

ОБЗОР НОРМАТИВНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ В ОБЛАСТИ ОБРАЩЕНИЯ С ЗОЛОШЛАКАМИ ТЭС

© 2024 г. И. В. Путилова^а, *, Н. А. Зройчиков^а

^аНациональный исследовательский университет “Московский энергетический институт”,
Красноказарменная ул., д. 14, стр. 1, Москва, 111250 Россия

*e-mail: PutilovaIV@ecopower.ru

Поступила в редакцию 14.11.2023 г.

После доработки 11.01.2024 г.

Принята к публикации 25.01.2024 г.

Приведены статистические данные по уровню использования золошлаков тепловых электростанций. Представлены результаты анализа нормативно-технической документации в области обращения с золошлаками энергетики. Рассмотрены законы, положения и иные документы, регламентирующие обращение с побочными продуктами сжигания угля. Отмечено, что необходимо провести доработку существующей документации, ввести в действие закрепленные законодательно термины и определения для ряда продуктов переработки золошлаков, а также юридически считать золошлаки минеральным сырьем, а не отходами. Приведены дефиниции золы и шлака согласно действующему отраслевому нормативному документу, в котором золошлаки именуются не отходами, а минеральными остатками твердого топлива. Показано, что различными государственными структурами ведется подготовка нормативных документов, связанных с вовлечением золошлаков в хозяйственный оборот, однако, существующая нормативная база не отвечает целям достижения уровня малоотходного и безотходного производства. Отмечено, что в настоящее время утверждены региональные программы по повышению уровня утилизации золошлаков ТЭС в субъектах РФ. Представлены мероприятия, которые позволят достичь показателей по уровню использования золошлаков ТЭС согласно Энергетической стратегии развития РФ до 2035 г. Пояснено, каким образом юридически корректная нормативно-техническая документация даст возможность повысить уровень утилизации золошлаков в России и будет способствовать ликвидации накопленного вреда окружающей среде. Показано, что наиболее масштабным, высокотехнологичным, экологичным и экономичным направлением использования летучей золы является замещение ею до 40% цемента при строительстве зданий и сооружений. Приведены определения летучей золы, используемой в цементах и бетонах, в стандартах разных стран (страны ЕС, США, Австралия, Индия, Китай, Япония, Россия) в зависимости от вида образовавшейся золы. Выполнен сравнительный анализ российских и зарубежных национальных стандартов по использованию золы в цементах и бетонах в части физических и химических характеристик, которые являются существенными ограничивающими факторами при выборе направлений и проектов использования золы.

Ключевые слова: природоохранное законодательство, вторичные ресурсы, класс опасности, золошлаки, угольная ТЭС, отходы угольной энергетики, продукты сжигания угля, целевые показатели, стандарт организации, экологическая безопасность

DOI: 10.56304/S0040363624060043

Более 18% электроэнергии и около 20% тепловой энергии в России производится на угольных ТЭС. Системы золошлакоудаления на этих ТЭС устарели, и качество побочных продуктов сжигания угля не соответствует современным требованиям, что ограничивает возможности их дальнейшего использования.

Площадь золошлакоотвалов в РФ составляет более 20 тыс. га, часть отвалов находится вблизи жилой застройки, что многократно увеличивает масштаб загрязнения воздушного бассейна, водо-

носного горизонта и почвы в зоне проживания населения. В районах, расположенных рядом с ТЭС, отмечается ухудшение здоровья населения и состояния окружающей природной среды. При этом подавляющее большинство золошлакоотвалов ТЭС уже находится на грани переполнения.

В России использование золошлаков составляет примерно 10–12% их годового выхода, во время как за рубежом уровень их полезного применения достигает 50–100%. Следует отметить, что золошлаки являются ценным минеральным

сырьем. В разных странах, включая РФ, разработаны технологии их использования в качестве вторичных минеральных ресурсов и приняты законодательные акты по усилению ответственности за нанесение вреда окружающей среде [1, 2].

Первым шагом на пути решения проблемы эффективного обращения с золошлаками ТЭС должно стать правовое изменение статуса золошлаков и терминологии обращения с ними [3]. К сожалению, многие эксперты в области обращения с золошлаками продолжают использовать термин “золошлаковые отходы” (ЗШО), а не “золошлаковые материалы” (ЗШМ). Это является следствием трех причин: непонимания ценности золошлаков, отнесения золошлаков энергетики в федеральном законодательстве России к отходам, игнорирования утвержденных отраслевых нормативных документов или отсутствия соответствующих квалификации и знаний. В настоящее время ведется работа по созданию ГОСТ Р “Ресурсосбережение. Вторичные материальные ресурсы. Термины и определения”, однако и в проекте этого стандарта золошлаки именуются отходами.

Действующий отраслевой нормативный документ, разработанный при участии И.В. Путиловой [4], определяет золошлаки ТЭС следующим образом:

зола (летучая зола, зола-уноса) — частицы минерального остатка твердого топлива с включением некоторого количества недожога (несгоревшей органической части топлива), которые выносятся дымовыми газами из топки котлоагрегата;

шлак — частицы минерального остатка твердого топлива с включением некоторого количества недожога (несгоревшей органической части топлива), образующиеся в топках котлов с камерным сжиганием, выпадающие из факела в топках котлов и выходящие из шлакоудалителей котлов с крупностью до 40 мм или поступающие из топок котлоагрегатов с кипящим слоем через охладители шлака в шлакоудалители с крупностью до 10 мм.

Для повышения уровня вовлечения ЗШМ в производственную деятельность необходимо проведение государственной политики, направленной на регулирование взаимоотношений между производителями, переработчиками и потребителями золошлаков. Эффективность государственных программ будет подтверждаться существенным повышением уровня переработки и использования золошлаков в различных отраслях экономики страны. Для стимулирования энергетических компаний в решении проблем обращения с золошлаками ТЭС требуется создание полноценной системы менеджмента побочных продуктов сжигания угля во всех угольных регионах России. Важным элементом решения проблемы является регулярное просвещение общественности о наилучших доступных техноло-

гиях (НДТ) в сфере обращения с золошлаками ТЭС. Распространение информации может происходить посредством организации и проведения обучения, круглых столов, семинаров и конференций с участием инженеров, экологов, представителей власти и всех заинтересованных лиц.

Стоит отметить, что на данный момент региональные программы по повышению уровня утилизации золошлаков ТЭС утверждены в пяти субъектах РФ: в Кемеровской области (Кузбассе), Хакасии, Томске, Тульской области и Приморском крае. Ведется масштабная работа по вовлечению основных министерств и ведомств в работу по повышению уровня утилизации золошлаков ТЭС.

НОРМАТИВНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ В ОБЛАСТИ ОБРАЩЕНИЯ С ЗОЛОШЛАКАМИ ТЭС В РОССИИ

В 2015 г. в России вступило в силу новое природоохранное законодательство, в котором предусматриваются меры по ужесточению ответственности за негативное воздействие промышленных объектов на окружающую среду. В нормативных документах были введены новые термины и определения, установлены механизмы стимулирования предприятий за внедрение наилучших доступных технологий, изменен порядок расчета экологических платежей за загрязнение воздушного, водного бассейнов и размещение отходов. Изменения напрямую касаются угольных ТЭС, в результате деятельности которых образуются золошлаки. Самым масштабным законодательным актом в области охраны окружающей среды с момента принятия Федерального закона “Об охране окружающей среды” в 2002 г. стал закон “О внесении изменений в Федеральный закон “Об охране окружающей среды» и отдельные законодательные акты Российской Федерации” [2]. Этот закон регламентирует ответственность промышленных предприятий за загрязнение окружающей среды, закрепляет материальную ответственность ТЭС за производственный экологический контроль [5] и выбросы вредных веществ в атмосферу, а также за размещение ЗШО на золошлакоотвалах.

Данный закон содержит положения, касающиеся широкого круга вопросов государственного регулирования природоохранной деятельности:

реформирование природоохранного нормирования вообще и внедрение НДТ и комплексных экологических разрешений в частности;

категорирование объектов хозяйственной и иной деятельности в зависимости от уровня негативного воздействия на окружающую среду и со-

ответствующая дифференциация обязательных экологических требований к ним;

введение единой государственной системы учета объектов хозяйственной и иной деятельности;

законодательное регулирование платы за негативное воздействие на окружающую среду;

создание системы экономического стимулирования при осуществлении природоохранных мероприятий.

Наряду с уже указанными законодательными актами, деятельность в области обращения с золошлаками энергетики регулируется также федеральными законами “Об отходах производства и потребления” [6], “О лицензировании отдельных видов деятельности” [7], “Об экологической экспертизе” [8] и “О внесении изменений в Закон Российской Федерации “О недрах” [9].

14 июля 2022 г. был опубликован Федеральный закон № 268 “О внесении изменений в Федеральный закон “Об отходах производства и потребления” и отдельные законодательные акты Российской Федерации” [10]. Закон регламентирует порядок обращения со вторичными ресурсами и их вовлечения в хозяйственный оборот. В числе прочего законом вводятся новые понятия, отсутствовавшие ранее:

вторичные ресурсы — отходы, которые или части которых могут быть повторно использованы для производства товаров, выполнения работ, оказания услуг или получения энергии и которые получены в результате раздельного накопления, сбора или обработки отходов либо образованы в процессе производства;

вторичное сырье — продукция, полученная из вторичных ресурсов непосредственно (без обработки) или в соответствии с технологическими процессами, методами и способами, предусмотренными документами в области стандартизации РФ, которая может использоваться в производстве другой продукции и (или) иной хозяйственной деятельности.

Согласно закону № 268, вторичные ресурсы подлежат утилизации, и их захоронение не допускается. Также устанавливаются требования к обращению с побочными продуктами производства, к которым могут быть отнесены золошлаки. Учет побочных продуктов производства осуществляется обособленно от учета основной продукции производства и отходов. Информация об отходах подлежит отражению в программе производственного экологического контроля и отчете об организации и о результатах осуществления производственного экологического контроля. Обращение с побочными продуктами производства будет осуществляться по особым правилам, предполагающим их использование в течение трех лет.

С 1 сентября 2023 г. вступил в силу Федеральный закон “О внесении изменений в Закон Российской Федерации “О недрах” [7], согласно которому для ликвидации горных выработок и иных сооружений, связанных с использованием недр, и рекультивации земель можно использовать золошлаковые отходы V класса опасности от сжигания угля и фосфогипс.

В июне 2022 г. Президент РФ утвердил перечень поручений по результатам проверки исполнения законодательства и решений Президента, направленных на развитие перспективной минерально-сырьевой базы [11]. Одно из поручений связано с вовлечением в промышленный оборот компонентов отходов горнодобывающих, обрабатывающих предприятий, зол и шлаков.

Помимо упомянутых федеральных законов, начиная с 2010 г., были опубликованы распоряжения Правительства РФ о развитии норм федеральных законов, а также ряд ведомственных актов Минприроды России [12–17]. Кроме того, в России действуют нормативно-технические документы разного уровня, затрагивающие вопросы обращения с золошлаками ТЭС напрямую или косвенно.

Согласно п. 17 Указа Президента Российской Федерации “О Стратегии экологической безопасности Российской Федерации на период до 2025 года” [18], неблагоприятная окружающая среда является причиной ухудшения здоровья и повышения смертности населения, особенно той его части, которая проживает в промышленных центрах и вблизи производственных объектов. Ежегодно экономические потери, обусловленные ухудшением качества окружающей среды без учета ущерба здоровью людей, составляют 4–6% валового внутреннего продукта (п. 18).

В соответствии с п. 44 этого документа должны быть решены следующие основные экологические задачи:

снижение или предотвращение негативного воздействия хозяйственной и иной деятельности на окружающую среду и рациональное использование природных ресурсов;

ликвидация накопленного экологического ущерба, восстановление деградированных природных экосистем.

Для решения этих задач Правительство РФ в 2018 г. утвердило документ “Стратегия развития промышленности по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов производства и потребления на период до 2030 года” [19] (далее — Стратегия), в котором органам исполнительной власти субъектов Российской Федерации в пределах их компетенции рекомендуется:

принять участие в реализации мероприятий, предусмотренных Стратегией;

руководствоваться положениями Стратегии при разработке и реализации территориальных схем и региональных программ в области обращения с отходами.

В Стратегии рассматривается 20 видов промышленных предприятий – источников образования отходов. Они охватывают все основные структурные сферы хозяйственной деятельности. Угольные ТЭС, объекты, эксплуатирующие промышленные установки по сжиганию твердого топлива, а также золошлаковые отвалы занимают в этом списке позиции с третьей по пятую соответственно.

В 2020 г. Правительство РФ утвердило “Энергетическую стратегию до 2035 г.” [20]. Согласно этому документу, уровень утилизации побочных продуктов сжигания угля в 2018 г. составил 8,4% годового уровня их образования на ТЭС России. Целевыми показателями “Энергетической стратегии до 2035 г.” предусмотрено достижение уровня утилизации золошлаков к 2024 г., равного 15%, а к 2035 г. – 50%.

В 2022 г. утвержден “Комплексный план по повышению объемов утилизации золошлаковых отходов V класса опасности, которые образуются в результате сжигания угля, торфа и их смесей в энергетических целях” [21]. Документ устанавливает целевой показатель по увеличению доли утилизируемых золошлаков тепловых электростанций и котельных до 15% годового объема их образования к 2024 году и до 50% к 2035 г. Кроме того, в документе содержится информация о 12 межотраслевых мероприятиях, направленных на создание экономических предпосылок и нормативное стимулирование внедрения практик вовлечения золошлаков ТЭС и котельных в хозяйственный оборот в качестве вторичного сырья. Это позволит заместить до 15 млн т природных ресурсов ежегодно и предотвратить выброс парниковых газов до 6 млн т в пересчете на CO₂ (экв.). Реализация плана даст угольным ТЭС возможность сэкономить к 2035 г. до 60 млрд руб. благодаря исключению необходимости увеличить емкости золошлакоотвалов [22].

Комплексный план будет реализовываться в два этапа: на первом этапе – организационное методическое и нормативно-техническое обеспечение практик утилизации отходов; второй этап будет направлен на развитие самих практик. Для каждого этапа Комплексного плана установлены перечень мероприятий, которые необходимо выполнить, и сроки реализации мероприятий, а также ожидаемый результат от выполнения того или иного мероприятия.

Следует отметить, что в России на текущий период не сформирован надлежащий комплекс нормативных документов в области обращения с золошлаками энергетики. Существующих доку-

ментов недостаточно для достижения уровня безотходного производства. В некоторых нормативно-правовых документах присутствует несоответствие формулировок и трактовок, что затрудняет их применение в различных отраслях хозяйственной деятельности [23].

Анализ федеральных законов “О техническом регулировании” [24] и “О стандартизации в Российской Федерации” [25] показывает, что имеются неопределенности в статусах некоторых действующих и разрабатываемых стандартов. Согласно законам [24, 25], стандарты, действующие на территории России, бывают четырех видов: международные, региональные, национальные и стандарты организаций, к которым относятся и технические условия. Каждый из перечисленных нормативно-технических актов разрабатывается, согласовывается и утверждается в строго установленном порядке.

В связи с изложенным выше, не уточнен статус следующих нормативно-технических документов Российской Федерации: ГОСТ 26644-85 [26], ГОСТ 25818-2017 [27], ГОСТ Р 57789-2017 [28] и ГОСТ 25592-2019 [29].

Статус межгосударственных (региональных) стандартов имеют ГОСТы 25818-2017, ГОСТ Р 57789-2017 и ГОСТ 25592-2019 [27–29]. Однако нет ясности, являются ли указанные документы национальными, региональными стандартами или стандартами организаций (техническими условиями) согласно Федеральному закону “О стандартизации в Российской Федерации” [25]. Еще один действующий документ в области применения золошлаков ТЭС – ведомственные строительные нормы ВСН 185-75 [30].

С сентября 2022 г. в нашей стране заработала электронная торговая площадка (ЭТП) по купле-продаже вторичных ресурсов Российского экологического оператора. Участниками ЭТП стали 36% компаний, предоставляющих услуги по обращению с отходами [31]. На ЭТП представлены вторичные ресурсы и сырье, в том числе и золошлаки; их можно покупать и продавать, заключать сделки по переработке, покупке, выставлять заказы на исполнение лотов в рамках расширенной ответственности производителя. Кроме того, в целях реализации проектов по повышению объемов утилизации золошлаковых отходов разработана интерактивная карта, на которой представлена информация о местоположении золошлакоотвалов.

В настоящее время различные государственные структуры ведут активную работу по вовлечению золошлаков ТЭС в хозяйственный оборот. Эту деятельность сдерживает отсутствие пакета нормативно-технической документации в области обращения с продуктами переработки золошлаков энергетики (зольных микросфер, не-

дожога угля, магнетитов, алюмосиликатов и др.) начиная с определения их как продуктов. Разработка недостающей нормативно-технической документации позволит повысить уровень утилизации золошлаков ТЭС в России и будет способствовать ликвидации накопленного экологического вреда.

Таким образом, необходим переход от анализа и регулирования объемов накопления отходов к организации производства и регулированию оборота побочных продуктов сжигания угля во всех регионах страны, где присутствует угольная генерация.

Указанная ранее продукция должна классифицироваться в строгом соответствии с кодификаторами: Общероссийским классификатором продукции по видам экономической деятельности (ОКПД-2), Общероссийским классификатором видов экономической деятельности (ОКВЭД-2), Товарной номенклатурой внешнеэкономической деятельности (ТН ВЭД) и Общероссийским классификатором стандартов (ОКС).

Для вовлечения золошлаков ТЭС в хозяйственный оборот страны, а также достижения целей, прописанных в Энергетической стратегии до 2035 г. [20], в законодательном аспекте необходимо сделать следующее:

1. Создать единый центр ответственности федерального уровня в области обращения с золошлаками энергетики, который проводил бы государственную политику и координировал действия в данной области. В компетенцию этого центра должны включаться разработка необходимых нормативных документов, реализация пилотных проектов с использованием золошлаков ТЭС в регионах страны, а также проведение круглых столов, семинаров и конференций, размещение публикаций в СМИ и т.д., что позволило бы существенно повысить уровень утилизации золошлаков ТЭС. В Индии, например, Центром ответственности является Миссия по проблеме летучей золы, созданная Министерством науки и технологии Индии. В Китае функциями и полномочиями наделена Китайская ассоциация циркулярной экономики под управлением Комитета по контролю и управлению государственным имуществом Государственного совета.

2. Разработать недостающую нормативно-техническую документацию в области обращения с золошлаками ТЭС.

3. Активно осуществлять межотраслевое взаимодействие на федеральном уровне с реализацией стратегий развития добывающей, обрабатывающей, металлургической, строительной, транспортной и других отраслей экономики с применением золошлаков энергетики в различных технологиях взамен природных ресурсов и материалов.

4. Вести разработку и реализацию дорожных карт, стимулирующих использование золошлаков энергетики в отраслях, соответствующими органами исполнительной власти на федеральном и региональном уровнях во всех угольных регионах России.

5. Осуществлять государственную поддержку малого и среднего бизнеса, занимающегося переработкой золошлаков ТЭС в целях получения полезной продукции.

6. Совершенствовать квалификацию персонала в области обращения с золошлаками энергетики с помощью постоянно действующей системы подготовки, повышения квалификации и профессиональной переподготовки специалистов.

Помимо описанных мер, важным аспектом в решении проблемы обращения с золошлаками ТЭС является стимулирование энергетических компаний и производств к ликвидации накопленного экологического вреда (переработке золошлаков, находящихся на золошлакоотвалах ТЭС), а также к снижению негативного воздействия на окружающую среду посредством перехода на малоотходные и, впоследствии, безотходные технологии. Для этого рекомендуется базироваться на принципах наилучших доступных технологий при проектировании, строительстве, модернизации и реконструкции систем золошлакоудаления ТЭС. Повышение уровня переработки золошлаков возможно при переходе на “сухие” системы золошлакоудаления ТЭС. Внедрение “сухих” технологий будет способствовать сохранению потребительских свойств побочных продуктов сжигания угля и их использованию в производстве цементов и бетонов.

Согласно материалам справочника по НДТ “Сжигание топлива на крупных установках в целях производства энергии” [32], а также статистическим данным по использованию золошлаков в разных странах, представленным в [33], наиболее масштабным, высокотехнологичным, экологичным и экономичным направлением использования летучей золы является ее применение в цементах и бетонах. При этом зола должна иметь стабильные свойства и соответствовать требованиям национальных стандартов. Наиболее важен критерий “потери при прокаливании”, в случае превышения им допустимых значений, прописанных в национальных стандартах, использование летучей золы в строительной индустрии ограничивается. Обзор и анализ требований национальных стандартов, предъявляемых к летучей золе при ее применении в цементах и бетонах, представлен далее.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛЕТУЧЕЙ ЗОЛЫ В ЦЕМЕНТАХ И БЕТОНАХ. НАЦИОНАЛЬНЫЕ СТАНДАРТЫ РАЗНЫХ СТРАН

При сжигании каменных, битуминозных и полубитуминозных углей в котлах с твердым шлакоудалением образуется кремниевая зола, имеющая пуццолановые свойства. В некоторых странах она относится к летучей золе класса F. При сжигании бурых углей с высоким содержанием оксидов кальция и серы также образуется зола, которая обладает выраженными гидравлическими свойствами. Кальциевая зола (зола с высоким содержанием оксидов кальция) в некоторых странах называется летучей золой класса C.

Определения типов золы и их свойств представлены в стандартах и соответствующих технических требованиях: в Европейском союзе они приведены в стандарте EN 450-1 [34], в США – ASTM C 618 [35], в Австралии и Новой Зеландии – AZ/NZS 3582 [36], в Японии – JIS 6201 [37], в Индии – IS 3812-1 [38], в Китае – GB/T 1596 [39], в России – ГОСТ 25818 [27]. Указанные стандарты применяются вместе с другими нормативно-техническими документами в области использования золошлаков и соответствующим природоохранным законодательством.

Практически во всех стандартах рассматривается летучая зола (ЕС, Австралия и Новая Зеландия, Япония), в частности летучая зола, образующаяся при сжигании антрацита, битуминозных, полубитуминозных и бурых углей (США, Индия и Китай) или угольных смесей (Россия). В этих стандартах содержатся требования к химическим и физическим свойствам золы.

Лишь в европейских стандартах приводятся требования к золе, полученной при совместном сжигании некоторых видов топлива в определенных количествах, что обеспечивает качество золы в нужном диапазоне заданных показателей. Характеристики модифицированной золы должны соответствовать требованиям стандарта EN 450-1, за исключением двух показателей – крупности и потерь при прокаливании. Свойства летучей золы могут быть изменены посредством классификации, отбора, рассевки, сушки, смешивания, размола и извлечения недожога или комбинации этих процессов. Модифицированная зола может состоять из различных видов золы, каждый из которых соответствует основным критериям стандартов. В ЮАР в полной мере применяется европейский стандарт EN, в Израиле он вступил в силу с минимальными изменениями, за исключением требований к золе, образовавшейся при совместном сжигании разных видов топлива, и системы контроля качества.

Все определения и терминология в нормативных документах относятся к золе, уловленной из

потока дымовых газов электрофильтрами или другими золоуловителями. Нормативы распространяются на кремниевую и/или кальциевую золу (ЕС, Япония, Индия, Россия) или золу класса F или C в зависимости от угля, сжигаемого на ТЭС США или Китая. Кальциевая зола (зола класса C) характеризуется наличием реактивного оксида кальция в количестве более 10%, в отличие от кремниевой золы (золы класса F). Согласно требованиям австралийского стандарта, общее количество извести в золе лимитируется 10%, тогда как в стандарте Новой Зеландии этот параметр не может превышать 25% вне зависимости от того, является зола кальциевой или кремниевой. В американском стандарте ASTM указано, что содержание извести в золе класса C, как правило, выше, чем в золе класса F, и составляет около 18%. В европейском стандарте по использованию летучей золы в цементах EN 197-1 приводятся два вида кальциевой золы: зола класса W1 с содержанием реактивной извести от 10 до 15% с тестированием золы на реакционную способность, как для кремниевого типа, и зола класса W2 с содержанием извести более 15%, рассматриваемая в качестве вяжущего с отдельными требованиями к показателям прочности. Кроме того, существуют нормы содержания оксидов серы, так как для достижения прочности бетона содержание серы в извести является очень важным.

Определения летучей золы, образующейся при сжигании различных видов топлива, представленные в стандартах разных стран, приведены в табл. 1. Требования национальных стандартов к физическим и химическим характеристикам летучей золы основываются на оценке реакционной способности кремниевой и кальциевой золы при использовании ее в бетонах. В стандартах ЕС и Японии рассматривается только кремниевая зола, в европейском стандарте – зола двух видов в зависимости от крупности. В стандартах Австралии, Китая и РФ приводятся три класса золы в зависимости от ее крупности, причем в российском стандарте от класса золы, определяемого по ее крупности, зависит, при производстве каких бетонных изделий и конструкций она может применяться (табл. 2).

Помимо требований к крупности золы, в большинстве стандартов содержатся требования к плотности частиц, водопотреблению, способности вступать в реакцию с известью, индексу активности, времени схватывания, увеличению в объеме.

Требования к химическому составу включают содержание основных оксидов металлов ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$), а также оксидов серы. Требования по содержанию MgO должны соблюдаться согласно законодательству стран ЕС, Индии и РФ.

Таблица 1. Виды топлива и определения летучей золы, используемой в цементах и бетонах, в стандартах разных стран

Параметр	Стандарт, страна						
	EN 450-1, EC	ASTM C 618, США	AZ/NZS 3582, Австралия и Новая Зеландия	JIS 6201, Япония	IS 3812-1, Индия	GB/T 1596, Китай	ГОСТ 25818, Россия
Вид топлива	Уголь, совместно сжигаемое с углем топливом	Антрацит, битуминозный, полубитуминозный, бурый уголь	Уголь	Уголь	Антрацит, битуминозный, полубитуминозный, бурый уголь	Антрацит, битуминозный, полубитуминозный, бурый уголь	Уголь или угольные смеси
Определение золы	Мелкодисперсный порошок, состоящий, в основном, из сферических стеклообразных частиц, образующийся при сжигании пылевидного угля или при совмещенном сжигании пылевидного угля с углем топливом, обладающий пуццолановыми свойствами и состоящий, главным образом, из SiO_2 и Al_2O_3	Зола класса F обычно образуется при сжигании антрацитов и битуминозных углей. Зола класса C обычно образуется при сжигании полубитуминозных и бурых углей	Твердый материал, уловленный из потока дымовых газов котла, работающего на пылевидном топливе	Зола, уловленная из потока дымовых газов пылеугольного котла с помощью золоуловителей	Кремниевая зола, образующаяся при сжигании пылевидного топлива (антрацита или битуминозного угля), с содержанием реактивного CaO менее 10%. Кальциевая зола, образующаяся при сжигании пылевидного топлива (бурого или полубитуминозного угля) с содержанием реактивного CaO не менее 10%	Летучая зола класса F, образующаяся при сжигании антрацита или битуминозного угля. Летучая зола класса C, образующаяся при сжигании лигнита, полубитуминозного угля	Кремниевая летучая зола, образующаяся при сжигании пылевидного угля с содержанием реактивного CaO менее 10%. Кальциевая летучая зола с содержанием реактивного CaO более 10%
Не рассматривается	Зола, образующаяся при сжигании бытовых и промышленных отходов, не соответствующая определению		Летучая зола, образующаяся при сжигании в котлах с кипящим слоем			Зола, образующаяся при сжигании коммунальных и промышленных отходов; зола, образующаяся при сжигании топлива в котлах с кипящим слоем	

Таблица 2. Физические и химические характеристики летучей золы, используемой в цементах и бетонах, согласно стандартам разных стран

Показатель	Стандарт, страна													
	EN 450-1, ЕС		ASTM C 618, США		IS 3812-1, Индия		AS 3582.1, Австралия			GB/T 1597, Китай		ГОСТ 25818, Россия		JIS 6201, Япония
	категория N	категория S	класс F	класс C	кремниевая	кальциевая	отдельный класс (мелкая)	класс 1 (средняя)	класс 2 (крупная)	класс F	класс C	кремниевая	кальциевая	
Потери массы при прокаливании (макс.), %	<5; <7; <9 (категории A; B; C)		6.0*6	6	5.0		3	4	6	$\leq 5; \leq 8^{*8}; \leq 10$ (класс I; II; III)*9		<10; <15 (вид I; II)*9	<3; <5 (вид I; II)	5
CaO _{своб} (макс.), %	1.5*1									≤ 1.0	≤ 4.0		<5 (вид I; II)	
SO ₃ (макс.), %	3.0			5.0	3.0			3.0		≤ 3.0 ($\leq 3.5^{*8}$)		<3; <5 (вид I; II)	<5 (вид I; II)	
Cl (макс.), %	0.1				0.05									
CaO, %								< 10						
CaO _{реакт} (макс.), %	10				<10	>10						<10	>10	
SiO ₂ реакт (мин.), %	25				20									
SiO ₂ (мин.) %					35	25								45
SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃ (мин.), %	70		70	50	70	50		70		≥ 70	≥ 50	≥ 70		
Na ₂ O _{экв} (макс.), %	5				1.5							<3	<1.5 (вид I; II)	
MgO (макс.), %	4				5									
Влажность, %			3.0		2.0			0.5		≤ 1.0		≤ 1.0		1.0
Остаток на сите 45 мкм (макс.), %	40 ($\pm 10\%$)	12	34 ($\pm 5\%$)		34		15	25	45	$\leq 12; \leq 30; \leq 45$ (класс I; II; III)				

Таблица 2. Продолжение

Показатель	Стандарт, страна													
	EN 450-1, ЕС		ASTM C 618, США		IS 3812-1, Индия		AS 3582.1, Австралия			GB/T 1597, Китай		ГОСТ 25818, Россия		JIS 6201, Япония
	категория N	категория S	класс F	класс C	кремниевая	кальциевая	отдельный класс (мелкая)	класс 1 (средняя)	класс 2 (крупная)	класс F	класс C	кремниевая	кальциевая	
Удельная площадь поверхности частиц, см ² /г					3200 (мин.)							>2500/1500 (вид I/II)	>2500/2000 (вид I/II)	2400 (мин.)
Плотность, кг/м ³	±200*2			5%*2						≤2.6				
Увеличение в объеме (равномерность) (макс.)	10 мм*3			0.8%*7	0.8%									
Индекс активности золы через 28 сут (мин.) %	75*4			75*4	80					≥70				60
Водопоглощаемость (макс.) %, в сравнении с контрольным образцом	95*5			105	105									

*1 Содержание СаО_{своб} может достигать 2.5% (по массе) при обеспечении соответствующей прочности.

*2 Максимальное отклонение от заявленного показателя.

*3 Только при содержании СаО_{своб} > 1.5%.

*4 Согласно требованиям стандарта EN 196, нет определенного соотношения летучей золы к цементу, водоцементное отношение – 0.5.

*5 Только для золы категории S.

*6 Возможно увеличение показателя потерь при прокаливании до 12% в золе класса F при наличии приемлемых характеристик или результатов лабораторных испытаний.

*7 Согласно требованиям ASTM C-1012, соотношение летучая зола/цемент составляет 20/80 при равномерном осадке.

*8 В случае применения летучей золы при производстве цементов.

*9 Вид I – для железобетонных конструкций и изделий из тяжелого или мелкозернистого (по ГОСТ 26663) и легкого (по ГОСТ 25820) бетонов, строительных растворов (по ГОСТ 28013); показатели для летучей золы, образующейся при сжигании антрацитов углей; при сжигании антрацитов потери при прокаливании не должны превышать 20 и 25% для золы вида I и II соответственно.

В России, в соответствии с ГОСТ 25818-2017 [27] золу применяют как минеральную добавку или наполнитель при производстве тяжелых, легких, ячеистых бетонов, сухих строительных смесей и строительных растворов, а также в составе минеральных вяжущих для приготовления смесей и укрепленных грунтов в дорожном строительстве. При изготовлении тяжелых, легких бетонов и строительных растворов золу следует применять в целях экономии цемента, наполнителей, улучшения технологических свойств бетонной и растворной смесей, а также показателей качества бетонов и растворов.

Согласно ГОСТ 25818-2017 [27], в России золу с содержанием оксида кальция СаО не менее 30% (по массе) следует применять в качестве компонента цемента или другого вяжущего при изготовлении строительных растворов и бетонов для сборных и монолитных бетонных и железобетонных изделий и конструкций, иначе говоря, до 30% цемента может быть заменено сухой высококальциевой золой. Для сравнения: в США и Австралии этот показатель составляет 20%, в Индии – 35%.

В 2022 г. в России было произведено 60.8 млн т цемента [40], в том числе в районах с угольной генерацией – 30 млн т. Таким образом, потенциал применения высококальциевой золы составляет около 10 млн т в год с учетом минимального транспортного плеча и снижения транспортных расходов. При использовании золошлаков взамен природных материалов (песка, гравия) себестоимость строительной продукции может снизиться на 10–20% при близком расположении угольных ТЭС [41]. Кроме того, при замещении золошлаками части цемента существенным экологическим эффектом является снижение выбросов парниковых газов, так как при производстве 1 т цемента традиционными способами выбрасывается около 1 т CO₂.

ВЫВОДЫ

1. Решение проблемы обращения с золошлаками ТЭС позволит минимизировать накопленный экологический вред и предотвратить негативное влияние объектов угольной генерации на окружающую среду. Для этого требуется создание системы менеджмента побочных продуктов сжигания угля в зоне расположения угольных ТЭС. Процесс учета и использования таких продуктов должен начинаться от производителя золошлаков – угольной ТЭС со всем необходимым набором оборудования и технологий и доходить до потребителя побочных продуктов сжигания угля. В функции системы необходимо включить постоянное формирование рынка сбыта золошлаков и учет всех логистических цепочек. При этом должны быть обозначены конкретные центры ответственности, регулирующие взаимоотношения

между производителями, переработчиками и потребителями золошлаков.

2. В настоящее время в России представители различных федеральных органов исполнительной власти ведут активную работу, нацеленную на повышение уровня утилизации золошлаков ТЭС. Тем не менее, на сегодняшний день не сформирован достаточный комплекс нормативных документов в области обращения с побочными продуктами сжигания угля (золистыми микросферами, недожогом угля, магнетитами, алюмосиликатами и др.). Существующая нормативная база не отвечает целям достижения уровня малоотходного и безотходного производства. При этом юридически золошлаки и побочные продукты сжигания угля определены как отходы.

3. Мировой опыт показывает, что наиболее масштабным, высокотехнологичным, экологичным и экономичным направлением использования летучей золы является замещение ею до 40% цемента при строительстве зданий и сооружений. Для этих целей в различных странах на угольных ТЭС применяются “сухие” системы золошлакоудаления, при эксплуатации которых ухудшения потребительских свойств побочных продуктов сжигания угля не происходит. При этом зола должна иметь стабильные свойства и соответствовать требованиям национальных стандартов. Особое внимание уделяется критерию “потери при прокаливании”, превышение предельных значений которого, прописанных в стандартах, приводит к ограничениям использования летучей золы в строительной индустрии.

4. Применение систем гидрозолошлакоудаления на ТЭС существенно сужает спектр использования золошлаков, особенно в строительной индустрии. Уровень рационального использования золошлаков энергетики остается низким.

5. Большую роль в решении проблемы обращения с побочными продуктами сжигания угля играет совершенствование квалификации персонала в области обращения с золошлаками энергетики. Необходима постоянно действующая система подготовки, повышения квалификации и профессиональной переподготовки специалистов. Положительный эффект окажет регулярное просвещение общественности о НДТ в сфере обращения с золошлаками ТЭС. Можно рекомендовать проведение круглых столов, семинаров и конференций с участием специалистов в инженерно-технических вопросах использования золошлаков, а также юристов, экологов и представителей власти.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Федеральный** закон от 10.01.2002 г. № 7-ФЗ “Об охране окружающей среды”. (Ред. от 25.12.2023.)

2. **Федеральный закон** от 21.07.2014 г. № 219-ФЗ “О внесении изменений в Федеральный закон “Об охране окружающей среды” и отдельные законодательные акты Российской Федерации”. Опубл. 22.07.2014.
3. **Золошлаки** энергетики: статус и определения / В.Я. Путилов, И.В. Путилова, Н.А. Зройчиков, Х.-И. Фохерборн // Альтернативная энергетика и экология. 2017. № 1–3. С. 73–83. <https://doi.org/10.15518/isjaee.2017.01-03.073-083>
4. **РД 153-34.1-27.512-2001**. Методические указания по расчету и рекомендации по снижению абразивного износа пневмотранспортных трубопроводов систем пылеприготовления и золошлакоудаления ТЭС / В.Я. Путилов, И.В. Путилова, Е.А. Маликова, Б.Л. Вишня, К.П. Боричев. М.: МЭИ, 2001.
5. **ИТС 22.1-2016**. Общие принципы производственного экологического контроля и его метрологического обеспечения. М.: Бюро НТД, 2016.
6. **Федеральный закон** от 24.06.1998 № 89-ФЗ “Об отходах производства и потребления”. (Ред. от 04.08.2023.)
7. **Федеральный закон** от 23.11.1995 № 99-ФЗ “О лицензировании отдельных видов деятельности”. (Ред. от 04.08.2023.)
8. **Федеральный закон** от 19.07.1995 № 174-ФЗ “Об экологической экспертизе”. (Ред. от 19.12.2023.)
9. **Федеральный закон** от 14.07.2022 № 343-ФЗ “О внесении изменений в Закон Российской Федерации “О недрах”.
10. **Федеральный закон** от 14.07.2022 № 268-ФЗ “О внесении изменений в Федеральный закон “Об отходах производства и потребления” и отдельные законодательные акты Российской Федерации”. Опубл. 14.07.2022.
11. **Перечень** поручений по результатам проверки исполнения законодательства и решений Президента, направленных на развитие перспективной минеральной-сырьевой базы. Утв. Президентом РФ 28.06.2022 № 1130.
12. **Приказ** Минприроды России от 08.12.2020 № 1029 “Об утверждении порядка разработки и утверждения нормативов образования отходов и лимитов на их размещение”. Вступ. в силу с 01.01.2021.
13. **Приказ** Минприроды России от 25.02.2010 № 49 “Об утверждении Правил инвентаризации объектов размещения отходов”. Зарег. в Минюсте 08.06.2010.
14. **Приказ** Минприроды России от 08.12.2020 № 1028 “Об утверждении Порядка учета в области обращения с отходами”. Вступ. в силу с 01.01.2021.
15. **Приказ** Минприроды России от 30.09.2011 № 792 “Об утверждении Порядка ведения государственного кадастра отходов, утвержденного приказом Минприроды России”. Зарег. в Минюсте 16.11.2011.
16. **Приказ** Росприроднадзора от 22.05.2017 № 242 “Об утверждении Федерального классификационного каталога отходов”. Зарег. в Минюсте 08.06.2017.
17. **Приказ** Минприроды России от 30.09.2011 № 792 “Об утверждении Порядка ведения государственного кадастра отходов”. Зарег. в Минюсте 16.11.2011.
18. **Указ** Президента РФ от 20.04.2017 № 176 “Стратегия экологической безопасности Российской Федерации на период до 2025 года”. Опубл. 20.04.2017.
19. **Распоряжение** Правительства РФ от 25.01.2018 № 84-р “Об утверждении Стратегии развития промышленности по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов производства и потребления на период до 2030 года”. Опубл. 30.01.2018.
20. **Энергетическая стратегия** Российской Федерации до 2035 г. Утв. распоряжением Правительства РФ от 09.06.2020 № 1523-р.
21. **Распоряжение** Правительства Российской Федерации от 15.06.2022 № 1557-р “Об утверждении комплексного плана по повышению объемов утилизации золошлаковых отходов V класса опасности”. Опубл. 16.06.2022.
22. **Комплексный план** по повышению объемов утилизации золошлаковых отходов V класса опасности, которые образуются в результате сжигания угля, торфа и их смесей в энергетических целях / М-во энергетики РФ [Электрон. ресурс.] <https://minenergo.gov.ru/node/18342> (Дата обращения: 01.03.2023.)
23. **Путилова И.В., Шевцов В.Р., Шубин Е.А.** Правовые основы формирования системы эффективно обращения с побочными продуктами сжигания угля // Альтернативная энергетика и экология. 2021. № 1–3. С. 102–112. <https://doi.org/10.15518/isjaee.2021.01.007>
24. **Федеральный закон** от 27.12.2002 № 184-ФЗ “О техническом регулировании”. (Ред. от 02.07.2021.)
25. **Федеральный закон** от 19.06.2015 № 162-ФЗ “О стандартизации в Российской Федерации” (Ред. от 29.06.2015.)
26. **ГОСТ 26644-85**. Щебень и песок из шлаков тепловых электростанций для бетона. Технические условия. М.: Изд-во стандартов, 1988. Введ. в действие с 01.01.1987.
27. **ГОСТ 25818-2017**. Золы-уноса тепловых электростанций для бетонов”. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2017. Введ. в действие с 01.03.2018.
28. **ГОСТ Р 57789-2017**. Золы, шлаки и золошлаковые смеси ТЭС для производства искусственных пористых заполнителей. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2019. Введ. в действие с 01.03.2018.
29. **ГОСТ 25592-2019**. Смеси золошлаковые тепловых электростанций для бетонов. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2019. Введ. в действие с 01.06.2020.
30. **ВСН 185-75**. Технические указания 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. М.: Минтрансстрой СССР, 1975. Введ. в действие с 01.08.1975.
31. **Третью** утилизаторов отходов в России перешла на сделки онлайн // Ведомости. 16.03.2023. [Сетевое изд.] [Электрон. ресурс.] https://www.vedomosti.ru/press_releases/2023/03/16/tret-utilizatorov-othodov-v-rossii-pereshla-na-sdelki-onlain (Дата обращения: 28.03.2023.)

32. **ИТС 38-2022.** Сжигание топлива на крупных установках в целях производства энергии. М.: Росстандарт, 2022.
33. **Putilova I.V.** Current state of the coal ash handling problem in Russia and abroad, aspects of the coal ash applications in hydrogen economy // *Int. J. Hydrogen Energy*. 2023. V. 48. P. 31040–31048. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2023.04.230>
34. **EN 450-1-2012:** Fly Ash for Concrete - Part 1: Definition, Specifications and Conformity Criteria.
35. **ASTM C618-171:** Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete. 2017.
36. **AS 3582.1:** Supplementary cementitious materials. Part 1: Fly Ash. 2016.
37. **JIS 6201:** Fly Ash. 15th ed. 21 Oct. 2019.
38. **IS 3812-1:** Pulverized Fuel Ash – Specification. Part 1. For Use as Pozzolana in Cement, Cement Mortar and Concrete. 2022.
39. **GB/T 1596:** Fly Ash for Cement and Concrete. 2017.
40. **Эксперты** предсказали снижение рынка цемента в РФ в 2023 году на 10–20% // *Интерфакс.ру*. 21.02.2023. [Сетевое изд.] [Электрон. ресурс.] <https://www.interfax.ru/business/887221> (Дата обращения: 28.03.2023.)
41. **Сниккарс П.Н., Золотова И.Ю., Осокин Н.А.** Утилизация золошлаков ТЭС как новая кроссотраслевая задача // *Энергетическая политика*. 2020. № 7 (149). С. 34–45. https://doi.org/10.46920/2409-5516_2020_7149_34

Review of Regulative and Technical Documentation in the Field of Ash and Slag Handling at TPPs

I. V. Putilova^{a, *} and N. A. Zroychikov^a

^a *National Research University Moscow Energy Institute, Moscow, 111250 Russia*

^{*}*e-mail: PutilovaIV@ecopower.ru*

Abstract—Statistical data on the level of use of ash and slag from thermal power plants is provided. The results of an analysis of regulatory and technical documentation in the field of ash and slag management in the energy sector are presented. Laws, regulations, and other documents regulating the management of by-products of coal combustion are considered. It was noted that it is necessary to refine the existing documentation, introduce legally defined terms and definitions for a number of ash and slag processing products, and also legally consider ash and slag as mineral raw materials and not waste. Definitions of ash and slag are given in accordance with the current industry regulatory document, in which ash and slag are thus called waste but mineral residues of solid fuel. It is shown that various government agencies are preparing regulatory documents related to the involvement of ash and slag into economic circulation. However, the existing regulatory framework does not meet the goals of achieving the level of low-waste and waste-free production. It was noted that regional programs have currently been approved to increase the level of ash and slag utilization from thermal power plants in the constituent entities of the Russian Federation. Activities are presented that will make it possible to achieve the indicators for the level of utilization of ash and slag from thermal power plants in accordance with the Energy Development Strategy of the Russian Federation until 2035. It is explained how legally correct regulatory and technical documentation will make it possible to increase the level of ash and slag utilization in Russia and will help eliminate accumulated harm to the environment. It has been shown that the most large-scale, high-tech, environmentally friendly and economical use of fly ash is its replacement of up to 40% of cement in the construction of buildings and structures. Definitions of fly ash used in cements and concretes are given in the standards of different countries (EU countries, United States, Australia, India, China, Japan, Russia) depending on the type of ash formed. A comparative analysis of Russian and foreign national standards for the use of ash in cements and concretes was carried out in terms of physical and chemical characteristics, which are significant limiting factors when choosing directions and projects for the use of ash.

Keywords: environmental legislation, secondary resources, hazard class, ash and slag, coal thermal power plant, coal energy waste, coal combustion products, target indicators, organization standard, environmental safety