

ЗОЛОШЛАКООТВАЛЫ ГОДИЧНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ДИФФЕРЕНЦИРОВАННЫХ ПОТОКОВ ЗОЛЫ И ШЛАКА УГОЛЬНЫХ ТЭС

Е.П. Хаглеев

Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, Россия

Резюме: Золоотвалы традиционного типа, в которых к настоящему времени накопилось колоссальное количество золошлаковых отходов, представляют собой постоянно действующие источники загрязнения воздушного и водного бассейнов. В связи с ужесточением экологических требований по защите окружающей среды перед теплоэнергетикой ставится вопрос о дальнейшем существовании угольных ТЭС. Кардинальным решением проблемы может стать широкомасштабная утилизация золошлаков, которые должны поставляться перерабатывающим предприятиям в раздельном, дифференцированном виде непосредственно от котлоагрегатов ТЭС, с одной стороны, и золошлакоотвалов раздельного складирования, с другой. При этом золошлакоотвалы раздельного складирования приобретают статус распределительных узлов, регулирующих дифференцированные потоки золы и шлака в течение года с накоплением их избыточного количества в зимний период и выгрузкой их на переработку – в летний. Максимально полная переработка золошлаков позволит продлить на неограниченный срок эксплуатацию золошлакоотвалов годичного регулирования, снизить затраты на их содержание, улучшить экологическую обстановку районов размещения отвалов.

Ключевые слова: зола, шлак, золошлаковые отходы, золоотвал, утилизация, комплексная переработка, раздельное удаление и складирование, силос-хранилище, золо- и шлакоотвал годичного регулирования.

ASH-SLAG DUMPS WITH ANNUAL REGULATION DIFFERENTIATED FLOWS OF ASH AND SLAG COAL POWER STATION

E.P. Khagleev

Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

Abstract: Ash dumps of traditional types are permanent air and water environment pollution sources in which accumulated colossal amount of ash-slag waste by now. Stricter environmental requirements raise the question about existence of coal power stations in the future. A radical solution of the problem can be wide-scale ash-slag recycling. The ash-slag must supply to recycling plant in separate (in other words differential) form directly from coal power station boiler units and separate storing ash-slag dumps as well. The separate storing ash-slag dump would become a buffering hub adjusting differential ash and slag inflow during the year. In this case, an excessive amount of the ash and slag waste will be stored in winter season and unloading in summer by the separate storing ash-slag dump. The most complete recycling of ash-slag will give the possibility to unlimited prolong of dumps operation period, to reduce their maintenance cost and to improve the environmental situation in areas of the dumps location.

Keywords: *ash, slag, ash-slag waste, ordinary type ash dumps, recycling of ash-slag, complex processing, separate removing and storage, silos-storage, year-round regulation ash-slag dump.*

Введение

В настоящее время в России ежегодно образуется свыше 25 млн. т золошлаковых отходов (ЗШО), которых накопилось более 1,5 млрд. т. Лишь 10% отходов утилизируется, а 90% их складывается в золоотвалах традиционного типа с многолетним накоплением золошлаковой смеси, становящихся при этом постоянно действующими источниками загрязнения воздушного и водного бассейнов. Многие из существующих золоотвалов переполнены, а ряд из них находится в предаварийном состоянии. В ближайшие годы прогнозируется лавинный характер переполнения золоотвалов и, как следствие, ограничение мощностей угольных станций и вывода их из энергетического баланса [1].

В сложившейся ситуации стратегическую линию угольных станций необходимо ориентировать не только на повышение энергоэффективности основного оборудования, но и на успешное решение проблем по снижению негативного воздействия ЗШО на окружающую среду. Таким решением на угольных станциях является создание необходимых условий для широкомасштабной утилизации золошлаков.

Способы утилизации золошлаковых отходов

В большинстве развитых странах мира уровень утилизации ЗШО доведен до 50–100%. Так, в странах ЕС в 2010 г. были использованы более 90% произведенных ЗШО: в стройиндустрии и при закладке шахт на уровне 52% и несколько меньше 40% при рекультивации карьеров и рудников [2 – 4]. В США к 2008 г. утилизация ЗШО достигла порядка 50%. Строители в США законодательно обязаны применять золу ТЭС в бетонах и растворах. В Китае на государственном уровне было принято ряд законов, позволивших повысить уровень использования золошлаков в народном хозяйстве до 70 – 80%. В настоящее время в КНР внедрены самые передовые в мире технологии по преобразованию промышленных отходов, в том числе ЗШО, в строительные материалы. Изменения в законодательстве Индии привели к повышению объёмов утилизации ЗШО в стройиндустрии, закладке шахт, отработанных карьеров и т. д. с 29% от годового выхода в 1999 г. до 56 % к 2008 г. [3, 4].

Однако применяемые за рубежом и в малой степени в нашей стране технологии по утилизации ЗШО нельзя признать оптимальными. Использование золошлаков без их предварительной комплексной переработки – это путь, напоминающий принцип «утилизация ради утилизации»: с одной стороны – расточительный по отношению к потерянными ценным компонентам (цветные, благородные и редкоземельные металлы и др. полезные компоненты), которые содержатся в ЗШО [5], с другой – небезопасный для окружающей среды и здоровья человека из-за наличия вредных веществ в ЗШО (свинец, ртуть, радиоактивные элементы, щелочи и пр.).

Автор считает, что широкомасштабную утилизацию ЗШО можно произвести, создав на угольных ТЭС необходимые условия, заключающиеся в раздельном удалении и складировании золы и шлака и передаче их в таком виде перерабатывающим предприятиям. Именно раздельной поставке золы и шлака отдается предпочтение во всех современных технологиях, позволяющих произвести их комплексную переработку с выделением всех полезных компонентов, а не использовать их как «закрытый» минеральный продукт для изготовления только стройматериалов: цемента, растворов, бетона, кирпича, плиток и т. д., как это сейчас принято даже в развитых странах [3, 4].

Выделение недожога и магнитного концентрата. В целях более эффективного выделения ценных продуктов из ЗШО, прежде всего следует извлечь из них остатки

органических веществ (недожог) и магнитный концентрат. Обогащение смеси золошлаков, отобранной из золоотвала традиционного типа, требует для повышения их активности доизмельчения. При раздельном же складировании и последующей переработке золошлаков зола не требует доизмельчения, а шлак – выделения недожога из-за малого его содержания в нем. В связи с этим в варианте раздельной поставке золы и шлака потребуются заметно меньшие материальные и энергетические затраты на выделение недожога и магнитного концентрата, чем в варианте совместного складирования.

Извлечение благородных металлов. Известно, что многие угли содержат благородные металлы: золото, серебро, платину и др. [5]. При сжигании таких углей в топках котлов металлы и другие негорючие вещества переходят в ЗШО.

Важное значение с точки зрения выбора принципиальной схемы складирования золошлаков на ТЭС в пользу раздельного способа имеет тот факт, что в золотосодержащих углях после их сжигания в топках котлов порядка 85% золота переходит в шлак в виде сферически оплавленных частиц крупностью 10 – 300 мкм [6, 7]. Лишь самые мелкие капли золота (меньше 10 мкм) выносятся потоками газа с частицами золы в газоходы котла. В связи с этим чистый шлак без примеси золы, оказывается более востребованным для обогатительных предприятий. Это еще один аргумент в пользу раздельного складирования золы и шлака перед совместным их складированием в золоотвалах традиционного типа.

Редкие и редкоземельные металлы в ЗШО. Практически во всех ЗШО угольных ТЭС содержатся РЗМ, в том числе РЗМ тяжелой группы [5]. Так, большое количество РЗМ, г/т, выявлено в золошлаках омских ТЭЦ, работающих на экибастузских углях [8]: элементы легкой группы La – 15; Ce – 67; Sm – 6; элементы тяжелой группы Y – 42; Tb – 9; Dy – 10; Yb – 6.

Извлечение РЗМ из ЗШО осуществляют путем вскрытия их кислотными или щелочными реагентами в коллективный продукт на первой стадии и жидкостной экстракцией металлов из полученного продукта на второй [8–10]. Для эффективного извлечения РЗМ из шлака его необходимо, как и в предыдущих технологиях, измельчить до частиц размером, не превышающим одного миллиметра. То есть в технологической схеме по выделению РЗМ из золошлаков вновь встречаемся с необходимостью раздельной подачи золы и шлака на переработку.

Следует отметить, что попутно с РЗМ в раствор выщелачивания извлекаются радиоактивные металлы (U, Th, Zr) свыше 90% от их начального даже малого содержания в ЗШО [8, 9]. Такой эффект выщелачивания позволяет избежать радиоактивного заражения строительных изделий и почв при использовании ЗШО в стройиндустрии и сельском хозяйстве.

Алюмосиликатные полые микросферы. Относительно новым направлением в области использования золы-уноса в нашей стране [11, 12] является выделение алюмосиликатных полых микросфер (АСПМ) или, как их называют за рубежом, ценосфер. В настоящее время за рубежом основное внимание уделяется производству искусственных стеклянных ценосфер, хотя оно сложнее и дороже, чем выделение из золы АСПМ. В России в 1991 г. на правительственном уровне было принято распоряжение об утверждении Региональной инновационной программы¹, в которой, наряду с другими, рассматривался вопрос об организации производства микросфер на основе утилизации золошлаковых отходов ТЭС.

В данной статье не рассматриваются вопросы, связанные с организацией предприятий по комплексной переработке золы и шлака с развитой сетью потребителей в различных отраслях промышленности, стройиндустрии и сельского хозяйства. Эти вопросы – предмет другой статьи. Здесь лишь отметим, что в нашей стране уже сейчас есть

¹ [Электронный песчупс] // 1991 – URL: <http://www.bestpravo.ru/rossijskoje/di-postanovlenija/s1a.htm>.

технологии по комплексной переработке ЗШО [4, 6, 13] с технико-экономическим обоснованием их рентабельности, есть заводы-изготовители, которые способны произвести все необходимое оборудование для перерабатывающих предприятий.

Подводя итог сказанному, необходимо помнить, что успешное выполнение поставленных задач по проблеме коренного расширения комплексной переработки ЗШО должно проводиться при опережающей инициативе энергетических компаний. Более того, угольным ТЭС самым выгодно создавать предприятия комплексной переработки, так как золошлаки в том виде, в котором они отгружаются из-под котлов и золоуловителей или из золошлакоотвалов, являясь отходами основного производства, имеют нулевую стоимость. Но после предварительной и тем более глубокой комплексной переработки приобретают цену, становятся востребованным товаром не только в нашей стране, но и в странах ближнего и дальнего зарубежья.

Что мешает России принять положение «угольные ТЭС без золошлакоотвалов»?

Положение, распространяемое в последнее время в России, «угольные ТЭС без золошлакоотвалов» [1, 2], даже при 100% утилизации золошлаков следует признать невыполнимым из-за постоянно действующего временного фактора.

В странах ЕС с их мягкими короткими зимами неравномерность в выходе ЗШО на угольных станциях между зимним и летним периодами незначительна. Так, в Германии, где при ТЭС на законодательном уровне запрещено строительство золошлакоотвалов, сухая зола после доведения ее до товарного состояния подается в крупные силосы-хранилища емкостью 40 – 60 тыс. т. [4]. Аккумулирующая способность силосов достаточна, чтобы обеспечить равномерную в течение года подачу золы предприятиям стройиндустрии. Например, на ТЭС «Мольке» с годовым выходом золы 600 тыс. т/год отсутствует золоотвал. Объем силосов-хранилищ в 60 тыс. т достаточен для годичного регулирования потоков золы.

В нашей стране с ее суровым продолжительным зимним периодом, в особенности в регионах Сибири и Дальнего Востока, наблюдается существенная неравномерность в выходе ЗШО: интенсивный многотоннажный выход ЗШО зимой и относительно небольшой – летом. Далее необходимо учитывать, что в большом несоответствии с цикличным выходом ЗШО, а по сути – в противофазе, находятся основные потребители золошлаков: стройиндустрия, дорожное строительство и сельское хозяйство. В стройиндустрии максимальная активность в использовании ЗШО наблюдается в летний период, с ее затуханием в зимний. У двух других потребителей спрос на золошлаки в зимний период практически равен нулю. Без складских сооружений большого объема для ТЭС с выходом ЗШО 500 – 1000 тыс. т/год и более в виде золо- и шлакоотвалов раздельного складирования данную проблему не решить.

Золо- и шлакоотвалы раздельного складирования в технологической цепочке «исходный уголь – котлоагрегаты ТЭС – золошлакоотвалы – предприятия по комплексной переработке золошлаков» приобретают статус распределительных узлов при годичном регулировании потоков золы и шлака. В отвалах годичного регулирования будут производить накопление избыточного количества дифференцированных потоков золы и шлака в зимний период и их выгрузку на переработку в летний наряду с непрерывной в течение года подачей золы и шлака непосредственно от котлоагрегатов ТЭС.

Покажем на примере гипотетической угольной ТЭС распределение потока золы в течение года с помощью аккумулирующих емкостей силосов и золоотвала годичного регулирования с целью равномерной подачи золы зимой и летом перерабатывающему предприятию (рис. 1). Положим, что на угольной ТЭС наблюдается выход ЗШО в объеме $G_{ЗШО} = 600$ тыс. т/год при весовом соотношении между шлаком и золой 1:9, т. е. годовой выход золы составляет $G_z = 0,9 \cdot 600 = 540$, а шлака 60 тыс. т/год. Ввиду малого выхода

шлака его можно непосредственно направлять на переработку из шлакоприемного устройства, размещенного на территории ТЭС.

Будем считать, что в зимний период выделяется 85%, а летом 15% золы от годового выхода – $G_{3,з} = 0,85 \cdot 540 = 459$ и $G_{3,л} = 0,15 \cdot 540 = 81$ тыс. т. Примем, что на ТЭС имеются силосы-хранилища емкостью $G_{\text{сил}} = 60$ тыс. т. Далее для определенности предположим, что ТЭС находится в г. Красноярске со среднегодовой температурой наружного воздуха $t_{\text{ср.г}} = 0,5^\circ\text{C}$, где зимний сезон с устойчивой отрицательной температурой наружного воздуха $t_{\text{н}} < 0^\circ\text{C}$ наблюдается в течение пяти месяцев с ноября по март включительно (отопительный сезон – семь месяцев с $t_{\text{н}} \leq 8^\circ\text{C}$)².

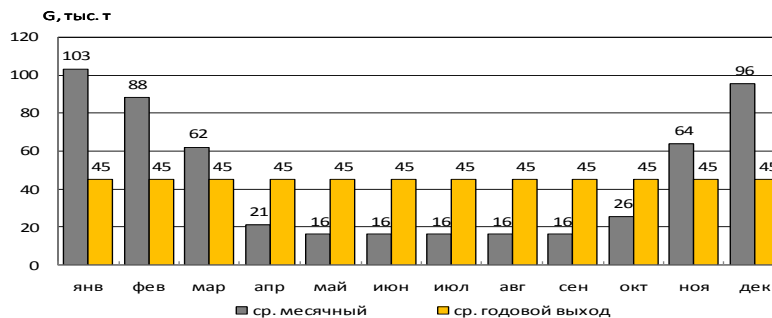


Рис. 1. Годовое распределение потоков золы на угольной ТЭС с выходом ЗШО 600 тыс. т/год

Согласно графику годового распределения потоков золы (рис. 1) расчетную величину производительности предприятия комплексной переработки золы следует принять равной среднегодовому выходу золы – $G_{\text{пр}} = G_{\text{ср.г}} = 45$ тыс. т/мес с тем, чтобы утилизировать весь годовой выход золы $G_3 = 45 \cdot 12 = 540$ тыс. т/год. Для равномерной подачи золы предприятию в летнее время, наряду с непосредственной подачей золы от золоуловителей котлов ТЭС (преимущественно 16 тыс. т), силосов емкостью $G_{\text{сил}} = 60$ тыс. т окажется недостаточным. Так, в апреле месяце получим дефицит золы $\Delta G_{\text{апр}} = 21 - 45 = -24$ тыс. т (рис. 1). В силосах при этом останется $G_{\text{сил}} = 60 - 24 = 36$ тыс. т, в мае месяце останется $G_{\text{сил}} = 36 - (45 - 16) = 7$ тыс. т. А в июне силосы будут полностью выбраны и появится непокрытый дефицит золы $\Delta G_{\text{июн}} = 16 + 7 - 45 = -22$ тыс. т. В последующие месяцы будем иметь дефициты в количестве $\Delta G_{\text{июл}} = -29$, $\Delta G_{\text{авг}} = -29$, $\Delta G_{\text{сен}} = -29$ и $\Delta G_{\text{окт}} = 26 - 45 = -19$ тыс. т.

Таким образом, для равномерной в течение года работы перерабатывающего предприятия производительностью $G_{\text{пр}} = 45$ тыс. т/мес при ТЭС необходимо кроме силосов иметь золоотвал годичного регулирования емкостью $G_{300} = 22 + 3 \cdot 29 + 19 = 128$ тыс. т золы.

После окончания теплого периода года, когда емкости силосов ($G_{\text{сил}} = 60$ тыс. т) и золоотвала годичного регулирования ($G_{300} = 128$ тыс. т) будут полностью отработаны, силосы вновь будут заполнены в ноябре декабре месяцах. Остальные избыточные потоки золы, начиная с декабря по март месяцы, будут складываться в золоотвале годичного регулирования (рис. 1). В конце зимы в золоотвале вновь накопится $G_{300} = 128$ тыс. т золы, которые в течение лета будут переданы предприятию комплексной переработки золы. То есть среднееголетний годичный цикл регулирования будет заканчиваться нулевым накоплением избыточной золы в золоотвале нового типа.

Произведя подобные расчеты для городов Сибири, характерных для западной и восточной ее частей: г. Омска с $t_{\text{ср.г}} = 0,6$ и г. Читы с $t_{\text{ср.г}} = -2,9^\circ\text{C}$, для станций со

² СНиП 23-01-99. Строительная климатология / Госстрой России. М., 2000.

значениями от 200 до 1200 тыс. т, установим зависимость необходимой величины емкости золоотвалов годовичного регулирования от величины годового выхода ЗШО угольных ТЭС $G_{300} = f(G_{3ШО})$. При этом будем считать, что ТЭС с годовым выходом ЗШО от 200 до 400 тыс. т имеют силосы емкостью 40 тыс. т, выходом ЗШО (600 – 800) тыс. т – силосы 60 тыс. т и выходом ЗШО (1000 – 1200) тыс. т – силосы 80 тыс. т. Расчетные точки зависимости $G_{300} = f(G_{3ШО})$ для городов Омска, Красноярска и Читы практически точно, с погрешностью не более двух-пяти процентов, ложатся на прямую линию тренда (рис. 2) вида $y = k \cdot x + b$:

$$G_{300} = 0,275 \times G_{3ШО} - 29,59.$$

где k – угловой коэффициент или скорость изменения G_{300} по $G_{3ШО}$, $k = 0,275$ год/1 (тыс. т/(тыс. т/год)); b – константа, $b = -29,59$ тыс. т при $G_{3ШО} = 0$.

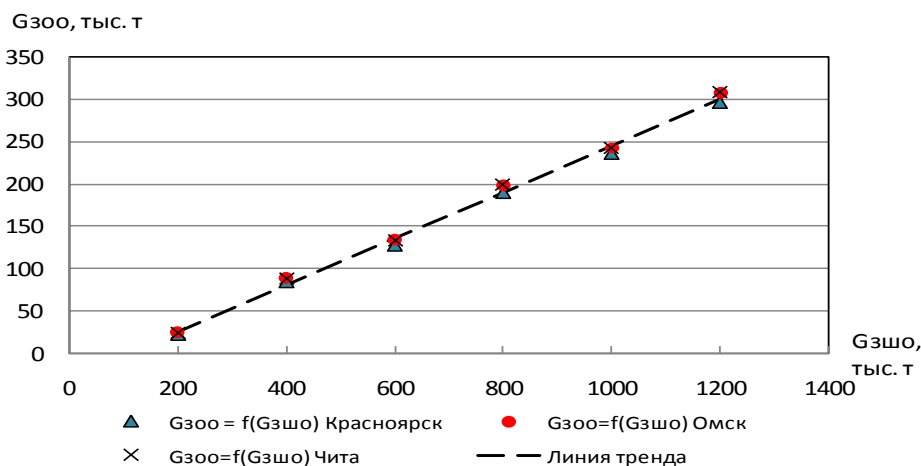


Рис. 2. Зависимость необходимой емкости золоотвалов годовичного регулирования от величины годового выхода ЗШО – $G_{300} = f(G_{3ШО})$

Приняв в полученном выражении $G_{300} = 0$, найдем значение величины годового выхода ЗШО, при котором не потребуется золоотвал годовичного регулирования: $G_{3ШО} = 108$ тыс. т/год.

Таким образом, положение «угольные ТЭС без золошлакоотвалов» можно реализовать лишь на малых ТЭС с выходом ЗШО не более 100 тыс. т/год при наличии силосов-хранилищ либо в южных регионах России.

При других соотношениях шлак/зола, чем 1:9, например, когда на ТЭС преобладают котлы с жидким шлакоудалением, соотношение между выходом шлака и золы может измениться в другую сторону – до 4:6, 6:4. То есть в этих случаях становится необходимым наряду с золоотвалом годовичного регулирования устраивать и шлакоотвалы подобного назначения.

Перейдем к рассмотрению конструкций золошлакоотвалов годовичного регулирования дифференцированных потоков золы и шлака.

Золошлакоотвалы годовичного регулирования

Намывной золоотвал годовичного регулирования конструктивно аналогичен золоотвалу типа IV с ограждающей дамбой из грунта на проектную высоту (П 26–85. Рекомендации по проектированию золошлакоотвалов тепловых электрических станций. ВНИИГ. Л., 1986. 129 с.) с тем отличием, что в нем будет складироваться чистая зола без примеси шлака с годовичным циклом накопления и выгрузки (рис. 3).

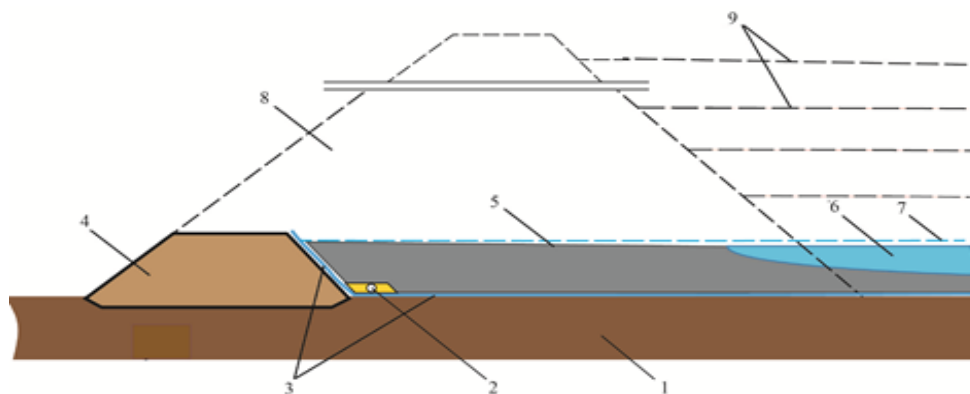


Рис. 3. Намывной золоотвал с ограждающей дамбой из грунта: 1 – основание золоотвала; 2 – дренаж; 3 – геокompозитный противофильтрационный экран; 4 – ограждающая дамба золоотвала годичного регулирования; 5 – надводная часть золоотвала годичного регулирования (золовый пляж); 6 – пруд-отстойник; 7 – уровень воды в пруде-отстойнике для подавления пыления пляжа; 8 – профиль ограждающей дамбы при многолетнем накоплении золы; 9 – золовые пляжи при многолетнем накоплении

Золоотвал типа IV с ограждающей дамбой из грунта на проектную высоту применяется в редких случаях, например в сейсмически опасных районах, при наличии в достаточном количестве грунта полезных выемок и т. д. (там же. С. 26), [14]. При этом в соответствии с современными правилами проектирования ограждающая дамба золоотвала типа IV должна возводиться на высоту, обеспечивающую емкость золоотвала для работы ТЭС на полную мощность в течение 10 лет. Но именно этот тип золоотвала в конструктивном отношении наиболее приемлем для золоотвала годичного регулирования. С одной стороны, грунтовая ограждающая дамба 4 (рис. 3), возведенная на полную высоту, обеспечит необходимые прочность и надежность сооружению, с другой – проектная высота ограждающей дамбы 4 золоотвала годичного регулирования многократно ниже, чем дамба 8 золоотвала типа IV многолетнего накопления (рис. 3). Соответственно стоимость строительства и эксплуатации такой дамбы и в целом золоотвала годичного регулирования будет значительно меньшей, чем стоимость золоотвала многолетнего накопления [14].

В целях защиты грунтов и грунтовых вод от загрязнения токсичным инфильтратом, а также сохранения воды в системе оборотного водоснабжения угольной ТЭС золоотвал годичного регулирования следует возводить с противофильтрационным экраном 3 (рис. 3) по всей площади основания и верхового откоса дамбы, как это рекомендуется и для золоотвалов многолетнего накопления (П 26–85. Рекомендации по проектированию золошлакоотвалов С. 63). Для этой цели можно использовать геокompозитный экран, в котором главным противофильтрационным элементом является рулонный полимерный материал.

В сезон ветров для предотвращения пыления уровень воды в пруде-отстойнике золоотвала достаточно поднять до уровня 7, перекрывающего поверхность золового пляжа 5 (рис. 3). При этом статическая и противофильтрационная устойчивость грунтовой ограждающей дамбы 4 с экраном 3, возведенной по правилам грунтовых водоподпорных плотин (там же. С. 26), гарантированно обеспечивается.

Таким образом, намывной золоотвал годичного регулирования с устранением пыления, противофильтрационным экраном и бессливной системой оборотного водоснабжения приобретает статус экологически чистого складского сооружения.

Намывной шлакоотвал годичного регулирования. Его прототипом является дренированный шлакоотвал типа I-A (Там же. С. 10–11). Необходимо отметить, что в

продолжительный зимний период шлакоотвал подвергается относительно глубокому промерзанию, поэтому действующими нормами и правилами (Там же. С. 23) намыв шлака в дренированный шлакоотвал рекомендуется проводить в теплое время года. Такое ограничение существенно снижает возможности годичного регулирования потоков шлака, т. к. именно в зимний период наблюдается максимальный выход ЗШО.

Автором на основании экспериментально-теоретических исследований, проведенных под руководством и непосредственным его участия, установлено, что крупнозернистый шлак с диаметром частиц $d_{10} \geq 2,0$ мм даже в замороженном состоянии сохраняет высокую водопроницаемость [15]. То есть промерзание зимой верхнего слоя шлакоотвала, сложенного из крупнозернистого шлака, не препятствует проведению зимнего намыва. Определяющим условием для проведения зимнего намыва становится условие сохранения дренажа в талом состоянии, т. к. в случае его промерзания намыв шлака становится невозможным. По результатам вычислительного эксперимента для различных регионов России, в том числе для регионов Сибири, автором определена минимально необходимая толщина слоя шлака – $h_{\min}$ из условия недопущения промерзания дренажа [16].

Мелко- и среднезернистые шлаки со средним диаметром частиц $d_{\text{ср}} \leq 1,5$ мм обладают меньшей водопроницаемостью, чем крупнозернистые шлаки, и не в состоянии пропустить весь поток водной составляющей пульпы [17]. Поэтому для удаления и складирования мелко- и среднезернистого шлака следует применять комбинированную систему шлакоудаления и складирования с использованием оперативного трехсекционного шлакоотвала (П 26–85. Рекомендации по проектированию золошлакоотвалов ... С. 60–61). Шлак со станции на шлакоотвал транспортируется пульпопроводами. В каждой секции шлакоотвала последовательно производится наполнение, осушение дренажной сетью и выгрузка шлака экскаватором в автосамосвалы. Далее шлак транспортируется самосвалами в постоянный шлакоотвал (хранилище) насыпного типа с годичным регулированием.

Для регионов с суровыми зимами оперативный шлакоотвал может быть заменен трехсекционным шлакоприемным устройством (ШПУ) крытого типа [14], в котором всю зиму поддерживается положительная температура. Подобное устройство используется на Красноярской ТЭЦ-2. Избыточное количество шлака в ШПУ, размещенном от главного корпуса ТЭЦ на расстоянии 400 м, подают пульпопроводами. В трех секциях ШПУ по аналогии с оперативным шлакоотвалом поочередно производится наполнение, осушение (дренирование) и выгрузка шлака мостовым грейферным краном в автосамосвалы. Автосамосвалы транспортируют шлак потребителям или в насыпной шлакоотвал в отработанном карьере в 1,5 км от ШПУ.

Золошлакоотвал годичного регулирования комбинированного типа. Раздельное складирование золы и шлака можно осуществить не только с помощью отдельных золошлакоотвалов, аналогичных отвалам типа I-A и IV, о чем сказано выше. А с помощью единого сооружения – золошлакоотвала комбинированного типа с видимой границей раздела между золовой и шлаковой зонами по аналогии с золошлакоотвалом типа I-B (П 26–85. Рекомендации по проектированию золошлакоотвалов ... С. 23).

Шлакоотвал и комбинированный золошлакоотвал годичного регулирования, следует также возводить с противофильтрационными экранами по всей площади основания, как и намывной золоотвал нового типа (рис. 3).

Насыпной золоотвал годичного регулирования. Помимо золошлакоотвалов годичного регулирования с доставкой золошлаков гидротранспортом для раздельного складирования золы и шлака могут быть применены золошлакоотвалы насыпного типа (Там же. С. 59–60), [18]. Возведение шлакоотвала насыпного типа с использованием ШПУ было рассмотрено выше. Что же касается складирования золы в золоотвале насыпного типа, в котором в течение года зола будет складироваться в зимнее время, а отгружаться – в летнее, то здесь можно встретить достаточно серьезные трудности.

Доставка и укладка влажной золы, влажность которой для подавления пыления при транспортировке автосамосвалами составляет более 20%, будет сопровождаться промерзанием поверхностного слоя золы, что вносит сложности при разравнивании и уплотнении укладываемого слоя [18]. После укладки слоя золы процесс промерзания на этом не заканчивается, а продолжается в течение всего длительного зимнего периода, характерного для климатических условий России. К концу зимы глубина промерзания достигает значительной величины: в Сибири и Дальнем Востоке в районах, где отсутствует вечная мерзлота, – двух-двух с половиной метров, а с наличием вечной мерзлоты – более трех метров.

В связи с этим, с наступлением теплого периода времени отгрузка золы на переработку будет задержана до момента, когда оттает промерзший слой золы. Учитывая, что в России, и в особенности районах Сибири и Дальнего Востока, теплый период года относительно короток, то задержка во времени отгрузки золы из золоотвала перерабатывающим предприятиям может поставить вопрос о пригодности насыпного золоотвала для годичного регулирования.

Таким образом, насыпной золоотвал для годичного регулирования потоков золы между зимним и летним периодами может быть применен только для южных регионов России с их мягкими и относительно короткими зимами.

Что делать с накопленными ЗШО в существующих золоотвалах?

Прогнозируемый в ближайшие годы лавинный характер переполнения золоотвалов традиционного типа, как отмечалось выше, может привести к сокращению мощности угольных станций и выводу их из энергетического баланса [1].

Кардинальное решение данной проблемы видится в консервации золоотвалов для будущих поколений в качестве полезных месторождений [1]. Истощение природных запасов сырья в настоящее время все в большей степени сказывается на экономиках многих стран мира. Подобные тенденции начинают проявляться и в нашей стране. Поэтому золошлаковые «консервы» будут востребованы в будущем.

Недостаток этого решения состоит в необходимости отвода новых площадей под золошлакоотвалы вместо законсервированных. На это следует пойти, если энергетические компании возьмут на себя обязательства по созданию условий для широкомасштабной утилизации золы и шлака. Прежде всего компании должны обеспечить принцип раздельного удаления и складирования ЗШО в экологически чистых золо- и шлакохранилищах годичного регулирования.

В случае отсутствия площадей под новые золошлакохранилища и необходимости сохранения генерирующих мощностей станций следует произвести интенсивный разбор золошлаков для высвобождения емкостей золоотвалов близких к переполнению. В качестве потребителей, способных поглотить большие объемы золошлаков в относительно короткий промежуток времени, могут стать отработанные карьеры, шахты, рудники и объекты ландшафтного и дорожного строительства. После высвобождения требуемых объемов в действующих золоотвалах следует организовать зоны раздельного складирования золы и шлака с предварительной укладкой по дну золовой и шлаковой зон противофильтрационных экранов.

Оба решения представляются как вынужденные, антикризисные меры необходимые для сохранения генерирующих мощностей угольных станций. Во втором решении есть опасения в отношении возможного загрязнения грунтов и грунтовых вод при заполнении отработанных шахт, карьеров, ландшафтного строительства и т. д., но другой альтернативы нет: либо принимать это решение, либо – закрывать станции. Даже в странах Европейского союза более 40% годового выхода ЗШО используется для «...закладки шахт и около 40% рекультивации карьеров и рудников» [3].

В нормальных условиях, например, при вводе в строй новой угольной станции уже на стадии проектных разработок должны быть предусмотрены технические решения по разделному удалению и складированию золы и шлака в экологически чистых золо- и шлакохранилищах годичного регулирования.

Подводя итог сказанному, необходимо помнить, что успешное выполнение поставленных задач по проблеме коренного расширения утилизации ЗШО требует комплексного подхода к их решению, проводимого под контролем центральных и региональных властей. При этом опережающая инициатива должна исходить от энергетических компаний, в ведении которых находятся золоотвалы традиционного типа, пылящие, фильтрующие и тем самым загрязняющие окружающую среду. В настоящее время масштабная утилизация золошлаков, с одной стороны, является одним из основных направлений в обеспечении экологической безопасности населенных пунктов, с другой, – это возможность существования и развития самих угольных станций.

Выводы

1. Применяемые за рубежом и в малой степени в нашей стране технологии по утилизации ЗШО нельзя признать оптимальными. Содержащиеся в золе и шлаке ценнейшие компоненты требуют радикального пересмотра подходов по утилизации ЗШО. Только после комплексной переработки инертный остаток в количестве 60 – 80% от исходной массы ЗШО с высокой степенью безопасности можно направлять на нужды стройиндустрии для промышленного и гражданского строительства и нужды сельского хозяйства.

2. Разработанные на рубеже XX и XXI вв. способы утилизации ЗШО позволяют эффективно, с минимумом затрат перерабатывать золу и шлак в раздельном, несмешанном друг с другом виде. В связи с этим для обеспечения широкомасштабной утилизации ЗШО на всех угольных ТЭС необходимо ввести норму раздельного складирования в золо- и шлакоотвалах избыточного количества золы и шлака над тем, которое непосредственно от котлоагрегатов может быть направлено на переработку.

3. Масштабная утилизация золошлаков, во-первых, обеспечит экологическую безопасность населенных пунктов, в непосредственной близости от которых находятся угольные ТЭС, и тем самым предоставит право на дальнейшее существование и развитие этих станций, во-вторых, позволит сохранить природные ресурсы цветных, благородных и редкоземельных металлов, АСПМ, стройматериалов и ископаемых мелиорантов для сельского хозяйства.

4. Угольным ТЭС самым выгодно создавать предприятия комплексной переработки, т. к. золошлаки, являясь отходами основного производства, имеют нулевую стоимость. Но после предварительной и тем более глубокой комплексной переработки приобретают цену, становятся востребованным товаром не только в нашей стране, но и в странах ближнего и дальнего зарубежья.

5. Временной фактор, приводящий к существенной неравномерности в выходе ЗШО зимой и летом, позволяет внедрить в России положение «угольные ТЭС без золошлакоотвалов» лишь для малых ТЭС с выходом золы не более 100 тыс.т/год и ТЭС, расположенных в южных регионах страны. Для остальных регионов на крупных угольных станциях помимо силосов-хранилищ необходимо иметь золо- и шлакоотвалы годичного регулирования, играющие роль распределительных узлов, перераспределяющих дифференцированные потоки золы и шлака между зимним и летним периодами.

6. Золо- и шлакоотвалы годичного регулирования имеют многократно меньшие размеры по сравнению с традиционными золоотвалами многолетнего накопления ЗШО. Соответственно стоимость строительства и эксплуатации этих сооружений будет значительно меньшей, чем стоимость золоотвала многолетнего накопления. Максимально полная переработка золошлаков позволит продлить на неограниченный срок эксплуатацию золошлакоотвалов годичного регулирования и в целом самих угольных станций.

Литература

1. Кожуховский И. С., Целыковский Ю. К. // Экология производства. 2012 №10. С. 40–47.
2. Кожуховский И. С., Целыковский Ю. К. Угольные ТЭС без золошлакоотвала: реальность и перспективы // Энергетик. 2011. № 6. С. 20 – 23.
3. Роганков М. П. // Материалы V Межд. конф. «Золошлаки ТЭС – удаление, транспорт, переработка, складирование». Москва, 24–25 апреля 2014 г. М.: Полиграфический центр МЭИ. С. 1–8.
4. Денисов Г.А. Золошлаки в промышленности стройматериалов [Электронный ресурс]: Новые химические технологии. Аналитический портал химической промышленности. URL: http://www.newchemistry.ru/letter.php?n_id=2841&cat_id=&sword=%C7%CE%CB%CE%D8%CB%C0%CA%C8 (дата обращения 23.09.2015).
5. Юдович Я.Э., Кетрис М.В. Ценные элементы-примеси в углях. Екатеринбург: УрО РАН, 2006. 538 с.
6. Черепанов А. А., Кардаш В. Т. // Геология и полезные ископаемые Мирового океана. 2009. №2. С. 98–115.
7. Pat. № 2453769 RU. Патент на изобретение «Способ удаления твердых шлаков из угольного котла и извлечения из них металлов и устройство для его осуществления» / С. И. Ивандаев // Патентообладатель: С. И. Ивандаев (RU). Заявл. 25.10.2010, опубл. 10.11.2012.
8. Адеева Л. Н., Борбат В. Ф. // Химия Вестн. Ом. ун-та. 2009. № 2. С. 141-151.
9. Pat. № 2293134 RU. Патент на изобретение «Способ извлечения редкоземельных металлов и иттрия из углей и золошлаковых отходов от их сжигания» / В. И. Кузьмин, Г. Л. Пашков, Н. В. Карцева, С. С. Охлопков, В. Р. Кычкин, А. М. Сулейманов // Патентообладатель: Институт химии и химической технологии СО РАН (RU); ОАО «Нишне-Ленское» (RU). Заявл. 26.05.2005, опубл. 14.03.2007.
10. Pat. 365380 US. Enhanced resource recovery by beneficiation and direct acid leaching of fly ash / E.E. Berry, R.T. Hemmings, D.M. Golden // Fly Ash and Coal Convers. by. Prod.: Charact., Util. and Disposal: III Symp. Pittsburgh, 1987.
11. Raask E. Cenospheres in pulverized-fuel ash // Journal of the Institute of fuel. 1968. Vol. 43. № 332, september. P. 339-344.
12. Данилин Л.Д., Дрожжин В.С., Куваев М.Д., и др. // Труды II Межд. научн. практ. конф. и спец. выст. «Экология в энергетике – 2005», 19-21 октября 2005 г., Москва, Изд-во МЭИ, С. 196 – 202.
13. Основные направления и способы использования золошлаковых отходов тепловых электростанций [Электронный ресурс]: Использование золошлаковых отходов ТЭС. URL: http://somillial.ucoz.ru/news/ispolzovanie_zoloshlakovykh_otkhodov_tehs/2013-03-12-68 (дата обращения 21.05.2015).
14. Сысоев, Ю. М., Кузнецов Г. И. Проектирование и строительство золоотвалов. М.: Энергоатомиздат, 1990. 248 с.
15. Хаглеев Е. П., Хаглеев П. Е. // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2013. № 5–6. С. 3–12.
16. Хаглеев Е. П. // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2014. № 11–12. С. 39–49.
17. Хаглеев Е. П., Хаглеев П. Е. // Изв. ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева. 2013. Т. 269. С. 87–94.
18. Путилов В.Я., Вишня Б.Л. Сухие золоотвалы [Электронный ресурс]: Наилучшие доступные и перспективные природоохранные технологии в энергетике России URL: <http://osi.ecopower.ru/ru/2010-10-18-10-54-27/item/155-353-сухие-золоотвалы.html> (дата обращения 14.09.2014).

Авторы публикации

Хаглеев Евгений Петрович – канд. техн. наук, докторант Сибирского федерального университета (СФУ).

References

1. Kozhukhovskiy I. S., Y. K. Celikovskiy // "Ecology of production", No. 10, 2012. P. 40-47.
2. Kozhukhovskiy I. S., Y. K. Celikovskiy // Energy drink. No. 6. 2011. P. 20 – 23.
3. Rogankov M. P. // Materialy V Intern. Conf. "Ash-slag of TES – removal, transport, processing, landfilling". Moscow, April 24-25, 2014-M.: Printing center MEI. P. 1-8.
4. Denisov G.A. Ash-slag in the building materials industry [Electronic resource]: New chemical technologies. Analytical portal of chemical industry. URL: http://www.newchemistry.ru/letter.php?n_id=2841&cat_id=&sword=%C7%CE%CB%CE%D8%CB%C0%CC%C8 (date of access 23.09.2015).
5. Yudovich Y. E., Katriss, M. V. Valuable elements-impurities in coals. Ekaterinburg: Uro RAN, 2006. 538 p.
6. Cherepanov A. A., Kardash V. T. // Geology and minerals of World ocean. 2009, No. 2. P. 98-115.
7. Pat. No. 2453769 RU. The patent for the invention "Method of removing solid slag from coal boiler and the extraction from them metals and device for its implementation" / S. I. Ivandaev // Patentee: S. I. Ivandaev (RU). Stated 25.10.2010, publ. 10.11.2012.
8. Adeeva L. N., Borbat V. F. // Chemistry Herald Omsk Univ. 2009. No. 2. P. 141-151.
9. Pat. No. 2293134 RU. The patent for the invention "Method of extraction of rare earth metal crystals and yttrium from coals and ash-slag wastes from incineration" / V. I. Kuzmin, G. L. Pashkov, N. V. Kartseva, S. S. Okhlopov, V. R. Kuchkin, A. M. Suleimanov // Patentee: Institute of chemistry and chemical technology SB RAN (RU), OJSC Nizhne-Lenskoe (EN). Appl. 26.05.2005, publ. 14.03.2007.
10. Pat. 365380 US. Enhanced resource recovery by beneficiation and direct acid leaching of fly ash / E.E. Berry, R.T. Hemmings, D.M. Golden // Fly Ash and Coal Convers. by. Prod.: Charact., Util. and Disposal: III Symp. Pittsburgh, 1987.
11. Raask E. Cenospheres in pulverized-fuel ash // Journal of the Institute of fuel. 1968. Vol. 43. № 332, september. P. 339-344.
12. Danilin L. D., Drozhzhin V. S., Kuvayev M. D., Maksimova N. V., Pikulin I. V., Radushev S. A., Shpirt M. Y. // Proceedings II Int. scientific. pract. Conf. and specials Exhib. "Ecology in energy – 2005", October 19-21, 2005, Moscow, Publishing house MEI, P. 196 – 202.
13. The main directions and ways of thermal power plant ash-slag waste using [Electronic resource]: Power plant ash-slag waste using. URL: http://somillial.ucoz.ru/news/ispolzovanie_zoloshlakovykh_otkhodov_tehs/2013-03-12-68 (date of access 21.05.2015).
14. Sysoev, Yu. M., Kuznetsov G. I. Design and construction of ash dumps. M.: Energoatomizdat, 1990. 248 p.
15. Khagleev E. P., Khagleev P. E. Izv. universities "The energy problems". 2013. No. 5-6, pp. 3-12.
16. Khagleev E. P. Izv. universities "The energy problems". 2014. No. 11-12, p. 39-49.
17. Khagleev E. P., Khagleev P. E. Izv. VNIIG im. B. E. Vedeneeva. 2013. T. 269. S. 87-94.
18. Putilov V.Y., Vishnya B.L. Dry ash landfills [Electronic resource]: The Best Available and Perspective Nature Protection Technologies in the Russian Power Industry URL: <http://osi.ecopower.ru/ru/2010-10-18-10-54-27/item/155-353-сухие-золоотвалы.html> (date of access 14.09.2014).

Authors of the publication

Khagleev Evgeny Petrovich – cand. sci. (techn.), doctoral candidate of Siberian Federal University.

Поступила в редакцию

12 апреля 2017 г.