

МЕЖДУНАРОДНЫЙ ОПЫТ В ОБЛАСТИ ОБРАЩЕНИЯ С ЗОЛОШЛАКАМИ ТЭС

© 2025 г. И. В. Путилова^а, *, Н. А. Зройчиков^а, М. И. Сапаров^б

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

^бНекоммерческое партнерство “Научно-технический совет Единой энергетической системы”,
проезд Завода “Серп и Молот”, д. 10, оф. 608, Москва, 111250 Россия

*e-mail: PutilovaIV@ecopower.ru

Поступила в редакцию 06.11.2024 г.

После доработки 25.02.2025 г.

Принята к публикации 05.03.2025 г.

Правительством Российской Федерации утвержден “Комплексный план по повышению объемов утилизации золошлаковых отходов V класса опасности”, направленный на достижение целевого показателя — увеличения к 2035 г. доли полезно используемых золошлаков ТЭС и котельных до 50% годового объема их образования. Рассмотрены мировые достижения на примерах передового опыта Китая, Индии и стран — членов ЕС, добившихся значительных результатов в области утилизации золошлаков ТЭС. Приведены основные направления применения сухой золы в России, а также представлена информация о продуктах переработки золошлаков энергетики. Выполнен анализ актуальной информации, связанной с использованием золошлаков ТЭС, и деятельности различных организаций этих стран, направленной на достижение 100%-ного уровня утилизации золошлаков. Повышенное внимание уделено требованиям нормативных документов, изданных Министерством окружающей среды, лесного хозяйства и климата, с целью достичь 100%-ной утилизации летучей золы в Индии. Важная роль угольной генерации подтверждена данными распределения источников энергии в структуре мирового потребления и объемами выработки электроэнергии на угольных ТЭС в Китае, Индии, странах — членах ЕС и России. Приведена статистика объемов образования и использования золошлаков ТЭС в вышеуказанных странах. Рассмотрен опыт стран ЕС по законодательному регулированию в области обращения с золошлаками энергетики на основе Регламента Европейского союза по регистрации, оценке, авторизации и ограничению производства и использования химических веществ (REACH), вступившего в силу в 2007 г. Особое внимание уделено необходимости и целесообразности повышения уровня утилизации продуктов сжигания угля на ТЭС в России.

Ключевые слова: золошлаки, угольная ТЭС, отходы угольной энергетики, продукты сжигания угля, летучая зола, гидрозолошлакоудаление, утилизация, Регламент REACH, Индия, Китай, выбросы CO₂

DOI: 10.56304/S0040363624601234

В структуре мировой выработки электроэнергии уголь по-прежнему занимает одно из ведущих мест (35–41%) и превалирует над другими первичными источниками энергии. Производство электроэнергии на основе угольной генерации в 2023 г. достигло рекордного уровня — 10467 ТВт · ч [1].

В период 1990–2023 гг. объем производства электроэнергии на угольных ТЭС Китая увеличился с 441 до 5742 млрд кВт · ч, т.е. в 13 раз, и в 2023 г. составил 61% общего объема производства электроэнергии в стране.

В 2023 г. на долю угольных ТЭС в Китае приходилось 60% выработки электроэнергии [2], или около 55% общего объема угольной генерации в мире. За последние два десятилетия Китай увеличил ее почти в 5.5 раза (с 1060 в 2000 г.

до 5742 ТВт · ч в 2023 г.). В 2021–2023 гг. в стране было выведено из эксплуатации всего 0.1% мощностей на угле при ежегодном вводе в эксплуатацию 20–40 ГВт новых угольных ТЭС. С января по июнь 2023 г. было начато строительство новых угольных ТЭС установленной мощностью 37 ГВт, получено разрешение на проектирование ТЭС мощностью 41 ГВт и возрождено несколько ранее отложенных проектов на 8 ГВт. В конце 2023 г. в Китае угольные электростанции общей мощностью 243 ГВт находились в стадии строительства или разрешения на строительство [3].

Интересные метаморфозы в динамике использования угля наблюдаются в Индии. Согласно прогнозам Международного энергетического

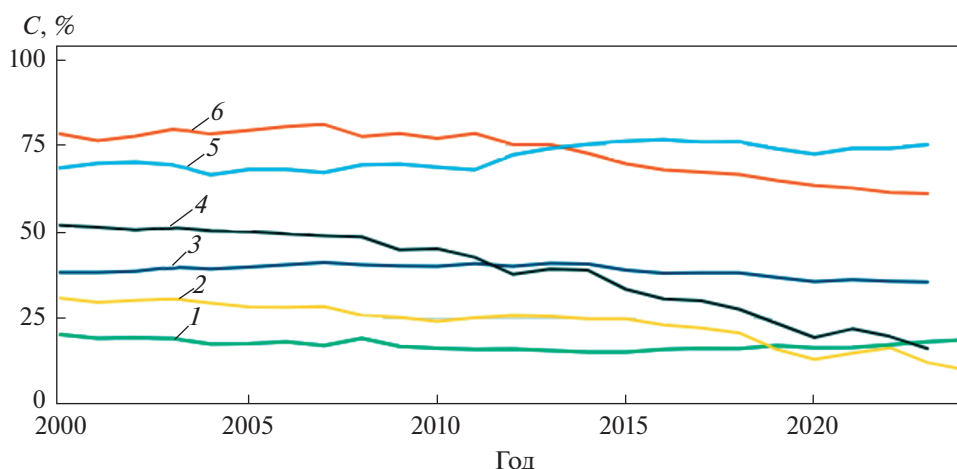


Рис. 1. Динамика производства электроэнергии на основе угольной генерации C в отдельных странах и мире.
1 — Россия; 2 — ЕС; 3 — весь мир; 4 — США; 5 — Индия; 6 — Китай

агентства (МЭА), в Индии первостепенное развитие должны получить возобновляемые источники энергии (ВИЭ). Одним из аргументов является природное преимущество Индии для солнечных электростанций — наличие на ее территории солнечной энергии в течение всего года. Однако в 2020 г. Правительство страны сняло ограничение на угольную генерацию, что привело к довольно резкому росту потребления угля в стране (рис. 1).

В Индии уголь был и остается одним из основных источников энергии. В 2023 г. выработка электроэнергии составила 1805 ТВт · ч, из них 71.3% за счет угольной генерации (см. рис. 1). Доля угля в энергетике Индии больше, чем в Китае (60%). В условиях дефицита энергоносителей в Индии использование угля обеспечивает возможность поддерживать низкие цены на электроэнергию и конкурировать с экономикой Китая.

Доля угольных ТЭС в Европейском союзе в 2023 г. составила примерно 12%. В ЕС ежегодное снижение угольной генерации составляло в среднем 4.2% (см. рис. 1), однако в 2023 г. наблюдался некоторый рост потребления угля. Больше всего доля угольной генерации снижалась в Германии. В 2000 г. в стране на угольных ТЭС производилось 52% электроэнергии, а в 2023 г. — 26.8%. Но после 2020 г. снижение доли угольной генерации в Германии замедлилось.

Доля угольных ТЭС в выработке электроэнергии в России в 2023 г. составила около 18% (см. рис. 1). Предпосылок для уменьшения доли угольной генерации, связанных с так называемым углеродным следом, в нашей стране нет. Доля выбросов CO_2 угольными ТЭС в России составляет 35–45% их общей эмиссии (в мире — примерно 75%), что не превышает 0.5% общими-

ровых выбросов, обусловленных использованием ископаемых топлив [3].

Следует отметить, что на угольных ТЭС России работает в основном низкоэффективное оборудование со сроком службы, превышающим парковый ресурс, которое характеризуется значительными выбросами в окружающую среду загрязняющих веществ. В настоящее время происходит замещение угольных мощностей парогазовыми и газомазутными установками. Вследствие этого в европейской части РФ и Уральском федеральном округе суммарная электрическая мощность ТЭС, на которых уголь является проектным топливом, существенно сократилась и составляет примерно 6.1 и 5.9 ГВт соответственно. Суммарная мощность ТЭС в этих регионах находится на уровне 89.1 и 49.7 ГВт, доля угольной электрогенерации в общей мощности ТЭС в европейской части РФ составляет около 7%, а на Урале — менее 12%. Нужно отметить, что в соответствии с утвержденной Правительством РФ Генеральной схемой размещения объектов электроэнергетики до 2042 г. строительство новых угольных ТЭС в этих регионах не предусмотрено. К 2036 г. планируется построить новые угольные ТЭС только в Сибири и на Сахалине общей мощностью менее 3 ГВт, что составит 3.4% общего прогнозного ввода генерирующего оборудования до 2042 г. (88477 ГВт). Тем самым доля угольных ТЭС в общей структуре производства электрической энергии в России к 2042 г. должна сократиться до 11.2%, а доля ВИЭ увеличиться с 0.8% в 2023 г. до 3.3% к 2042 г. Аналогичные изменения запланированы и в структуре установленной мощности электростанций России: сокращение доли угольных ТЭС к 2042 г. до 12% и увеличение доли ВИЭ до 7.3% (с 1.9% в 2023 г.) [3].

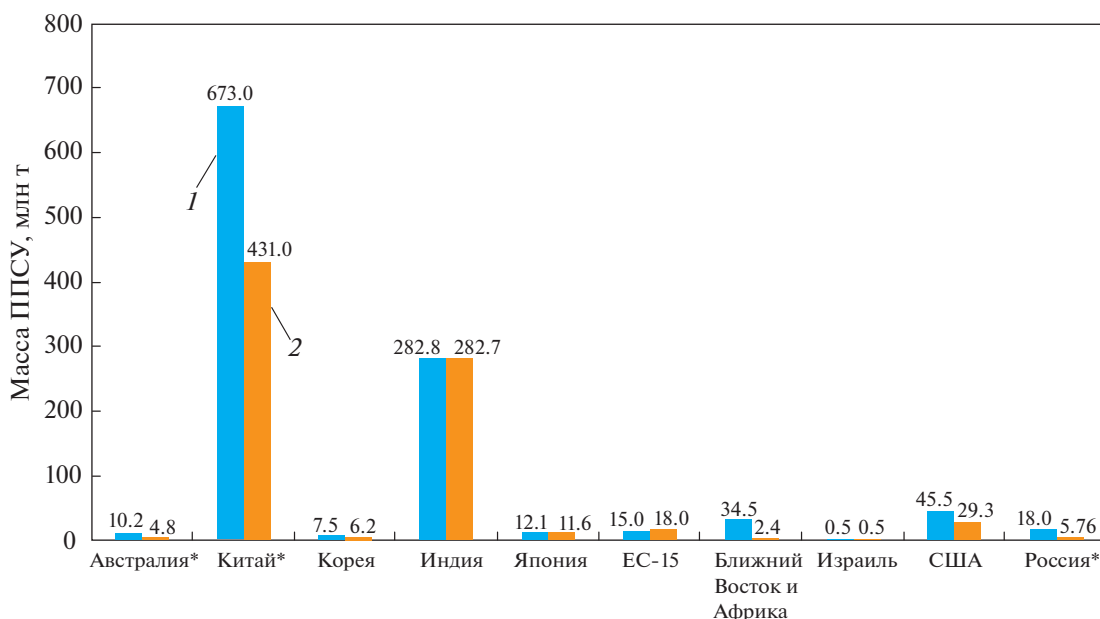


Рис. 2. Объемы образования (1) и утилизации (2) ППСУ в разных странах в 2022–2023 гг.

В сравнении с природным газом и мазутом, уголь является наиболее доступным источником энергии [4, 5], при этом и самым загрязняющим окружающую среду. Несмотря на это, в Сибири и на Дальнем Востоке углю нет экономически равноценных альтернатив. Уменьшение доли угольной генерации в России может привести к негативным последствиям социального и экономического характера и стать причиной снижения стратегической устойчивости энергетики страны. В связи с этим возникает необходимость модернизации угольных ТЭС как одного из приоритетных направлений развития отечественной электроэнергетики [3].

ОБРАЗОВАНИЕ И УТИЛИЗАЦИЯ ПОБОЧНЫХ ПРОДУКТОВ СЖИГАНИЯ УГЛЯ – ГЛОБАЛЬНАЯ СТАТИСТИКА

В России насчитывается 90 крупных (без учета электростанций мощностью менее 12 МВт и котельных) ТЭС на твердом топливе. Проблема обращения с золошлаками энергетики особенно остро стоит на Урале, в Сибири и на Дальнем Востоке [6]. Срок эксплуатации угольных ТЭС в РФ составляет около 50 лет [7, 8]. При ежегодном объеме накопления золошлаков в отвалах ТЭС от 18 до 30 млн т [9, 10] за этот период было аккумулировано их гигантское количество – более 1.5 млрд т [11, 12].

Правительство РФ утвердило Энергетическую стратегию до 2035 г. [13], в которой установлен ключевой показатель – 50%-ный уровень утилиза-

ции золошлаков к 2035 г. С этой же целью в 2022 г. был утвержден “Комплексный план повышения объемов утилизации золошлаковых отходов V класса опасности” [14].

Наиболее полными (опубликованными в специализированных официальных источниках) являются данные по объемам образования и использования побочных продуктов сжигания угля (ППСУ) за 2022 г. [15]. Лишь в некоторых странах обработаны и опубликованы данные за 2023 г.; на рис. 2 они отмечены звездочкой.

Ежегодный объем образования золошлаков в мире превышает 1 млрд т [16]. В 2019 г. он равнялся 1.1 млрд т [17], в 2022 г. – 1.2 млрд т [15].

В США, европейских и других промышленно развитых странах уровень переработки золошлаков энергетики составляет более 60%. В Индии этот показатель достигает 100%, в Китае – 60%. В 15 странах Евросоюза (ЕС-15) зафиксирован самый высокий уровень использования золошлаков – 120%, т.е. их перерабатывается больше, чем образуется. В 2022 г. по данным Минэнерго в России использовалось золошлаков 28% объема их образования [16], а по итогам 2023 г. – 32% [17]. Такие низкие показатели утилизации золошлаков обусловлены прежде всего применением на ТЭС систем гидрозолошлакоудаления (ГЗУ) и складированием их в отвалы, недостатками нормативно-правовой базы, отсутствием стимулов для участников рынка золошлаков [18, 19].

Опыт реализации проектов с использованием золошлаков в России и за рубежом рассмотрен в

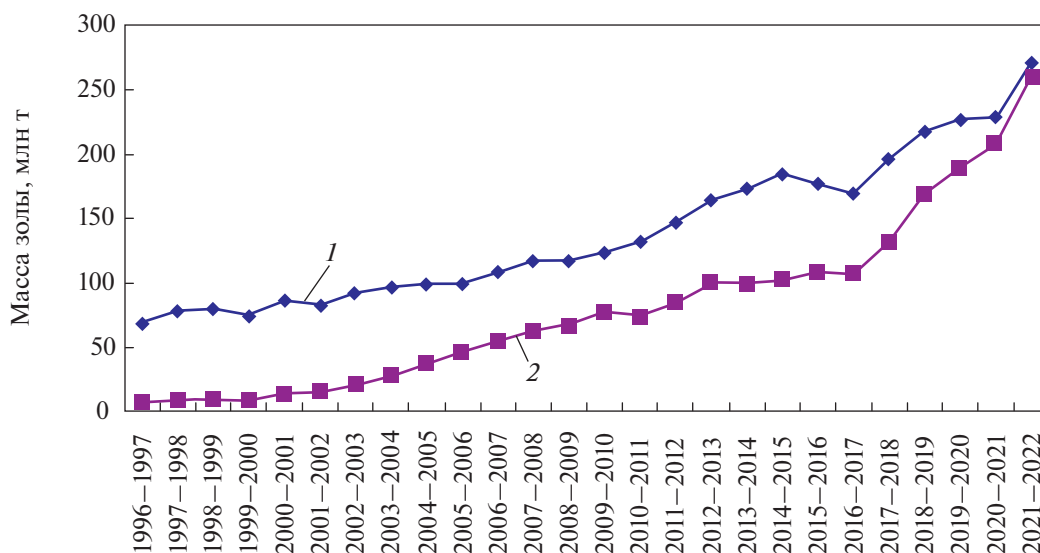


Рис. 3. Динамика образования (1) и использования (2) летучей золы в Индии в 1996–2022 гг.

[20]. При производстве строительных материалов в Китае используется 77% золошлаков [15], в США – 60% [21], в Австралии – 54% [22], в Индии – 40% [23]. В проектах дорожного строительства в Индии применяется 26% золошлаков, в Австралии – 46%. При заполнении шахт в США используется 25%, в Индии – 7% золошлаков.

В России основным направлением применения сухой золы является производство строительных материалов (газобетон, товарный бетон, изделия из железобетона, цемент, битумная изоляция, сухие строительные смеси). Гидратированную золошлаковую смесь используют в дорожном строительстве, для вертикальной планировки неудобий и рекультивации территорий. Потери при прокаливании выше 5% являются лимитирующим фактором для использования золошлаков при производстве строительных материалов.

Наиболее эффективное решение проблем обращения с золошлаками ТЭС – внедрение эффективных технологий их переработки. В соответствии с требованиями современного рынка формируются комбинации таких технологий, которые зависят от состава и характеристик золошлаков. При наличии систем ГЗУ на ТЭС применяются технологии сбора с поверхности золошлакоотвалов алюмосиликатных микросфер. Из золошлаков извлекается недожог (может составлять 25% и более), который повторно используется в качестве топлива. При “сухом” золошлакоудалении алюмосиликатные микросферы получают путем обработки золы в гидrocиклонах и специальных центрифугах. Магнитный концентрат, полученный методом магнитной

сепарации золошлаков, применяется при производстве ферросилиция, чугуна и стали. Он может служить исходным сырьем в порошковой металлургии. Оставшиеся после переработки золошлаков отходы применяются в строительных проектах. Очевидно, что важнейший фактор в достижении 100%-ной утилизации золошлаков – это наличие потребителей конечной продукции.

Примером внедрения эффективной отечественной технологии по переработке золошлаковых отходов, в результате которой получают неагломерированный железный концентрат и угольный продукт (недожог), может служить опытно-промышленная линия компания ООО “Экометт-Луч”, запущенная на Приморской ГРЭС.

ОПЫТ ИНДИИ В РЕШЕНИИ ПРОБЛЕМЫ ОБРАЩЕНИЯ С ЗОЛОШЛАКАМИ ТЭС

На угольных ТЭС Индии объем образования летучей золы за 25 лет увеличился приблизительно в 4 раза (с 69 до 270 млн т), а объем ее утилизации – почти в 40 раз (с 6.6 до 259 млн т или с 2.4 до 96%) [23, 24]. На золошлакоотвалах ее накопилось 17 млрд т.

Динамика образования и использования летучей золы в Индии с 1996 по 2022 г. [25] представлена на рис. 3.

Выход золошлаков на индийских ТЭС весьма значительный, поскольку местный уголь имеет высокую зольность (до 60%) [26]. В 1994 г. уровень утилизации летучей золы в Индии составлял 1.2 млн т, или всего 3% образующегося ее количества [23].

Научно-исследовательскими лабораториями и институтами Индии разрабатывались различные способы применения золы. В результате этих работ ее стали использовать при строительстве дорог, насыпей, для заполнения шахт и выработок, а также в более технологичных проектах: извлечения алюминия, магнетитов, получения микросфер. Одновременно внедрялись промежуточные технологии, которые испытывались на коммерческом уровне: производство зольных кирпичей, портландцементов, золоблоков, пористых легких наполнителей.

Следует отметить, что большие объемы золошлаков ТЭС в Индии размещались на золоотвалах, расположенных вблизи электростанций. При этом всего лишь незначительная часть золых отходов (3–5%) применялась в различных проектах [23].

В целях повышения уровня утилизации золы ТЭС в 1994 г. Правительством Индии под руководством Департамента науки и технологий Министерства науки и технологий при участии Министерства охраны окружающей среды и лесного хозяйства, а также Министерства энергетики была создана Миссия по проблеме летучей золы. Создание Миссии было обусловлено необходимостью ускоренного продвижения научных исследований в области утилизации летучей золы для повышения объемов ее использования. Основное внимание уделялось реализации демонстрационных проектов с целью укрепить доверие общества к технологиям крупномасштабного полезного применения золы.

Миссия работает в совместном и партнерском режиме с органами государственного и муниципального управления, производственными компаниями различных отраслей экономики, научными и учебными организациями на основе хорошо продуманных стратегии и комплексного плана действий по менеджменту утилизации летучей золы, охватывающих весь спектр вопросов от научных исследований до опробования технологии и передачи ее в промышленность. Создание Миссии — это успешный пример преодоления преград на пути реализации возможностей и решений в области обращения с летучей золой ТЭС и превращения ее из затратного выброса в прибыльную составляющую экономики государства.

Министерство охраны окружающей среды, лесного хозяйства и климата Индии, уполномоченное издавать нормативно-правовые документы в сфере использования летучей золы, в 1999 г. впервые выпустило ключевой нормативно-правовой документ в области обращения с летучей

золой ТЭС — FAN (от англ. Fly Ash Notification — Уведомление о летучей золе) [27].

Цели, прописанные в уведомлениях Министерства окружающей среды, лесного хозяйства и климата, были следующие:

использовать в обязательном порядке летучую золу для производства зольного кирпича в радиусе 100 км от угольных ТЭС (1999 г.);

достичь 100%-ной утилизации золы для всех угольных ТЭС (2009 г.);

использовать при производстве строительных работ в радиусе 500 км от угольной ТЭС только зольные кирпичи и золоцемент; ТЭС должна самостоятельно оплачивать транспортные расходы на перевозку золы на расстояние до 300 км до места выполнения строительных работ (дорожное строительство, возведение эстакад, дамб, зданий и сооружений) (2016 г.);

рекультивировать земельные участки, находящиеся под золошлакоотвалами, для выращивания сельскохозяйственных культур, разместить на этих землях солнечные и ветровые электростанции (2021 г.);

разработать новое уведомление, заменяющее все предыдущие, с целью достичь 100%-ного уровня утилизации золы (2021–2022 г.).

В 2023 г. Министерство охраны окружающей среды, лесного хозяйства и климата разработало Руководство по проектированию, строительству и ежегодной сертификации золошлакоотвалов угольных ТЭС.

В уведомлении от 03.11.2009, выпущенном Министерством, установлены целевые показатели для ТЭС по достижению 100%-ной утилизации летучей золы (рис. 4).

Согласно этому уведомлению золошлаки, размещенные на золошлакоотвалах до 01.09.2022, должны быть утилизированы начиная с 01.04.2022 в течение 10 лет, причем утилизация (% годового выхода) должна осуществляться следующим образом:

Год с даты опубликования уведомления:

первый.....	Не менее 20%
второй.....	Не менее 35%
третий.....	Не менее 50%

Согласно уведомлению от 2016 г. все ведомства и частные организации, занимающиеся прокладкой дорог, устройством дорожных и эстакадных насыпей, защитой береговой линии, строительством сооружений в прибрежных районах и дамб в радиусе 300 км от угольных ТЭС, должны в обязательном порядке использовать золошлаки при

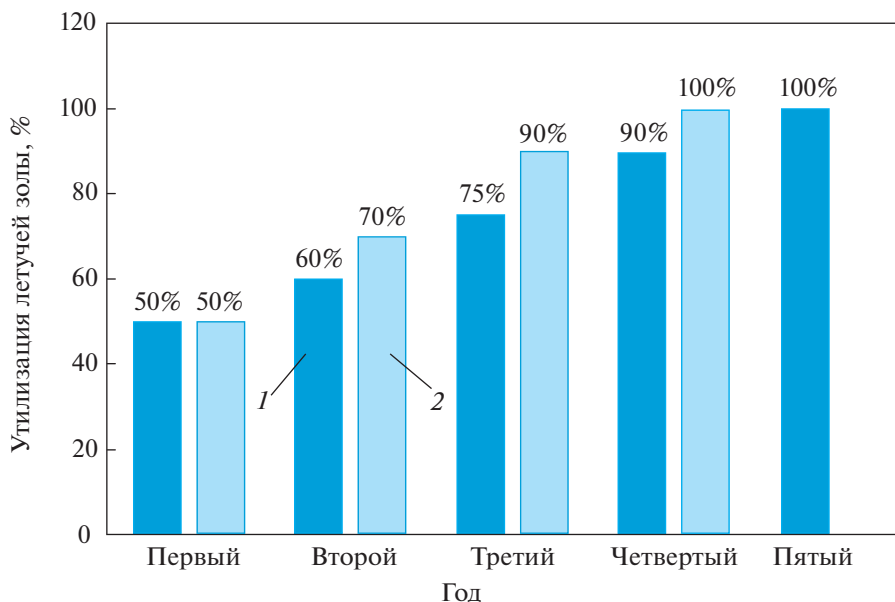


Рис. 4. Целевые показатели утилизации летучей золы для ТЭС, введенных в эксплуатацию до 03.11.2009. ТЭС: 1 – старые; 2 – новые

условии, что они будут доставлены на объект реализации проекта бесплатно и транспортные расходы будут оплачены ТЭС. При этом ТЭС может взимать плату за отгрузку и транспортировку золошлаков на взаимосогласованных условиях (если же ТЭС имеет возможность использовать золошлаки в других проектах, то соответствующие ведомства и частные организации делают запрос на отгрузку золошлаков и в этом случае их отгрузка и транспортировка являются бесплатными при условии, что ТЭС предварительно уведомляет строительное ведомство/организацию).

Все упомянутые решения, разработанные и принятые Правительством Индии, привели к беспрецедентному росту уровня утилизации летучей золы в различных областях строительной индустрии. В настоящее время вся зола текущего выхода подлежит использованию, а золошлаки, размещенные на золошлакоотвалах, должны быть постепенно утилизированы до полного высвобождения занятых ими земельных участков.

ОПЫТ КИТАЯ В РЕШЕНИИ ПРОБЛЕМЫ ОБРАЩЕНИЯ С ЗОЛОШЛАКАМИ ТЭС

С 2000 по 2022 г. объем образования летучей золы на угольных ТЭС Китая увеличился со 138 до 650 млн т, т.е. в 4.71 раза, объем ее утилизации – с 83 до 388 млн т [28], или в 4.67 раза (рис. 5).

Китайская ассоциация циркулярной экономики CACE (от англ. China Association of Circular Economy) проводит государственную политику по сохранению ресурсов и защите окружающей

среды, отвечает за реализацию закона о развитии экономики замкнутого цикла. Эта организация подчиняется Комиссии по надзору и управлению госимуществом Госсовета КНР, Национальной комиссии по развитию и реформам. Ассоциация отвечает за разработку схем планирования и развития отраслей и предприятий, продвижение передовых технологий и бизнес-моделей, занимается поиском партнеров, проверкой проектов, инвестициями, а также оказывает консультационные услуги в области управления и доступа к информации о рынках.

В структуру CACE входят Комитет по обращению с твердыми промышленными отходами и Комитет по обращению с золошлаками ТЭС. Последний реализует государственную политику в области обращения с отходами угольной генерации на основе комплексного подхода в рамках следующих направлений деятельности:

- продвижение и внедрение руководящих принципов и политики в области комплексного использования ресурсов и летучей золы;

- оказание технической поддержки соответствующим правительственным ведомствам в разработке комплексной политики утилизации летучей золы;

- организация технического обмена и сотрудничества по комплексному использованию летучей золы в Китае и за рубежом;

- продвижение новой продукции, технологий и результатов новых процессов комплексной утилизации летучей золы;

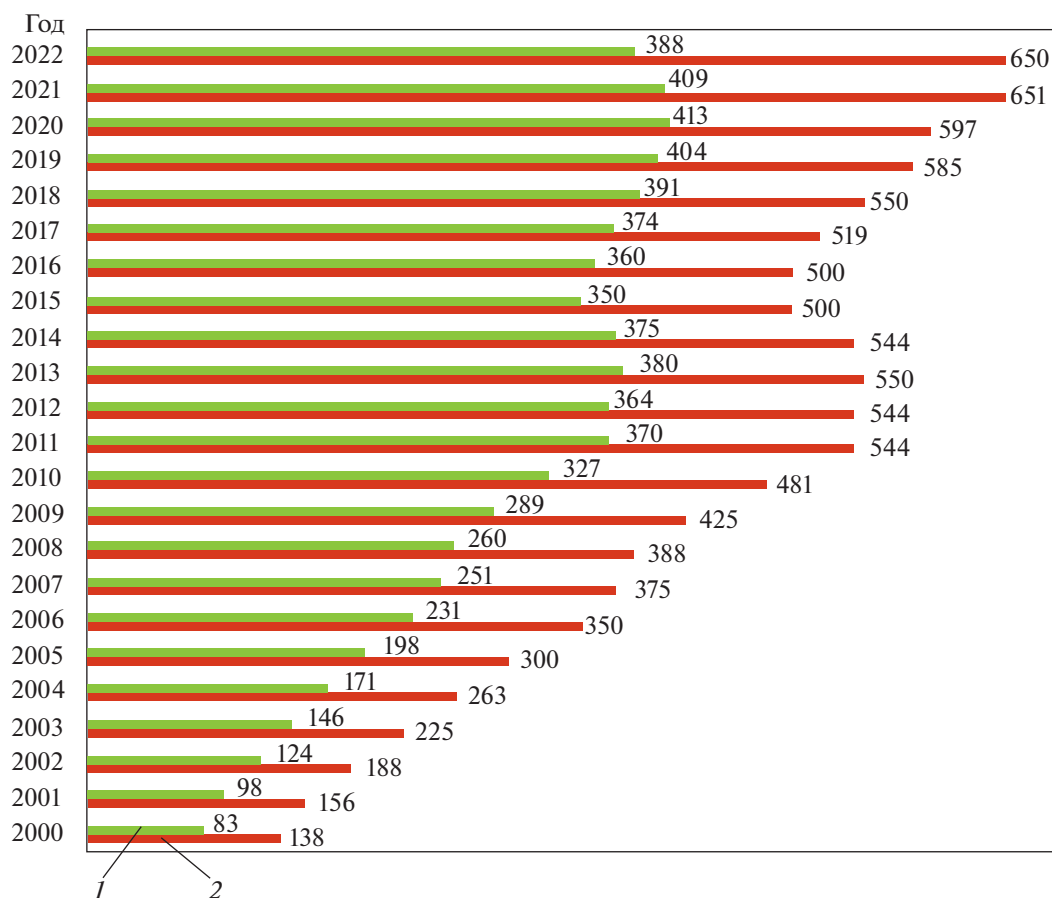


Рис. 5. Динамика образования (1) и использования (2) летучей золы в Китае, млн т, в 2000–2022 гг.

проведение политики, технических консультационных услуг и обучения, связанных с комплексным использованием летучей золы;

информирование о состоянии вопроса комплексного использования летучей золы, а также о предложениях и требованиях членов Комитета.

В качестве административных мер в области повышения уровня использования золошлаков ТЭС в 2010 г. Министерство охраны окружающей среды Китая (далее Министерство) ввело в действие регламент China REACH (приказ № 7) по экологическому контролю новых химических веществ [29], который определяет порядок приведения доказательств об отсутствии негативного воздействия отходов на окружающую среду. В 2021 г. Министерство взамен приказа № 7 выпустило приказ № 12, содержащий меры по экологической регистрации новых химических веществ, которые не включены в реестр существующих химических веществ, производимых в Китае или импортируемых из-за рубежа [30].

В соответствии с проводимой государственной политикой мероприятия по утилизации золошла-

ков включаются в комплексные пятилетние планы социально-экономического развития КНР.

Государственное налоговое управление и Министерство финансов КНР в качестве мер поддержки в 2011 г. ввели налоговые льготы (снижение или отмена НДС) для предприятий, перерабатывающих побочные продукты/отходы основного производства. На льготных условиях Bank of China выдает кредиты на покрытие капитальных затрат предприятий, производящих продукцию из золошлаков. Для технопарков, расположенных вблизи угольных ТЭС, введен особый налоговый режим для резидентов.

На крупных угольных ТЭС, находящихся в отдаленных регионах Китая, в приоритетном порядке проводятся следующие мероприятия:

стимулирование проектов по заполнению и обратной засыпке угольных шахт;

использование зарубежного опыта в переработке золошлаковых отходов, существующих технологий и стандартов;

установление партнерства между угледобывающими и энергетическими компаниями;

разработка методов и стандартов использования угольной золы для рекультивации земель и закладки горных выработок.

ОПЫТ СТРАН ЕС В РЕШЕНИИ ПРОБЛЕМЫ ОБРАЩЕНИЯ С ЗОЛОШЛАКАМИ ТЭС. РЕГЛАМЕНТ REACH

В 2022 г. использование золошлаков в странах Европейского союза превысило объем их текущего выхода, что свидетельствовало о начале утилизации ранее накопленных золошлаков. В целом во всех европейских странах образуется около 75 млн т побочных продуктов сжигания угля, однако намечается тенденция к снижению их количества в связи с частичным закрытием угольных электростанций. В ЕС имеется большой опыт использования золы из отвалов для заполнения горных выработок и применения подсушенной отвальной золы для производства цемента [15].

В 2003 г. Европейская комиссия приняла к рассмотрению предложение о новой системе регулирования производства, размещения на рынке и использования химических веществ как самих по себе, так и в смесях и изделиях [31, 32]. Эта система, названная регламентом REACH (Registration, Evaluation, Authorisation and restriction of Chemicals – регистрация, оценка, разрешение и ограничение химических веществ), вступила в силу 01.06.2007. Комитет REACH выполняет следующие процедуры:

- регистрацию химических соединений;
- оценку технического досье и/или вещества;
- выдачу разрешений на размещение на рынке и использование химических веществ;
- введение ограничений на производство, размещение на рынке и использование химических веществ;
- проведение согласованной классификации и маркировки;
- оценку рисков;
- предоставление доступа к информации.

Регламент, нацеленный на регулирование производства, размещения на рынке и использования химических веществ внутри ЕС, затронул широкий круг производителей в различных отраслях промышленности, импортеров, дистрибьюторов и потребителей химической продукции.

Требования REACH, которым должны следовать производители и потребители химической продукции, распространяются на уровень опасности рассматриваемых веществ, воздействия их на окружающую среду и здоровье населения, на предполагаемые масштабы их производства и использования. Без выполнения требований и

регистрации использование того или иного химического вещества на территории стран ЕС недопустимо.

Для побочных продуктов сжигания угля REACH не является специальным регламентом. Однако, поскольку ППСУ продаются на рынке, они должны пройти процедуру REACH. С 01.06.2008 вещества, не прошедшие регистрацию, больше не могли продаваться на рынке ЕС. Для золы срок регистрации был продлен до 30.11.2010, поскольку она прошла регистрацию в Европейской описи существующих коммерческих химических веществ (перечень EINECS – European inventory of existing commercial chemical substances).

Каждый производитель или импортер ППСУ обязан предварительно их зарегистрировать (летучую золу, образовавшуюся при сжигании каменных, бурых углей и биомассы, шлак котлов с твердым шлакоудалением, шлак котлов с жидким шлакоудалением, золошлаки котлов с кипящим слоем, продукты распылительной сухой абсорбции, гипс установок сероочистки, микросферы) и лишь затем зарегистрировать те вещества, которые он непосредственно продает. Для регистрации одного вещества может быть подано только одно регистрационное досье с конкретными регистрационными данными.

Были сформированы консорциумы по следующим веществам: сульфат кальция, золошлаки (летучая зола, шлак), зола котлов с кипящим слоем, продукты распылительной сухой абсорбции.

К 01.12.2010 были зарегистрированы следующие вещества:

- сульфат кальция (нейтральный и гипс установок сероочистки);
- продукты распылительной сухой абсорбции;
- золошлаки котлов с твердым и жидким шлакоудалением;
- золошлаки котлов с кипящим слоем;
- микросферы.

Регистрация химических веществ осуществлялась поэтапно.

Этап 1. Компании, экспортирующие свои вещества в ЕС объемом, превышающим 1 т/год, в первый раз после 01.12.2008 могли пройти позднюю предварительную регистрацию.

Этап 2. Регистрация всех веществ, произведенных или импортированных в страны ЕС в объеме, превышающем 100 т/год, до 31.05.2013.

Этап 3. Регистрация всех веществ, произведенных или импортированных в страны ЕС в объеме, превышающем 1 т/год, до 31.05.2018.

Подробная информация о регламенте REACH приведена на сайтах Европейской комиссии [33]

и Европейского агентства по химическим веществам [34], а также в отчете Европейского бюро охраны окружающей среды [35]. Европейская комиссия внесла поправки в некоторые требования к информации о регистрации химических веществ в соответствии с REACH в 2021 и 2022 гг. Изменения вступили в силу в 2023 г. [36]. На сегодняшний день Европейским химическим агентством зарегистрировано 240 веществ. Ожидается, что принятие ограничений REACH произойдет к концу 2026 г. [37].

ВЫВОДЫ

1. По прогнозам МЭА все угольные ТЭС ЕС должны закрыться к 2030 г., чтобы цели Парижского соглашения были достигнуты. Однако с момента его принятия в 2015 г. до настоящего времени наблюдается не падение, а рост угольной генерации в среднем примерно 1.5% в год.

2. Анализ состояния проблемы обращения с золошлаками ТЭС в России и за рубежом показывает, что ее актуальность с каждым годом возрастает.

3. На золошлакоотвалах ТЭС России находится около 1.7 млрд т золошлаков, и их количество продолжает увеличиваться, что усиливает негативное воздействие на окружающую среду.

4. В РФ для повышения уровня использования накопленных золошлаков и высвобождения емкостей золошлакоотвалов, заполнение которых близко к проектному, важно в наиболее короткие сроки активизировать применение их в дорожном строительстве, в проектах закладки и рекультивации отработанных горных выработок, вертикальной планировки территорий. На высвобожденных участках действующих золошлакоотвалов могут быть созданы зоны раздельного складирования золы и шлака при внедрении соответствующих технологий их транспортирования.

5. В настоящее время основным препятствием на пути повышения уровня использования золошлаков ТЭС в России является отсутствие комплексного подхода к решению проблемы обращения с золошлаками ТЭС в части ликвидации накопленного экологического ущерба и снижения негативного воздействия угольных ТЭС на окружающую среду, при котором учитывались бы все этапы жизненного цикла побочных продуктов сжигания угля.

6. На подавляющем большинстве ТЭС России применяются системы гидрозолошлакоудаления, которые имеют целый ряд недостатков и “тормозят” дальнейшее применение золошлаков в различных сферах.

7. В России ведется масштабная работа по совершенствованию нормативно-правовой базы по обращению с отходами энергетики. Необходимо продолжить создание передовых технологий переработки золошлаков и разработку юридических инструментов, стимулирующих использование золошлаков ТЭС для производства продукции, с учетом зарубежного опыта.

8. Важно расставить приоритеты в господдержке научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ. Прежде всего, следует обратить особое внимание на финансовую помощь организациям в проведении прикладных научных исследований в области использования золошлаковых отходов, заполняющих золошлакоотвалы.

9. Рассмотренный в статье мировой опыт по утилизации золошлаков энергетики может быть успешно реализован в комплексных программах вторичного использования побочных продуктов ТЭС с учетом специфики рыночных отношений в России. Для разработки таких программ требуются совместные усилия научных коллективов, производителей, законодателей и бизнеса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Our World in Data.** [Электрон. ресурс.] <https://our-worldindata.org/grapher/electricity-prod-source-stacked>
2. **Electricity Data Explorer.** [Электрон. ресурс.] <https://ember-climate.org/data/data-tools/data-explorer/>
3. **Тугов А.Н.** Угольные ТЭС в мировом производстве электроэнергии // Энергетик. 2025. (в печати).
4. **Системный оператор.** [Электрон. ресурс.] <https://www.so-ops.ru/functioning/tech-disc/tech-disc-2024/tech-disc2024ups/>
5. **Энергетика и промышленность России.** [Электрон. ресурс.] <https://www.eprussia.ru/market-and-analytics/1534268.htm>
6. **Путилова И.В.** Современное состояние проблемы обращения с золошлаками ТЭС в России и за рубежом // Альтернативная энергетика и экология. 2023. № 1. С. 51–62. <https://doi.org/10.15518/isjaee.2023.01.051-062>
7. **Оценка** влияния абразивного износа на срок службы гидротранспортных трубопроводов систем золошлакоудаления ТЭС / Н.А. Зройчиков, В.Я. Путилов, И.В. Путилова, С.А. Фадеев, Е.А. Маликова // Теплоэнергетика. 2020. № 9. С. 35–45. <https://doi.org/10.1134/S0040363620090131>
8. **Природоохранные технологии на ТЭС:** учеб. / И.С. Никитина, В.Б. Прохоров, И.В. Путилова, Н.Д. Роголёв, М.П. Роганков, П.В. Росляков, Г.А. Рябов, А.С. Седлов, В.Б. Тупов, В.В. Шищенко; под общ. ред. Н.Д. Роголёва и В.Б. Прохорова. М.: Изд-во МЭИ, 2021.

9. **ТАСС.** [Электрон. ресурс.] <https://tass.ru/ekonomika/16355539>
10. **Путилова И.В.** Рекомендации по снижению абразивного износа гидротранспортных трубопроводов систем золошлакоудаления ТЭС // Альтернативная энергетика и экология. 2020. № 31–33. С. 81–92. <https://doi.org/10.15518/isjaee.2020.11.009>
11. **Путилова И.В., Шевцов В.Р., Шубин Е.А.** Правовые основы формирования системы эффективного 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>
12. **Тюняева Л.С.** Применение золошлаков ТЭС как сырья для цементного клинкера в строительстве // Тенденции развития науки и образования. 2023. № 97. Ч. 9. С. 186–189. <https://doi.org/10.18411/trnio-05-2023-524>
13. **Энергетическая стратегия до 2035 г.** М-во энергетики РФ. [Электрон. ресурс.] <https://minenergo.gov.ru/ministry/energy-strategy>
14. **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.] <http://government.ru/news/45783/>
15. **Coal combustion products worldwide – on the stretch from suitability to sustainability /** T. Adams, C. Heidrich, J. Jow, J. Feuerborn // Proc. of the World of Coal Ash Conf. Grand Rapids, Michigan, USA, 13–16 May 2024.
16. **Harris D., Heidrich C., Feuerborn J.** Global aspects on Coal Combustion Environment. World of Coal Ash, 2019. <https://www.parliament.nsw.gov.au/lcdocs/other/13858/Ash%20Development%20Association%20of%20Australia.pdf>
17. **Государственная дума Федерального собрания Российской Федерации** [Электрон. ресурс.] <http://duma.gov.ru/news/59096>
18. **Путилова И.В., Зройчиков Н.А.** Обзор нормативно-технической документации в области обращения с золошлаками ТЭС // Теплоэнергетика. 2024. № 6. С. 3–14. <https://doi.org/10.56304/S0040363624060043>
19. **Путилова И.В.** Обзор оборудования и схем систем золошлакоудаления ТЭС // Альтернативная энергетика и экология. 2023. № 1. С. 63–76. <https://doi.org/10.15518/isjaee.2023.01.063-076>
20. **Путилова И.В.** Опыт реализации проектов с использованием золошлаков ТЭС в России и за рубежом // Альтернативная энергетика и экология. 2023. № 3. С. 49–68. <https://doi.org/10.15518/isjaee.2023.03.049-068>
21. **American Coal Ash Association.** [Электрон. ресурс.] <https://acaa-usa.org/wp-content/uploads/2023/12/2022-Production-and-Use-Survey-Results-FINAL.pdf>
22. **Ash Development Association of Australia.** [Электрон. ресурс.] <https://www.adaa.asn.au/resource-utilisation/ccp-utilisation>
23. **Кумар В.** Преграды, возможности и решения проблемы летучей золы энергетики в Индии // Материалы II Междунар. науч.-практ. семинара “Золошлаки ТЭС – удаление, транспорт, переработка, складирование”. Москва, 23–24 апреля 2009 г. М.: Издательский дом МЭИ. С. 31–36.
24. **Кумар В., Джа Г.К.** Анализ законодательства Индии в области обращения с золошлаками энергетики // Материалы V Междунар. конф. “Золошлаки ТЭС: удаление, транспорт, переработка, складирование”. Москва, 24–25 апреля 2014 г. М.: НИУ МЭИ, 2014. С. 22–26.
25. **Report on fly ash generation at coal / lignite based thermal power plants and its utilization in the country for the year 2021–2022.** Central Electricity Authority. Thermal Civil Design Division. New Delhi, Aug. 2022. https://cea.nic.in/wp-content/uploads/tcd/2022/08/Approved_Fly_ash_Generation_and_utilisation_Report_2021_22-4.pdf
26. **IEA.** [Электрон. ресурс.] <https://www.iea.org/countries/india>
27. **Fly Ash Notification No. S.O.763.** Government of India, Ministry of Environment and Forests, 14.09.1999. [https://upload.indiacode.nic.in/showfile?actid=AC_CEN_16_18_00011_198629_1517807327582&type=notification&filename=g.s.r._2804_\(e\)_03_11_2009_fly_ash_in_construction_activities.pdf](https://upload.indiacode.nic.in/showfile?actid=AC_CEN_16_18_00011_198629_1517807327582&type=notification&filename=g.s.r._2804_(e)_03_11_2009_fly_ash_in_construction_activities.pdf)
28. **China Association of Circular Economy.** [Электрон. ресурс.] <https://en.chinacace.org>
29. **Chemlinked.** [Электрон. ресурс.] <https://chemical.chemlinked.com/chempedia/china-reach>
30. **CIRS.** [Электрон. ресурс.] <https://www.cirs-group.com/en/chemicals/new-chemical-substance-registration-china-reach-mee-order-12>
31. **Эковосток.** [Электрон. ресурс.] <https://project4146314.tilda.ws/sds>
32. **Фюерборн Х.-Й.** Угольная зола в Европе – юридические и технические требования по применению // Материалы III Междунар. науч.-практ. семинара “Золошлаки ТЭС – удаление, транспорт, переработка, складирование”. Москва, 22–23 апреля 2010 г. М.: Изд. дом МЭИ, 2010. С. 22–28.
33. **European Commission.** [Электрон. ресурс.] https://environment.ec.europa.eu/topics/chemicals/reach-regulation_en
34. **ECHA.** [Электрон. ресурс.] <https://echa.europa.eu/support/getting-started/enquiry-on-reach-and-clp>
35. **The REACH (Amendment) Regulation 2023.** https://www.legislation.gov.uk/ukdsi/2023/9780348-247329/pdfs/ukdsi_9780348247329_en.pdf
36. **Waiting for REACH: The negative impacts of delaying reform of EU chemical laws.** https://eeb.org/wp-content/uploads/2023/03/Waiting-for-REACH_EEB-CHEMTrust_2023.pdf
37. **European Commission Updates on Approach to REACH Restriction of Chromium VI Substances.** [Электрон. ресурс.] <https://www.useforesight.io/news/european-commission-updates-on-approach-to-reach-restriction-of-chromium-vi-substances>

International Experience in the Field of Handling Ash and Slag from Thermal Power Plants

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

^a National Research University Moscow Power Engineering Institute, Moscow, 111250 Russia

^b NP Scientific and Technical Council of the United Energy System, Moscow, 111250 Russia

*e-mail: PutilovaIV@ecopower.ru

Abstract—The Government of the Russian Federation has approved a Comprehensive Plan to Increase the Volume of Recycling of Ash and Slag Waste of Hazard Class V, aimed at achieving the target indicator: increasing the share of useful utilized ash and slag from thermal power plants and boiler houses to reach 50% of the annual volume of their formation by 2035. Global achievements are considered using examples of advanced experience from China, India, and EU member countries that have achieved significant results in the field of ash and slag disposal from thermal power plants. The main areas of application of dry ash in Russia are presented, and information on the products of processing of ash and slag from the energy sector is also provided. An analysis of current information related to the use of ash and slag from thermal power plants and the activities of various organizations in these countries aimed at achieving a 100% level of ash and slag utilization was carried out. Increased emphasis is being placed on the requirements of the regulations issued by the Ministry of Environment, Forests, and Climate Change to achieve 100% utilization of fly ash in India. The important role of coal generation is confirmed by data on the distribution of energy sources in the structure of world consumption and the volumes of electricity generation at coal-fired power plants in China, India, EU member countries, and Russia. Statistics on the volumes of formation and use of ash and slag from thermal power plants in the above-mentioned countries are provided. The experience of EU countries in legislative regulation in the field of handling ash and slag from the energy sector is considered based on the European Union Regulation on the Registration, Evaluation, Authorization and Restriction of Chemicals (REACH), which came into force in 2007. Particular attention is paid to the necessity and expediency of increasing utilization level of coal combustion products at thermal power plants in Russia.

Keywords: ash and slag, coal thermal power plant, coal power waste, coal combustion products, fly ash, hydraulic ash and slag removal, disposal, REACH regulation, India, China, CO₂ emissions