

УДК 662.613.12.003

ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ УТИЛИЗАЦИИ ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ ТЭЦ. ЧАСТЬ 1

Подгорецкий Г.С., к.т.н., директор научно-образовательного центра

«Инновационные металлургические технологии» (podgs@misis.ru)

Горбунов В.Б., к.т.н., зам. директора научно-образовательного центра

«Инновационные металлургические технологии» (vbg1953@mail.ru)

Агапов Е.А., инженер 1-й категории научно-образовательного центра

«Инновационные металлургические технологии» (ageger@yandex.ru)

Ерохов Т.В., инженер 1-й категории научно-образовательного центра

«Инновационные металлургические технологии» (timofeyerokhov@gmail.com)

Козлова О.Н., инженер 1-й категории научно-образовательного центра

«Инновационные металлургические технологии» (o_kozlova1@mail.ru)

Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»

(119049, Россия, Москва, Ленинский пр., 4)

Аннотация. Дальнейшее развитие угольной электроэнергетики России, особенно в районах Сибири и Дальнего Востока в соответствии с Энергетической стратегией, предопределяет необходимость решения проблемы утилизации золошлаковых отходов (ЗШО) во вновь реализуемых проектах. Общее количество золы и шлака в золоотвалах в России составляет более 1,5 млрд. т, а площадь, занимаемая такими отходами, более 220 км². При этом степень использования ЗШО не превышает 10 %. Показано, что основными решениями утилизации образующихся промышленных твердых отходов ТЭЦ считается их применение в производстве строительных материалов, дорожном строительстве или комплексная переработка ЗШО с извлечением металлов и производством строительных материалов. Некоторые золы уноса могут применяться в сельском хозяйстве. Физико-химические свойства золошлаковых отходов и, соответственно, направления их применения, а также выбор технологии определяются минеральной частью ископаемых углей и способом их сжигания. Для использования зол уноса в стройиндустрии необходимо переводить систему удаления ЗШО на сухой метод, сопровождающийся, с одной стороны, большим объемом капитальных вложений в оборудование и сооружения по хранению, классификации, дроблению и измельчению, преданию золошлаковым отходам новых физико-химических свойств, а с другой стороны, увеличением организационных и транспортных барьеров. Приведены примеры предлагаемых технологий по утилизации золошлаковых отходов в виде извлечения металлов и производства строительных материалов. Для получения железосодержащих концентратов применяется в основном одностадийная магнитная сепарация, но качество концентрата при этом не соответствует современным требованиям. Наиболее технологически эффективными для экстракции металлов из золошлаковых отходов являются технологии, основанные на методах флотации. В то же время из приводимых данных следует, что их применение может ограничиваться экономическими, организационными факторами и возникновением новых экологических рисков. Сделан вывод о возможности использования вышеперечисленных технологий для уже действующих угольных ТЭЦ при наличии государственной поддержки.

Ключевые слова: уголь, утилизация золошлаковых отходов, строительные материалы, извлечение металлов.

DOI: 10.17073/0368-0797-2018-6-439-446

Проектом Энергетической стратегии России на период до 2035 года [1, 2] предполагается рост добычи и потребления угля в стране при опережающем развитии угледобывающих районов Восточной Сибири и Дальнего Востока с перспективой формирования энергоугольных кластеров, то есть строительства электрогенерирующих мощностей в непосредственной близости от места добычи твердого топлива. Также одной из задач ставится развитие локальных и интегрируемых в общие сети распределенных источников энергоснабжения.

Целями строительства новых мощностей могут быть снижение энергодифицита региона, экспорт электроэнергии в другие регионы и страны, локальное

обеспечение электрической и тепловой энергией угледобывающего предприятия и сопутствующей районной инфраструктуры (близлежащих городов и поселков, электрификация железной дороги и так далее). Наиболее энергодифицитными районами, одновременно обладающими значительными запасами угля, являются такие регионы, как Алтайский край, Приморский край, Сахалинская область, Республика Тыва, Еврейская АО и другие [3]. В настоящее время вопрос о развитии энергетики Восточной Сибири и Дальнего Востока активно решается и в основном решается за счет развития угольной генерации, о чем говорит, например, инвестиционная программа ПАО «РусГидро» [4].

Одной из острейших экологических проблем теплоэлектрогенерации с использованием угля является утилизация шлаков и золы уноса (пыли газоочистных установок). Общее количество золы и шлака в золоотвалах в России составляет более 1,5 млрд. т, а площадь, занимаемая золошлаковыми отходами – более 220 км². При этом степень использования ЗШО не превышает 10 % [5].

Основными решениями утилизации образующихся промышленных твердых отходов ТЭЦ считается их применение в производстве строительных материалов, дорожном строительстве [6 – 8] или комплексная переработка ЗШО с извлечением металлов и производством строительных материалов [5, 6, 8 – 10]. Некоторые золы уноса применяются в сельском хозяйстве [9, 10].

Физико-химические свойства золошлаковых отходов и, соответственно, направления их применения, а также выбор технологии определяются минеральной частью ископаемых углей и способом их сжигания. Для классификации зол и шлаков ТЭС в России существует достаточно обширная нормативная и научно-техническая база [11], но в основном для производства строительных материалов руководствуются ГОСТ 25818 – 2017, для строительства дорог – отраслевым методическим документом ОМД 218.031 – 2013, для производства вяжущих материалов ориентируются на классификацию по А.В. Волженскому [6] или Е.А. Галибиной [12].

Для максимального повышения уровня утилизации золошлаковых отходов необходимо переводить систему удаления ЗШО на сухой метод. По данным консорциума «Феникс» стоимость такой системы для удаления ЗШО на золоотвал Рефтинской ГРЭС (выход отходов 5 500 000 т/год), состоящей из двух односекционных силосов объемом единовременного хранения 22 000 м³ и закрытого транспортера длиной 4,5 км для перемещения увлажненной зольной смеси, составила около 11 млрд. рублей по ценам на 2013 г. [13]. Далее предполагается выстраивание системы продаж ЗШО или строительство производства.

При реализации ЗШО как сырьевого товарного продукта для стройиндустрии будет необходимо проводить сертификацию с учетом требований к отходам в определенных пределах по химическому составу и по физическим свойствам в соответствие с нормативными документами. Это потребует установки оборудования для классификации, строительства большого количества силосов для раздельного складирования ЗШО по товарной номенклатуре, оборудования для получения определенных свойств товарного продукта из золы уноса, оборудования для дробления, разделения по крупности и складирования шлаков [13]. При этом необходимость в золошлаковом отвале пусть и в меньших размерах остается, так как для многих предприятий стройиндустрии характерны сезонные колебания производства.

Существует достаточно большое количество технических решений по строительству производства

строительных материалов из ЗШО непосредственно на площадке ТЭС [8, 10, 14]. Номенклатура товарной продукции таких заводов стройматериалов очень обширна: от производства вяжущих, клинкера, сухих строительных смесей до бетонных и железобетонных изделий и конструкций. Наиболее часто предлагаются технологические схемы, основой производства которых является производство цемента или клинкера. Типичный пример такой схемы переработки ЗШО для строящейся Омской ТЭЦ-6, предлагаемый ЗАО «Проф-ЦементВектор», представлен на рис. 1 [15]. При этом производство клинкера осуществляется на агломерационной машине, то есть в дополнение к выбросам самой ТЭЦ добавляются выбросы от агломашины. Известно из опыта металлургии и производства извести, что технология агломерации является экологически вредным и опасным производством [16]. Существенным фактом в экономике организации производства цемента будет также повышение объема грузопотоков – потребность в известняке в зависимости от основного модуля исходных золошлаков может колебаться от 50 до 200 % от выхода ЗШО.

Анализ технологических схем организации производства рядом с ТЭЦ строительных изделий, например, в виде бетонных блоков, тротуарной плитки и других цементно-песчаных изделий, где ЗШО будет использоваться как наполнитель, показывает, что приемлемое качество изделий сохраняется при добавлении золы не более 30 – 40 % [10, 17]. Следовательно, потребуется транспортировка цемента к месту производства в объеме минимум 60 – 70 % от валового выхода ЗШО. Таким образом, организация производства цемента и строительных материалов и изделий при ТЭЦ потребует или высоких капитальных вложений, или масштабного подвоза дополнительных материалов, или того и другого вместе, что может сделать экономику производства неустойчивой. Кроме того, снижая экологические риски хранения золы уноса как вещества 3-го класса опасности, организация производства увеличивает экологические риски контролируемых и неконтролируемых выбросов в атмосферу.

С точки зрения ресурсосбережения более привлекательными являются технологии комплексной переработки ЗШО с извлечением соединений металлов и производством сырья для строительных материалов, которые могут различаться по степени полноты переработки.

В основе этих решений заложены технологии обогащения ЗШО, продуктами которых являются углеродный и железосодержащий концентраты, алюмосиликатный продукт для стройиндустрии [5, 18 – 26]. В РФ в настоящее время существуют только опытные установки для комплексной переработки.

Типичным примером такого технического решения является опытная установка ОИВТ РАН для переработки ЗШО (рис. 2) [22]. Из золы уноса Каширской

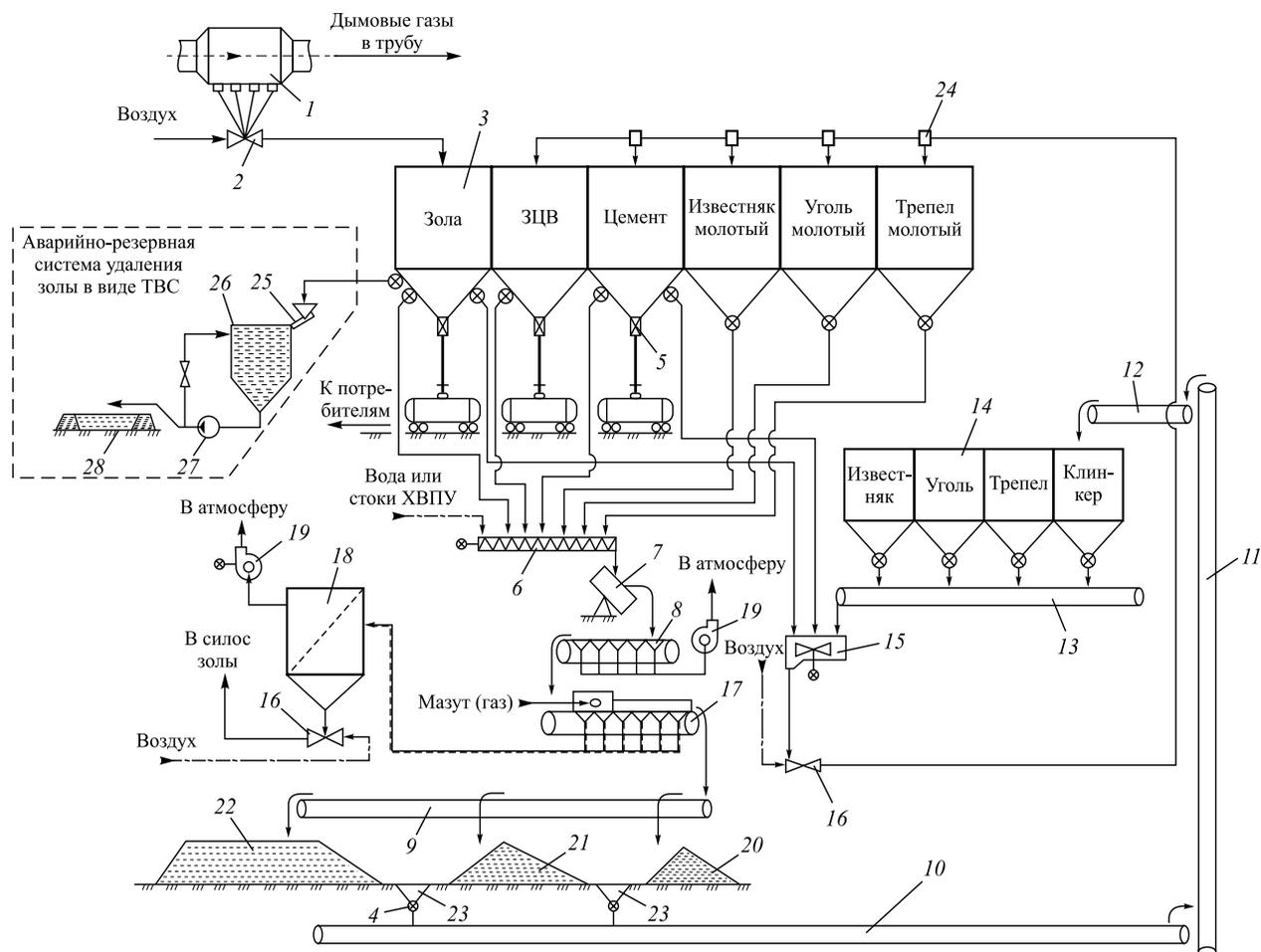


Рис. 1. Схема комплекса золошлакопереработки Омской ГТЭС-6 (проект) [15]:

1 – электрофильтр котлоагрегата; 2 – система пневмоудаления; 3 – склад золы, молотых сырьевых и готовых вяжущих материалов; 4 – питатель, дозатор; 5 – загрузочное устройство; 6 – смеситель; 7 – гранулятор; 8 – конвейер предварительного упрочнения гранул; 9 – 13 – конвейер ленточный; 14 – склад сырьевых материалов; 15 – смеситель; 16 – пневмотранспортная установка; 17 – агломерационная машина; 18 – скруббер; 19 – эксгаузер; 20 – склад золыного гравия; 21 – склад клинкера; 22 – гранулохранилище; 23 – бункер; 24 – переключатель; 25 – гидравлический смеситель; 26 – бак-мешалка; 27 – багерный насос; 28 – отвал твердеющей водозольной смеси

Fig. 1. Scheme of a complex of ash and slag utilization at Omsk TPP-6 (project) [15]:

1 – electrofilter of the boiler; 2 – pneumatic removal system; 3 – ash warehouse, ground raw and finished binding materials; 4 – feeder, dispenser; 5 – loading device; 6 – mixer; 7 – granulator; 8 – conveyor of granules preliminary hardening; 9 – 13 – belt conveyor; 14 – raw materials warehouse; 15 – pneumatic conveying system; 16 – pneumatic conveying system; 17 – sintering machine; 18 – scrubber; 19 – air exhauster; 20 – ash gravel storage; 21 – clinker warehouse; 22 – granule storage facility; 23 – bunker; 24 – switch; 25 – hydraulic mixer; 26 – tank-mixer; 27 – shaking pump; 28 – blade of hardening water-ash mixture

и Троицкой ГРЭС были получены углеродсодержащий концентрат с содержанием углерода 68 – 80 %, железосодержащий концентрат с содержанием 46 – 50 % Fe, остальное – так называемый алюмосиликатный продукт с содержанием 3 – 4 % углерода и 2 – 3 % железа. В данной схеме для получения железосодержащего концентрата применялся метод флотации. Качество концентрата, полученного другими методами обогащения, представлены в табл. 1 [23].

Для основных металлургических технологий предпочтительно получать концентрат железа с содержанием выше 60 %, что может быть достигнуто либо методами многостадийной магнитной сепарацией или выщелачиванием (на основании табл. 1), экономическая эффективность которых неочевидна.

В минеральной части углей многих угольных месторождений России содержание оксида алюминия составляет 25 – 35 %, что позволяет рассматривать золошлаковые остатки сжигания как ресурсную базу для производства глинозема. Разрабатываемые технологии основываются на известных способах щелочного или кислотного выщелачивания, спекания-выщелачивания [23, 24]. Фактически эти способы переработки ведут или к обогащению золы до 39 – 46 % Al_2O_3 [24] с последующей передачей концентрата на глинозёмные заводы, работающие по методу спекания, или предполагают строительство подобного завода. Следует отметить, что в последнем случае на 1 т переработанной золы образуется 0,35 т глинозема и примерно 2 т отходов – белитовых шламов, утилизация которых является очередной проблемой.

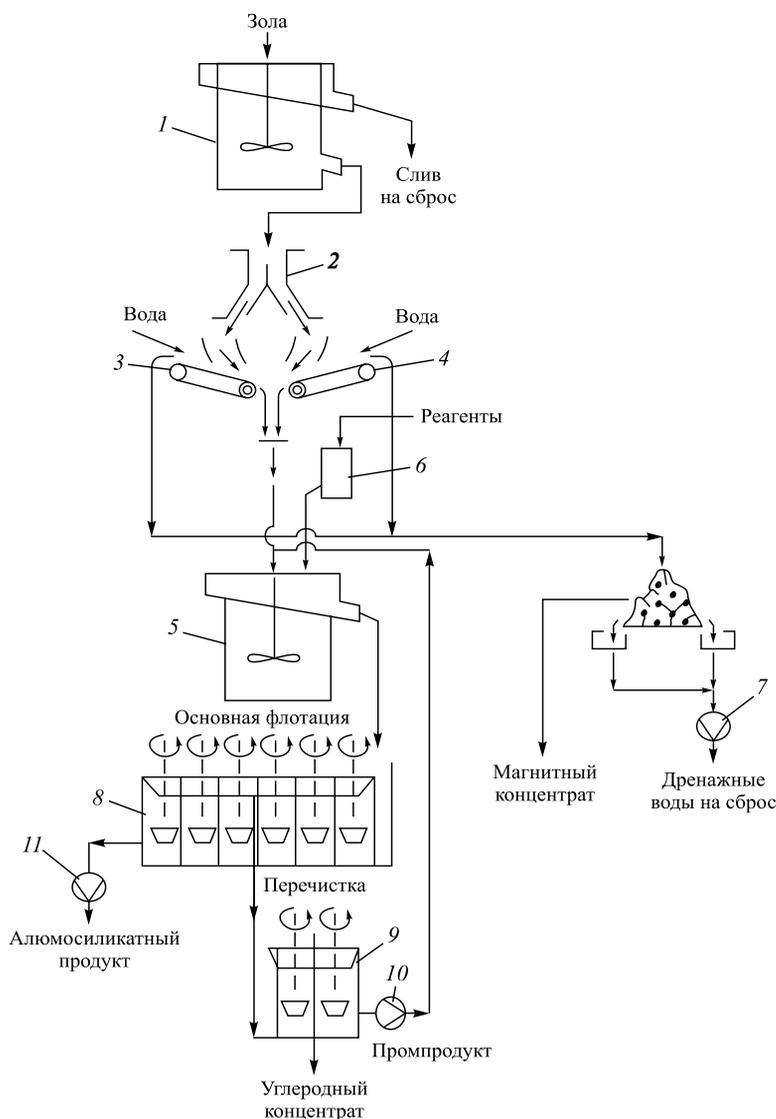


Рис. 2. Технологическая схема получения магнитного (Fe-содержащего), углеродного и алюмосиликатного продукта из золы уноса [16]: 1, 5 – контактный чан; 2 – пульпоотделитель; 3, 4 – электродинамические сепараторы; 6 – реагентный питатель; 7 – дренажный узел магнитного концентрата; 8, 9 – флотационные машины; 10, 11 – насосы

Fig. 2. Technological scheme for obtaining magnetic (Fe-containing), carbon and aluminosilicate product from fly ash [16]: 1, 5 – contact vat; 2 – pulp separator; 3, 4 – electrodynamic separators; 6 – reagent feeder; 7 – drainage unit of magnetic concentrate; 8, 9 – flotation machines; 10, 11 – pumps

В углях России, особенно угольных бассейнов Сибири и Дальнего Востока, известны промышленные и полупромышленные концентрации германия, золота, платины, урана, редкоземельных элементов, которые в процессе сжигания переходят в золошлаковые отходы [25]. Наличие этих элементов в достаточном количестве предопределяет создание технологий с извлечением ценных компонентов помимо вышеописанных. В качестве примера на рис. 3 представлена схема комплексной переработки золошлаковых отходов ТЭЦ Дальневосточного федерального округа [26].

Как следует из вышеизложенного, комплексная переработка твердых золошлаковых отходов, образующихся при сжигании угля в факеле или кипящем слое, с извлечением полезных компонентов требует применения

флотационных технологий обогащения. В большинстве случаев флотореагенты, применяемые в данных технологиях, представляют собой вещества, относящиеся ко 2-му или 3-му классу опасности (табл. 2) [27].

Выводы. При использовании технологий комплексной переработки золошлаковых отходов появляются новые экологические риски, многие из которых соответствуют экологическим рискам хранения ЗШО в отвалах. Для переработки уже накопленных золошлаковых отходов с экологической точки зрения наиболее приемлемыми направлениями утилизации ЗШО являются технологии стройиндустрии. Но так как они являются экономически низко маржинальными и организационно сложными, необходима высокая степень государственного присутствия в этой области [28, 29].

Методы получения железосодержащего концентрата из золошлаковых отходов ТЭЦ [23]

Table 1. Methods of obtaining Fe-containing concentrate from ash and slag wastes of TPP [23]

| Метод обогащения | Содержание Fe ₂ O ₃ , % (по массе) | | Коэффициент обогащения | Выход*, % (по массе) |
|---|--|----------------------------|------------------------|----------------------|
| | Зола – унос ТЭС | Железный концентрат | | |
| Одностадийная мокрая электромагнитная сепарация | 3,9 | 29,5 | 7,6 | – |
| Одностадийная мокрая интенсивная электромагнитная сепарация | 6,3 | 49,8 | 7,9 | – |
| Двухстадийная магнитная сепарация: – на первой стадии мокрая сепарация с использованием электромагнита; – на второй стадии сухая сепарация с использованием постоянного магнита | 7 – 10 | 16 – 21 | 1,6 – 2,3 | – |
| | – | До 50 | 5 – 7 | – |
| Двухстадийная сухая магнитная сепарация | – | 50 | – | 10 |
| Двухстадийная мокрая магнитная сепарация с измельчением золы после первой стадии | Более 15 | До 50 (после стадии I) | 3,3 | 23 |
| | – | Более 60 (после стадии II) | 4,0 | |
| Многостадийная сухая высокоградиентная сепарация с использованием постоянного магнита | – | Более 64 | – | 10 – 15 |
| Кислотное выщелачивание | 12,5 | 82,8 | 6,6 | – |
| Кислотное выщелачивание с добавлением хлорида натрия | 4 | 79,8 | 20 | – |

* В расчете на количество переработанной золы.

Класс опасности некоторых реагентов, применяемых при обогащении [27]

Table 2. Hazard class of some reagents used in enrichment [27]

| Вещество | Класс опасности | Вещество | Класс опасности | Вещество | Класс опасности |
|---------------------------|-----------------|--|-----------------|--|-----------------|
| <i>Обогащение угля</i> | | <i>Обогащение горно-химического сырья</i> | | <i>Обогащение руд цветных металлов</i> | |
| Четыреххлористый углерод | 2 | Дифосфоновые кислоты (тетранатриевая соль) | 3 | Тиокарбаматы | канцерогены |
| Дихлорэтан | 2 | Серная кислота | 2 | Изопропилметилтиокарбамат | 3 |
| Бензол | 2 | Ортофосфорная кислота | 2 | Изопропилэтилтиокарбамат | 3 |
| Фенол | 2 | Алкиларилсульфонаты | 3 – 4 | Ферроцианид калия | 3 |
| Соляровое масло | 3 | Алкиламины | 2 | Пиразолы | 3 |
| Эфиры фталевой кислоты | 2 | Метилизобутилкарбинол | 3 | Тиосульфат натрия | 3 |
| Гексаметафосфат натрия | 4 | <i>Обогащение золота</i> | | Этилксантогент калия | 3 |
| Фениларсоновая кислота | 2 | Диметилфталат | 4 | Бутилксантогент калия | 3 |
| <i>Обогащение алмазов</i> | | Тиомочевина | 2 | Алкилдитиофосфат цинка | 3 |
| Сульфат свинца | 1 | Меркаптаны | 2 | Монобутиловых эфиры Полипропиленгликолей | 3 |
| Тетрабромэтан | 2 | Дитиофосфаты | 2 | Сульфид натрия | 2 |
| Крезоловая кислота | 2 | Полиакриламид | 4 | Цинковый купорос | 2 |
| Нефтяное масло | 3 – 4 | Медный купорос | 2 | Хлорное железо | 2 |
| – | – | Цианид натрия | 1 | – | – |

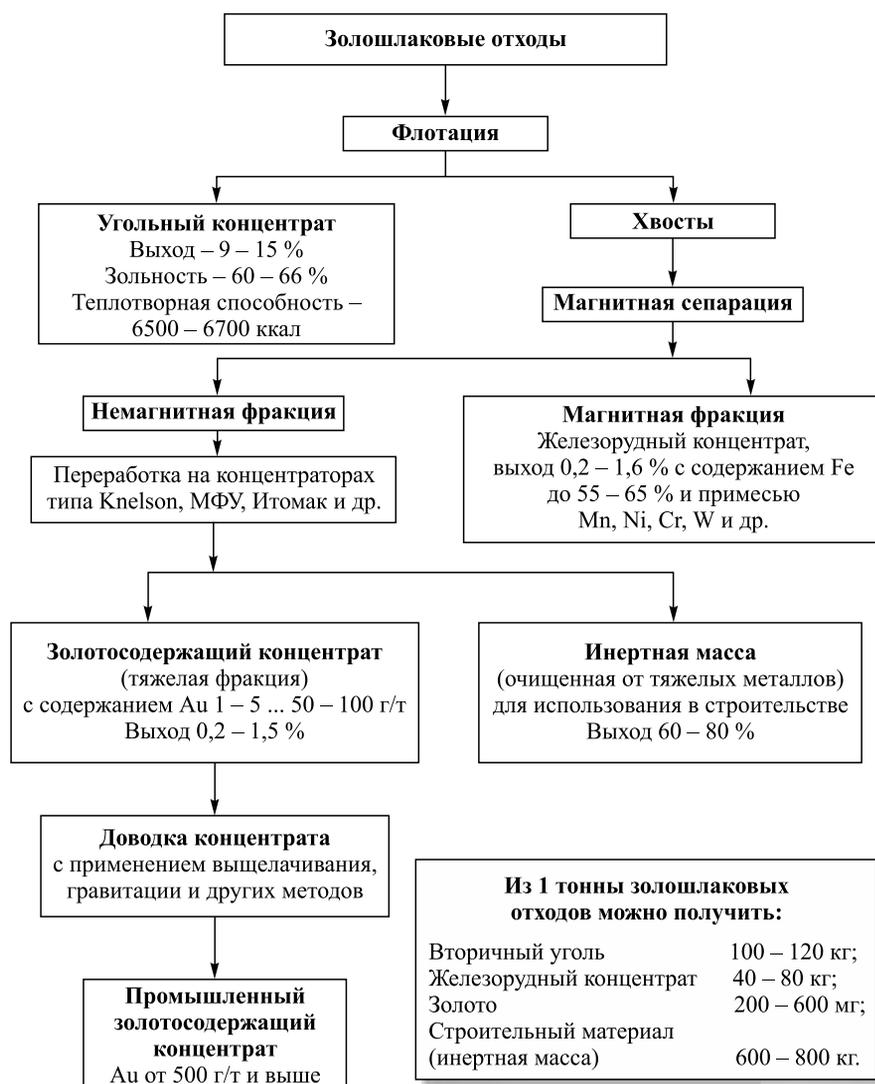


Рис. 3. Схема комплексной переработки ЗШО Дальневосточных ТЭЦ

Fig. 3. Scheme of complex utilization of ash and slag wastes of Far Eastern TPPs

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Проект Энергетической стратегии России на период до 2035 года (редакция от 01.02.2017) [Электронный ресурс] URL: <https://minenergo.gov.ru/node/1920> (дата обращения 15.03. 2018)
2. Прогноз развития энергетики мира и России 2016 / Под ред. А.А. Макарова. – М.: ИНЭН РАН-АЦ при правительстве РФ, 2016. – 200 с.
3. Рейтинг регионов по уровню энергодостаточности. РИАРЕЙТИНГ. [Электронный ресурс] URL: <http://vid1.rian.ru/ig/ratings/energodeficit012017.pdf> (дата обращения 15.03. 2018)
4. Инвестиционная программа ОАО «РусГидро» на 2015 – 2019 годы Приложение 3 к Бизнес-плану ОАО «РусГидро» на 2015 – 2019 годы. [Электронный ресурс] URL: <http://www.rushydro.ru/upload/iblock/4cb/IP-2015-2019-dlya-razmesheniya-na-sajte.pdf> (дата обращения 23.03. 2018)
5. Делицын Л.М. Презентация доклада, представленного на Ученом Совете ОИВТ РАН 16 ноября 2015 года. [Электронный ресурс] URL: http://jiht.ru/science/science_council/lecture_detail.php?ID=58463 (дата обращения 23.03. 2018).
6. Волженский А.В., Иванов И.А., Виноградов Б.Н. Применение зол и топливных шлаков в производстве строительных материалов. – М.: Стройиздат, 1984. – 225 с.
7. Путилин Е.И., Цветков В.С. Применение зол уноса и золошлаковых смесей при строительстве автомобильных дорог. Обзорная информация отечественного и зарубежного опыта применения отходов от сжигания твердого топлива на ТЭС. – М.: ФГУП «СОЮЗДОРНИИ», 2003. – 58 с.
8. Дворкин Л.И. Строительные материалы из отходов промышленности. Учебно-справочное пособие. – Ростов-на-Дону: Изд-во «Феникс», 2007. – 368 с.
9. Шпирт М.Я., Артемьев В.Б., Силютин С.А. Использование твердых отходов добычи и переработки углей (Библиотека горного инженера. Т. 5 «Переработка и обогащение минерального сырья» Кн. 3). – М.: Изд-во «Горное дело», 2013. – 432 с.
10. Беспалов В.И., Беспалова С.У., Вагнер М.А. Природоохранные технологии на ТЭС: Учебное пособие. 2-е изд. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. – 240 с.
11. Путилов В.Я., Путилова И.В. Кондиционирование золошлаков энергетики в России. Раздел 3. Обращение с золошлаками. 3.4. Кондиционирование и управление качеством золошлаков. [Электронный ресурс] URL: <http://osi.ecopower.ru/ru/2010-11-28-18-46-37.html> (дата обращения 28.03. 2018).
12. Галибина Е.А. Классификация пылевидных зол в зависимости от вещественного состава, обеспечивающего их рациональное направление использования для производства строитель-

- ных материалов. В кн.: Строительная теплофизика. Долговечность конструкций // Исследования по строительству. НИИ строительства Госстроя ЭССР. – Таллин: Валгус, 1981. – 132 с.
13. Калачёв А.И. Комплексная система утилизации ЗШМ. [Электронный ресурс] URL: <http://ksfenix.org/files/fenix-web-ru.pdf>. (дата обращения 25.03. 2018).
 14. Саломатов В.В. Экологически чистая ТЭС с вихревой технологией сжигания канско-ачинских углей // Новое в российской электроэнергетике. 2014. № 3. С. 14 – 29.
 15. Вишня Б.Л. Технологии грануляции золы. Перспективы применения на угольных ТЭС. Презентация. Международная научно-практическая конференция УгольЭко 2016. 27 – 28 сентября 2016, Москва, НИУ «МЭИ». [Электронный ресурс] URL: <http://coaleco.ru/news/coaleco-2016-presentations/> (дата обращения 23.03. 2018).
 16. Ладыгичев М.Г., Чижикова В.М. Сырье для черной металлургии. Справочное издание: В 2-х томах. Т. 2. Экология металлургического производства. – М.: Теплотехник, 2005. – 448 с.
 17. Гусев К.П., Ларичкин В.В., Ларичкина Н.И. Перспективы использования золошлаковых отходов теплоэнергетики Сибири в производстве тротуарного камня // Известия Самарского центра Российской академии наук. 2011. Т. 13. № 1(8). С. 2058 – 2061.
 18. Черепанов А.А. Комплексная переработка золошлаковых отходов ТЭЦ (результаты лабораторных и полупромышленных испытаний) // Геология и полезные ископаемые Мирового океана. 2009. № 2. С. 98 – 115.
 19. Yao Z.T. A review of the alumina recovery from coal fly ash, with a focus in China // Fuel. 2014. March (120). P. 74 – 85.
 20. Шамрай Е.И., Таскин А.В., Иванников С.И., Юдаков А.А. Исследование возможностей комплексной переработки отходов предприятий энергетики Приморского края // Современные наукоемкие технологии. 2017. № 3. С. 68 – 75.
 21. Арсентьев В.А. Новая технология сухого обогащения золы уноса угольных электростанций на основе методов прикладной минералогии // Записки Горного института. 2016. Т. 220. С. 521 – 525.
 22. Делицын Л.М., Рябов Ю.В., Власов А.С. Возможные технологии утилизации золы // Энергосбережение. 2014. № 2. С. 60.
 23. Ежова Н.Н., Власов А.С., Сударева С.В., Делицын Л.М. Золошлаковые отходы тепловых электростанций – ценный сырьевой ресурс для черной и цветной металлургии // Экология промышленного производства. 2010. № 2. С. 45 – 52.
 24. Делицын Л.М., Рябов Ю.В., Власов А.С. Новая обогатительная технология переработки золы угольных электростанций с получением глиноземной и другой товарной продукции // Экология промышленного производства. 2012. № 1. С. 74 – 79.
 25. Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Ценные элементы-примеси в углях. – Екатеринбург: УрО РАН, 2006. – 538 с.
 26. Алексейко Л.Н., Таскин А.В., Черепанов А.А., Юдаков А.А. Комплексная переработка золошлаковых отходов ТЭЦ г. Хабаровск и Биробиджан // Современная наука. 2016. № 1(17). С. 21 – 34.
 27. Соловьянов А.А. Прошлый (накопленный) экологический ущерб: проблемы и решения. Источники и виды загрязнения // Экологический вестник России. 2015. № 3. С. 46 – 52.
 28. Шевцов В.Р. Стратегия повторного возобновления ресурсов из золошлаковых отходов теплоэлектростанций. 2010. [Электронный ресурс] URL: <http://www.sibacc.ru/upload/iblock/fc8/11.pdf> (дата обращения 04.04. 2018).
 29. Цыльковский Ю.К. Экологические и экономические аспекты утилизации золошлаков ТЭС // Энергия: экономика, техника, экология. 2006. № 4. С. 27 – 34.

Поступила 18 мая 2018 г.

IZVESTIYA VUZOV. CHERNAYA METALLURGIYA = IZVESTIYA. FERROUS METALLURGY. 2018. VOL. 61. NO. 6, PP. 439–446.

CHALLENGES AND OPPORTUNITIES OF UTILIZATION OF ASH AND SLAG WASTE OF TPP (THERMAL POWER PLANT). PART 1

*G.S. Podgorodetskii, V.B. Gorbunov, E.A. Agapov,
T.V. Erokhov, O.N. Kozlova*

National University of Science and Technology “MISIS” (MISIS),
Moscow, Russia

Abstract. The further development of the Russian coal industry, especially in the regions of Siberia and the Far East, in line with the Energy Strategy, predetermines the need to address the problem of utilization of ash and slag wastes in newly implemented projects. The total amount of ash and slag in the ash dumps in Russia is more than 1.5 billion tons, and the area occupied by fly ash and slag wastes (FASW) is more than 220 km². At the same time, the degree of FASW use does not exceed 10 %. It is shown that the main solutions for the recycling of the industrial solid waste generated by thermal power plants are their use in the production of building materials, road construction, or the complex processing of FASW with the extraction of metals and the production of building materials either. Some fly ash can be used in agriculture. The physicochemical properties of fly ash and slag wastes and, accordingly, the directions of their use, as well as the choice of technology, are determined by the mineral part of the fossil coals and the way they are burned. To use fly ash in the construction industry, it is necessary to transfer the ash removal system to the dry method, accompanied, on the one hand, by a large volume of capital investments in equipment and facilities for storage, classification, crushing and grinding, the transfer of new physical and chemical properties to fly ash and slag waste, and on the other side, an increase in organizational and transport barriers. Examples of proposed technologies for utilization of ash and slag wastes in the form

of metal recovery and production of building materials are given. To obtain iron-containing concentrates, one-stage magnetic separation is used, but the quality of the concentrate does not meet modern requirements. The most technologically effective for the extraction of metals from ash and slag wastes are technologies based on flotation methods. At the same time, it follows from the provided data that their application can be limited to economic, organizational factors and the emergence of new environmental risks. The conclusion is made on the possibility of using the above technologies for existing coal-fired power plants only with state support.

Keywords: coal, utilization of ash and slag wastes, building materials, extraction of metals.

DOI: 10.17073/0368-0797-2018-6-439-446

REFERENCES

1. *Proekt Energeticheskoi strategii Rossii na period do 2035 goda (redaktsiya ot 01.02.2017)* [Project of energetic strategy of Russia for the period up to 2035 (edition from 01.02.2017)]. Available at URL: <https://minenergo.gov.ru/node/1920>. (Accessed 15.03.2018). (In Russ.).
2. *Prognoz razvitiya energetiki mira i Rossii 2016* [Forecast for development of energy sector in the world and in Russia, 2016]. Makarov A.A. ed. Moscow: INEN RAN-ATs pri pravitel'stve RF, 2016, 200 p. (In Russ.).
3. *Reiting regionov po urovnyu energodostatochnosti. RIAREITING* [Rating of regions by level of energy sufficiency. RIAREITING]. Available at URL: <http://vid1.rian.ru/ig/ratings/energodeficit012017.pdf>. (Accessed 15.03.2018). (In Russ.).

4. *Investitsionnaya programma OAO «RusGidro» na 2015 – 2019 gody. Prilozhenie 3 k Biznes-planu OAO «RusGidro» na 2015 – 2019 gody* [Investment program of JSC “RusGidro” for 2015 – 2019. Annex 3 to the Business plan of JSC “RusGidro” for 2015 – 2019]. Available at URL: <http://www.rushydro.ru/upload/iblock/4cb/IP-2015-2019-dlya-razmesheniya-na-sajte.pdf>. (Accessed 23.03.2018). (In Russ.).
5. Delitsyn L.M. *Prezentatsiya doklada, predstavlenogo na Uchenom Sovete OIVTRAN 16 noyabrya 2015 goda* [Presentation of the report presented at the Scientific Council of the OIVT RAS, November 16, 2015]. Available at URL: http://jiht.ru/science/science_council/lecture_detail.php?ID=58463 (Accessed 23.03.2018). (In Russ.).
6. Volzhenskii A.V., Ivanov I.A., Vinogradov B.N. *Primenenie zol i toplivnykh shlakov v proizvodstve stroitel'nykh materialov* [Application of fly ash and fuel slag in production of building materials]. Moscow: Stroizdat, 1984, 225 p. (In Russ.).
7. Putilin E.I., Tsvetkov V.S. *Primenenie zol unosa i zoloshlakovykh smesei pri stroitel'stve avtomobil'nykh dorog. Obzornaya informatsiya otechestvennogo i zarubezhnogo opyta primeneniya otkhodov ot szhiganiya tverdogo topliva na TES* [Application of fly ash and ash-slag mixtures in construction of automobile roads. Overview of domestic and foreign experience in application of waste from solid fuel burning at TPP]. Moscow: FGUP “SOYUZDORNIP”, 2003, 58 p. (In Russ.).
8. Dvorkin L. I. *Stroitel'nye materialy iz otkhodov promyshlennosti. Uchebno-spravochnoe posobie* [Building materials from industrial wastes. Manual]. Rostov-on-Don: Izd-vo “Feniks”, 2007, 368 p. (In Russ.).
9. Shpirt M.Ya., Artem'ev V.B., Silyutin S.A. *Ispol'zovanie tverdykh otkhodov dobychi i pererabotki uglei: Biblioteka gornogo inzhenera. T. 5 “Pererabotka i obogashchenie mineral'nogo syr'ya” Kn. 3* [Usage of solid wastes of coal mining and processing: Library of mining engineer, Vol. 5 “Processing and enrichment of mineral raw materials”. Book 3]. Moscow: “Gornoe delo”, 2013, 432 p. (In Russ.).
10. Bespalov V.I., Bespalova S.U., Vagner M.A. *Prirodookhrannyye tekhnologii na TES: uchebnoe posobie* [Environmental technologies at TPP: Manual. 2nd ed.]. Tomsk: Tomskii politekhnicheskii universitet, 2010, 240 p. (In Russ.).
11. Putilov V.Ya., Putilova I.V. *Konditsionirovanie zoloshlakov energetiki v Rossii. Razdel 3. Obrashchenie s zoloshlakami. 3.4. Konditsionirovanie i upravlenie kachestvom zoloshlakov* [Conditioning of ash and slag of energetics in Russia. Section 3. Treatment of ash and slag. 3.4. Conditioning and quality management of ash and slag]. Available at URL: <http://osi.ecopower.ru/ru/2010-11-28-18-46-37.html>. (Accessed 28.03.2018). (In Russ.).
12. Galibina E.A. Classification of pulverized ash depending on material composition, providing its rational use for building materials production. In: *Stroitel'naya teplofizika. Dolgovechnost' konstruktivnykh issledovaniya po stroitel'stvu. NII str-va Gosstroya ESSR* [Building thermophysics. Durability of structures. Research in construction NII str-va Gosstroya ESSR]. Tallin: Valgus, 1981, 132 p.
13. Kalachev A.I. *Kompleksnaya sistema utilizatsii ZShM* [Complex system of ash and slag utilization]. Available at URL: <http://ksfenix.org/files/fenix-web-ru.pdf>. (Accessed 25.03.2018). (In Russ.).
14. Salomatov V.V. Clean TPP with vortex technology for burning of the Kansk-Achinsk coals. *Novoe v rossiiskoi elektroenergetike*. 2014, no. 3, pp. 14–29. (In Russ.).
15. Vishnya B.L. *Tekhnologii granulatsii zoly. Perspektivy primeneniya na ugol'nykh TES. Prezentatsiya. Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya Ugol'Eko 2016. 27–28 sentyabrya 2016, Moskva, NIU “MEI”* [Technologies of ash granulation. Prospects of application at coal TPP. Presentation. Int. Sci. and Pract. Conf. Ugol'Eco 2016. 27–28 September, 2016, Moscow, NIU “MEI”]. Available at URL: <http://coaleco.ru/news/coaleco-2016-presentations>. (Accessed 23.03.2018). (In Russ.).
16. Ladygichev M.G., Chizhikova V.M. *Syr'e dlya cherno metallurgii. Spravochnoe izdanie: V 2-kh tomakh. T. 2. Ekologiya metal-lurgicheskogo proizvodstva* [Raw materials for ferrous metallurgy. Reference book: In 2 vols. Vol. 2. Ecology of metallurgical production]. Moscow: Teplotekhnika, 2005, 448 p. (In Russ.).
17. Gusev K.P., Larichkin V.V., Larichkina N.I. Prospects of ash and slag wastes application of the Siberian thermal power industry in production of pavement stone. *Izvestiya Samarskogo tsentra Rossiiskoi akademii nauk*. 2011, vol. 13, no. 1(8), pp. 2058–2061. (In Russ.).
18. Cherepanov A.A. Complex processing of ash and slag wastes of TPP (results of laboratory and semi-industrial tests). *Geologiya i poleznye iskopaemye Mirovogo okeana*. 2009, no. 2, pp. 98–115. (In Russ.).
19. Yao Z.T. A review of the alumina recovery from coal fly ash, with a focus in China. *Fuel*. 2014, march (120), pp. 74–85.
20. Shamrai E.I., Taskin A.V., Ivannikov S.I., Yudakov A.A. Investigation of complex processing possibilities of wastes of energy companies of the Primorsky Krai. *Sovremennye naukoemkie tekhnologii*. 2017, no. 3, pp. 68–75. (In Russ.).
21. Arsent'ev V.A. New technology of dry enrichment of fly ash from coal-fired power plants on the basis of applied mineralogy methods. *Zapiski Gornogo instituta*. 2016, vol. 220, pp. 521–525. (In Russ.).
22. Delitsyn L.M., Ryabov Yu.V., Vlasov A.S. Potential technologies of ash utilization. *Energoberechenie*. 2014, no. 2, pp. 60. (In Russ.).
23. Ezhova N.N., Vlasov A.S., Sudareva S.V., Delitsyn L.M. Ash and slag waste from thermal power plants as a raw material commodity for ferrous and non-ferrous metallurgy. *Ekologiya promyshlennogo proizvodstva*. 2010, no. 2, pp. 45–52. (In Russ.).
24. Delitsyn L.M., Ryabov Yu.V., Vlasov A.S. New enrichment technology for processing of coal-fired power plants ash in production of alumina and other commercial products. *Ekologiya promyshlennogo proizvodstva*. 2012, no. 1, pp. 74–79. (In Russ.).
25. Yudovich Ya.E., Ketris M.P. *Tsennyye elementy-primesi v uglyakh* [Valuable impurity elements in coals]. Ekaterinburg: UrO RAN, 2006, 538 p. (In Russ.).
26. Alekseiko L.N., Taskin A.V., Cherepanov A.A., Yudakov A.A. Complex processing of ash and slag wastes of TPP. Khabarovsk and Birobidzhan. *Sovremennaya nauka*. 2016, no. 1 (17), pp. 21–34. (In Russ.).
27. Solov'yanov A.A. Past (accumulated) environmental damage: problems and solutions. Sources and types of pollution. *Ekologicheskii vestnik Rossii*. 2015, no. 3, pp. 46–52. (In Russ.).
28. Shevtsov V.R. *Strategiya povtornogo vozobnovleniya resursov iz zoloshlakovykh otkhodov teploelektrostantsii* [Strategy of resumption of resources from TPP ash and slag wastes. 2010]. Available at URL: <http://www.sibacc.ru/upload/iblock/fc8/11.pdf>. (Accessed 04.04.2018). (In Russ.).
29. Tselykovskii Yu.K. Ecological and economic aspects of utilization of TPP ash and slag. *Energiya: ekonomika, tekhnika, ekologiya*. 2006, no. 4, pp. 27–34. (In Russ.).

Information about the authors:

G.S. Podgorodetskii, Cand. Sci. (Eng.), Director of the Scientific and Educational Center “Innovative Metallurgical Technologies” (podgs@isis.ru)

V.B. Gorbunov, Cand. Sci. (Eng.), Deputy Director of the Scientific and Educational Center “Innovative Metallurgical Technologies” (vbg1953@mail.ru)

E.A. Agapov, Engineer of the Scientific and Educational Center “Innovative Metallurgical Technologies” (ageger@yandex.ru)

T.V. Erokhov, Engineer of the Scientific and Educational Center “Innovative Metallurgical Technologies” (timofeyerokhov@gmail.com)

O.N. Kozlova, Engineer of the Scientific and Educational Center “Innovative Metallurgical Technologies” (o_kozlova1@mail.ru)

Received May 18, 2018