

Утилизация золошлаков ТЭС как новая кросс-отраслевая задача

Increasing coal combustion product utilization in Russia as a cross-industry goal

Павел Николаевич СНИККАРС

Директор Департамента развития электроэнергетики
Министерства энергетики Российской Федерации
e-mail: SnikkarsPN@minenergo.gov.ru

Ирина Юрьевна ЗОЛОТОВА

Директор Центра отраслевых исследований
и консалтинга Финансового университета
при Правительстве Российской Федерации
e-mail: IYZolotova@fa.ru

Никита Андреевич ОСОКИН

Заместитель директора Центра отраслевых
исследований и консалтинга Финансового университета
при Правительстве Российской Федерации
e-mail: NAOsokin@fa.ru

Золошлаки могут эффективно
использоваться в дорожном строительстве

Pavel SNIKKARS

Head of Department of power
engineering development, Ministry of energy
e-mail: SnikkarsPN@minenergo.gov.ru

Irina ZOLOTOVA

Head of Center for Industrial Research
and Consulting, Financial University
e-mail: IYZolotova@fa.ru

Nikita OSOKIN

Deputy Director, Center for Industrial
Research and Consulting, Financial University
e-mail: NAOsokin@fa.ru

Источник:

fotodrug.gmail.com / Depositphotos.com



Аннотация. В работе рассматривается вопрос межотраслевой синхронизации целевых значений по утилизации продуктов сжигания твердого топлива. Авторы предлагают определить 4 консолидированных направления вовлечения их в хозяйственный оборот: строительная отрасль, сельское хозяйство, природоохранные мероприятия и промышленное производство. В рамках каждого направления рассматриваются экономические, экологические и технологические эффекты утилизации.

Ключевые слова: продукты сжигания твердого топлива, Энергостратегия-2035, утилизация отходов, угольная генерация, золошлаки, национальные проекты.

Abstract. This paper assesses the issue of synchronizing strategic cross-industry goals in accordance with the Energy strategy of the Russian Federation until 2035 setting a performance indicator of coal combustion product (CCP) utilization. The authors propose to review four consolidated CCP applications: construction, agriculture, environmental activities and other industrial production. The potential economic, environmental and technological effects of each application is evaluated with regard to ongoing National projects and other cross-industry strategic documents.

Keywords: coal combustion products, Energy strategy 2035, waste utilization, coal-fired power generation, coal ash, national projects.



Тема использования золошлаков носит комплексный характер и создает потенциал для максимизации эффективности национальных проектов

Введение

Минэнерго России ставит перед собой стратегическую задачу по снижению углеродного следа топливно-энергетического комплекса, в том числе за счет развития возобновляемой энергетики. Одна из тактических задач этого направления работы – снижение негативного воздействия на окружающую среду действующих объектов генерации. Установление целевого пока-

зателя по утилизации продуктов сжигания твердого топлива (золошлаков)¹ угольных ТЭС – только начало длинного пути.

Правительство России в июне 2020 года утвердило Энергетическую стратегию до 2035 года. В документе впервые установлен целевой показатель утилизации золошлаков тепловых электростанций: к 2035 году объем их полезного использования должен составлять не менее 50 % от годового уровня образования по отрасли в целом [1]. По данным Минэнерго России, в 2018 году данный показатель составлял 8,4 %. Этот уровень был взят за базовый в Энергостратегии-2035 [2].

Вопрос использования золошлаков носит комплексный характер и создает существенный потенциал для максимизации эффективности ряда национальных проектов.

Направления вовлечения золошлаков

За рубежом индустрия вовлечения золошлаков в хозяйственный оборот планомерно развивается на протяжении нескольких

¹ В рамках настоящей статьи, термины «продукты сжигания твердого топлива» (ПСТТ) и «золошлаки» являются равными по определению и предполагают сухую золу-уноса, сухую котельную золу и золошлаковую смесь, которые образуются в результате сжигания твердого топлива на тепловых электростанциях.

десятилетий. Так, в Германии технология использования летучей золы в производстве цемента применяется уже более 50 лет [3]. Многие известные высотные здания мира были построены с использованием бетона, произведенного с добавлением золошлаков:

- башня Бурдж Халифа высотой 830 м (г. Дубай, ОАЭ), бетонный фундамент которой на 20 % состоит и золы-уноса [4];
- башня The Shard высотой 305 м (г. Лондон, Великобритания), где 50 % цемента было заменено золой-уноса с высоким содержанием кальция;
- башня Пикассо высотой 170 м (г. Мадрид, Испания) [5].

При этом использование в строительной отрасли является далеко не единственным направлением вовлечения золошлаков в хозяйственный оборот. В Южной Корее [6] на законодательном уровне утвержден закрытый перечень из 15 способов их вовлечения в хозяйственный оборот: от использования золошлаков в производстве строительной продукции до сельскохозяйственного применения. Согласно аналитическим документам Австралийской ассоциации развития золошлаковой индустрии (Ash Development Association of Australia – ADAA), возможность их вторичного использования определяют два фактора: качество угольного топлива, из которого формируются золошлаки, и технологии переработки золошлаков [7].

Попытки систематизировать направления использования продуктов сжигания твердого топлива также можно найти и в отечественных исследованиях [8], [9]. На основе анализа зарубежных и отечественных материалов авторами статьи

В Южной Корее на законодательном уровне утвержден перечень из 15 способов вовлечения золошлаков в оборот: от использования в производстве строительной продукции до сельскохозяйственного применения



Башня Бурдж Халифа (г. Дубай, ОАЭ) построена с использованием бетона в смеси с золошлаками
Источник: Sophie_James / Depositphotos.com

предложено 4 консолидированных направления вовлечения твердых остатков в хозяйственный оборот в зависимости от использования полученных материалов:

- строительная отрасль;
- сельское хозяйство;
- природоохранные мероприятия;
- прочее промышленное производство.

Дополнительно предлагается разделять продукцию, которая может производиться с использованием золошлаков, не только по цели использования, но и исходя из уровня технологической переработки золошлаков (рис. 1).

Золошлаки в строительной отрасли

В строительной отрасли необходимо выделять три направления: строительство жилых и нежилых зданий, а также возведение дорожных сооружений. В области развития жилищной застройки ключевым стратегическим документом на сегодняшний день является национальный проект «Жилье и городская среда» (реализуется Минстроем России), в котором предусмотрен перечень мероприятий до 2024 года. Документ определяет меры по созданию условий для внедрения новых технологий в проектировании и строительстве жилищной инфраструктуры. Преобладающее большинство золошлаков (99 %) имеет V класс опасности (другими словами – «неопасные»), что делает их пригодными для производства цементобетонных изделий [12]. Более того, они наносят меньший вред окружающей среде, нежели распространенные элементы быта, например, раствор поваренной соли – данному виду отходов присвоен IV класс опасности [13].

В настоящее время на стадии согласования находится обновленная Стратегия развития строительной отрасли и жилищно-коммунального хозяйства до 2030 года [14]. В рамках стратегии предусмотрено повышение ресурсной эффективности строительства. Использование золошлаков вместо традиционных песчано-гравийных смесей, а также в качестве вяжущего компонента бетонной смеси потенциально имеет

возможность снижения себестоимости строительной продукции на 10–20 % при условии нахождения источника золоотвала угольной ТЭС в пределах эффективного радиуса² [15].

В дорожном строительстве на сегодняшний день реализуются два национальных проекта: «Безопасные и качественные автомобильные дороги» и «Комплексный план модернизации и расширения маги-

Использование золошлаков вместо традиционных песчано-гравийных смесей потенциально может снизить себестоимость строительной продукции на 10–20 % при близком расположении угольной ТЭС

стральной инфраструктуры на период до 2024 года» [16] (реализуются Минтрансом России). Национальный проект «Безопасные и качественные автомобильные дороги» направлен на повышение качества автодорожной сети, но вопросы строитель-

² Под эффективным радиусом в рамках данной статьи понимается дистанция от места размещения золошлаков (золоотвал) до места их утилизации, которая обеспечивает более низкую себестоимость транспортировки ПСТТ по сравнению с альтернативными ресурсами (песок, гравий, щебень и др.)

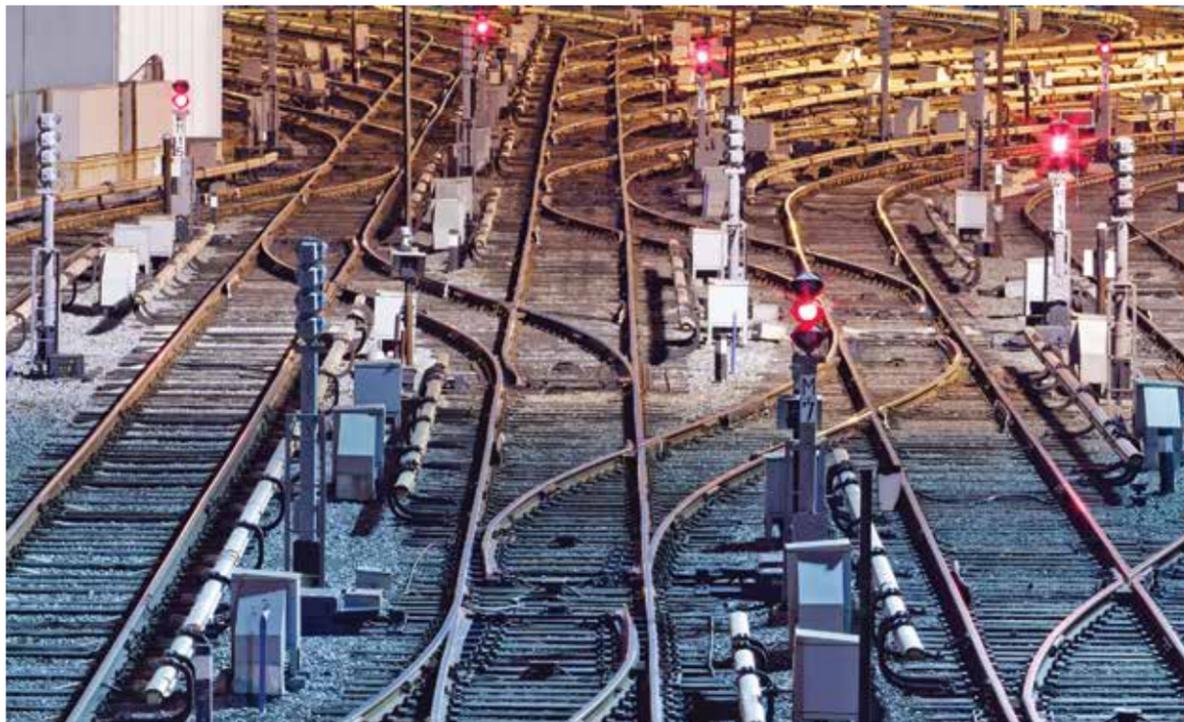
Рис. 1. Продукция, которая потенциально может производиться с использованием золошлаков, в зависимости от технологических возможностей

Источник: подготовлено на основе [8,9,10]

Требуете высоко технологичное производство по переработке ЗШО	• Геополимеры	• Алумосиликатные коагулянты для очистки сточных вод	• Калийно-силикатные удобрения	• Редкие металлы • Цветные металлы • Железо • Керамика
Необходима работа системы сухого золоудаления	• Портландцемент • Бетон • Асфальтобетонное покрытие • Силикатные кирпичи	—	• Стабилизатор верхнего слоя почвы (мелиорант)	—
Не требуется высоко технологичная переработка	• Грунт для сооружения насыпей земляного полотна автомобильных и железных дорог • Глинистый компонент	• Грунт для формирования барьерного слоя при пересылке ТКО • Грунт для рекультивации нарушенных земель	—	—
	СТРОИТЕЛЬНАЯ ОТРАСЛЬ	ПРИРОДООХРАННЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ	СЕЛЬСКОЕ ХОЗЯЙСТВО	ПРОЧЕЕ ПРОМЫШЛЕННОЕ ПРОИЗВОДСТВО

ства новых автодорог в нем практически не рассматриваются. Данный аспект особенно важен, поскольку золошлаки могут использоваться только в проектах сооружения новых дорог. В Федеральном проекте «Общесистемные меры развития дорожного хозяйства» определен целевой показатель «Доля контрактов на осуществление дорожной деятельности в рамках национального проекта, предусматривающих использование новых технологий и материалов, включенных в Реестр новых и наилучших технологий, материалов и технологических решений повторного

ный Китай» должно быть построено 826 км российских дорог к 2024 году [17]. Для повышения уровня экономической связанности территорий Российской Федерации федеральным проектом «Коммуникации между центрами экономического роста» предусмотрено строительство и реконструкция автомобильных дорог на магистральных направлениях протяженностью 1977,4 км [18]. По оценкам авторов статьи, в отечественных реалиях наиболее вероятно использование золошлаков при сооружении насыпей земляного полотна. Однако данное направление возможно реализовать только



Золошлаки могут использоваться в железнодорожном строительстве

Источник: tov_tob / Depositphotos.com

применения». Таким образом, включение технологии использования золошлаков в реестр новых и наилучших технологий может стать дополнительным стимулом для формирования спроса на эти отходы угольных ТЭС.

Национальный проект «Комплексный план модернизации и расширения магистральной инфраструктуры до 2024 года» предусматривает широкий набор мероприятий по развитию транспортной системы России, включая железнодорожную, водную, авиационную и автодорожную инфраструктуру. В рамках создания международного транспортного маршрута «Европа – Запад-

в случае их соответствия «Методическим рекомендациям по применению золы-уноса и золошлаковых смесей от сжигания угля на тепловых электростанциях в дорожном строительстве» [19] и нахождения ТЭС рядом с местом строительства дороги.

Федеральный проект «Железнодорожный транспорт и транзит» устанавливает цели по увеличению скорости перевозки контейнеров железнодорожным транспортом и увеличению объема транзита контейнеров в 4 раза к 2024 году. Для этого требуется реализация мероприятий по реконструкции железнодорожных станций, строительству дополнительных главных

Производство одной тонны цемента с использованием твердых отходов ТЭС в среднем снижает объем выбросов углекислого газа на одну тонну по сравнению с традиционным способом производства

путей и развитию железнодорожной инфраструктуры [20]. В мировой практике золошлаки угольных ТЭС используются при строительстве эстакад, мостов, путепроводов и производстве железнодорожных шпал [21]. В отечественных реалиях наибольший потенциал для их системного вовлечения в железнодорожное строительство имеют направления сооружения насыпей для путей и производства железобетонных шпал. Перспективным направлением в будущем может стать производство геопалимерных шпал, которые отличаются повышенной прочностью. Доля золошлаков в таких шпалах может достигать до 80 % от общей массы [22].

В рамках федерального проекта «Развитие региональных аэропортов и маршрутов» запланированы мероприятия по реконструкции и строительству взлетно-посадочных полос – до 48 единиц; объектов аэропортовой инфраструктуры – до 20 единиц [23]. В их строительстве также возможно использование золошлаков: ГОСТ 25818–2017 «Золы-уноса тепловых электростанций для бетонов. Технические условия» разрешает использование золы-уноса при производстве бетонных и железобетонных изделий и конструкций, работающих в особо тяжелых условиях [24].

Использование золошлаков в строительной отрасли может привести к положительным экономическим, технологическим и экологическим эффектам. Экономическая целесообразность использования золошлаков в производстве возникает в случае расположения ТЭС и заводов строительных материалов в пределах эффективного радиуса. Положительный технологический эффект достигается за счет повышения прочности и снижения усадки цементобетонной смеси с добавлением золошлаков

по сравнению с традиционной технологией производства цемента.

Сегодня крайне актуален экологический эффект: продукты сжигания твердого топлива ТЭС не требуют термической обработки, что снижает объем выбросов CO₂. Производство одной тонны цемента с использованием твердых отходов ТЭС в среднем снижает объем выбросов углекислого газа на одну тонну по сравнению с традиционным способом производства (точный масштаб эффектов зависит от качества и технологии вторичного использования) [25]. Согласно данным ADAА, в сумме за последние 40 лет в Австралии объем выбросов парниковых газов был снижен на 16 млн тонн благодаря использованию золошлаков при производстве цемента.



Золошлаки могут использоваться только при строительстве новых дорог

Источник: Garsya / Depositphotos.com

В России в 2019 году производство цемента составляло порядка 57,8 млн тонн [26], на регионы, где присутствует угольная генерация, пришлось примерно 30 млн тонн. Если руководствоваться нормативами ГОСТ 25818–2017 «Золы-уноса тепловых электростанций для бетонов. Технические условия», то в России до 30 % цемента может быть заменено сухой золой-уноса с высоким содержанием кальция. В Австралии соотношение потребления золы к цементу на строительном рынке составляет 1 к 5 [27]. Тем самым, потенциально от 6 до 9 млн т производимого в России цемента может быть заменено зо-

лошлаками, что указывает на возможность снижения выбросов CO₂ в строительной отрасли примерно на 3–5 млн т.

Отмеченный эффект использования золошлаков особенно актуален в контексте реализации федерального проекта «Чистый воздух» [28] и разработки Минэкономразвития России Стратегии долгосрочного развития России с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года [29].

Золошлаки как составляющая природоохранных мероприятий

Золошлаки обладают адсорбирующими и теплоизолирующими свойствами, что дает возможность их использования при реализации различных природоохранных мероприятий. Сейчас активно реализуются федеральные проекты «Сохранение озера

Золошлаковый грунт может применяться для ликвидации горных выработок. Помимо этого, существует потенциал использования золошлаков в качестве изолирующего слоя на мусорных полигонах

Байкал» и «Оздоровление Волги» [30], [31]. Большое внимание в этих проектах уделяется наращению мощности очистных сооружений. Модернизация и строительство очистных сооружений на озере Байкал и других водных объектах Байкальской природной территории должны обеспечить к 2025 году увеличение соответствующей фильтрующей мощности на 350 тыс. м³ в сутки.

В настоящее время существуют технологии и исследования о возможности использования золошлаков в качестве сорбента для очистки сточных вод [32]. Кроме того, ряд исследователей рассматривает возможность синтеза цеолитов из твердых отходов ТЭС, которые также обладают высокими адсорбционными характеристиками и способны улавливать катионы стронция, бария и аммония [33].

Необходимо отдельно обозначить возможность применения золошлаков в процессе обезвреживания отходов I и II класса опасности – в зарубежной и отечественной практике зола-унос используется в качестве добавки при цементировании радиоактивных отходов. Добавление золы-уноса позволяет повысить водонепроницаемость цементного камня, уменьшить тепловыделение при гидратации клинкера и улучшить текучесть цементной пасты [34].

Одним из наиболее перспективных направлений утилизации золошлаков с точки зрения крупнотоннажного использования является рекультивация нарушенных земель. В частности, золошлаковый грунт может применяться для ликвидации горных выработок. Данная практика особенно актуальна для ТЭС, расположенных в относительной близости к разрабатываемым месторождениям. Помимо этого, существует потенциал использования золошлаков в качестве изолирующего слоя на мусорных полигонах в качестве техногенного грунта для пересыпки твердых коммунальных отходов.

Использование продуктов сжигания твердого топлива ТЭС в природоохранных мероприятиях может существенно повысить их экологическую результативность и экономическую эффективность. Так, в проектах рекультивации нарушенных земель могут использоваться золошла-

Адсорбирующие свойства золошлаков позволяют использовать их для очистки сточных вод

Источник: radio1.news



Добыча известняка для цементного завода в горах

Источник: mns.nicholas / Depositphotos.com

ки, не требующие существенных технологических ресурсозатрат со стороны ТЭС на переработку и подготовку к утилизации.

Золошлаки как мелиорант и почвенное удобрение в сельском хозяйстве

Сегодня ключевым стратегическим документом России в области развития сельского хозяйства является Доктрина продовольственной безопасности, утвержденная в январе 2020 года [35]. Среди ключевых целей развития продовольственной безопасности в России указывается «восстановление и повышение плодородия земель сельскохозяйственного назначения, предотвращение сокращения площадей земель сельскохозяйственного назначения, рациональное использование таких земель, защита и сохранение сельскохозяйственных угодий от водной и ветровой эрозии и опустынивания».

В этом контексте можно говорить о широком потенциале вовлечения золошлаков в сельское хозяйство. Наиболее простые технологии предполагают их ис-

пользование как материала для стабилизации почвы. Благодаря большому числу гранул, имеющих форму илистых частиц и пористую поверхность, добавление золошлаков в почву позволяет увеличить ее влагоудерживающие свойства и влиять на проницаемость низко плодородных почв. От этого повышается эффективность полива, а также способность почв удерживать важные питательные вещества: нитраты, аммоний и фосфор. Масштаб эффектов от использования золошлаков в сельском хозяйстве определяется характеристиками почвы, на которой планируется проведение соответствующих работ.

На основе золошлаков могут также производиться неорганические цеолиты. Цеолиты являются кристаллическими алюмосиликатами на щелочной основе, которые принято считать «умными» удобрениями благодаря их ионообменной емкости и высокой пористости [36]. За счет катионного обмена цеолиты способны плавно поставлять растениям полезные вещества (азот, кальций, железо, магний, калий) по мере потребности. Подобные удобрения химически инертны, нетоксичны для

растений, животных, людей и окружающей среды, а также обеспечивают оптимальный баланс почвы путем иммобилизации токсичных загрязнителей для растений.

Золошлаки как новое направление отечественной промышленности

В настоящее время Минпромторгом России разрабатывается обновленная Стратегия развития черной и цветной металлургии на период до 2030 года [37]. В аналогичном стратегическом документе на период 2014–2020 гг. большой акцент

По нашему мнению, наибольший потенциал имеет направление извлечения глинозема из продуктов сжигания твердого топлива ТЭС. В 2019 году Россия стала третьей страной в мире по объему произведенного алюминия (3,6 млн тонн) [41], при этом глинозема (основного компонента алюминиевой промышленности) на территории страны производится менее 3 млн тонн ежегодно. В России на сегодняшний день потребности алюминиевой промышленности в глиноземе покрываются внутренним производством лишь на 35 % [42].

Технология извлечения глинозема из золошлаков является одной из наиболее активно развивающихся в Китае. Китай масштабно импортирует бокситы для производства глинозема в связи с недостатком внутренних рудных запасов. Для снижения подобной импортозависимости в Китае ведутся НИОКР в области новых технологий извлечения глинозема. В середине 2000-х годов в Северо-Западном Китае (провинции Внутренняя Монголия и Шаньси) был обнаружен новый вид золошлаков – зола с высоким содержанием глинозема, содержание оксида алюминия в котором достигает от 40 % до 50 % от общей массы данного вида золошлаков. В среднем по миру содержание оксида алюминия в золошлаках составляет 25 % от общей массы продуктов сжигания твердого топлива [43]. Аналогичная концентрация оксида алюминия актуальна и для отечественных ТЭС, работающих на твердом топливе [44].

Начиная с 2011 года, зола с высоким содержанием глинозема включена в перечень приоритетных материалов промышленного производства Китая. На сегодняшний день в Китае уже функционирует более 10 зольно-глиноземных заводов. Самый большой из них расположен в алюминиевом технопарке при крупнейшей угольной станции в мире – ТЭС Тогто (провинция Внутренняя Монголия, мощность 6,7 ГВт). В год завод способен производить 5 млн т глинозема при поставках 15 млн т золошлаков, что в перспективе должно исключить потребность Китая в импорте бокситов в размере 12 млн т.

Реализация подобного направления вовлечения твердых отходов ТЭС в хозяйственный оборот российской экономики также синхронизируется с целями Стратегии промышленности по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов производства и потребления, утвержден-

Технология извлечения глинозема из золошлаков активно развивается в Китае
Источник: basystems.co.uk

был сделан на локализации металлургической промышленности и добычи руд черных и цветных металлов [38]. В данном контексте золошлаки могут рассматриваться как «вторичная руда» металлов, запасы которой в России на сегодняшний день составляют более 1 млрд тонн [39].

Исследование Объединенного института высоких температур РАН [40] показывает, что за счет извлечения металлов из золошлаков могут быть произведены следующие элементы:

- железный концентрат;
- глинозем;
- магний;
- редкие породы металлов (скандий, галлий, титан и др.).



Рис. 2. Сопоставление целей действующих стратегических документов и направлений вовлечения ПСТТ-ЗШО

Источник: подготовлено авторами

ной в 2018 году [45]. Среди целевых показателей в документе отмечается необходимость повышения доли утилизируемых отходов, а также определяются направления развития индустрии переработки отходов. В частности, говорится о создании производственно-технических комплексов по переработке отходов, а также экотехнопарков. Опыт Китая показывает, что именно сооружение профильных технопарков в эффективном радиусе от ТЭС может стать наиболее целесообразной моделью развития высоко технологичной переработки золошлаков и в Российской Федерации.

Заключение

Реализация текущих национальных проектов до 2024 года создает предпосылки для крупнотоннажного вовлечения золошлаков в строительную отрасль и природоохранные мероприятия. Однако использование золошлаков в промышленном высокотехнологичном производстве, таком как извлечение глинозема, может привести к более масштабным экономическим эффектам. При этом применение золошлаков в промышленном производстве (за рамками строительной отрасли) в первую очередь требует наличия соответствующих технологий как у электростан-

ций («производителей» золошлаков), так и у потенциальных потребителей рассматриваемых продуктов сжигания твердого топлива.

На рис. 2 представлены ключевые направления развития системы утилизации продуктов сжигания твердого топлива ТЭС (золошлаков) в России в контексте реализации межведомственных стратегических документов.

Достижение целевого значения по утилизации золошлаков, определенного Энергостратегией-2035, целесообразно синхронизировать с реализацией актуальных межотраслевых задач. Использование их в промышленности позволяет не только повысить экономическую эффективность достижения стратегических целей национального развития, но и имеет серьезный потенциал для снижения углеродного следа ряда отраслей. Важно подчеркнуть, что создаваемые эффекты для экономики и окружающей среды возрастают в зависимости от технологичности переработки рассматриваемых продуктов сжигания твердого топлива. Именно консолидированные усилия и гармонизированное стратегическое целеполагание позволит сократить разрыв между Россией и странами-лидерами по вовлечению золошлаков в хозяйственный оборот и максимизировать кросс-отраслевые эффекты.

1. Заседание Правительства // Правительство Российской Федерации. – URL: <http://government.ru/news/39341/> (дата обращения: 21.04.2020).
2. Проект Энергостратегии Российской Федерации на период до 2035 года // Минэнерго России. – URL: <https://minenergo.gov.ru/node/1920> (дата обращения: 24.04.2020).
3. Environmental testing of fly ash for concrete in Germany – a really new approach? // VGB Power. – URL: <https://www.vgb.org/vgbmultimedia/PT201706WIENS-p-12268.pdf> (дата обращения: 07.02.2020).
4. Aldred J. Burj Khalifa – a new high for high-performance concrete // Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Civil Engineering. – Thomas Telford Ltd, 2010. Т. 163. №. 2. P. 66–73.
5. Urban T. et al. Experimental investigations on punching shear of lightweight aggregate concrete flat slabs // Engineering Structures, 2019. Т. 197. P. 109371.
6. Cho H. et al. A Case Study of Environmental Policies and Guidelines for the Use of Coal Ash as Mine Reclamation Filler: Relevance for Needed South Korean Policy Updates // Sustainability, 2019. Т. 11. №. 13. P. 3629.
7. Applications & Uses // Ash Development Association of Australia. – URL: <https://www.adaa.asn.au/resource-utilisation/application-and-uses> (дата обращения: 21.04.2020).
8. Пичугин Е. А. Аналитический обзор накопленного в Российской Федерации опыта вовлечения в хозяйственный оборот золошлаковых отходов теплоэлектростанций // Проблемы региональной экологии, 2019. №. 4.
9. Кожуховский И. С., Цыльковский Ю. К., Цховребов Э. С. Организационно-экономические и правовые аспекты создания и развития производственно-технических комплексов по переработке золошлаковых отходов в строительную и иную продукцию // Вестник МГСУ, 2019. Т. 14. №. 6 (129).
10. Yao Z. T. et al. A comprehensive review on the applications of coal fly ash.
11. Паспорт федерального проекта «Жилье» // Межрегиональная общественная организация «Майский указ». – URL: <http://xn--80aavcebfcmbcza.xn--p1ai/biblioteka/federalnye-proekty/%D1%84%D0%B5%D0%B4%D0%B5%D1%80%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D1%8B%D0%B9-%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B5%D0%BA%D1%82-%D0%B6%D0%B8%D0%BB%D1%8C%D0%B5/> (дата обращения: 16.02.2020).
12. Деньги, лежащие под ногами: в России решают проблему золошлаковых отходов // Газета «Энергетика и промышленность России». № 01–02 (285–286), 2016.
13. Об утверждении Федерального классификационного каталога отходов (с изменениями на 2 ноября 2018 года) // Техэксперт. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/542600531> (дата обращения: 23.04.2020).
14. Проект стратегии развития строительной отрасли Российской Федерации до 2030 года // Минстрой России. – URL: <https://www.minstroyrf.ru/docs/18723/> (дата обращения: 20.03.2020).
15. Reiner M., Rens K. High-volume fly ash concrete: analysis and application // Practice periodical on structural design and construction, 2006. Т. 11. №. 1. P. 58–64.
16. Паспорт национального проекта «Комплексный план модернизации и расширения магистральной инфраструктуры» // Правительство Российской Федерации. – URL: <http://government.ru/rugovclassifier/867/events/> (дата обращения: 16.02.2020).
17. Паспорт федерального проекта «Европа – Западный Китай» // Межрегиональная общественная организация «Майский указ». – URL: http://xn--80aavcebfcmbcza.xn--p1ai/upload/iblock/741/Evropa_Zapadnyy-Kitay.pdf (дата обращения: 16.02.2020).
18. Паспорт федерального проекта «Коммуникации между центрами экономического роста» // Межрегиональная общественная организация «Майский указ». – URL: <http://xn--80aavcebfcmbcza.xn--p1ai/upload/iblock/8bf/Kommunikatsii-mezhdu-tsentrmi-ekonomicheskogo-rosta.pdf> (дата обращения: 17.02.2020).
19. Об издании и применении ОДМ 218.2.031-2013 «Методические рекомендации по применению золы-уноса и золошлаковых смесей от сжигания угля на тепловых электростанциях в дорожном строительстве» // Росавтодор. – URL: <https://rosavtodor.ru/docs/priказы-rasporyazheniya/13332> (дата обращения: <https://rosavtodor.ru/docs/priказы-rasporyazheniya/13332>).
20. Паспорт федерального проекта «Железнодорожный транспорт и транзит» // Межрегиональная общественная организация «Майский указ». – URL: <http://xn--80aavcebfcmbcza.xn--p1ai/upload/iblock/34e/ZHeleznodorozhnyy-transport-i-tranzit.pdf> (дата обращения: 17.02.2020).
21. Palomo Á. et al. Railway sleepers made of alkali activated fly ash concrete // Revista Ingeniería de Construcción, 2011. Т. 22. №. 2. P. 75–80.
22. Lloyd N., Rangan V. Geopolymer concrete with fly ash // Proceedings of the Second International Conference on sustainable construction Materials and Technologies. – UWM Center for By-Products Utilization, 2010. P. 1493–1504.
23. Паспорт федерального проекта «Развитие региональных аэропортов и маршрутов» // Межрегиональная общественная организация «Майский указ». – URL: <http://xn--80aavcebfcmbcza.xn--p1ai/upload/iblock/dfb/Razvitiie-regionalnykh-aeroportov-i-marshrutov.pdf> (дата обращения: 17.02.2020).
24. ГОСТ 25818-2017 «Золы-уноса тепловых электростанций для бетонов. Технические условия» // Техэксперт. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200156972> (дата обращения: 17.02.2020).
25. Environmental Benefits // Ash Development Association of Australia. – URL: <http://www.adaa.asn.au/resource-utilisation/environmental-benefits> (дата обращения: 13.02.2020).
26. В 2019 году потребление цемента в России выросло на 8%, в этом году ожидается рост еще на 2% // Финмаркет. – URL: <http://www.finmarket.ru/news/5168737> (дата обращения: 23.04.2020).
27. Australian Cement Industry Statistics 2018 // Cement industry foundation. – URL: <http://www.cement.org.au/AustraliasCementIndustry/CIFFastFacts.aspx> (дата обращения: 23.04.2020).
28. Паспорт федерального проекта «Чистый воздух» // Межрегиональная общественная организация «Майский указ». – URL: <http://xn--80aavcebfcmbcza.xn--p1ai/biblioteka/federalnye-proekty/%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B5%D0%BA%D1%82-%D0%BF%D0%B0%D1%81%D0%BF%D0%BE%D1%80%D1%82%D0%B0-%D1%84%D0%B5%D0%B4%D0%B5%D1%80%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%BE%D0%B3%D0%BE-%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B5%D0%BA%D1%82-8/> (дата обращения: 18.02.2020).
29. Минэкономразвития России подготовило проект Стратегии долгосрочного развития России с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года // Минэкономразвития России. – URL: https://economy.gov.ru/material/news/minekonomrazvitiya_rossii_podgotovilo_proekt_strategii_dolgosrochnogo_razvitiya_rossii_s_nizkim_urovнем_vybrosov_parnikovyh_gazov_do_2050_goda_.html (дата обращения: 20.04.2020).
30. Паспорт федерального проекта «Оздоровление Волги» // Межрегиональная общественная организация «Майский указ». – URL: <http://xn--80aavcebfcmbcza.xn--p1ai/biblioteka/federalnye-proekty/%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B5%D0%BA%D1%82-%D0%BF%D0%B0%D1%81%D0%BF%D0%BE%D1%80%D1%82%D0%B0-%D1%84%D0%B5%D0%B4%D0%B5%D1%80%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%BE%D0%B3%D0%BE-%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B5%D0%BA%D1%82-9/> (дата обращения: 17.02.2020).
31. Паспорт федерального проекта «Сохранение озера Байкал» // Межрегиональная общественная организация «Майский указ». – URL: <http://xn--80aavcebfcmbcza.xn--p1ai/biblioteka/federalnye-proekty/%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B5%D0%BA%D1%82-%D0%BF%D0%B0%D1%81%D0%BF%D0%BE%D1%80%D1%82%D0%B0-%D1%84%D0%B5%D0%B4%D0%B5%D1%80%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%BE%D0%B3%D0%BE-%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B5%D0%BA%D1%82-10/>
32. Шишелова Т.И., Самусева М.Н., Шенькман Б.М. Использование ЗШО в качестве сорбента для очистки сточных вод // Современные наукоемкие технологии, 2008. № 5 (приложение). С. 20–22.
33. Котова О.Б., Шабалин И.Л., Котова Е.Л. Фазовые трансформации в технологиях синтеза и сорбционные свойства цеолитов из угольной золы уноса // Записки горного института, 2016. Т. 220. С.526–531.
34. Козлов П.В., Разработка технологии иммобилизации жидких солесодержащих CAO в цементную матрицу с последующим хранением компаунда в отсеках большого объема [Текст]: дис. канд. техн. наук: 05.17.02 – Технология редких, рассеянных и радиоактивных элементов. СПб, 2009. 164 с.
35. Указ Президента РФ от 21 января 2020 г. № 20 «Об утверждении Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации» // Гарант. – URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/73338425/> (дата обращения: 20.04.2020).
36. Synthesis of Zeolite from Fly Ash and their Use as Soil Amendment // IntechOpen. – URL: <https://www.intechopen.com/books/zeolites-useful-minerals/synthesis-of-zeolite-from-fly-ash-and-their-use-as-soil-amendment> (дата обращения: 13.02.2020).
37. Металлургия // Минпромторг России. – URL: <http://minpromtorg.gov.ru/activities/industry/otrasli/metal/> (дата обращения: 23.04.2020).
38. Приказ Министерства промышленности и торговли РФ от 5 мая 2014 г. № 839 «Об утверждении Стратегии развития черной металлургии России на 2014–2020 годы и на перспективу до 2030 года и Стратегии развития цветной металлургии России на 2014–2020 годы и на перспективу до 2030 года» // Гарант. – URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/70595824/> (дата обращения: 23.04.2020).
39. Комитет Государственной Думы по энергетике провел круглый стол на тему «Законодательное регулирование использования золошлаковых отходов угольных ТЭС» // Комитет Государственной Думы по энергетике, Государственная Дума Федерального Собрания Российской Федерации. – URL: <http://www.komitet2-13.km.duma.gov.ru/Novosti-Komiteta/item/18201897/> (дата обращения: 21.04.2020).
40. Ежова Н. Н. и др. Золошлаковые отходы тепловых электростанций – ценный сырьевой ресурс для черной и цветной металлургии // Экология промышленного производства, 2010. №. 2. С. 45–52.
41. Mineral Commodity Summaries 2020 // National Minerals Information Center. – URL: <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2020/mcs2020.pdf> (дата обращения: 24.04.2020).
42. РУСАЛ объявляет операционные результаты первого квартала 2019 года // РУСАЛ. – URL: https://rusal.ru/suppliers/files/30.04.2019%20RUSAL_%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B8%D0%B7%D0%B2%D0%BE%D0%B4%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8B%D0%B5%20%D1%80%D0%B5%D0%B7%D1%83%D0%BB%D1%8C%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%8B_1Q2019.pdf (дата обращения: 23.04.2020).
43. Valeev D. et al. Complex utilisation of ekibastuz brown coal fly ash: Iron & carbon separation and aluminum extraction // Journal of Cleaner Production, 2019. Т. 218. С. 192–201.
44. Судakov В. И., Ярмолинский В. А., Ярмолинская Н. И. Вариация свойств строительных материалов с использованием золошлаковых отходов // Дальний Восток, автомобильные дороги и безопасность движения, 2015. С. 169–176.
45. Об утверждении Стратегии развития промышленности по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов производства и потребления // Правительство Российской Федерации. – URL: <http://static.government.ru/media/files/y8PMkQGZLfbY7jhn6QMruaKoferAowzJ.pdf> (дата обращения: 23.04.2020).