УДК 628.477

Башкирцева Полина Сергеевна, студентка (КузГТУ, г. Кемерово)
Bashkortseva Polina Sergeevna, student (KuzSTU, Kemerovo)

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ КУЗБАССА В ПРОИЗВОДСТВЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

PROSPECTS FOR THE USE OF ASH AND SLAG WASTE OF KUZBASS IN THE PRODUCTION OF BUILDING MATERIALS

Аннотация: В статье рассмотрены проблемы накопления золошлаковых отходов угольной энергетики Кузбасса и перспективы их использования в производстве бетонов, сухих смесей и дорожном строительстве. Показаны преимущества и ограничения применения золошлаков, а также меры, необходимые для увеличения доли их утилизации.

Abstract: The article considers the problems of accumulation of ash and slag waste from coal-fired power plants in Kuzbass and the prospects for their use in the production of concrete, dry mixtures and road construction. The advantages and limitations of using ash and slag are shown, as well as measures needed to increase the share of their utilization.

Актуальность исследования обусловлена острой экологической проблемой накопления золошлаковых отходов (ЗШО) в Кузбассе. Ежегодно в регионе образуется около 2,5 млн т ЗШО, а их общий объём превышает 130 млн т. При этом уровень утилизации составляет всего 20–30 %, что значительно ниже целевых показателей государственной программы [4].

Цель работы — анализ перспектив использования золошлаковых отходов Кузбасса в производстве строительных материалов и выявление основных барьеров на пути их эффективной утилизации.

Задачи исследования:

— изучить химический состав и свойства золошлаковых отходов Кузбасса;

— проанализировать существующие технологии применения ЗШО в строительстве;

— выявить основные проблемы и ограничения использования ЗШО;

— предложить пути повышения эффективности утилизации.

Сопоставление текущих уровней утилизации золошлаковых отходов в России, Кузбассе и за рубежом с целевым показателем государственной программы приведено на рисунке 1.

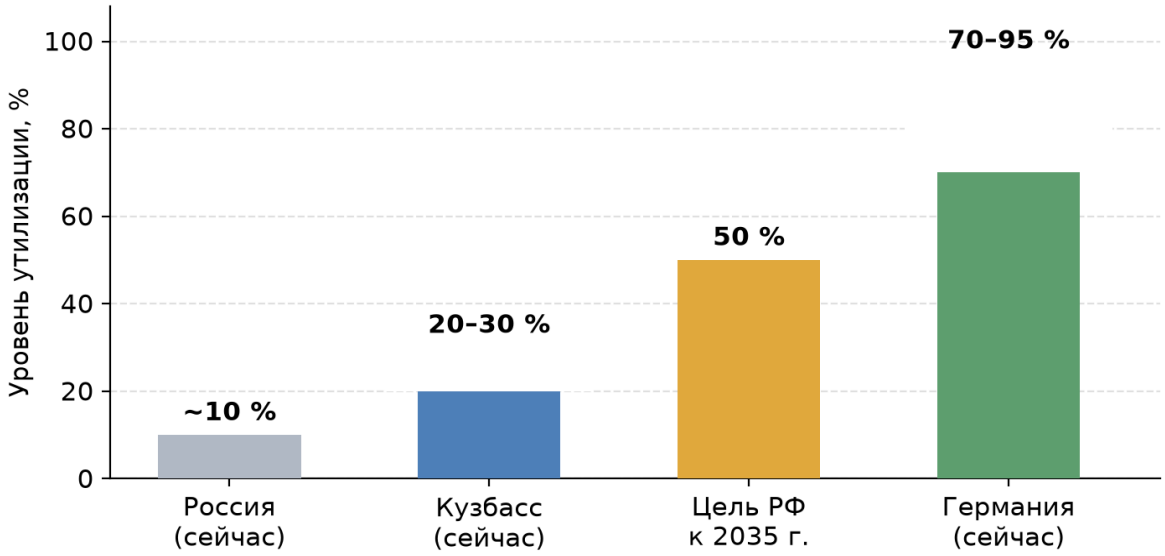

Рис. 1. Уровни утилизации золошлаковых отходов

Проблема использования золошлаковых отходов в строительной отрасли изучена достаточно широко: публикации по этой теме появляются уже несколько десятилетий. На основе анализа литературы можно выделить несколько основных направлений исследований.

Первое направление — механика и рецептуры композиционных материалов. В работах А. И. Хамидова показано, что зола-унос эффективна как активная кремнеземистая добавка: в производстве портландцемента её вводят в количестве 10–15 %, в пуццолановых портландцементах марок 300–400 — до 30–40 %, в строительных растворах — 10–30 % от массы цемента. Применение золы в качестве активного микронаполнителя в тяжёлых бетонах позволяет снизить расход цемента на 6–10 % в бетонах нормального твердения и на 12–25 % в пропариваемых [1]. Нормативную базу применения золошлаковых материалов образуют ГОСТ 25818 [6], а в дорожном строительстве — ОДМ 218.2.031–2013 [7].

Второе направление — новейшие экспериментальные исследования. Так, в 2026 г. специалисты Томского государственного архитектурно-строительного университета совместно с Госкорпорацией «Росатом» опубликовали результаты испытаний бетона с золой-уносом: введение 5 % золы улучшает свойства материала, а замена 10–20 % цемента не приводит к потере прочности. При этом тонна золы примерно в девять раз дешевле тонны цемента, что делает её применение экономически привлекательным [5].

Третье направление — реальный производственный опыт. Завод «Сибирь-Кровля» (производственный кластер «Технониколь», г. Юрга) более десяти лет применяет золу-унос при производстве всех марок гидроизоляционных материалов; с 2017 г. на завод поставлено свыше 173 тыс. т золы. Вместе с тем показательно, что зола поступает с Новосибирской ТЭЦ-5: несмотря на то что Кузбасс — угольный регион, в области отсут-

ствуют станции, осуществляющие отгрузку сухой золы-уноса, что само по себе является серьёзным барьером локальной утилизации [4].

Четвёртое направление — дорожное строительство. Р. Н. Малыхин проанализировал применение золошлаковых отходов Кузбасса в дорожной отрасли: лабораторные испытания укрепления тяжёлого пылеватого суглинка золошлаковой смесью Новокемеровской ТЭЦ показали, что без цемента смесь не достигает нормативной прочности, тогда как совместное применение 15–25 % ЗШС и 5–15 % цемента обеспечивает прочность марки М100 и водостойкость образцов [3]. В этой же работе систематизирован зарубежный опыт: во Франции зола применяется во всех элементах дорожной конструкции (трасса RN 47 построена с использованием почти 50 тыс. т золы), в США действуют нормы об обязательном применении золы в дорожном строительстве, а в Германии ежегодно золошлаки заменяют 3,1 млн т цемента — уровень утилизации достигает 70–95 % против примерно 10 % в России [3]. Комплексный подход к вовлечению золошлаковых материалов в строительную индустрию, включая производство цемента, сухих смесей и товарного бетона, обоснован также в работах Т. В. Коваль и И. И. Айзенберга [2].

Таким образом, направление в целом хорошо изучено: установлены составы, рецептуры и эффективность применения золошлаков в бетонах, растворах и дорожных конструкциях. Однако систематизация данных применительно к условиям Кузбасса и анализ барьеров утилизации — прежде всего организационных и экономических — остаются недостаточно разработанными, что и определяет актуальность настоящего исследования.

Золошлаковые отходы Кузбасса характеризуются следующим химическим составом: SiO2 — 45–60 %, Al2O3 — 10–22 %, Fe2O3 — 4–11 %, CaO — 2,6–9,6 %. Близость состава золы к составу клинкера цемента позволяет применять её в качестве активной минеральной добавки [1].

Химический состав золошлаковых отходов Кузбасса приведён в таблице 1, Диапазоны содержания основных оксидов в ЗШО показано на рисунке 2.

Таблица 1

Компонент	**Содержание, % по массе**
SiO_2	45–60
Al_2O_3	10–22
Fe_2O_3	4–11
CaO	2,6–9,6

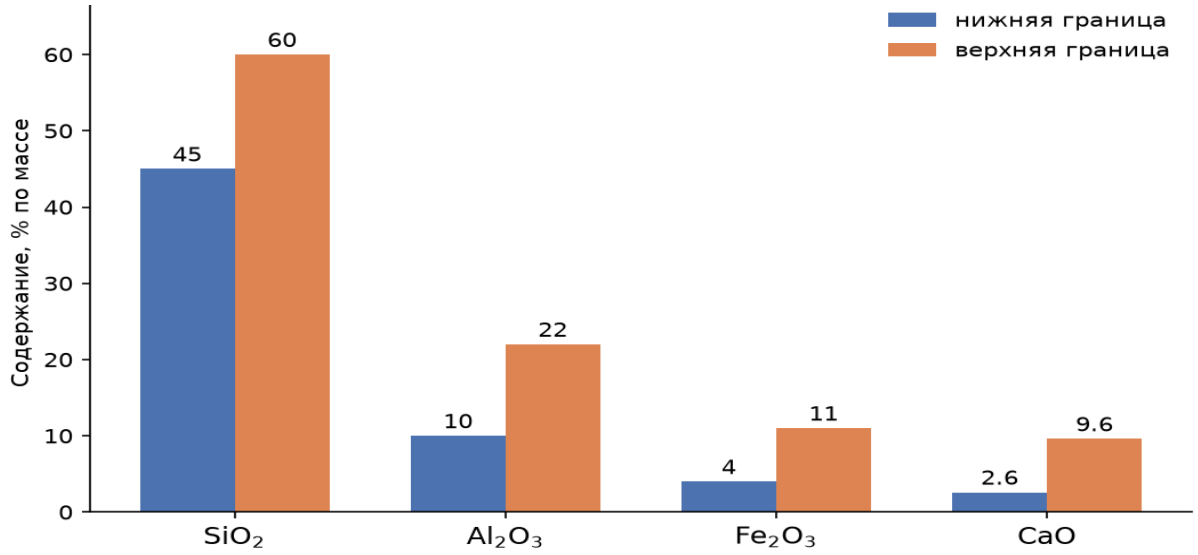

Рис.2. Диапазоны содержания основных оксидов в ЗШО

Современные технологии позволяют использовать ЗШО в следующих областях: производство бетонов (активная минеральная добавка, частичная замена цемента); производство сухих строительных смесей и гидроизоляционных материалов [4]; дорожное строительство: укрепление грунтов, устройство оснований дорожных одежд [3, 7]; производство стеновых материалов, в том числе силикатного кирпича [1].

Основные направления применения золошлаковых отходов в строительстве и рекомендуемые дозировки обобщены в таблице 2.

Таблица 2

Направление применения	**Количество золы / ЗШО**
Портландцемент	добавка 10–15 %
Пуццолановый портландцемент марок 300–400	до 30–40 %
Строительные растворы	10–30 % от массы цемента
Тяжёлый бетон (микронаполнитель)	снижение расхода цемента на 6–10 % (нормальное твердение), 12–25 % (пропаривание)
Гидроизоляционные материалы, сухие смеси	промышленное применение: свыше 173 тыс. т золы с 2017 г. (завод «Сибирь-Кровля», г. Юрга)
Дорожное строительство	15–25 % ЗШС + 5–15 % цемента; прочность М100
Стеновые материалы, силикатный кирпич	по технологии производства

Пример накопления ЗШО на рисунке 3.



Рис. 3. Золошлакоотвал ТЭЦ

Важным преимуществом использования ЗШО является экономическая эффективность: тонна золы примерно в девять раз дешевле тонны цемента. Современные исследования подтверждают, что введение 5 % золы улучшает характеристики бетона, а замена 10–20 % цемента не снижает прочность изделий [5]. Использование золошлаковых материалов позволяет снизить себестоимость строительных материалов не менее чем на 15–30 % [1].



Рис. 4. Применение золошлаковой смеси при укреплении грунта в дорожном строительстве

Анализ литературы и производственной практики позволяет выделить основные барьеры широкого применения ЗШО:

— отсутствие у тепловых электростанций документов о качестве продукции, соответствующих требованиям ГОСТ, что осложняет её приёмку строительными организациями [4];

— экономическую привлекательность хранения отходов на отвалах по сравнению с их переработкой [3, 4];

— отсутствие единой классификации золошлаковых отходов;

— нестабильность химического и минералогического состава ЗШО, требующую индивидуального подбора технологий обработки и трудоёмких испытаний [1, 3];

— отсутствие в Кузбассе станций, отгружающих сухую золу-унос, что вынуждает региональных потребителей закупать сырьё у соседних регионов [4].

Взаимосвязь основных барьеров утилизации золошлаковых отходов и мер по их преодолению обобщена в таблице 3.

Таблица 3

Барьер	**Мера преодоления**
Отсутствие у ТЭС документов о качестве продукции по ГОСТ	Развитие нормативной базы и системы контроля качества золошлаковой продукции
Экономическая привлекательность отвального хранения	Экономические стимулы: льготы, соглашения между энергетиками, региональной администрацией и строителями
Отсутствие единой классификации ЗШО	Разработка и внедрение единой классификации золошлаковых отходов
Нестабильность химического и минералогического состава	Индивидуальный подбор технологий обработки, испытания каждой партии
Отсутствие в Кузбассе станций, отгружающих сухую золу-унос	Внедрение технологий сухого золошлакоудаления на станциях региона

Анализ показал значительный потенциал использования золошлаковых отходов Кузбасса в строительной отрасли. Направление опирается на развитую научную базу и подтверждено как отечественным, так и зарубежным производственным опытом. Для повышения уровня утилизации ЗШО необходимо:

— развивать нормативную базу и систему контроля качества золошлаковой продукции;

— внедрять современные технологии переработки и сухого золошлакоудаления;

— обеспечивать экономическую поддержку предприятий — потребителей золошлаков (льготы, соглашения между энергетиками, администрацией региона и строителями).

Список литературы

1. Хамидов А. И. Исследования золо-шлаковых смесей для производства строительных материалов / А. И. Хамидов // Механика и технология. — 2023. — URL: https://cyberleninka.ru/article/n/issledovaniya-zoloshlakovyh-smesey-dlya-proizvodstva-stroitelnyh-materialov (дата обращения: 28.10.2026).

2. Коваль Т. В. Использование в строительстве золошлаковых материалов, попутно получаемых в котлах источников системы теплоснабжения / Т. В. Коваль, И. И. Айзенберг // Вестник Иркутского государственного технического университета. — 2010. — № 10 (45). — URL: https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-v-stroitelstve-zoloshlakovyh-materialov-poputno-poluchaemyh-v-kotlah-istochnikov-sistemy-teplosnabzheniya (дата обращения: 28.10.2026).

3. Малыхин Р. Н. Применение золошлаковых отходов в дорожном строительстве Кузбасса / Р. Н. Малыхин // Молодой учёный. — 2019. — № 15 (253). — С. 41–44.

4. Решетникова Н. Увлекательная золология / Н. Решетникова // Российская газета — Экономика Сибири. — 2022. — 23 августа. — URL: https://rg.ru/2022/08/23/reg-sibfo/uvlekatelnaia-zolologiia.html (дата обращения: 28.10.2026).

5. Томский архитектурно-строительный университет и «Росатом» доказали эффективность применения золы-уноса в бетоне // РИА Томск. — 2026. — 27 октября. — URL: https://www.riatomsk.ru/article/20261027/tgasu-beton-ispitaniya (дата обращения: 28.10.2026).

6. ГОСТ 25818-2017. Материалы золошлаковые тепловых электростанций. Технические условия. — М.: Стандартинформ, 2017.

7. ОДМ 218.2.031–2013. Методические рекомендации по применению золы-уноса и золошлаковых смесей от сжигания угля на тепловых электростанциях в дорожном строительстве. — М.: Росавтодор, 2015. — 64 с.