонкодисперсный порошок, как показано на рисунке 1.6, улавливаемый электрофильтрами и циклонами и направляемый в

золосборники. Характерной особенностью данного материала является наличие в нем 5-6 % несгоревшего топлива.

По виду топлива, из которого образуется зола-уноса, она может быть классифицирована на антрацитовую (сжигается антрацит, полуантрацит и тощий каменный уголь), каменноугольную (сжигается каменный уголь) и буроугольную (сжигается бурый уголь).

Размер частиц золы уноса составляет около 0,15 мм, однако внутри одной такой частицы находятся сферы с меньшим диаметром, как представлено на рисунке 1.7.

В нормативных документах и практических рекомендациях используют деление зол на два фундаментальных класса: кислые (богатые  $\text{SiO}_2$ ) и основные (богатые  $\text{CaO}$ ).

*Кремнистая (кислая) зола-уноса* – тонкодисперсная пыль, состоящая в основном из сферических частиц с пуццоланическими свойствами. Состоит в основном из реакционно-способных диоксида кремния  $\text{SiO}_2$  и оксида алюминия  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Остаток содержит оксид железа  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  и другие соединения.

Массовая доля реакционно-способного оксида кальция  $\text{CaO}$  в применяемых золах-уноса – менее 10%, а массовая доля свободного оксида кальция  $\text{CaO}_{\text{св}}$  – не более 1%. Массовая доля реакционно-способного  $\text{SiO}_2$  – не менее 25%.



Рисунок 1.6 – Внешний вид золы-уноса

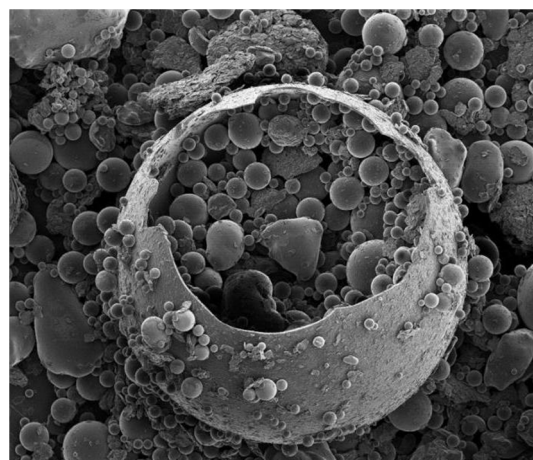


Рисунок 1.7 – Увеличенное изображение частицы золы-уноса

*Основная зола-уноса* – тонкодисперсная пыль с гидравлическими и (или) пуццоланическими свойствами. Она состоит в основном из реакционно-способных оксида кальция CaO, диоксида кремния SiO<sub>2</sub> и оксида алюминия Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Остаток содержит оксид железа Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и другие соединения. Массовая доля реакционно-способного оксида кальция CaO в применяемых золах-уноса – не менее 10%. Богатые известью зола-уноса с содержанием реакционно-способного CaO от 10% до 15% по массе содержат не менее 25% реакционно-способного SiO<sub>2</sub>.

Приблизительный химический состав зол-уноса, зависящий от месторождений сжигаемых углей, приведен в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Примерное содержание основных оксидов в золах различных ТЭС (%)

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O + K <sub>2</sub> O
37-63	9-37	4-17	1-32	0,1-5	0,05-2,5	0,5-5

*Золошлаки* – продукты комплексного термического преобразования горных пород и сжигания твердого топлива или несгоревшая минеральная часть угля. Золошлаковые отходы котельных, работающих на твердом топливе, представляют собой мелкодисперсный продукт от светло-серого до темно-серого цвета, в зависимости от количественного содержания частиц несгоревшего угля. По форме золошлаки представлены микросферами (оплавленные под воздействием высокой температуры частицы кварца) и частицами неправильной угловатой формы (остальной материал золошлаков).

Максимальная крупность зерен золошлаков 1,0-2,5 мм. Количество пылевидных фракций в заскладированных золошлаках колеблется от 15 до 95% в зависимости от удаления места отбора продукта от гребня дамбы золоотвала. По гранулометрическому составу золошлаки представлены преимущественно частицами диаметром менее 0,25 мм и содержат 35-40% пылеватых частиц. Плотность золошлаков колеблется в пределах 1,53-2,38 т/м<sup>3</sup>, насыпная плотность 0,45-1,22 т/м<sup>3</sup> (в уплотненном состоянии плотность составляет 0,5-1,37 т/м<sup>3</sup>).

По химическому составу золошлаки представлены оксидами кремния, алюминия, железа и кальция, на долю которых приходится до 95% массы материала. В таблице 1.3 представлен ориентировочный химический состав золошлаков. Состав зависит от сжигаемого твердого топлива.

Таблица 1.3 – Химический состав золошлаков

Наименование компонента	Содержание, %
SiO <sub>2</sub>	58
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	25
Fe <sub>x</sub> O <sub>y</sub>	14,6
CaO	1,9
MgO	0,5

С биологической точки зрения золошлаки – это «стерильные» материалы, лишенные органических веществ, имеющие лишь следы азота; количество подвижных форм фосфора и калия в них недостаточно для питания растений, поэтому самозаращение золошлакоотвалов процесс очень медленный: покрытие их поверхности растениями до прекращения пыления длится от 10 до 15 лет. Для предотвращения негативного воздействия на природу и человека требуется рекультивация отработанных золошлакоотвалов.

Золошлаковые отходы образуются в результате термохимических реакций неорганической части топлива. Удаляются из котлоагрегатов специальными шлакоудаляющими устройствами, охлаждаются и обычно гидравлически транспортируются в золошлакоотвал. Состав и свойства шлака, так же как и золы, зависят от месторождения и марки угля, условий его сжигания и устанавливается экспериментально или из справочной литературы.

## 1.2 Минеральный состав золошлаковых отходов

Основная зола-уноса – тонкодисперсная пыль с гидравлическими и (или) пуццоланическими свойствами. Она состоит в основном из реакционно-способных

оксида кальция  $\text{CaO}$ , диоксида кремния  $\text{SiO}_2$  и оксида алюминия  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Остаток содержит оксид железа  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  и другие соединения. Массовая доля реакционно-способного оксида кальция  $\text{CaO}$  в применяемых золах-уноса – не менее 10%. Богатые известью зола-уноса с содержанием реакционно-способного  $\text{CaO}$  от 10% до 15% по массе содержат не менее 25% реакционно-способного  $\text{SiO}_2$ .

В зависимости от вида топлива и условий его сжигания в ЗШМ могут содержаться несгоревшие органические частицы топлива. Потеря массы при прокаливании должна быть не выше 3-25% в зависимости от вида исходного топлива.

Минерально-фазовый состав включает неорганическую и органическую составляющие. Неорганическая фаза, в свою очередь, состоит из составляющих:

- аморфной, представленной стеклом и аморфизированным глинистым веществом;
- кристаллической, включающей слабоизмененные зерна минералов исходного топлива (кварц, полевые шпаты и другие термически устойчивые минералы) и кристаллические новообразования, возникшие при сжигании топлива (муллит, гематит, алюмосиликат кальция и др.).

Стекло в золах может быть силикатного, алюмосиликатного и железисто-алюмосиликатного состава. Аморфизированные глинистые вещества – метакаолинит и слабоспекшееся аморфизированное глинистое вещество, а также спекшиеся и частично остеклованные частицы – определяют химическую активность золы, форму и характер поверхности зольных частиц. Частицы большинства зол имеют сферическую форму и гладкую остеклованную фактуру поверхности. Однородность частиц различна. Более однородны частицы, состоящие полностью из стекла. Имеются частицы, внутренняя часть которых не расплавилась и слагается из мельчайших минеральных и коксовых зерен. Встречаются и полые шарики в результате вспучивания стекла в момент образования частицы. Размер частиц – от нескольких микрон до 50-60 микрон. Могут также образовываться стекловидные частицы неправильной формы. У

					<i>ВКР – 2069059 – 20.03.01 – 131341 – 17</i>	<i>Лист</i>
						16
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум. №</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		



некоторых частиц поверхность губчатая из-за различного количества пузырьков. Они также могут содержать во внутренней части большое количество кристаллических веществ.

При недостаточно высокой температуре сгорания топлива и высокой тугоплавкости его зольной части образуются золы, состоящие из аморфизированного глинистого вещества, представленного пористыми частицами неправильной формы. Эти частицы имеют высокое водопоглощение.

В крупных фракциях золы содержатся агрегаты, образовавшиеся в результате спекания множества мелких зерен. Они неоднородны и имеют низкую прочность.

Шлаки по сравнению с золами содержат меньше органических остатков и аморфизированного глинистого вещества, но больше стеклофазы (до 95%). Обусловлено это тем, что шлаки большее время находятся в высокотемпературной зоне топки. Кристаллическая фаза в них представлена кварцем, муллитом, магнетитом и т.д.

Важнейшими физическими свойствами ЗШМ являются зерновой состав, насыпная и истинная плотности, водонасыщение и способность к морозному пучению. Эти свойства в обязательном порядке необходимо исследовать и учитывать при выборе возможного направления утилизации.

Зерновой состав определяется видом топлива, его подготовкой к сжиганию, режимом сжигания, способом улавливания золы, местом отбора.

Топливные золы и шлаки, как правило, не способны непосредственно взаимодействовать с водой. Это характерно лишь для зол-уноса, содержащих свободные оксиды кальция и магния. Аморфные компоненты зол и шлаков обладают пуццолановой активностью, т.е. способностью связывать при обычных температурах гидроксид кальция, образуя нерастворимые соединения. При их накоплении появляется возможность гидравлического твердения вяжущих из смесей извести или портландцемента с золой или шлаком.

Пуццолановой активностью в составе зол и шлаков обладают продукты

					<i>ВКР – 2069059 – 20.03.01 – 131341 – 17</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.№</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		17

обжига глин: аморфизированное глинистое вещество типа метакаолинита, аморфные  $\text{SiO}_2$  и  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и алюмосиликатное стекло. Реакционная способность по отношению к гидроксиду кальция у них различна и зависит от температурных превращений каолинистых глин при сжигании топлива. Обладающий большой удельной поверхностью метакаолинит  $\text{Al}_2\text{O}_3 \times 2\text{SiO}_2$  активно реагирует с  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  при обычных температурах с образованием гидросиликатов кальция и гидрогеленита.

Активность образующихся при более высоких температурах аморфных  $\text{SiO}_2$  и  $\text{Al}_2\text{O}_3$  заметно меньше, что объясняется резким снижением удельной поверхности вследствие спекания и кристаллизации новообразований – муллита, кристобаллита.

Высокотемпературное спекание и плавление глинистых минералов резко снижают их удельную поверхность и соответственно активность. Вследствие этого стеклофаза зол и шлаков малоактивна при обычных температурах.

Повышение температуры сжигания топлива сверх допустимого предела приводит к падению активности большинства топливных зол.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что количество, свойства, направления и возможность утилизации золошлаковых отходов предприятий теплоэнергетики напрямую зависит от вида топлива, используемого при получении тепловой и электрической энергии, что в свою очередь обуславливается расположением месторождения твердого топлива.

Уровень утилизации этих отходов в России составляет около 10%; в ряде развитых стран – около 50%; во Франции и в Германии – 70%, а в Финляндии – около 90% их текущего выхода. В этих странах применяются в основном сухие золы, и проводится государственная политика, стимулирующая их использование. Так, в Польше резко повышена цена на землю под золоотвалы, поэтому ТЭЦ доплачивают потребителям с целью снизить собственные затраты на их складирование. В Китае золы достаются потребителям бесплатно, а в Болгарии сама зола бесплатна. В Великобритании действуют пять региональных центров по сбыту зол.

					<i>ВКР – 2069059 – 20.03.01 – 131341 – 17</i>	<i>Лист</i>
						18
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум. №</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

## 2 ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ УТИЛИЗАЦИИ ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ ТЭЦ

Сегодня в России действует 179 ТЭС на угольном топливе, что составляет около 30% всех мощностей ТЭС. Золошлаковые отвалы на многих электростанциях переполнены, например, на Березовской ГРЭС-1, Новочеркасской, Рефтинской, Троицкой, Южно-Кузбасской ГРЭС, Иркутской ТЭЦ-9, при этом расширение отвалов невозможно либо требует значительных затрат. Если ничего не предпринимать, эти электростанции нужно будет останавливать и выводить из энергосистемы в ближайшие годы. Не будем также забывать о вреде, который наносят золошлакоотвалы экологии.

Ежегодно в стране образуется 30 млн. тонн золошлаковых отходов (ЗШО) от сжигания угля ТЭС, столько же, сколько и бытового мусора, и только около 10% этого объема идет на переработку. Все остальное складывается рядом с городами или в городской черте.

Конечный потребитель обычно не придает большого значения тонкостям технологии сжигания угля и утилизации отходов этого процесса, однако, если не жить в непосредственной близости к ТЭЦ, можно даже и не знать какое количество ЗШО складывается на открытых площадках. Плантации и терриконы золошлаковых отходов в городской черте растут каждый день, и зачастую они насыщены тяжелыми металлами и токсинами.

В России под ЗШО ТЭС отчуждено около 20 тыс. км<sup>2</sup> земельных участков (по площади сопоставимо с территориями Израиля или Словении), на которых хранится 1,3-1,5 млрд. тонн отходов сжигания угля. Дополнительно к этому ежегодно электростанции производят до 30 млн. тонн отходов. Большинство полигонов переполнено, многие ТЭС, согласно источникам, по существующим нормам находятся под угрозой закрытия.

Между тем золошлаковые отходы угольных ТЭС являются качественным и дешевым минеральным сырьем. Они могут быть широко использованы в

					<i>ВКР – 2069059 – 20.03.01 – 131341 – 17</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.№</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		19

строительстве и производстве строительных материалов. Например, при производстве цемента, бетонов, растворов, строительных блоков, жилищном, дорожном и ландшафтном строительстве. При этом использование ЗШО снижает себестоимость производства основных строительных материалов (таких как цемент, сухие строительные смеси, бетон, строительные растворы, стеновые бетонные и пенобетонные блоки, кирпич, тротуарная плитка, элементы благоустройства) самое меньшее на 15-20%.

Применение ЗШО в земляном полотне автомобильных дорог способствует снижению себестоимости работ и изменению качества местных грунтов с неблагоприятными свойствами. Зола и золошлаковые смеси обладают рядом преимуществ по сравнению с грунтами, аналогами которых они являются. Они могут быть использованы самостоятельно для сооружения земляного полотна или для осушения конструктивных слоев из грунтов повышенной влажности. Кроме того, золошлаковые смеси рекомендуется использовать в земляном полотне вместо песков или песчано-гравийных смесей.

Ведущее место среди стран Западной Европы в решении проблемы использования топливных отходов ТЭС в дорожном строительстве занимает *Франция*. 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. Зола укладывают слоями по 40-50 см с уплотнением, откосы укрепляют дерном.

					ВКР – 2069059 – 20.03.01 – 131341 – 17	Лист
						20
Изм.	Лист	№ докум. №	Подпись	Дата		

В нижних слоях оснований широко применяют смеси зол уноса с известью и гипсом, в верхних – дробленую гравийно-песчаную смесь, укрепленную зольно-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/м<sup>2</sup> катионной битумной эмульсии и распределяют 0,5-6 л/м<sup>2</sup> песка или щебня фракции 10-20 мм. Укладка асфальтобетонного покрытия непосредственно на гравийно-песчаную смесь, содержащую известь и золу, не допускается.

Активные золы для укрепления песков, гравийно-песчаных и гравийно-щебеночных смесей применяют в качестве самостоятельного вяжущего в количестве 5-15% (массы смеси).

В укатываемом бетоне для обеспечения наибольшей его плотности используют золу уноса, отходы горнодобывающей промышленности, известняки.

В *Англии* зола уноса от сжигания каменного угля была применена в начале 60-х годов 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 электростанций 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

					ВКР – 2069059 – 20.03.01 – 131341 – 17	Лист
Изм.	Лист	№ докум. №	Подпись	Дата		21

172 800 м<sup>3</sup> золошлаковой смеси. Рекомендовано не сооружать насыпи из мелкого и влажного материала.

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

Несколько насыпей из золошлаковых смесей построено в *Венгрии*: одна высотой 2-3 м, объемом 4 000 м<sup>3</sup>, вторая – соответственно 1,7 м и 22 744 м<sup>3</sup>, третья – 1,5 м и 2 700 м<sup>3</sup>. Чрезвычайно неблагоприятная погода (за 8 дней выпало 400 мм осадков в виде дождя) не помешала строительству благодаря хорошей дренирующей способности смесей. Кроме того, в 1986 г. с применением золы было уложено около 2 млн. м<sup>2</sup> дорожных покрытий.

ЗШО могут использоваться в сельском хозяйстве, при извлечении природных ресурсов, в качестве изолирующего материала на полигонах твердых бытовых отходов, для тушения скрытых очагов площадных пожаров и заполнения горнорудных выработок при рекультивации отработанных карьеров.

В России всего 3 млн. тонн золы, не более 10% от общего количества ежегодно образующихся отходов, используются для дальнейшей переработки в стройиндустрии, дорожном строительстве и других отраслях промышленности. В развитых странах утилизируют 70-95% от выхода ЗШО, а в Нидерландах и Дании – 100%.

В последние годы скандинавские компании импортируют золошлаки и сходные промышленные отходы из Польши, Болгарии и других стран по отрицательной стоимости. В абсолютных цифрах объема переработки (до 30 млн. тонн ежегодно) в первых строчках рейтинга находится, как ни странно, *Индия*.

Однако в этой стране приоритетом является не поддержание экологии на требуемом уровне, здесь изначально нашли экономический стимул: еще в начале 90-х индийские инженеры придумали свою технологию получения кирпича из угольной золы без использования природной глины. Итог – революция

					ВКР – 2069059 – 20.03.01 – 131341 – 17	Лист
Изм.	Лист	№ докум. №	Подпись	Дата		22

строительной индустрии, кратное увеличение темпов застройки и поток зарубежных инвестиций в страну. Кроме того, в Индии зола уноса применяется для укрепления грунтов насыпи и для устройства покрытия. Имеются даже проекты использования золы для строительства этажных зданий. Нецелесообразным оказалась засыпка золой мокрых низин с последующим продуктивным использованием земель.

В прогрессивных *Соединенных Штатах Америки* выбросы золошлаковых отходов до 2014 года государством никак не регулировались. Впервые о проблеме здесь заговорили в 2008 году, когда 120 гектаров сельхозугодий в Теннесси были заражены ЗШО. В местные реки сполз почти миллиард тонн отходов, сделав целый район непригодным для проживания.

Однако сейчас в США идет активное изучение вопроса утилизации золошлаковых отходов. Проведенные исследования 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 такого материала происходит на протяжении всего строительного периода.

Кроме того в США осуществлено укрепление золой уноса грунта под основание дорожной одежды на глубину 15 см.

В Скандинавских странах уровень утилизации золы ТЭЦ довели до 100%.

В *Финляндии* каменноугольная зола уноса эффективно используется в асфальтобетонных смесях в качестве добавки к известковым наполнителям. С ее помощью были укреплены болотистые грунты на одном из участков дороги.

В 2010 году страны Тихоокеанского региона (Китай, Индонезия, Австралия) создали свою Азиатскую ассоциацию угольной золы (Asian Coal Ash Association).

					ВКР – 2069059 – 20.03.01 – 131341 – 17	Лист
Изм.	Лист	№ докум.№	Подпись	Дата		23

Здесь регулярно публикуют отчеты и решения по переработке золошлаковых отходов.

Существует 5 основных направлений переработки ЗШМ (в порядке убывания популярности):

- строительные материалы (цемент, кирпич, блоки);
- дорожное строительство (наполнители для дорожного полотна);
- строительные проекты (стеновой материал);
- производство различных наполнителей;
- сельское хозяйство (стабилизаторы почвы).

Направления переработки ЗШО представлены на рисунке 2.1.

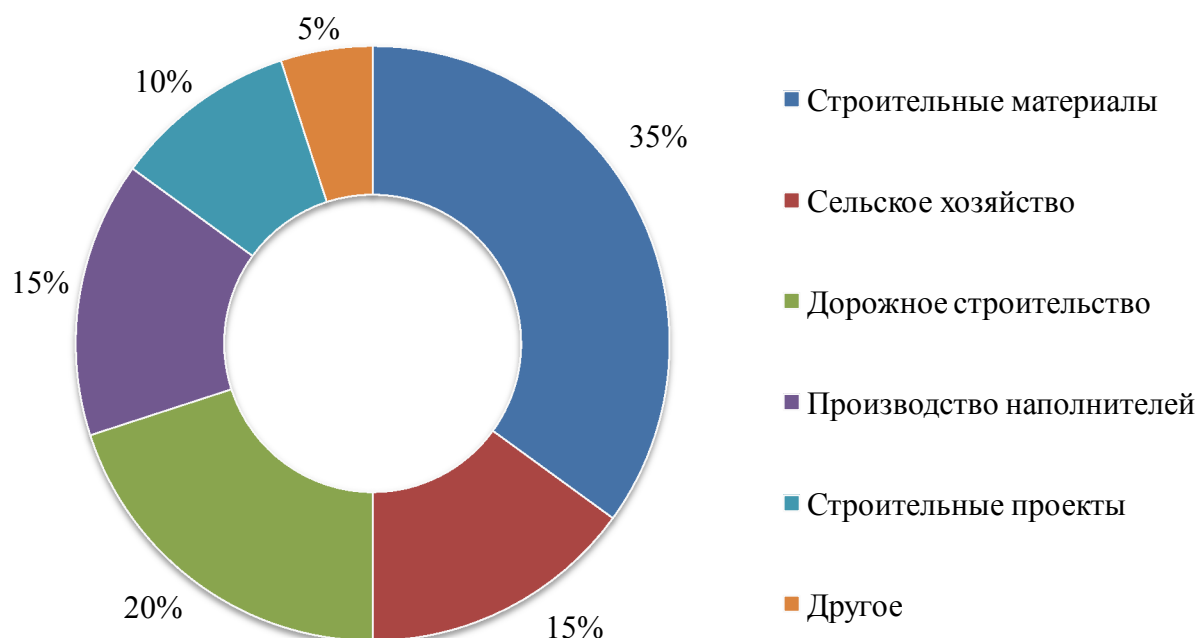


Рисунок 2.1 – Основные направления использования ЗШО зарубежом

Зола и шлаки – это минеральная несгорающая часть угля. В ЗШМ содержится добрая часть периодической таблицы: оксид кремния, алюминия, железа, редкоземельные металлы и так далее. Одно из перспективных направлений переработки золошлаковых отходов – извлечение из них полезных металлов. Зола богата оксидом алюминия, ее можно рассматривать как потенциальный заменитель бокситов.



Впервые алюминий научились извлекать из отходов горения угля в 1950-е годы в *Польше*. В «холодную войну» действовало эмбарго на поставку алюминиевой руды в страны Восточной Европы. Первый завод в Польше был открыт в 1953 году, он производил 10 000 тонн алюминия и 100 000 тонн цемента из ЗШМ. Второй был построен в 1970-м и выдавал уже и того и другого в 10 раз больше.

Также в Польше проведены исследования и опытные работы по укреплению золы уноса как самостоятельным вяжущим не только песков, но и глинистых грунтов. 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 сут.

Одно из перспективных направлений переработки золошлаковых отходов— извлечение из них полезных металлов.

Сегодня этот способ получения алюминия из золы активно используют в *Китае*. Свою технологию китайцы начали разрабатывать в 2004 году. В 2012 году был запущен масштабный проект в Тогто (Tuoketuo), где располагается крупнейшая электростанция мира. По исходным данным на производство завод должен ежегодно производить 240 млн. тонн оксида алюминия (сырья для получения алюминия) и 200 млн. тонн силиката кальция. В третьей фазе проекта эти цифры планируется увеличить вдвое. Все это с большим запасом покрывает внутренние потребности Китая в металле.

					<i>ВКР – 2069059 – 20.03.01 – 131341 – 17</i>	<i>Лист</i>
						25
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.№</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

Кроме того, в Китае практикуется использование ЗШО при построении автомобильных дорог. Так, при сооружении автомобильной дороги в качестве несущего слоя использовали смесь извести с каменноугольной золой в оптимальном соотношении компонентов: известь: зола = 1:4. При содержании извести 12% прочность образцов на 56-е сутки составила 33,2 кгс/см<sup>2</sup>. На скоростной магистрали Nanjing-Yancheng в качестве основания дорожных покрытий применяли грунт, укрепленный комплексным вяжущим – цементом, известью и золой уноса.

В Японии в используемый для дорожного строительства смешанный шлак сталеплавильного производства добавляют 5% (массы смеси) золы уноса.

В Италии зола от сжигания угля применяется как естественный заполнитель и вяжущее в конструкциях дорожных одежд.

В Бельгии золы-уноса используются как активная добавка в пуццолановые бетоны и в качестве компонента вяжущего для укрепления песка.

ЗШМ также могут быть источником получения более дешевого урана. По крайней мере, этими технологиями активно занималась в Канаде компания Sparton Resources, экспериментируя на монгольском и китайском угле.

Таким образом, области использования золошлаковых отходов обширны, за рубежом ведется активная их утилизация в разных сферах промышленности, причем в некоторых странах уровень утилизации доведен до 100%, но в России они еще не нашли должного применения. Как ранее было сказано, в РФ используется не более 10% образующихся золошлаковых отходов, а остальные в свою очередь складываются на открытых полигонах.

					ВКР – 2069059 – 20.03.01 – 131341 – 17	Лист
Изм.	Лист	№ докум.№	Подпись	Дата		26

### 3 ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ УТИЛИЗАЦИИ ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ НА ТЕРРИТОРИИ РФ

Согласно многочисленным исследованиям российских и зарубежных ученых золошлаковые отходы (ЗШО) – это весьма ценный отход производства. Хотя назвать их отходами, вероятно, будет не совсем правильно. Скорее – это побочный продукт, который в обязательном порядке может и должен быть переработан и использован для получения другой, не менее важной для жизнедеятельности человека продукции, чем электрическая энергия.

Золошлаковые отходы можно использовать в производстве различных бетонов, строительных растворов, керамики, теплогидроизоляционных материалов, дорожном строительстве, где они могут быть использованы взамен песка и цемента. Бóльшее применение находит сухая зола-уноса с электрофильтров. Но использование таких отходов в хозяйственных целях пока ограничено.

В плане воздействия золошлаковых отходов на окружающую среду необходимо отметить, что их отвалы постоянно пылят, подвижные формы элементов активно вымываются осадками, загрязняя воздух, подземные и поверхностные воды и почвы.

В Приложении 1 приведены данные по уровням загрязнения атмосферного воздуха действующих энергетических установок, использующих уголь, и социально-экологическая характеристика мест их расположения. Уровень загрязнения характеризуется не только выбросами различных пылевидных и газообразных веществ, прошедших через очистные установки, но и воздействием многотоннажных отвалов золошлаковых материалов, расположенных на территории предприятий.

Использование золошлаковых отходов предприятий теплоэнергетики – одна из наиболее актуальных проблем. Это возможно путем удаления или извлечения из золы вредных и ценных компонентов и использование оставшейся массы золы в

					ВКР – 2069059 – 20.03.01 – 131341 – 17	Лист
Изм.	Лист	№ докум. №	Подпись	Дата		27

строительной индустрии и производстве удобрений.

В таблице 3.1 приведен успешный опыт применения золо-шлаковых отходов в некоторых регионах России.

Таблица 3.1 – Успешный опыт применения золо-шлаковых отходов в России

Регион	Опыт применения
1	2
Иркутская область	<p>1 миллион тонн по итогам 2010 года составила реализация золошлаковых отходов с золоотвалов станций АО «Иркутскэнерго» его дочерним предприятием ЗАО «Иркутскзолопродукт» – это 58 % годового объема всех золошлаковых отходов энергокомпании.</p> <p>«Иркутскзолопродукт» утилизирует золошлаковые отходы в объеме годового выхода продуктов сжигания угля с золоотвалов ТЭЦ-9, ТЭЦ-6, Н-ЗТЭЦ, возвращая ценный вторичный ресурс в экономику области в качестве доступного сырья.</p> <p>Кроме того, ЗАО «Иркутскзолопродукт» планирует выпустить первую партию безобжигового гравия на основе золошлаковых отходов.</p>
Челябинская область (Южный Урал)	<p>На Южном Урале назревает проблема дефицита гранитного щебня, который применяется в дорожном строительстве. Цена на природный материал в области в среднем завышена вдвое по сравнению с другими российскими регионами. С каждым годом приходится разрабатывать новые карьеры, что наносит вред окружающей среде.</p> <p>Министерство промышленности и природных ресурсов Челябинской области разработало «Программу предполагающую создание режима наибольшего благоприятствования тем предприятиям, которые при строительстве дорог будут вовлекать максимально возможное по технологии количество техногенных отходов».</p> <p>Южно-Уральские дорожники создали ряд экспериментальных площадок, где бы технологии использования отходов опробовались на практике, для чего выделяли для исследований второстепенные участки дорог.</p>
Новосибирская область	<p>По заказу ООО ПСК «Каинский кирпичный завод» в 2007 году ОАО «СибНИИСтромпроект» (г. Новокузнецк) был разработан «Технологический Регламент на производство золосиликатного кирпича на основе зол и золошлаков смесей из отвалов Барабинской ТЭЦ», а затем и сам проект «Реконструкция базы под завод по строительству золосиликатного кирпича мощностью 30 млн. шт. в год».</p> <p>Данный проект в 2009г. прошел Государственную экспертизу и получил положительное заключение.</p> <p>Вопрос о поставщиках оборудования для технологической линии завода был решен в пользу российских и китайских производителей.</p>
Автодорога Алтай-Кузбасс	<p>На автомобильной дороге Алтай-Кузбасс на отсыпке слоев земляного полотна использовано 65 тыс. м<sup>3</sup> золошлаковых материалов.</p> <p>Алтайавтодор в 1999-2002 гг. применял золы уноса Барнаульской ТЭЦ в конструктивных слоях дорожных одежд на автомобильных дорогах III - IV категорий.</p>

1	2
Сибирский Федеральный Округ	<p>Между Межрегиональной Ассоциацией «Сибирское Соглашение» и Департаментом по науке и технологии Правительства Индии подписан Протокол намерений по утилизации и безопасному использованию золы-унос.</p> <p>На встрече Президента России и Премьер-министра Индии в Кремле подписан ряд двусторонних документов. Предполагается, что совокупный экономический эффект от переработки золошлаков и эффективного использования земельных угодий по Сибирскому федеральному округу составит 190 миллионов долларов.</p>
Омская область	<p>В начале 2008 года введена в эксплуатацию первая очередь второй установки отбора сухой золы на ТЭЦ-4, производительностью 210 тысяч тонн в год, таким образом, отбор сухой золы может производиться сегодня в объеме 270 тысяч тонн в год, что закрывает потребность в ЗШМ двух заводов ЗАО «Основа Холдинг», которые производят строительные материалы с использованием ЗШМ – газобетонные блоки торговой марки «Вармит» (120 тысяч кубометров в год) и известково-золенный кирпич «СибЭК» (79 млн штук условного кирпича в год).</p> <p>В 2011 году инвестор планирует ввести в эксплуатацию участок сухих строительных смесей с переработкой 30 тысяч тонн сухой золы в год.</p>
Омская область	<p>Ученые из СибАДИ при поддержке ТГК-11 уже подготовили омским строителям один нормативный документ (стандарт организации «Золошлаки омских ТЭЦ для дорожного строительства. Технические условия») и работают над вторым («Золошлаки омских ТЭЦ для вертикально-планировочных насыпей. Технические условия»). Эти стандарты отвечают требованиям всех действующих отраслевых нормативно-методических документов и дополняют их в части использования ЗШО Омских ТЭЦ при строительстве земляного полотна автомобильных дорог, оснований дорожных одежд, при использовании в качестве компонента для асфальто-бетонных смесей, а также при выполнении вертикально-планировочных насыпей.</p> <p>В настоящее время ведется работа по утверждению первого из этих стандартов в Федеральном дорожном агентстве.</p> <p>В 2010 году были реализованы два проекта, в котором ЗШМ использовались масштабно. Был отсыпан участок двухметровой насыпи длиной 600 метров под строительство коллектора осветленной воды на ТЭЦ-2, куда ушло 36 тысяч тонн золошлаков. Так же отработана и технология исправления рельефных неудобий на ТЭЦ-5 методом гидронамыва, где использовалось порядка 650 тыс. тонн золошлаков. В 2011 году энергетики планируют продолжать работы на ТЭЦ-5 и использовать для вертикальной планировки территории еще порядка 600 тыс. тонн ЗШМ.</p>
Челябинская область	<p>В Челябинске на заводе «АФИНА» организовано производство силикатного кирпича, для изготовления которого в качестве основного сырья используется зола Челябинской ТЭЦ-2 (до 80 % объема материала кирпича). Стоимость полнотелого кирпича 1,5 руб./шт.</p> <p>Также ведутся работы по освоению нового вида продукции на основе ЗШО - сверхтеплого кирпича ТЕРМОЛЮКС. Это принципиально новый вид продукции. Создание данного вида продукции возможно только при условии использования очень прочных и одновременно легких материалов. Теплоизоляционные свойства по сравнению с обычным силикатным кирпичом улучшаются более чем в 2 раза. Стоимость его 3,0... 3,3 руб./шт.</p>



1	2
Свердловская область	15 сентября 2004 г. в г. Березовский состоялся пуск уникального производства ячеистых бетонов на оборудовании компании "WEHRHANN" (Германия). Отличительной особенностью производства на данном заводе является то, что в качестве кремнеземистого компонента используется высокодисперсная зола-унос Рефтинской ГРЭС - продукт сжигания экибастусского угля. Ежегодно два завода перерабатывают сто тридцать тысяч тонн золы.

В общем виде преимущества от использования золошлаковых отходов как вторичного ресурса представлено на рисунке 3.1.

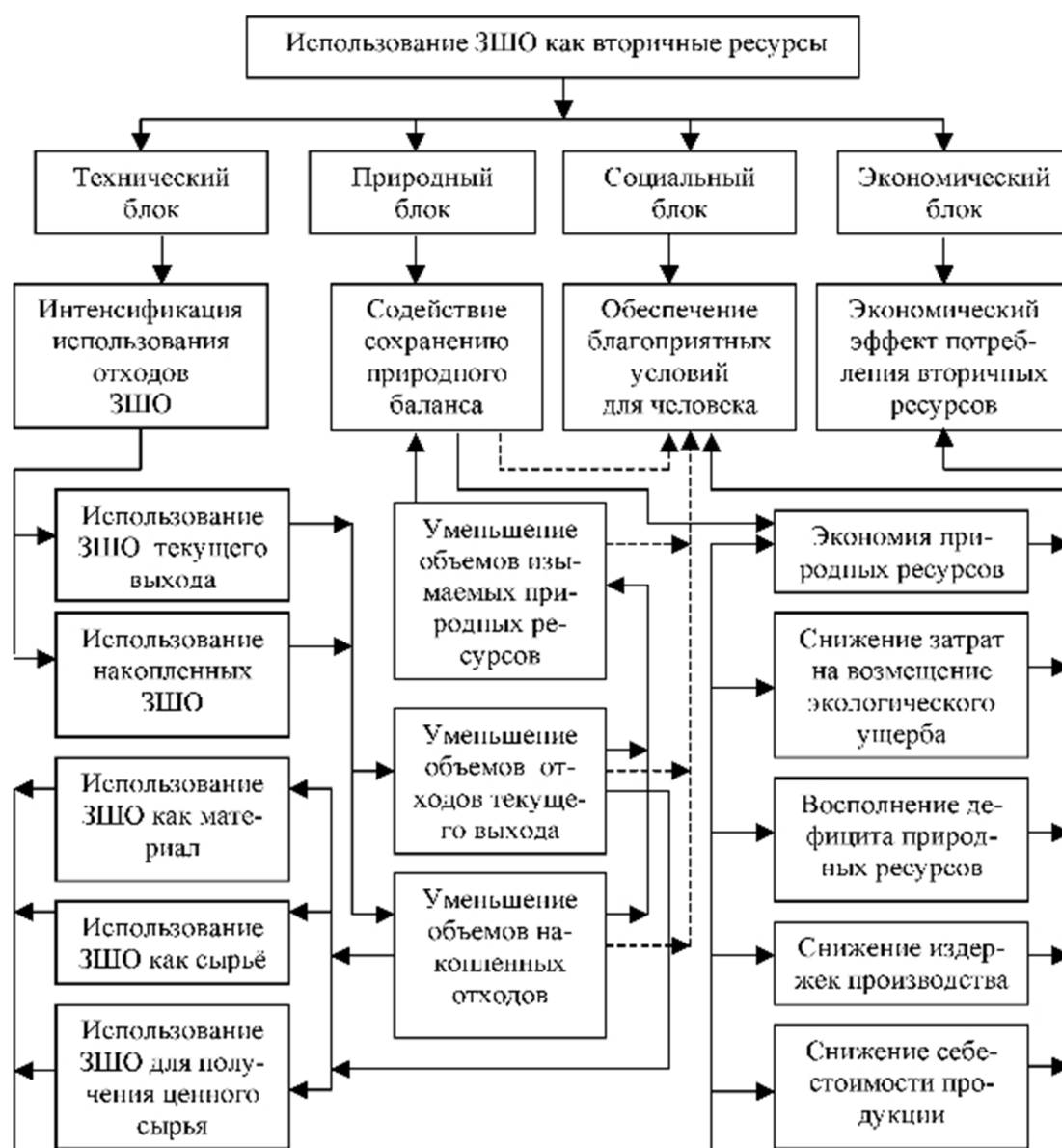


Рисунок 3.1 – Преимущества использования ЗШО при вовлечении их в хозяйственный оборот

### 3.1 Производство строительных материалов

Существует несколько вариантов утилизации ЗШО при производстве строительных материалов. Рассмотрим наиболее распространенные.

*Замена песка в тяжелых бетонах и частичная замена цемента золошлаковыми отходами.* По расчетам научно-исследовательских организаций, производство бетонов и растворов может в перспективе потреблять в год около 30 млн. т золы и золошлаков, а также весь выход шлаков ТЭС. Разработано более ста технологий изготовления различных бетонов с использованием золы и шлаков.

При изготовлении тяжелого бетона золошлаковая смесь может заменить песок частично или полностью. Особенно выгодно вводить золошлаковую смесь вместо мелкозернистого песка, требующего повышенного расхода цемента.

Бетон, в котором золошлаковая смесь сочетается со щебнем, по прочности не уступает бетону на высококачественных заполнителях. Золошлаковая смесь или шлак, применяемые в сочетании с обычными заполнителями, улучшают зерновой состав и удобоукладываемость бетонной смеси при экономии дорогостоящих заполнителей.

Очень важно, что в данном случае возможно достичь до 25% экономии цемента.

*Применение ЗШО при производстве легких бетонов.* Одним из самых распространенных видов легкого бетона на пористых заполнителях является керамзитобетон, в котором в качестве мелкого заполнителя используется кварцевый песок. Применение золы ТЭС взамен кварцевого песка позволяет снизить среднюю плотность бетона на 20% и обеспечить необходимые теплозащитные свойства наружных стен.

Очень перспективное направление это *мелкозернистый бетон на шлакопесчаном заполнителе*. Он готовится из шлака раздельного гидроудаления и природного кварцевого песка. Расход цемента в таком бетоне на 20-25% ниже, чем

					ВКР – 2069059 – 20.03.01 – 131341 – 17	Лист
Изм.	Лист	№ докум. №	Подпись	Дата		32



в обычном мелкозернистом бетоне на двух фракционном кварцевом песке. Такой бетон эффективен при изготовлении густоармированных и тонкостенных конструкций. Золопесчаные бетоны получают путем введения в тощие цементно-песчаные смеси ЗШО ТЭС. Расход цемента в таких бетонах классов В15 и В25 практически не превышает норм для обычного тяжелого бетона с крупным заполнителем, в то время как мелкозернистые цементно-песчаные бетоны характеризуются повышенным на 20-40% расходом цемента по сравнению с тяжелым бетоном.

Зола в песчаном бетоне выполняет роль микрозаполнителя и пуццолановой добавки. Она заполняет пустоты между песчинками, увеличивает содержание теста вяжущего (цементно-зольного теста) и объемную концентрацию твердой фазы в бетонной смеси. Золопесчаные бетоны имеют мелкозернистую структуру с высокой однородностью пор, что повышает их морозостойкость (более 150 циклов) и водонепроницаемость (более 0,8 МПа).

*Золы ТЭС для производства ячеистых бетонов* считается одним из самых перспективных направлений. Так как основной составляющей золы является стекловидное вещество, а не кристаллический кварц, как в песке, то зола значительно более активна и ее применение в качестве кремнеземистого компонента эффективнее.

Вследствие того что частицы золы отличаются развитой внутренней пористостью, ячеистые золобетоны при прочих равных условиях характеризуются меньшей плотностью по сравнению с подобными бетонами на песке. К золам ТЭС, применяемым при изготовлении ячеистых бетонов, предъявляют уже более высокие требования: содержание стекловидных и оплавленных частиц не должно быть менее 50%; содержание несгоревшего топлива для зол от сжигания каменных углей – не более 5%, для зол от сжигания бурых углей – не более 3%; удельная поверхность золы для каменноугольных зол допускается не более

					ВКР – 2069059 – 20.03.01 – 131341 – 17	Лист
						33
Изм.	Лист	№ докум. №	Подпись	Дата		

5000 см<sup>2</sup>/г, для буроугольных – не менее 4000 см<sup>2</sup>/г; содержание SO<sub>3</sub> не должно превышать 3%.

Также в России имеется опыт *изготовления кирпича* с использованием золошлаковых отходов. Как утверждает компания ООО «КБ ТИТАН», их новая технология TITAN HYPERPRESS позволит не только утилизировать многотоннажные золошлаковые отходы, но и изготавливать из них высокопрочный кирпич, который можно увидеть на рисунке 3.2.



Рисунок 3.2 – Кирпичи, изготовленные по технологии TITAN HYPERPRESS

Показано, что с помощью технологии гиперпрессования TITAN HYPERPRESS можно перерабатывать огромное количество видов сырья и, в том числе, золошлаковые отходы ТЭС и ТЭЦ.

### 3.2 Сельское хозяйство

Состав шлаков и золы определяется составом минеральной части исходного топлива и способом его сжигания. При этом ЗШО являются своего рода концентраторами элементов, содержащихся в топливе.

					ВКР – 2069059 – 20.03.01 – 131341 – 17	Лист
Изм.	Лист	№ докум.№	Подпись	Дата		34

Академик А. П. Виноградов подчеркивал, что нет вредных или полезных элементов, а есть необходимые для роста и угнетающие рост растений концентрации элементов. Чтобы золошлаки были микроминеральным удобрением, а не источником загрязнения, содержание химических элементов не должно превышать предельно допустимые концентрации (ПДК) для почв.

Основным препятствием для использования золошлаков в сельском хозяйстве в качестве микроудобрения является их потенциальная радиоактивность и высокое содержание загрязняющих примесей.

При хранении в золоотвалах и использовании золы и шлаков в сельском хозяйстве возможная их опасность должна учитываться по следующим показателям: радиационному, водомиграционному, общесанитарному, транслокационному и токсикологическому.

– Водомиграционный показатель определяется по концентрации токсичных компонентов в кислотных, ацетатаммонийных и водных вытяжках.

– Общесанитарный показатель вредности определяется по изменению микробиоценоза почвы под воздействием золошлаков, сопровождающемуся ухудшением процесса ее самоочищения.

– Транслокационный показатель прослеживает цепочку «почва – растение – пища» и определяется по накоплению и количественному переходу микроэлементов из одного звена цепочки в другое.

– Токсикологический показатель определяется степенью вредного воздействия микроэлемента на организм.

Исследования, проведенные в этой области, показывали, что применение золошлаков в сельском хозяйстве улучшает агрофизические свойства почвы, пополняет ее микро- и макроэлементный состав, улучшает пористость, нейтрализует кислотность.

Российскими учеными установлено, что повышение урожайности сельскохозяйственных культур под воздействием мелиоранта на основе золы канско-ачинских углей (КАУ) Сибири объясняется не только ее нейтрализующей

					ВКР – 2069059 – 20.03.01 – 131341 – 17	Лист
Изм.	Лист	№ докум. №	Подпись	Дата		35

способностью, но и присутствием в ней макро-и микроэлементов, таких как калий, марганец, фосфор, бор, стронций, молибден, селен и др.

В связи с тем, что некоторые микроэлементы и тяжелые металлы способны накапливаться в растениях и влиять на качество сельхозпродукции, проведено изучение валового содержания этих компонентов, а также содержания подвижных форм некоторых из них в золе КАУ, почве и растениях. Исследования показали, что зола КАУ не создает опасности превышения в почве ПДК ни для одного из перечисленных компонентов, притом некоторые из них заметно способствуют повышению плодородия почвы.

Для оценки возможности использования золошлаковразличных ТЭЦ в качестве микроудобрений необходимо провести дополнительные исследования:

- определение радиоактивности золошлаков;
- более полное изучение его микроэлементного состава, в частности тяжелых металлов;
- изучение канцерогенных свойств;
- наблюдения за усвоением экспериментальными растениями микроэлементов золошлаков ТЭС (посев, выращивание растений, лабораторные исследования накопления различными частями растений микроэлементов, содержащихся в почве и золошлаке).

Также золошлаковые отходы могут быть использованы для рекультивации земель вследствие недропользования. Так, например, в конце 2016 года был предложен проект по рекультивации земель в северо-восточной части Новокузнецка площадью 23,7 га, нарушенных в результате деятельности шахт. Как отмечалось представителем компании-разработчика, это первый подобный проект не только в Кемеровской области, но и в России. Золошлаки планируется использовать при проведении технического этапа рекультивации, ими будут заполняться нарушенные земельные участки – например, овраги, образовавшиеся на землях уже закрытой, ликвидированной шахты, а также на различных участках, возникших из-за деграционных процессов почвы, проседания земли. Поверх

					<i>ВКР – 2069059 – 20.03.01 – 131341 – 17</i>	<i>Лист</i>
						36
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.№</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

золошлаковых отходов будет наноситься плодородный слой почвы от 5 до 20 см, на который будут высаживаться травы, кустарники. В целом подобную рекультивацию планируется провести в три этапа, каждый из которых займет два года. Первый участок площадью около семи гектаров (30% от общей площади), согласно проекту, планируется сдать к 2019 году. Еще 35% – к 2020-му, оставшуюся треть – к концу 2023 года. Эти мероприятия позволят не только восстановить нарушенные земли, но и решить вопрос со складированием золошлаковых отходов.

### 3.3 Дорожное строительство

За последние 17 лет в России на автомобильных дорогах существенно возросла интенсивность движения и изменился и изменился состав транспортного потока ввиду увеличения количества большегрузных автомобилей. Все это приводит к разрушению дорожного полотна и требует принятия соответствующих мер. В качестве решения данной проблемы может быть предложен вариант использования золошлаковых отходов в дорожном строительстве.

В дорожном строительстве золы и золошлаковые смеси используются при сооружении земляного полотна, для устройства укрепленных оснований, в качестве заполнителя и минерального порошка в асфальтобетонах. Золо сухого улавливания можно применять в качестве самостоятельного вяжущего, а также как активную добавку к неорганическим и органическим вяжущим веществам.

Широкий размах работы по использованию золошлаковых материалов в дорожном строительстве России приняли в 70-х годах. Связано это было с правительственными постановлениями по утилизации топливных отходов ТЭС.

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

					<i>ВКР – 2069059 – 20.03.01 – 131341 – 17</i>	<i>Лист</i>
						37
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум. №</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

которых установлены требования к применению зол и золошлаковых материалов в дорожном строительстве.

В 80-х годах научно-исследовательские работы и практическое использование этих материалов были значительно активизированы. Это было связано с созданием и развитием сети автомобильных дорог в Западной Сибири, Нечерноземной зоне, где ресурсы традиционных дорожно-строительных материалов (высокопрочного щебня, песка, цемента) ограничены. В 1976-1990 гг. был разработан ряд нормативных документов, развивающих возможности использования зол и золошлаковых смесей в дорожном строительстве.

Строительство автомобильных дорог с применением зол и золошлаковых материалов осуществлялось в различных регионах России, особенно в районах, испытывающих дефицит традиционных дорожно-строительных материалов (щебня, песка, цемента). При строительстве автомобильных дорог Москва-Серпухов, Москва-Рига, Москва-Кашира с применением зол и золошлаковых смесей построено около 300 км дорог. На автомобильной дороге Алтай-Кузбасс на отсыпке слоев земляного полотна использовано 65 тыс. м<sup>3</sup> золошлаковых материалов. Алтайавтодор в 1999-2002 гг. применял золы уноса Барнаульской ТЭЦ.

Наблюдения за опытными участками дорог, построенными в разное время в нашей стране и за рубежом, подтверждают возможность использования золы 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.

Согласно СНиП 2.05.02-85\* «Автомобильные дороги» при строительстве автомобильных дорог следует максимально использовать находящиеся в зоне строительства пригодные для применения отвалы и производственные твердые отходы предприятий горнодобывающей, перерабатывающей промышленности,

					<i>ВКР – 2069059 – 20.03.01 – 131341 – 17</i>	<i>Лист</i>
						38
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум. №</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

тепловых электростанций (гранулированные шлаки, золы и золошлаковые смеси ТЭС, отходы углеобогащения, фосфоритные "хвосты", белитовые шламы и др.).

При проектировании земляного полотна с использованием ЗШС могут применяться типовые решения (характерные для мелкого и пылеватого песка) с индивидуальной привязкой или индивидуальные решения по СНиП 2.05.02-85\* (п.6.4). На рисунке 3.3 представлены примерные схемы земляного полотна с использованием ЗШС.

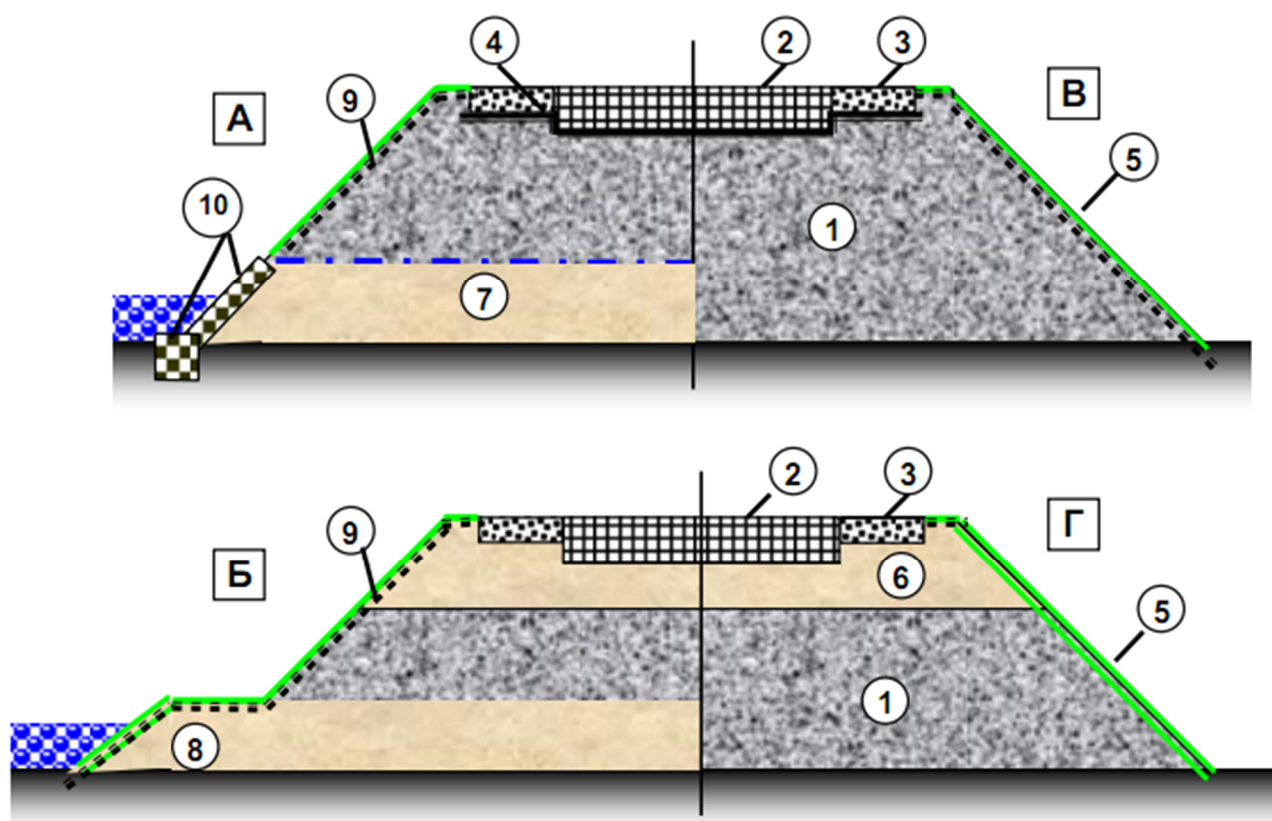


Рисунок 3.3 – Схемы поперечных профилей земляного полотна с применением ЗШС: А, Б – при II, III типах местности по условиям увлажнения; В, Г – на сухих участках; 1 – ЗШС; 2 – дорожная одежда (с краевой полосой); 3 – укрепленная обочина; 4 – плоская комбинированная георешетка; 5 – растительный или связный грунт с посевом трав; 6 – непучинистый или слабопучинистый грунт; 7 – дренирующий или связный грунт; 8 – берма из глинистого грунта; 9 – объемный геомат с геотекстилем; 10 – матрас рено и габион с геотекстилем

ЗШС, относящаяся к I или II группе грунтов по величине относительной деформации морозного пучения, может применяться для сооружения земляного полотна без ограничений.

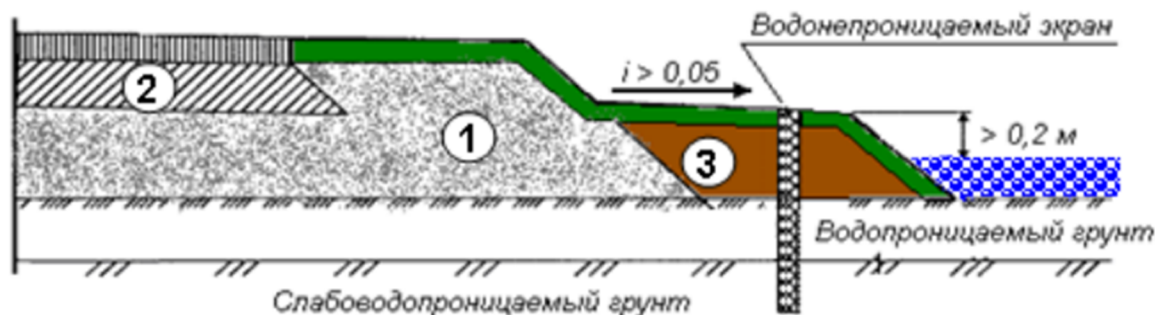


Рисунок 3.4 – Конструкция земляного полотна с ЗШО: 1 – ЗШС; 2 – дорожная одежда (с краевой полосой); 3 – берма из глинистого грунта

Кроме того, ФГБОУ ВО «Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия» был разработан отраслевой дорожный методический документ ОДМ 218.2.031-2013 «Методические рекомендации по применению золы-уноса и золошлаковых смесей от сжигания угля на тепловых электростанциях в дорожном строительстве», который содержит рекомендации по применению золы-уноса и золошлаковых смесей от сжигания угля на тепловых электростанциях при строительстве, реконструкции, ремонтах земляного полотна и дорожных одежд автомобильных дорог общего пользования, а также при строительстве, реконструкции и ремонте автомобильных дорог промышленных и сельскохозяйственных предприятий, городских дорог.

### 3.4 Проектирование полигонов ТБО

Согласно СанПиН 2.1.7.1322-03 золошлаковые отходы от сжигания твердого топлива на ТЭЦ и ТЭС можно использовать в качестве покрытия на полигонах для размещения твердых бытовых отходов. Ранее были широко изучены

					ВКР – 2069059 – 20.03.01 – 131341 – 17	Лист
Изм.	Лист	№ докум. №	Подпись	Дата		40



возможности использования золошлаков от сжигания бытового мусора, а также оформлены несколько патентов в направлении приготовления смесей, используемых в качестве изолирующих покрытий на полигонах ТБО. Однако использование золошлаковых отходов ТЭЦ позволит сэкономить не только при проектировке полигонов ТБО, т.к. сырье будет куплено по чрезвычайно низкой цене, но и владельцам ТЭЦ, которые смогут вычеркнуть из сметы расходов плату за хранение подобных отходов.

### 3.5 Комплексное использование золошлаковых отходов

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

Химический состав ЗШО крайне неоднороден и колеблется в значительных пределах, т.к. для сжигания используются угли из разных месторождений, имеющих различный химический состав.

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

Схема технологического процесса, приведенная на рисунке 3.5, охватывает несколько циклов утилизации ЗШО. Под циклами технологического процесса понимается законченный процесс, позволяющий получать товарную продукцию готовую к реализации. Это означает, что каждый цикл можно рассматривать как самостоятельное производство.

					<i>ВКР – 2069059 – 20.03.01 – 131341 – 17</i>	<i>Лист</i>
						41
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.№</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

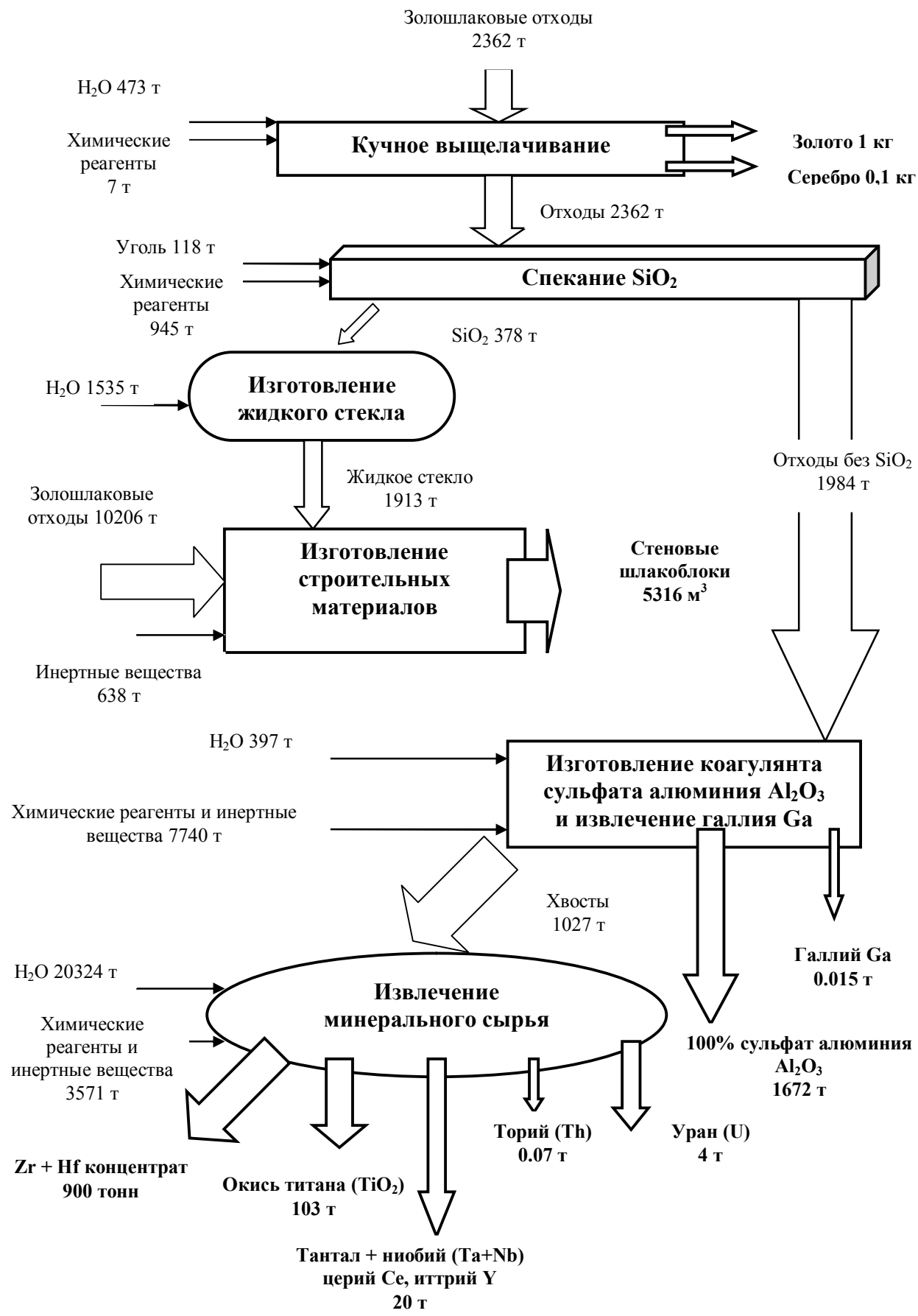


Рисунок 3.5 – Технологический процесс комплексной утилизации ЗШО

К циклам технологического процесса относятся:

1) Процесс кучного выщелачивания, где товарной продукцией выступает черновое золото и серебро.

2) Процесс спекания  $\text{SiO}_2$  (промежуточный этап) в отражательной печи с газогенератором, позволяющий получить сырье для изготовления жидкого стекла ( $\text{SiO}_2$ ) и освобожденные от  $\text{SiO}_2$  ЗШО идущие на производство коагулянта сульфата алюминия и прочих товарных продуктов.

3) Процесс изготовления жидкого стекла в варочной установке, где товарной продукцией является жидкое стекло.

4) Процесс изготовления строительных материалов с использованием различных серийных производственных линий. В частности, в рассматриваемом примере, используется серийная полуавтоматическая линия по производству стеновых шлакоблоков производительностью 200 шт/час, товарная продукция – стеновой шлакоблок.

5) Процесс изготовления коагулянта сульфата алюминия и извлечения галлия с использованием установки выщелачивания и реактора, товарная продукция – 100% сульфат алюминия и галлий.

6) Процесс извлечения минерального сырья на 2-х реакторах специальной конструкции, товарная продукция – окись титана, тантал + ниобий, церий, иттрий, торий, уран и концентрат циркония с гафнием.

Таким образом, приведенный технологический процесс эффективен, как в целом, так и по отдельным циклам, и вполне позволяет организовать данное производство на территории регионов, имеющих большое количество золошлаковых отходов.

И все-таки в каждом случае необходимо совершенно конкретно рассматривать применение ЗШО для различных технологий.

					<i>ВКР – 2069059 – 20.03.01 – 131341 – 17</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.№</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		43

## ГЛАВА 4 ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОТХОДОВ ТЭЦ

Пути использования накопленных золошлаковых отходов ТЭЦ и ТЭС как в России, так и во всем мире, исследовались уже давно.

Известно, что отвалы ТЭС и ТЭЦ занимают значительные территории (сотни тыс. га), являются источником загрязнения воздушного и водного бассейнов и увеличивают минерализацию грунтовых вод. В ряде регионов эти отвалы значительно осложнили экологическую обстановку. Если учесть, что во многих странах до 70-90% всей электроэнергии вырабатывается при сжигании твердого топлива, то рост золошлаковых отходов будет продолжаться и, следовательно, возрастет их отрицательное воздействие на экологию. Таким образом, утилизация золошлаковых отходов становится уже не столько вопросом экономии материальных ресурсов, сколько проблемой безопасности населения многих стран. Однако, и о материальной стороне этого вопроса забывать не стоит.

Как было сказано ранее, научные исследования и практика дорожного строительства показали, что золы и шлаки от сжигания твердых видов топлива представляют собой материалы, пригодные для применения во многих отраслях народного хозяйства:

- в сельском хозяйстве – как удобрение;
- в дорожном строительстве – как минеральная добавка в асфальтобетонную смесь или как заменитель песка при устройстве слоев дорожной одежды;
- в металлургии – как шихта для получения алюминия и концентрат для получения железа;
- в строительной индустрии золошлаковые смеси и золы сухого улавливания – как сырье для цементов и бесклинкерных вяжущих, бетонов (тяжелых, легких, ячеистых), пористых заполнителей, силикатных, керамических, теплоизоляционных и других материалов.

					<i>ВКР – 2069059 – 20.03.01 – 131341 – 17</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.№</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		44

Для развития производств по утилизации и переработке повторного возобновляемого сырья необходимо осуществить расчет предварительной оценки экономической эффективности производства по утилизации и переработке золошлаковых отходов.



Рисунок 4.1 – Модель использования золошлаковых отходов ТЭЦ

Экономический анализ, проведенный на основании системного подхода и маркетинговых исследований, позволяет выработать ориентиры при постановке технически и экономически обоснованных задач развития производств, перерабатывающих и потребляющих вторичные ресурсы.

Системный подход к программированию хозяйственной деятельности предприятий способствует обеспечению экологического равновесия и экономической эффективности, созданию благоприятных условий для развития социальной сферы и оздоровления окружающей среды. Системный анализ емкости регионального рынка сбыта при интенсификации использования повторно возобновляемых ресурсов из отходов производства и потребления позволяет разработать стратегию утилизации отходов производства и потребления в регионе. В общем виде модель использования золошлаковых отходов ТЭЦ представлена на рисунке 4.1.

Рассмотрим преимущества отдельных областей использования золошлаковых отходов предприятий теплоэнергетики.

#### ***В строительной индустрии***

1) при производстве бетонов.

В производстве золошлакового бетона все более широкое применение находят золы, шлаки и золошлаковые смеси взамен тяжелых заполнителей природного происхождения (песка, гравия и щебня), легких (пористых) заполнителей искусственного изготовления (керамзит, аглопорит и др.), природного происхождения (пемза, туф и др.) или сочетания с ними.

Введение оптимального количества золы или золошлаковой смеси в бетоны улучшает удобоукладываемость, снижает усадку и водопроницаемость, обеспечивает требуемую прочность и высокую морозостойкость. Применение золы не оказывает отрицательного воздействия на деформации ползучести, усадку и на модуль упругости бетона обычного состава, повышает коррозионную стойкость железобетона и сульфатостойкого бетона.

					ВКР – 2069059 – 20.03.01 – 131341 – 17	Лист
Изм.	Лист	№ докум. №	Подпись	Дата		46

Золошлаковые бетоны применяют в различных областях строительства, за исключением сооружений верхнего слоя покрытия автомобильных дорог аэродромов, пролетных строений мостов, оболочек градирен и отводов вытяжных (дымовых) труб, гидротехнических сооружений в частях, подвергающихся попеременному замораживанию и оттаиванию, а также для конструкций, армированных термически упрочненной сталью, склонной к коррозионному растрескиванию.

Ниже приведена таблица 4.1, в которой дан перечень возможных видов бетона, изготовленного с использованием ЗШО, и примерная техническая эффективность их утилизации.

Таблица 4.1 – Применение ЗШО при производстве бетонов

Вид бетона	Вид ЗШО	Эффект использования – технический
1	2	3
Тяжелый бетон (в т. ч. гидротехнический)	Зола ТЭС и ЗШС заменитель части цемента	Экономия цемента 15...30%; улучшение удобоукладываемости бетонной смеси; повышение коррозионной стойкости бетона; снижение тепловыделения при твердении
Легкие бетоны на пористых заполнителях	Зола ТЭС – мелкий заполнитель	Экономия 10...20% цемента; снижение плотности бетона на 100...300 кг/м <sup>3</sup> по сравнению с керамзитобетоном на кварцевом песке
Ячеистый бетон	Зола ТЭС – заменитель песка и компонент смеси вяжущего	Снижение расхода электроэнергии; уменьшение толщины стен по сравнению с кирпичными в 1,5...2 раза
Плотный силикатный бетон	То же	Экономия извести на 10...20%, песка – на 20...30%; снижение средней плотности изделий на 150...300 кг/м <sup>3</sup>

Было установлено, что при производстве 1 м<sup>3</sup> бетона экономический эффект от снижения стоимости вяжущего (цемента) при замене его 70% золы-уноса и при неизменном количестве остальных сырьевых компонентов составит более 800 руб./ м<sup>3</sup>.

2) при производстве гиперпрессованного кирпича.

Гиперпрессование – это безобжиговый метод производства кирпича на цементном либо ином вяжущем, связанный с созданием в ограниченном объеме

пресс-формы сверхвысоких давлений, с помощью которых происходит уплотнение формовочной смеси.

Преимущества метода гиперпрессования:

– малая энергоёмкость – отсутствие этапа термической обработки (сушка, обжиг или пропарка под давлением) значительно снижает энергоёмкость кирпича, на производстве задействованы только небольшие электрические мощности;

– безотходность – все сырье входящее в производственный процесс выходит в виде готового кирпича, любой брак реутилизируется. В процессе производства не вырабатываются отходы: ни газообразные, ни жидкие, ни твердые;

– возможность утилизации отходов – отходы от других промышленных производств трансформируются в облицовочные строительные материалы высокого качества, причем содержание этих отходов в кирпиче составляет 90%;

– меньший объем инвестиций в оборудование на этапе организации производства;

– прекрасное качество готовой продукции, которая соответствует либо превышает по своим параметрам самые строгие национальные и международные стандарты.

Оборудование для этой технологии представлено на рисунке 4.2. Производительность такого оборудования, например компании TITAN MACHINERY, составляет 2 800-4 000 штук кирпича в час в зависимости от модели прессы и размеров изделия.

Процедура подготовки исходной сырьевой смеси очень проста и заключается в том, что после измельчения золошлаковых отходов их необходимо смешать их с отсевами мягких горных пород в примерно следующей композиции:

- измельченные золошлаковые отходы – 70%;
- отсевы (отходы дробления) мягких горных пород – 20%;
- портландцемент – 5%;
- вода – 5%.

					<i>ВКР – 2069059 – 20.03.01 – 131341 – 17</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.№</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		48





Рисунок 4.2 – Гиперпресс для производства прессованного кирпича

Кирпич и блоки полученные с помощью этой технологии являются экологически чистыми и безопасными строительными материалами и могут применяться для внутренних работ.

Стоимость трансформации одной тонны золошлаковых отходов в кирпич составляет примерно 1 350 рублей. Стоимость обслуживания золошлаковых отходов с помощью хранения их в золо-шламохранилищах составляет порядка 4 000 рублей. Прямой экономический эффект (без учета стоимость продажи самих строительных материалов) составляет более 2 500 рублей.

Несмотря на достаточно высокую цену оборудования (около 1 миллиона рублей) приобретение его окупается менее, чем за 12 месяцев.

3) другие направления строительной отрасли.

Продукция строительной отрасли не ограничивается производством бетона и кирпича. Это бесспорно самые высокопотребные и распространенные строительные материалы нашего времени. Однако, золошлаковые отходы ТЭЦ и ТЭС с успехом могут быть использованы и в производстве других материалов и изделий. Ниже приведена таблица 4.2, в которой показаны другие области применения ЗШО и примерная техническая эффективность их использования.

Таблица 4.2 – Применение ЗШО в других отраслях стройиндустрии

Направление использования	Вид золошлаковых отходов	Эффект использования – технический
1	2	3
Строительные растворы	Зола ТЭС – заменитель части цемента, извести и песка	Снижение расхода цемента или извести на 30...50 кг/м <sup>3</sup> , песка – на 200...300 кг; повышение удобоукладываемости; уменьшение водоотделения
Портландцемент (с минеральными добавками, пуццолановый; шлакопортландцемент)	Золы и шлаки ТЭС – активные минеральные добавки	Экономия клинкера 15...60%; снижение расхода топлива на 30...40%, электроэнергии – на 10... 15 %; повышение коррозионной стойкости цемента; снижение тепловыделения при твердении
Известковые вяжущие вещества	Золы и шлаки – как компоненты вяжущего взамен песка	Снижение расхода извести на 30...60%, топлива – в 2...2,5 раза, электроэнергии на 50... 60%
Цементный клинкер	Зола ТЭС – взамен глинистого компонента сырьевой смеси	Сокращение расхода топлива на 10... 15%; снижение расхода основных сырьевых материалов на 20...30%
Обжиговой глинозольный керамзит	Золы и шлаки ТЭС – основное сырье	По сравнению с керамзитовым гравием сокращается расход топлива на 60...70 %, электроэнергии на 10... 15 %
Безобжиговой зольный гравий	Золы и шлаки ТЭС – основной компонент сырьевой смеси	По сравнению с керамзитовым гравием сокращается расход топлива на 60...70 %, электроэнергии на 10... 15 %
Керамический кирпич	Зола ТЭС – отощающая и выгорающая добавка	Экономия глинистого сырья на 15...50%; сокращение расхода топлива на 90...100 кг/тыс. шт. кирпича; повышение марки изделий; улучшение внешнего вида; сокращение срока сушки кирпича; снижение средней плотности

### ***В дорожном строительстве***

Одним из крупнейших потребителей золошлаковых смесей может быть дорожное строительство. В сметах на строительство автомобильной дороги не менее 50% стоимости составляет стоимость материалов. На строительство 1 км автомобильной дороги требуется, в зависимости от ее категории и местных условий (рельефа, местности, климата и др.), в среднем:

– от 6 до 60 тыс. м<sup>3</sup> грунта, за частную привозного, для сооружения земляного полотна;

– от 1,5 до 6,0 тыс. м<sup>3</sup> песка для дренирующего и морозозащитного слоев;

– от 0,8 до 5,4 тыс. м<sup>3</sup> щебня или грунта, укрепленного вяжущими материалами, для основания;

– от 1,1 до 4,7 тыс. тонн асфальтобетона или от 1,2 до 4,8 тыс. м<sup>3</sup> цементобетона, что требует соответственно от 55 до 235 тонн битума или от 480 до 1700 тонн цемента.

При устройстве дорожных покрытий есть пути экономии традиционных материалов. На дорогах высших категорий отказаться от асфальтобетона и цементобетона, как правило, пока невозможно, но при строительстве оснований дорог задачу экономии традиционных дефицитных материалов можно решать во многих случаях.

Общеизвестно, что устройство дорожных оснований из укрепленных грунтов или местных малопрочных каменных материалов само по себе прогрессивно, потому что позволяет отказаться от привозных дорогостоящих материалов. При этом получаемый экономический эффект зависит, главным образом, от стоимости привозного щебня.

Экономия традиционных привозных инертных материалов (не только щебня, но и песка с хорошими дренирующими свойствами, который в ряде регионов также является привозным) достигается ценной значительного расхода традиционного вяжущего материала, в большинстве случаев цемента. Как правило, этот расход достигает 250-300 т/км. Устройство дополнительных слоев основания (дренирующего и морозозащитного) с заменой песка укрепленным грунтом сопряжено с меньшим расходом цемента (100-150 т/км), но и в этом случае проблема экономии вяжущего и заполнителей остается достаточно серьезной.

К тому же, для сооружения земляного полотна при строительстве дороги в районах с неблагоприятными условиями, например, при наличии переувлажненных глинистых грунтов для обеспечения устойчивости дорожной конструкции требуется использовать привозные дренирующие грунты, что существенно увеличивает стоимость строительства.

					<i>ВКР – 2069059 – 20.03.01 – 131341 – 17</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.№</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		51

Наиболее распространенными отходами промышленности, целесообразность применения которых в строительстве автомобильных дорог убедительно доказано научными исследованиями и практикой, являются отходы, образующиеся при сжигании в котлах ТЭС твердого топлива. Золой сухого удаления по зерновому составу могут быть отнесены к мелкому песку. Они обладают вяжущими свойствами и могут быть применены для строительства укрепленных оснований дорожных одежд в качестве вяжущих взамен цемента. Ориентировочный расход – 10-20%.

Расчет экономического эффекта от использования золошлаковых отходов различной крупности при устройстве дорожных оснований производился путем суммирования слоев песка и щебня, представленных на рисунке 4.3, замены их на ЗШО и подсчета уменьшения стоимости сырьевых материалов для устройства 1 км асфальтированной дороги.

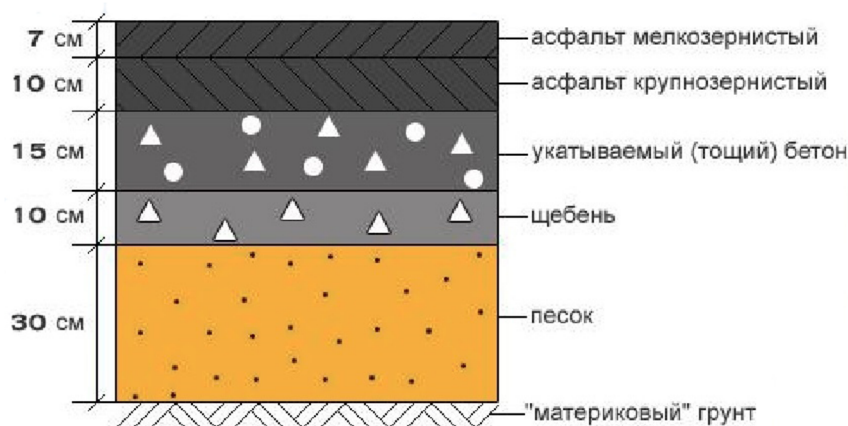


Рисунок 4.3 – Слои дорожной одежды

В результате проведенного анализа было выявлено, что на 1 км двухполосной дороги шириной 7,5 м (согласно СНиП 2.05.02-85 «Автомобильные дороги») необходимо  $2\,250\text{ м}^3$  песка и  $750\text{ м}^3$  щебня, плотность которых после уплотнения составит в среднем  $1650\text{ кг/м}^3$ .

Таким образом, на устройство 1 км дороги будет необходимо:

- песка – около 3 700 т;

– щебня – около 1240 т.

Заменяв песок и щебень золошлаковыми отходами различных фракций, сопоставимых с крупностью песка и щебня, получим, что на строительство дороги принятой длины будет необходимо 4 940 т ЗШО.

Принимая стоимость 1 т ЗШО равной 300 руб, щебня – 1 650 руб, а песка – 300 руб., получим экономический эффект от замены традиционных материалов золошлаковыми отходами в размере 1 668 000 рублей.

### ***Комплексная утилизация золошлаковых отходов ТЭЦ***

Комплексный подход позволяет вовлечь в народное хозяйство максимальное количество сырьевых компонентов и как следствие в будущем подойти к организации безотходных территориально-производственных комплексов на основе использования отходов одних производств, в качестве сырья для других.

В качестве одного из рассматриваемых организационно-технологических направлений по возможности организации безотходных территориально-производственных комплексов предлагается технологический процесс утилизации золошлаковых отходов.

Оценка экономической эффективности организации производства по циклам технологического процесса утилизации ЗШО приведена в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Экономическая эффективность элементарных циклов технологического процесса

№ п/п	Наименование затрат	Ед. изм	Экономическая эффективность
1	2	3	4
<b>1</b>	<b>Кучное выщелачивание</b>		
	Цена единицы товарной продукции полученной из 1 т исходных ЗШО	руб.	144,59
	Эксплуатационные расходы на 1 т исходных ЗШО	руб.	24,51
	Маржинальная прибыль на единицу продукции	руб.	120,08
	Уровень рентабельности	%	<b>83,0</b>
<b>2</b>	<b>Изготовление жидкого стекла</b>		
	Цена единицы товарного жидкого стекла полученного из 1 тонны исходных ЗШО	руб.	6537,53

1	2	3	4
	Эксплуатационные расходы на 1 т исходных ЗШО	руб.	168,05
	Маржинальная прибыль на единицу продукции	руб.	6369,48
	Уровень рентабельности	%	<b>97,4</b>
<b>3</b>	<b>Изготовление стеновых шлакоблоков</b>		
	Розничная цена 1 м <sup>3</sup> стеновых шлакоблоков	руб.	1355,93
	Эксплуатационные расходы на 1 т исходных ЗШО	руб.	694,41
	Маржинальная прибыль на единицу продукции	руб.	661,52
	Уровень рентабельности	%	<b>48,8</b>
<b>4</b>	<b>Получение коагулянта сульфата алюминия и извлечение галлия</b>		
	Цена единицы 100% Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> полученного из 1 т исходных ЗШО	руб.	9158,00
	Цена единицы товарного галлия Ga полученного из 1 т исходных ЗШО	руб.	45,84
	Эксплуатационные расходы на 1 т исходных ЗШО	руб.	1704,57
	Маржинальная прибыль на единицу продукции	руб.	7499,28
	Уровень рентабельности	%	<b>81,9</b>
<b>5</b>	<b>Извлечение РЗЭ и прочего минерального сырья</b>		
	Сводная стоимость единиц товарных продуктов полученных из 1 т исходных ЗШО	руб.	11758,19
	Сводные эксплуатационные расходы на 1 т исходных ЗШО	руб.	6114,14
	Маржинальная прибыль на единицу продукции	руб.	5644,05
	Уровень рентабельности	%	<b>48,0</b>

Таким образом, на основе золошлаков ТЭЦ возможно выпускать огромное число продуктов, необходимых в различных отраслях народного хозяйства. Однако, на сегодняшний день уровень утилизации ЗШО в Российской Федерации не достаточно высок, а количество накопленных отходов достаточно велико, увеличиваясь с каждым годом. Это заставляет задуматься о необходимости принятия кардинальных мер для сокращения объемов образующихся и уже существующих золошлаковых отходов ТЭЦ.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проблема утилизации золошлаковых отходов, в которые переходит от 10 до 15% перерабатываемых углей, образуемых при эксплуатации тепловых электростанций, муниципальных и производственных котельных, работающих на твердом топливе, вызывает серьезную озабоченность органов исполнительной власти субъектов РФ и муниципальных образований.

Фактически в настоящее время эта проблема на территории России в целом не решается, степень утилизации этого вида отходов крайне низка. В основном технологический процесс утилизации ЗШО ограничивается производством ограниченной номенклатуры продукции.

Общеизвестно, что ЗШО являются источником повышенной экологической опасности, и оказывают негативное воздействия на население (здоровье человека) и окружающую среду, а также являются причиной отчуждения земель, которые практически безвозвратно изымаются из полезного использования. В тоже время ЗШО обладают определенными физико-химическими свойствами, в том числе и вновь приобретенными, которые, при определенных технологических возможностях, можно реально и экономически целесообразно использовать в народном хозяйстве. По сути ЗШО являются вторичными ресурсами сырьевого значения, т.е. их можно рассматривать как техногенные месторождения полезных ископаемых.

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

1. Социально-экологический аспект. Устранение потенциального загрязнения, возникающего в результате образования ЗШО и как следствие

					<i>ВКР – 2069059 – 20.03.01 – 131341 – 17</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.№	Подпись	Дата		55

устранение его негативного воздействия на население и окружающую среду. Основное направление деятельности по этому аспекту – уничтожение ЗШО, позволяющее уменьшить или в идеале вообще ликвидировать накопленный объем данного вида отходов.

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

					<i>ВКР – 2069059 – 20.03.01 – 131341 – 17</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.№</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		56



## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Путилин Е.И., Цветкова В.С. Обзорная информация отечественного и зарубежного опыта применения отходов от сжигания твердого топлива на ТЭС / Союздорнии. М., 2003. 60 с.
2. ГОСТ 31108-2016 Цементы общестроительные. Технические условия
3. ГОСТ 25818-91 Золы-уноса тепловых электростанций для бетонов. Технические условия (с Изменением N 1)
4. Дворкин Л. И., Дворкин О. Л. Строительные материалы из отходов промышленности: учебно-справочное пособие. Ростов-на-Дону : Феникс, 2007. 363 с.
5. Энтин З. Б., Стржалковская Н. Еще раз о золах-уносе ТЭС // Цемент и его применение. 2009. С. 106-111.
6. Судакас Д.Г. Сланцевая зола как компонент вяжущих систем : отчет / ОАО «Гипроцемент». СПб., 2009. 1 с.
7. Рекомендации по применению в бетонах золы, шлаков и золошлаковых смесей тепловых электростанций. М.: Стройиздат, 1986. 80 с.
8. Межгосударственный стандарт ГОСТ 31108-2003. Цементы общестроительные.
9. Панибратов Ю. П., Староверов В. Д. К вопросу применения зол ТЭС в бетонах // Технологии бетонов. 2011. №1-2. С. 43-47
10. Бичурин М. Х. Структура и свойства полимерных композиционных материалов, наполненных сланцевой золой. Дис. канд. техн. наук: Спец.02.00.16 / СГТУ. Саратов, 1997. 151 с.
11. Сеницына И. Н. Физико-химические основы технологии композиционных материалов на основе гипсовых вяжущих и сланцевой золы.: Дис. канд. техн. наук: Спец. 02.00.16 / СГТУ. Саратов, 2000. 120 с.

					ВКР – 2069059 – 20.03.01 – 131341 – 17	Лист
Изм.	Лист	№ докум.№	Подпись	Дата		57

12. Бугрова Е. А. Напряженно-деформированное состояние искусственных оснований в нелинейной стадии их работы : автореферат диссертации на соискание ученой степени канд.техн.наук : 05.23.02 / Всерос. гос. НИИ

13. Волженский А. В., Иванов И. А., Виноградов Б. Н. Применение зол и топливных шлаков в производстве строительных материалов. М. :Стройиздат, 1984. 255 с.

14. Гужелев Э. П., Усманский Ю. Т. Рациональное применение золы ТЭЦ: Результаты научно-практических исследований / Омский гос. ун-т. Омск, 1998. 238 с.

15. Некрасов А. С., Синяк Ю. В. Перспективы развития топливно-энергетического комплекса России на период до 2030 года // Проблемы прогнозирования. 2007. №4. С. 21-52.

16. Бакулин Ю.И., Черепанов А.А. Золото и платина в золошлаковых отходах ТЭЦ г. Хабаровска//Руды и металлы, 2002, №3, с.60-67.

17. Борисенко Л.Ф., Делицын Л.М., Власов А.С. Перспективы использования золы угольных тепловых электростанции./ЗАО «Геоинформмарк», М.:2001, 68с.

18. Кизильштейн Л.Я., Дубов И.В., Шпицгауз А.П., Парада С.Г. Компоненты зол и шлаков ТЭС. М.: Энергоатомиздат, 1995, 176

19. Компоненты зол и шлаков ТЭС. М.: Энергоатомиздат, 1995, 249 с.

20. Состав и свойства золы и шлаков ТЭС. Справочное пособие под ред. Мелентьева В.А.,Л.: Энергоатомиздат, 1985, 185 с.

21. Целыковский Ю.К. Некоторые проблемы использования золошлаковых отходов ТЭС в России. Энергетик. 1998, №7,с.29-34.

22. Целыковский Ю.К. Опыт промышленного использования золошлаковых отходов ТЭС// Новое в российской энергетике. Энергоиздат, 2000, № 2, с.22-31.

23. Ценные и токсичные элементы в товарных углях России: Справочник. М.:Недра, 1996, 238 с.

24. Черепанов А.А. Золошлаковые материалы// Основные проблемы изучения и добычи минерального сырья Дальневосточного экономического района.

					<i>ВКР – 2069059 – 20.03.01 – 131341 – 17</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.№</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		58

Минерально-сырьевой комплекс ДВЭР на рубеже веков. Раздел 2.4.5. Хабаровск: Изд-во ДВИМ-Са, 1999, с.128-120.

25. Черепанов А.А. Благородные металлы в золошлаковых отходах дальневосточных ТЭЦ// Тихоокеанская геология, 2008. Т. 27, №2, с.16-28.

26. СанПиН 2.1.7.1322-03 Гигиенические требования к размещению и обезвреживанию отходов производства и потребления.

27. Официальный сайт газеты «Энергетика и промышленность России» (Электронный ресурс). URL: <http://www.eprussia.ru/epr/102/7760.htm> (дата обращения 22.06.2017 г.).

28. Мингалеева Г.Р., Шамсутдинов Э.В., Афанасьева О.В., Федотов А.И., Ермолаев Д.В. Современные тенденции переработки и использования золошлаковых отходов ТЭС и котельных // Журнал Современные проблемы науки и образования. – 2014. – №6. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=16475> (дата обращения 22.06.2017 г.).

29. Бирюков В.В., Бирюкова В.В., Плосконосова В.П., Шевцов В.Р.. Российская экономика: проблемы формирования ресурсосберегающей модели развития и подходы к их решению. 2005.

30. СНиП 3.06.03-85 «Автомобильные дороги».

					<i>ВКР – 2069059 – 20.03.01 – 131341 – 17</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.№</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		59

# ПРИЛОЖЕНИЕ 1

## Угольные электростанции в России

Территория	Наименование ТЭЦ/ГРЭС	Численность населения, тыс. чел.	Уровень загрязнения атмосферного воздуха по данным Росгидромета
1	2	3	4
Центральный федеральный округ			
Владимирская обл.			
г. Владимир	Владимирская ТЭЦ-2	339,5	Высокий
Воронежская обл.			
г. Воронеж	Воронежская ТЭЦ-2	839,9	Высокий
Ивановская обл.			
г. Иваново	Ивановская ТЭЦ-2,3	406,5	Не определен из-за отсутствия достаточного количества данных
Костромская обл.			
г. Кострома	Костромская ТЭЦ-1,2	271,7	Высокий
Курская обл.			
г. Курск	Курская ТЭЦ-1	408,1	Высокий
Московская обл.			
г. Дзержинский	Дзержинская ТЭЦ-22	44,3	Повышенный
г. Кашира	Каширская ГРЭС	39,5	Нет данных
г. Ступино	Ступинская ТЭЦ	66,4	То же
г. Шатура	Шатурская ГРЭС	31,2	То же
Рязанская обл.			
г. Рязань		510,8	Очень высокий
г. Новомичуринск	Рязанская ГРЭС	20,0	Контроль не ведется
Смоленская обл.			
г. Смоленск		316,5	Повышенный
пгт Озерный	Смоленская ГРЭС	6,0	Контроль не ведется
пос. Верхнеднепровский	Дорогобужская ТЭЦ	13,5	То же
Тверская обл.			
г. Тверь	Тверская ТЭЦ-3	407,3	Не указан, но контроль ведется
Тульская обл.			
г. Тула		500,0	Высокий
г. Суворов	Черепетская ГРЭС	19,9	Контроль не ведется
г. Алексин	Алексинская ТЭЦ	65,4	То же
Ярославская обл.			
г. Ярославль	Ярославская ТЭЦ-2	605,2	Высокий
Северо-Западный федеральный округ			
Республика Коми			
г. Сыктывкар		246,3	Высокий
г. Воркута	Воркутинская ТЭЦ-1,2	116,9	То же
г. Инта	Интинская ТЭЦ	35,2	Нет данных
Архангельская обл.			
г. Архангельск		354,7	Высокий
г. Северодвинск	Северодвинская ТЭЦ-1	191,4	Нет данных
Вологодская обл.			

1	2	3	4
г. Вологда		286,2	Повышенный
пгт Кадуй	Череповецкая ГРЭС	17,8	Нет данных
Ленинградская обл.			
г. Кировск	Дубровская ТЭЦ 8	23,4	Контроль не ведется
Мурманская обл.			
г. Мурманск	Мурманская ТЭЦ	314,8	Низкий
пос. Мурмаши	Апатитская ТЭЦ	15,6	Контроль не ведется
Новгородская обл.			
г. Великий Новгород	Новгородская ТЭЦ-20	216,2	Повышенный
Псковская обл.			
г. Псков		194,2	Повышенный
пгт Дедовичи	Псковская ГРЭС	9,6	Контроль не ведется
г. СанктПетербург	Первомайская ТЭЦ	4568,1	Высокий
Южный федеральный округ			
Ростовская обл.			
г. Ростов-на-Дону		1048,7	Высокий
г. Новочеркасск	Новочеркасская ГРЭС	177,0	Не указан, в 2000 г. город признан территорией экологического неблагополучия
Приволжский федеральный округ			
Республика Башкортостан			
г. Уфа		1021,5	Высокий
г. Салават	Салаватская ТЭЦ	155,9	То же
г. Кумертау	Кумертауская ТЭЦ	62,4	Нет данных
Республика Татарстан			
г. Казань	Казанская ТЭЦ-2		Очень высокий
Удмуртская Республика			
г. Ижевск	Ижевская ТЭЦ-2		Высокий
Кировская обл.			
г. Киров	Кировская ТЭЦ-3,4,5		Высокий
Пермский край			
г. Пермь		987,2	Высокий
г. Чайковский	Чайковская ТЭЦ-18	82,9	Не указан
г. Краснокамск	Закамская ТЭЦ-5	52,6	То же
г. Добрянка	Пермская ГРЭС	35,8	Контроль не ведется
пгт Яйва	Яйвинская ГРЭС	2,1	То же
Самарская обл.			
г. Самара		1135,4	Высокий
г. Тольятти	Тольяттинская ТЭЦ	705,5	То же
Уральский федеральный округ			
Свердловская обл.			
г. Екатеринбург	Свердловская ТЭЦ	1323,0	Очень высокий
г. Краснотурьинск	Богословская ТЭЦ	61,7	То же
г. Артемовский	Артемовская ТЭЦ	33,3	Контроль не ведется
г. Каменск Уральский	Красногорская ТЭЦ	181,0	Территория чрезвычайной экологической ситуации

1	2	3	4
г. Серов	Серовская ГРЭС	98,5	Не указан
г. Верхний Тагил	Верхнетагильская ГРЭС	12,3	Нет данных
г. Нижняя Тура	Нижнетуринская ГРЭС	22,8	То же
г. Асбест	Рефтинская ТЭЦ	71,3	Контроль не ведется
Челябинская обл.			
г. Челябинск	Челябинская ТЭЦ-1,2	1092,5	Очень высокий
г. Озерск	Аргаяшская ТЭЦ	86,9	Контроль не ведется
г. Троицк	Троицкая ГРЭС	82,4	То же
г. Южноуральск	Южноуральская ГРЭС	38,5	То же
г. Магнитогорск	Магнитогорская ТЭЦ	409,0	Очень высокий
Сибирский федеральный округ			
Республика Бурятия			
г. Улан-Удэ	Улан-Удэнская ТЭЦ-1,2; Тимлюйская ТЭЦ	340,8	Очень высокий
г. Гусиноозерск	Гусиноозерская ГРЭС	24,1	Контроль не ведется
Республика Тыва			
г. Кызыл	Кызылская ТЭЦ	108,1	Высокий
Республика Хакасия			
г. Абакан	Абаканская ТЭЦ	163,2	Высокий
Алтайский край			
г. Барнаул	Барнаулская ТЭЦ-1,2; Барнаулская ТЭЦ 3	597,2	Высокий
г. Рубцовск	Рубцовская ТЭЦ	156,2	Контроль не ведется
г. Бийск	Бийская ТЭЦ	221,4	То же
Красноярский край			
г. Красноярск	Красноярская ТЭЦ 1; Красноярская ТЭЦ-2	936,4	Очень высокий
пгт Тура		5,5	Контроль не ведется
г. Шарыпово	Березовская ГРЭС 1	38,5	То же
г. Зеленогорск	Красноярская ГРЭС-2	68,5	То же
г. Канск	Канская ТЭЦ	99,0	То же
г. Минусинск	Минусинская ТЭЦ	66,8	Нет данных
г. Назарово	Назаровская ГРЭС	53,6	Контроль не ведется
г. Сосновоборск	Красноярская ТЭЦ-4	30,1	То же
Иркутская обл.			
г. Иркутск	Иркутская ГРЭС	575,8	Очень высокий
г. Байкальск	Байкальская ТЭЦ	15,0	Нет данных
пгт Маркова	Ново-Иркутская ТЭЦ	7,0	Контроль не ведется
г. Ангарск	Ангарская ТЭЦ-9; Ангарская ТЭЦ-10; Иркутская ГРЭС-10	242,5	Не указан
г. Черемхово	Черемховская ТЭЦ	54,3	Нет данных
г. Саянск	Ново-Зиминская ТЭЦ	44,0	Контроль не ведется
г. Усть-Илимск	Усть-Илимская ТЭЦ	98,0	То же
Кемеровская обл.			

1	2	3	4
г. Кемерово	Кемеровская ГРЭС; Кемеровская ТЭЦ; Ново-Кемеровская ТЭЦ	520,0	Высокий
г. Новокузнецк	Западно-Сибирская; ТЭЦ Кузнецкая ТЭЦ	562,2	То же
г. Белово	Беловская ГРЭС	75,8	Контроль не ведется
г. Мыски	Томь-Усинская ГРЭС	41,9	То же
г. Калтан	Южно-Кузбасская ГРЭС	24,8	То же
Новосибирская обл.			
г. Новосибирск	Новосибирская ТЭЦ- 2,3,4,5	1390,5	Высокий
Омская обл.			
г. Омск	Омская ТЭЦ-4,5	1131,1	Высокий
Томская обл.			
г. Томск	Томская ТЭЦ-3	516,1	Очень высокий
г. Северск	Северская ТЭЦ	107,1	Нет данных
Забайкальский край			
г. Чита	Читинская ТЭЦ-1,2	306,1	Очень высокий
п. Шерловая гора	Шерловогорская ТЭЦ	14,4	Контроль не ведется
п. Ясногорск	Харанорская ГРЭС	9,2	То же
п. Приаргунск	Приаргунская ТЭЦ	8,1	То же
Агинский Бурятский АО			
пгт Агинское		13,9	Контроль не ведется
Дальневосточный федеральный округ			
Республика Саха (Якутия)			
г. Якутск		255,8	Высокий
г. Нерюнгри	Нерюнгринская ГРЭС	64,4	Нет данных
пгт Чульман	Чульманская ТЭЦ	10,4	Контроль не ведется
Приморский край			
г. Владивосток	Владивостокская ТЭЦ- 1,2	605,4	Высокий
г. Артем	Артемовская ТЭЦ	111,9	Низкий
пгт. Лучегорск	Приморская ГРЭС	22,0	Контроль не ведется
Хабаровский край			
г. Хабаровск	Хабаровская ТЭЦ-3	577,3	Высокий
г. Амурск	Амурская ТЭЦ	46,1	Нет данных
г. Комсомольск на Амуре	Комсомольская ТЭЦ- 1,2	272,4	Высокий
р.п. Майский	Майская ГРЭС	3,0	Контроль не ведется
Амурская обл.			
г. Благовещенск	Благовещенская ТЭЦ	207,3	Очень высокий
Камчатский край			
г. Петропавловск Камчатский	Камчатская ТЭЦ-1,2	194,9	Высокий
Магаданская область			
г. Магадан	Магаданская ТЭЦ	107,1	Очень высокий

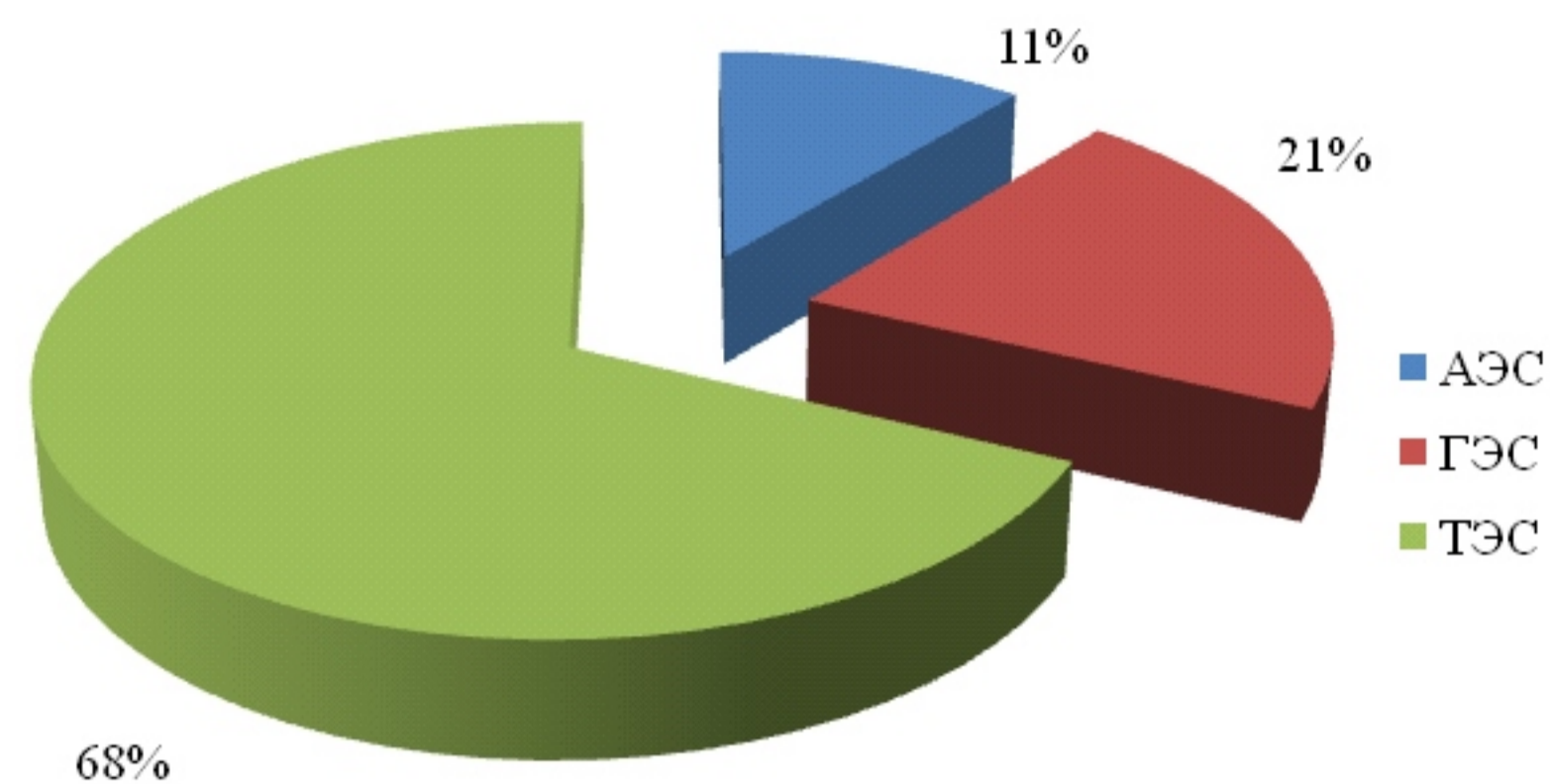
Изм.	Лист	№ докум. №	Подпись	Дата
------	------	------------	---------	------

1	2	3	4
пгт Мянунджа	Аркагалинская ГРЭС	2,1	Контроль не ведется
Сахалинская обл.			
г. Южно Сахалинск	Южно-Сахалинская ТЭЦ	173,8	Очень высокий
с. Лермонтовка	Сахалинская ГРЭС	4,6	Контроль не ведется
Еврейская автономная обл.			
г. Биробиджан	Биробиджанская ТЭЦ	75,1	Высокий
Чукотский АО			
г. Анадырь	Анадырская ТЭЦ	11,8	Нет данных
г. Певек	Чаунская ТЭЦ	4,4	То же
пос. Эгвекинот	Эгвекинотская ГРЭС Эгвекинотская ТЭЦ	2,4	Контроль не ведется



# Анализ ТЭЦ и ТЭС, функционирующих на твердом топливе

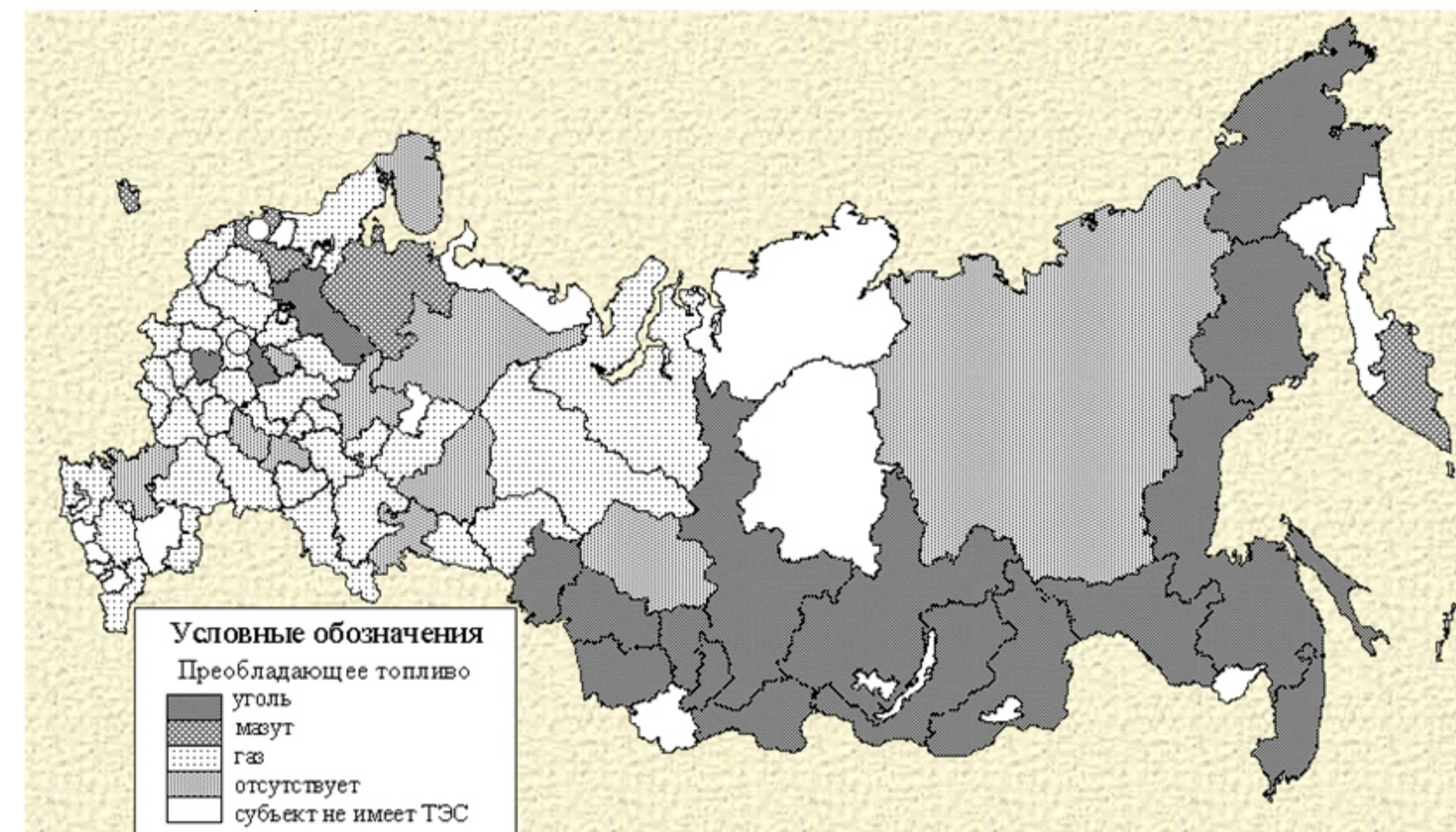
Структура мощностей электростанций в РФ



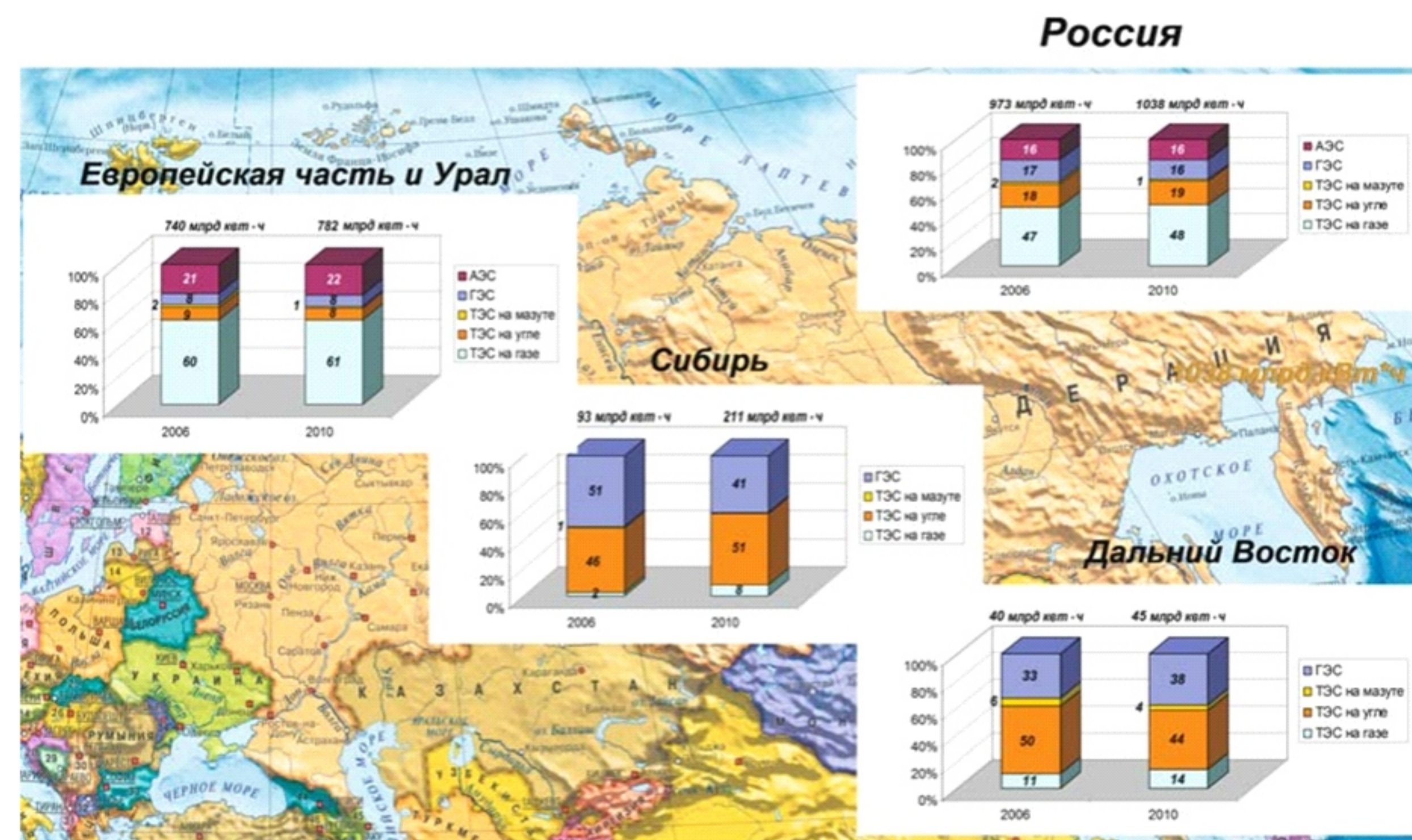
Перечень наиболее крупных ГРЭС России

№	Наименование	Регион	Основное топливо
1	Сургутская ГРЭС-2	ХМАО	газ
2	Рефтинская ГРЭС	Свердловская обл.	уголь
3	Костромская ГРЭС	Костромская область	газ
4	Сургутская ГРЭС-1	ХМАО	газ
5	Рязанская ГРЭС	Рязанская область	газ, уголь
6	Киришская ГРЭС	Ленинградская область	газ
7	Конаковская ГРЭС	Тверская область	газ
8	Ириклинская ГРЭС	Оренбургская область	газ
9	Пермская ГРЭС	Пермский край	газ
10	Заячье ГРЭС	Татарстан	газ
11	Ставропольская ГРЭС	Ставрополье	газ
12	Березовская ГРЭС	Красноярский край	уголь
13	Новочеркасская ГРЭС	Ростовская область	газ, уголь
14	Нижевартовская ГРЭС	ХМАО	газ
15	Каширская ГРЭС	Московская обл.	газ, уголь
16	Черепецкая ГРЭС	Тульская обл.	уголь
17	Южноуральская ГРЭС	Челябинская область	уголь, газ
18	Среднеуральская ГРЭС	Свердловская область	уголь, газ
19	Троицкая ГРЭС	Челябинская область	уголь
20	Невиномысская ГРЭС	Ставрополье	газ
21	Верхнетагильская ГРЭС	Свердловская область	газ, уголь
22	Шатурская ГРЭС	Московская область	газ
23	Приморская ГРЭС	Приморский край	уголь
24	Няганская ГРЭС	ХМАО	газ
25	Красноярская ГРЭС-2	Красноярский край	уголь
26	Гусиноозёрская ГРЭС	Бурятия	уголь
27	Иркутская ТЭЦ	Иркутская обл.	уголь
28	Печорская ГРЭС	Республика Коми	газ
29	Череповецкая ГРЭС	Вологодская область	газ, уголь
30	Яйвинская ГРЭС	Пермский край	газ, уголь

Условное деление территории Российской Федерации по преобладающему виду применяемого топлива



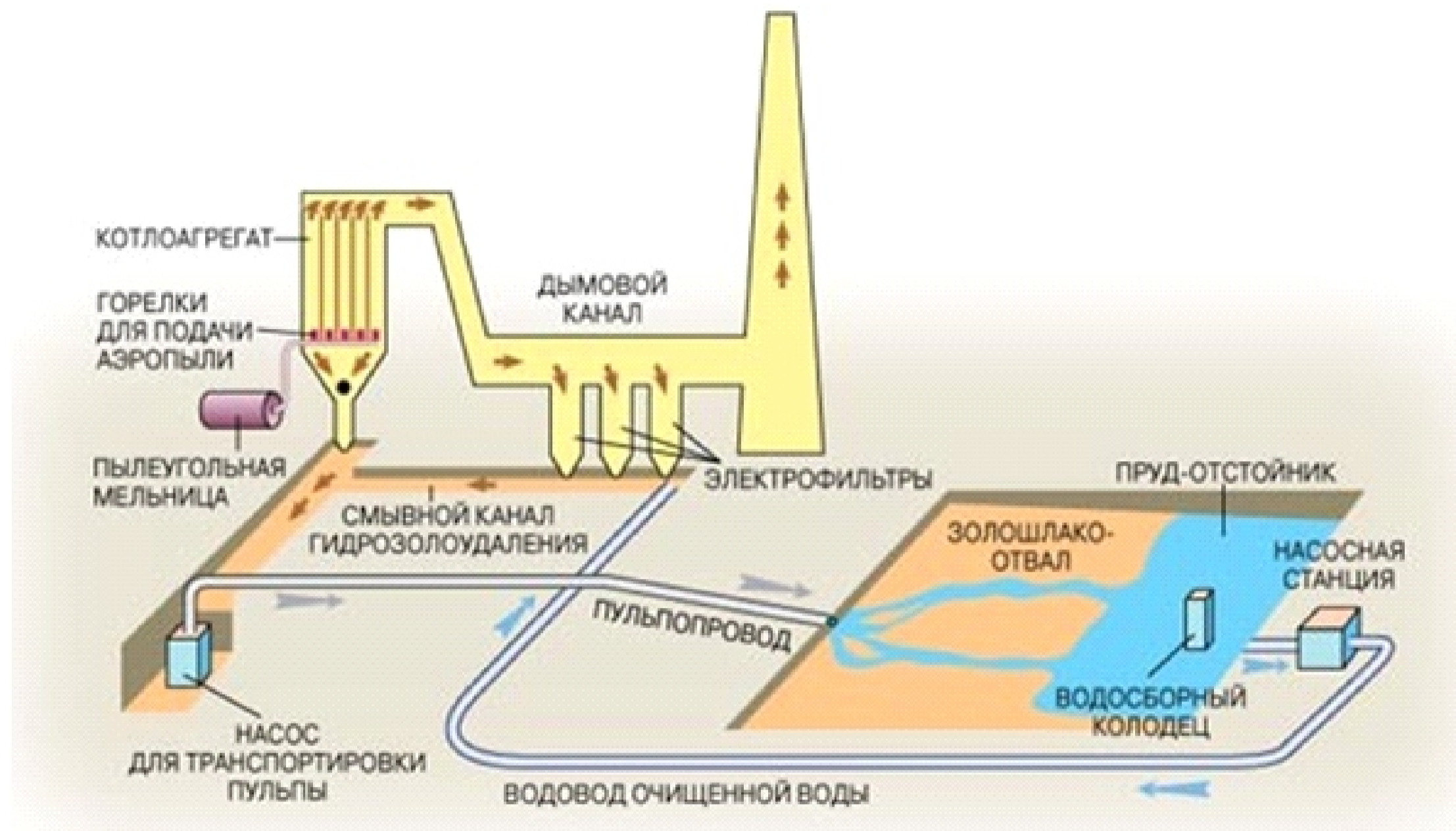
Общероссийские и региональные структуры производства электроэнергии по видам генерации



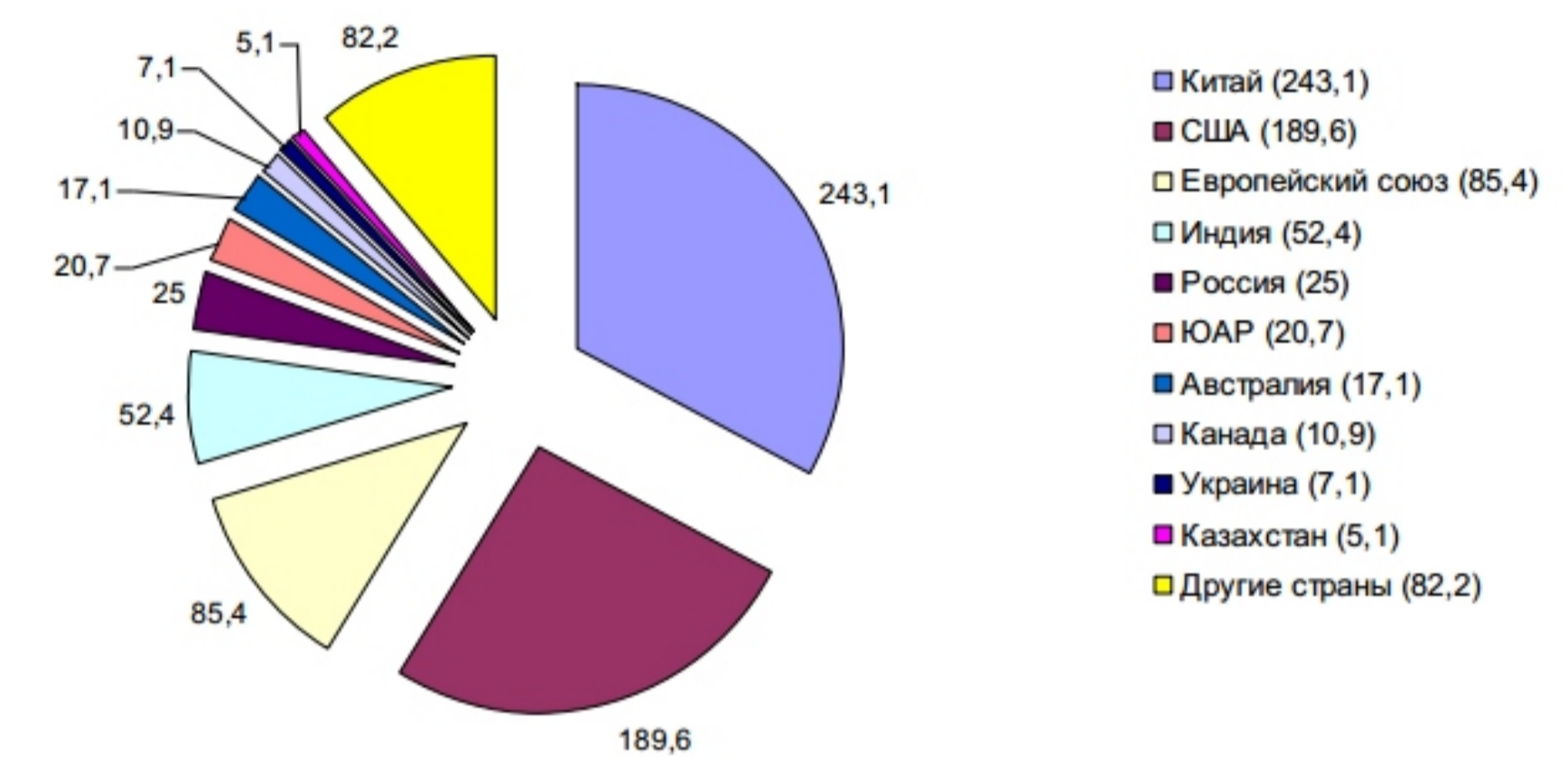
				ВКР-2069059-20.03.01-131341-2017			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Использование отходов ТЭЦ	Статус	Масштаб
						ВКР	
Выполнил	Петров А.В.				Лист 1	Листов 5	
Руководитель	Демьянова В.С.						
И контроль	Москален П.В.				Структура мощностей электростанций в РФ. Условное деление территории Российской Федерации по преобладающему виду применяемого топлива. Перечень наиболее крупных ГРЭС России.		ФГБОУ ВО ИГИАС Каф. "Инженерная экология" гр. 14-41
Зав.кафедрой	Полуборнов П.А.						

# Номенклатура и виды отходов, образующихся на ТЭЦ

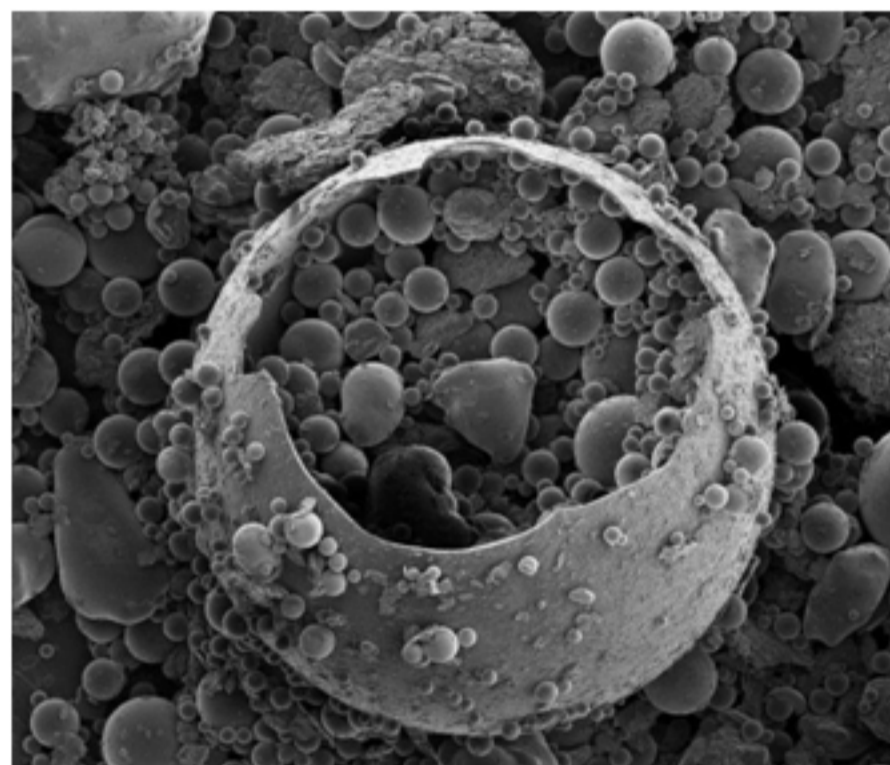
Схема образования золошлаковых отходов



Производство золошлаковых отходов в мире в млн. т. за 2015 год



Увеличенное изображение частицы золы-уноса



Склад золошлаков на территории предприятия



Процесс сгорания твердого топлива при производстве электрической и тепловой энергии



Примерное содержание основных оксидов в золах различных ТЭС (%)

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O + K <sub>2</sub> O
37-63	9-37	4-17	1-32	0,1-5	0,05-2,5	0,5-5

Химический состав золошлаков

Наименование компонента	Содержание, %
SiO <sub>2</sub>	58
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	25
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,6
CaO	1,9
MgO	0,5

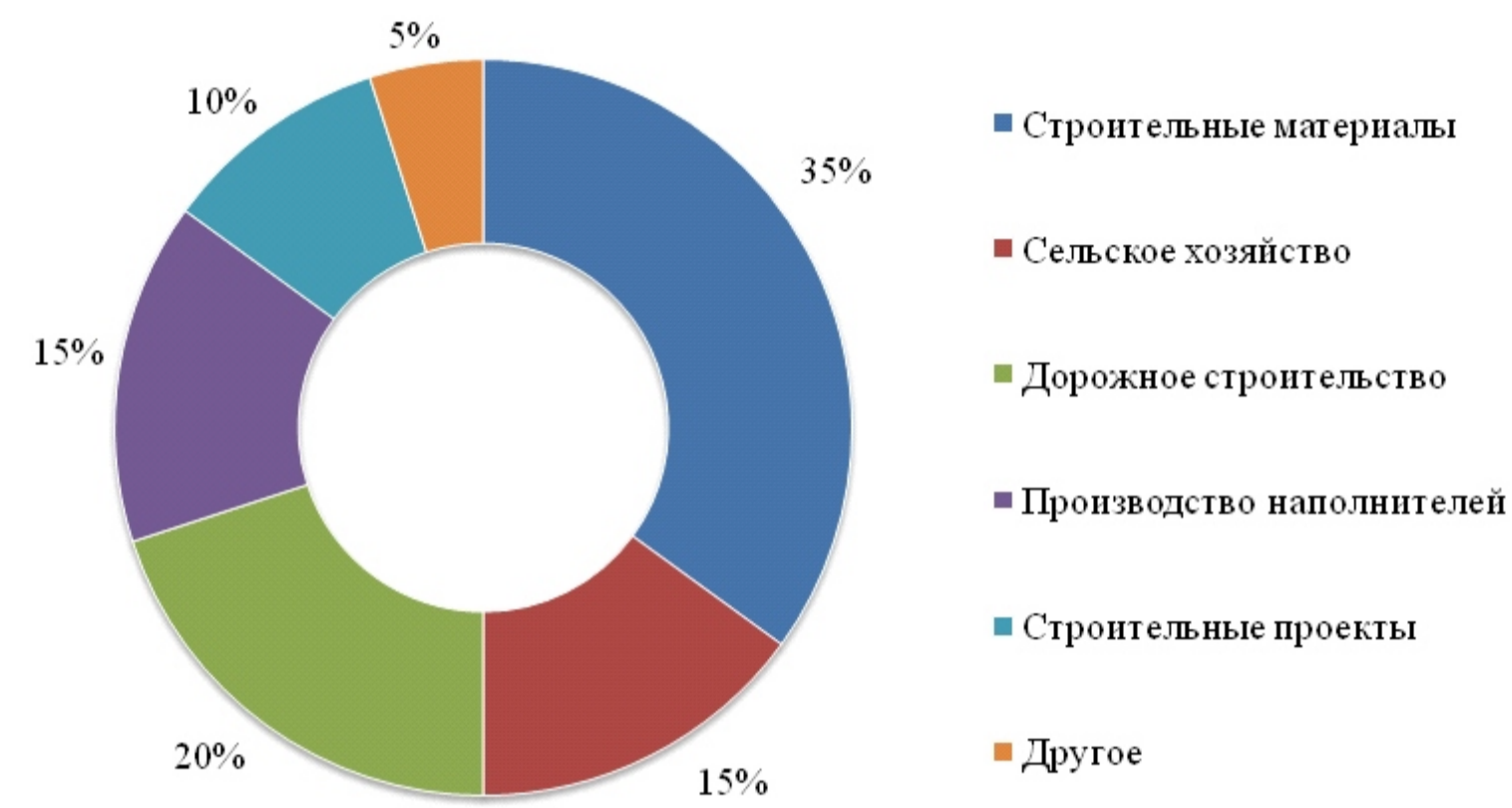
Выход золошлаковых отходов зависит от вида топлива и составляет:

- при сжигании бурых углей 10-15%,
- при сжигании каменных углей 30-40%,
- при сжигании горючих сланцев 50-80%,
- при сжигании мазута 0,15-0,20%.

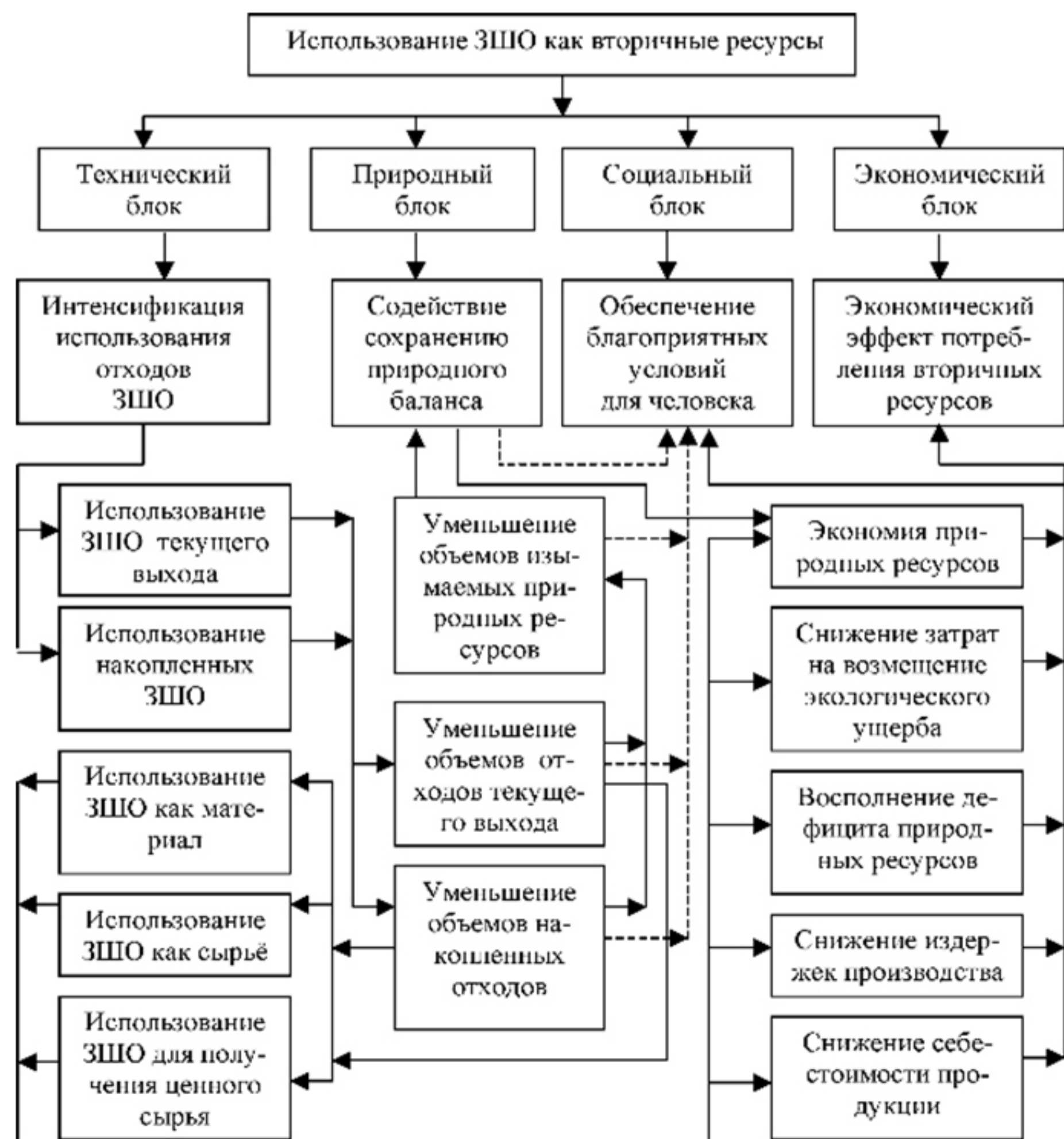
Использование отходов ТЭЦ						Стдия	Масштаб
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			
Выполнил	Петров А.В.				Использование отходов ТЭЦ	ВКР	Листов 5
Руководитель	Демьянова В.С.						
И.контр.	Москален П.В.				Процесс сгорания твердого топлива при производстве электрической и тепловой энергии. Схема образования золошлаковых отходов. Увеличенное изображение частицы золы-уноса. Склад золошлаков на территории предприятия. Производство золошлаковых отходов в мире.	ФГБОУ ВО ИГУАС Каф. "Инженерная экология" гр. ТЭ-41	
Зав.кафедрой	Полуборинов П.А.						

# Направления и пути использования золошлаковых отходов ТЭЦ

Основные направления использования ЗШО за рубежом



Преимущества использования ЗШО при вовлечении их в хозяйственный оборот



Пути использования ЗШО

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



Совокупная утилизация ЗШО



				ВКР-2069059-20.03.01-131341-2017				
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Использование отходов ТЭЦ	Статус	Масштаб	Масштаб
Выполнил	Петров А.В.					ВКР		
Руководитель	Демьянова В.С.					Лист 3	Листов 5	
И.о.директор	Москален П.В.				Основные направления использования ЗШО за рубежом. Преимущества использования ЗШО при вовлечении их в хозяйственный оборот. Совокупная утилизация ЗШО. Пути использования ЗШО.	ФГБОУ ВО ИГЭАС Каф. "Инженерная экология" г. ТГ-41		
Зав. кафедрой	Полуборинов П.А.							

# Перспективные направления утилизации золошлаковых отходов в промышленности на территории РФ

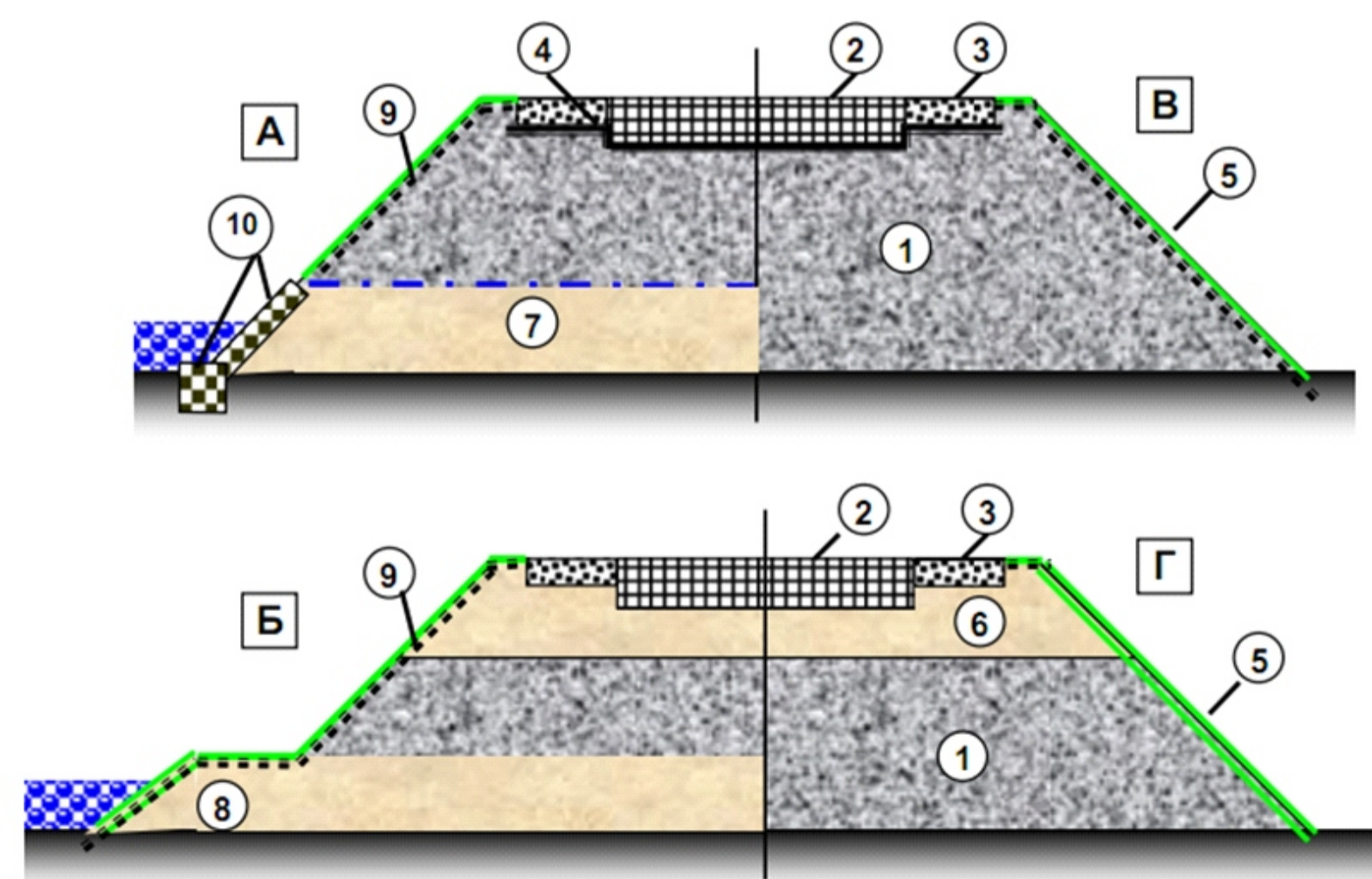
## Утилизация ЗШО при производстве прессованного кирпича



## Утилизация ЗШО в сельском хозяйстве

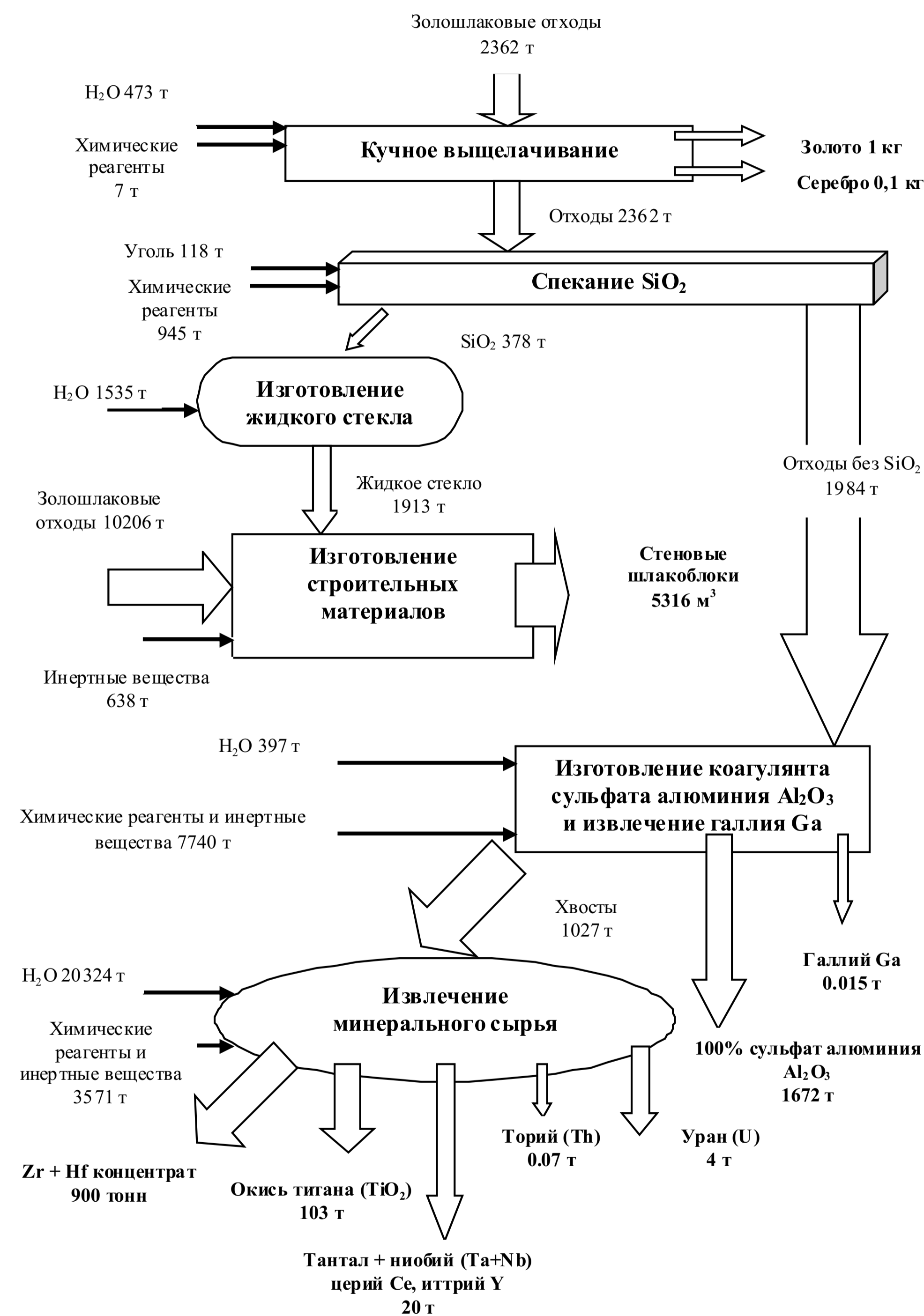


## Утилизация ЗШО в дорожном строительстве



А, Б - при II, III типах местности по условиям увлажнения;  
 В, Г - на сухих участках; 1 - ЗШС; 2 - дорожная одежда (с краевой полосой); 3 - укрепленная обочина;  
 4 - плоская комбинированная георешетка; 5 - растительный или связный грунт с посевом трав;  
 6 - непучинистый или слабопучинистый грунт; 7 - дренирующий или связный грунт; 8 - берма из глинистого грунта; 9 - объемный геомат с геотекстилем; 10 - матрас рено и габион с геотекстилем

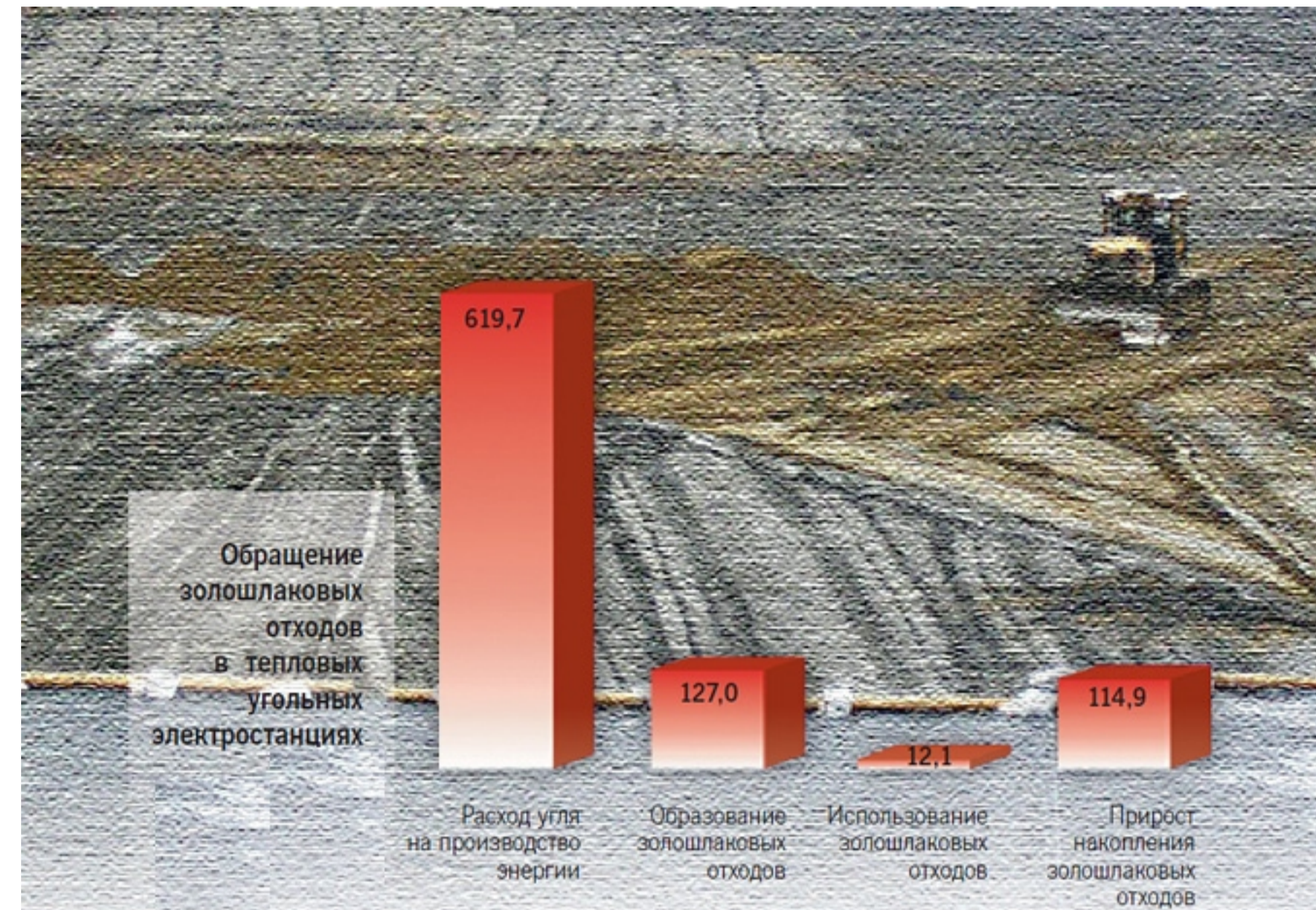
## Технологический процесс комплексной утилизации ЗШО



				ВКР-2069059-20.03.01-131341-2017			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Использование отходов ТЭЦ	Станд.	Масштаб
Выполнил	Петров А.В.					ВКР	
Руководитель	Демьянова В.С.				Лист 4	Листов 5	
И.контр.	Москален П.В.				Утилизация ЗШО в сельском хозяйстве, при производстве строительных материалов, в дорожном строительстве. Комплексная утилизация ЗШО		
Зав.кафедрой	Полуборинов П.А.				ФГБОУ ВО ИГУАС Каф. "Инженерная экология" гр. ТЭ-21		

# Эффективность использования отходов ТЭЦ

## Обращение золошлаковых отходов с тепловых угольных электростанциях за 2010-2015 г.г.



## Применение ЗШО при производстве бетонов

Вид бетона	Вид ЗШО	Эффект использования – технический
1	2	3
Тяжелый бетон (в т. ч. гидротехнический)	Зола ТЭС и ЗШС заменитель части цемента	Экономия цемента 15...30%; улучшение удобоукладываемости бетонной смеси; повышение коррозионной стойкости бетона; снижение тепловыделения при твердении
Легкие бетоны на пористых заполнителях	Зола ТЭС – мелкий заполнитель	Экономия 10...20% цемента; снижение плотности бетона на 100...300 кг/м <sup>3</sup> по сравнению с керамзитобетоном на кварцевом песке
Ячеистый бетон	Зола ТЭС – заменитель песка и компонент смешанного вяжущего	Снижение расхода электроэнергии; уменьшение толщины стен по сравнению с кирпичными в 1,5...2 раза
Плотный силикатный бетон	То же	Экономия извести на 10...20%, песка – на 20...30%; снижение средней плотности изделий на 150...300 кг/м <sup>3</sup>

## Гиперпресс для производства прессованного кирпича



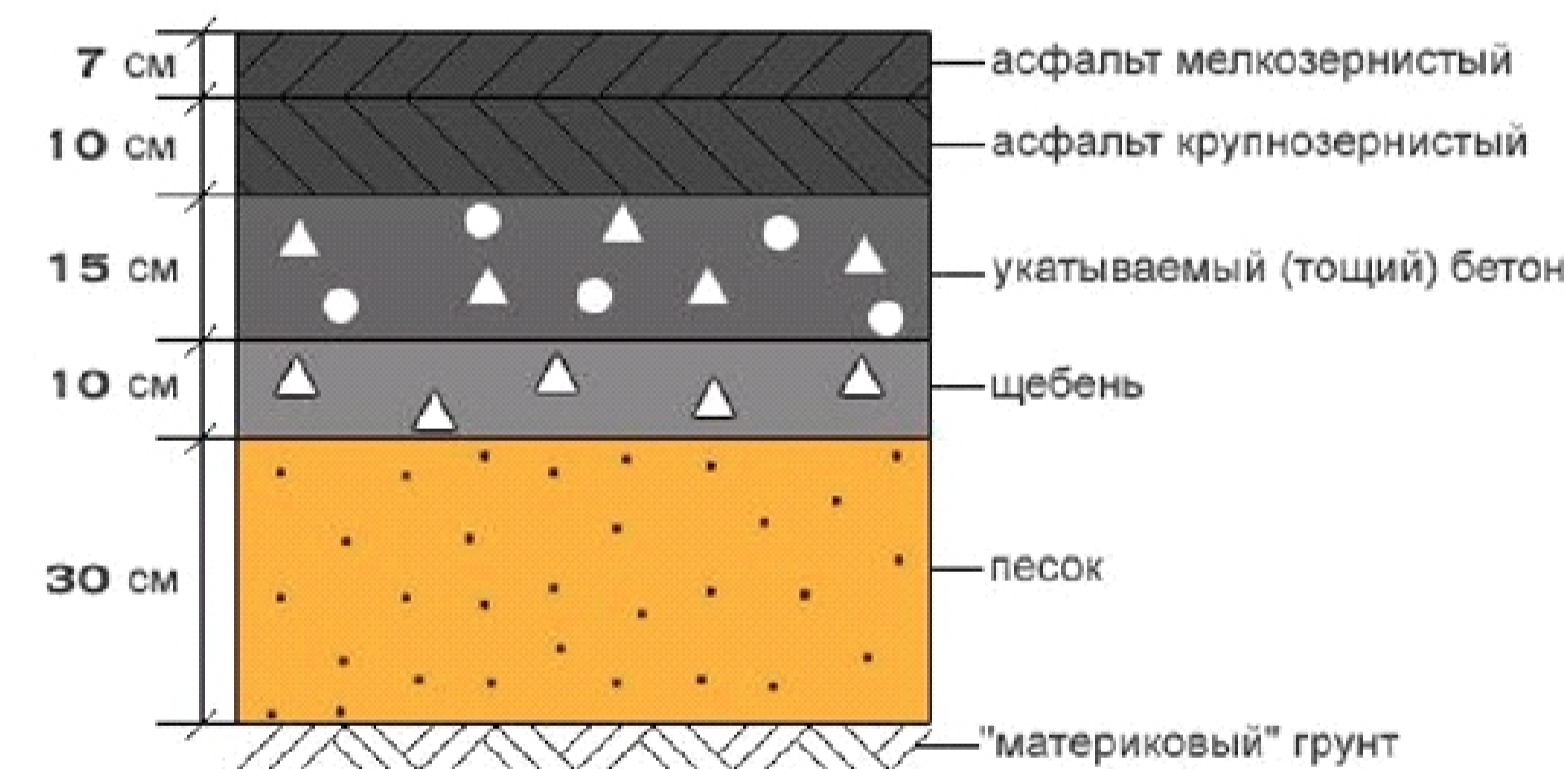
Стоимость трансформации одной тонны золошлаковых отходов в кирпич составляет примерно 1 350 рублей. Стоимость обслуживания золошлаковых отходов с помощью хранения их в золо-шламохранилищах составляет порядка 4 000 рублей. Прямой экономический эффект (без учета стоимости продажи самих строительных материалов) составляет более 2 500 рублей.

Несмотря на достаточно высокую цену оборудования (около 1 миллиона рублей) приобретение его окупается менее, чем за 12 месяцев.

## Применение ЗШО в других отраслях стройиндустрии

Направление использования	Вид золошлаковых отходов	Эффект использования – технический
1	2	3
Строительные растворы	Зола ТЭС – заменитель части цемента, извести и песка	Снижение расхода цемента или извести на 30...50 кг/м <sup>3</sup> , песка – на 200...300 кг; повышение удобоукладываемости; уменьшение водоотделения
Портландцемент (с минеральными добавками, пуццолановый; шлакопортландцемент)	Золы и шлаки ТЭС – активные минеральные добавки	Экономия клинкера 15...60%; снижение расхода топлива на 30...40%, электроэнергии – на 10...15%; повышение коррозионной стойкости цемента; снижение тепловыделения при твердении
Известковые вяжущие вещества	Золы и шлаки – как компоненты вяжущего взамен песка	Снижение расхода извести на 30...60%, топлива – в 2...2,5 раза, электроэнергии на 50...60%
Цементный клинкер	Зола ТЭС – взамен глинистого компонента сырьевой смеси	Сокращение расхода топлива на 10...15%; снижение расхода основных сырьевых материалов на 20...30%
Обжиговый глинозольный керамзит	Золы и шлаки ТЭС – основной компонент сырьевой смеси	По сравнению с керамзитовым гравием сокращается расход топлива на 60...70%, электроэнергии на 10...15%
Безобжиговый зольный гравий	Золы и шлаки ТЭС – основной компонент сырьевой смеси	По сравнению с керамзитовым гравием сокращается расход топлива на 60...70%, электроэнергии на 10...15%
Керамический кирпич	Зола ТЭС – отощающая и выгорающая добавка	Экономия глинистого сырья на 15...50%; сокращение расхода топлива на 90...100 кг/тыс. шт. кирпича; повышение марки изделий; улучшение внешнего вида; сокращение срока сушки кирпича; снижение средней плотности

## Применение ЗШО при дорожном строительстве



На 1 км двухполосной дороги шириной 7,5 м (согласно СНиП 2.05.02-85 «Автомобильные дороги») необходимо 2 250 куб.м песка и 750 куб.м щебня, плотность которых после уплотнения составит в среднем 1650 кг/куб.м.

Таким образом, на устройство 1 км дороги будет необходимо:

- песка около 3 700 т;
- щебня около 1240 т.

Заменяв песок и щебень золошлаковыми отходами различных фракций, сопоставимых с крупностью песка и щебня, получим, что на строительство дороги принятой длины будет необходимо 4 940 т ЗШО.

Принимая стоимость 1 т ЗШО равной 300 руб, щебня 1 650 руб, а песка 300 руб., получим экономический эффект от замены традиционных материалов золошлаковыми отходами в размере 1 668 000 рублей.

Использование отходов ТЭЦ					ВКР		
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Стдия	Масса	Масштаб
Выполнил	Петров А.В.						
Руководитель	Демьянова В.С.						
И.контр.	Москален П.В.				Лист 5		Листов 5
Зав.кафедрой	Полуборин П.А.				Эффективность использования ЗШО при производстве прессованного кирпича, в дорожном строительстве и других отраслях.		ФГБОУ ВО ПГУАС Каф. "Инженерная экология" гр. ТЭ-41