

## ОБЗОР ЗАРУБЕЖНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ УТИЛИЗАЦИИ ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ ТЕПЛОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

*канд. техн. наук, доц. Л.М. ПАРФЕНОВА, М.Н. ВЫСОЦКАЯ  
(Полоцкий государственный университет, Беларусь)*

*Представлены зарубежные технологии утилизации золошлаковых отходов теплоэлектростанций. Рассмотрены различные технологические решения по получению алюмосиликатных микросфер из золошлаковых отходов теплоэлектростанций. Сделан краткий анализ технологий компании «Zolanewtechnology» (Россия), OmegaMineralsGroup (Германия), RockTron (Великобритания), SeparationTechnologies (США).*

**Ключевые слова:** *золошлаковые отходы, алюмосиликатные микросферы, комплексная утилизация.*

**Введение.** Увеличение количества теплоэлектростанций, работающих на местных видах топлива, в частности на торфе, делает актуальным для нашей республики решение вопросов, связанных с утилизацией образующихся золошлаковых отходов. В этой связи практический интерес представляет зарубежный опыт получения высококачественных товарных продуктов из золы. Уровень утилизации золошлаковых отходов в развитых странах составляет около 50%, во Франции и в Германии – 70%, в Финляндии – около 90% их текущего выхода.

**Основная часть.** Основной коммерческий интерес представляет извлечение алюмосиликатных микросфер, кремнезема ( $\text{SiO}_2$ ), глинозема ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), оксидов редких и редкоземельных металлов.

Алюмосиликатные микросферы являются одним из компонентов золошлаковых отходов угольных ТЭС, образующихся при сгорании угля в котлах электростанций в результате грануляции расплава минеральной части углей и раздува раздробленных мелких капель внутренними газами. В результате этого процесса получают полые алюмосиликатные микросферы почти идеальной сферической формы. Диаметр частиц в среднем от 10–20 до 500 мк. Этот материал обладает рядом уникальных свойств: низкая плотность, высокая механическая прочность, химическая инертность, термостойкость, низкая теплопроводность [1].

Разработаны различные технологические решения по получению алюмосиликатных микросфер из золошлаковых отходов теплоэлектростанций. Согласно патенту № 2263634C1RU [2], алюмосиликатные микросферы отделяют от золошлаковых отходов путем погружения названных отходов в жидкость, собирают алюмосиликатные микросферы с поверхности жидкости и сушат, при этом сушку осуществляют в две стадии, причем на первой стадии сушки выдерживают алюмосиликатные микросферы при температуре не ниже 2 °С до достижения ими остаточной относительной влажности не более 30%, а на второй стадии сушки нагревают алюмосиликатные микросферы до температуры 100–300°С в печи барабанного типа путем прямого контакта осушаемых алюмосиликатных микросфер с нагретыми от внешнего источника стенками барабана названной печи до достижения ими относительной влажности не более 3%.

Недостатками этого способа являются: во-первых, длительный срок естественного испарения влаги с невозможностью осуществления непрерывного технологического процесса; во-вторых, при указанных температурах в сушильной печи фактически невозможно получить влажность микросферы меньше 3%. В то же время основным требованием потребителей микросферы является ее влажность не более 0,5%.

Кроме того, известен способ сбора микросфер из золы-уноса (патент № 2257267C2RU) [3], включающий операции гидросепарации водной суспензии и извлечение микросфер и их обезвоживание, при этом сбор микросфер производят с помощью плавающих бонов и тяговой лебедки, для сбора микросфер с поверхности золоотвала используют центробежную мотопомпу, на дамбе под фильтрующим контейнером устанавливают водоотводящий желоб, суспензия с которого поступает в дополнительный фильтрующий контейнер, производят окончательный водоотжим и дополнительное бонирование зоны сброса водной суспензии.

Соответствующее этому способу устройство включает скрепленные между собой полипропиленовые боны длиной около 30 м и шириной около 0,5 м, снабженные в нижней части приспособлением для удержания утяжелителя, тяговую лебедку и центробежную мотопомпу, при этом на дамбе под фильтрующим контейнером установлен водоотводящий желоб, с возможностью поступления суспензии в дополнительный фильтрующий контейнер.

Помимо указанных выше технических решений, известно устройство для выделения полых микросфер из золошлаковой пульпы (патент № 2047379 C1RU) [4], содержащее конический корпус с патрубками для

подвода и отвода золошлаковой пульпы и приспособление для сбора микросфер с поверхности воды, причем приспособление для сбора микросфер представляет собой шарнирно закрепленное на корпусе коромысло, одно плечо которого снабжено подвешенной к нему приемной емкостью с дроссельным отверстием и кинематически соединено с клапаном, установленным в воронке трубопровода, соединяющего внутреннюю полость корпуса с приемной емкостью, а другое плечо снабжено противовесом и кинематически соединено с клапаном, установленном в патрубке, для отвода золошлаковой пульпы.

Высокий уровень утилизации золошлаковых отходов в европейских странах обеспечивается широким внедрением зарубежными компаниями технологий комплексной переработки золошлаковых отходов ТЭС.

Компания «Zolanewtechnology» (Россия) предлагает закрытый технологический процесс вскрытия золошлаковых отходов. Работа комплекса по переработке угольных золошлаковых отходов включает несколько этапов [5].

Первый этап: методом флотации извлекается недожог из золошлаковых отходов. Недожог высушивается и далее может применяться как вторичное топливо на угольных ТЭС.

Второй этап: получение алюмосиликатных микросфер разной фракции. Зола как сырье попадает в гидроциклоны, которые в свою очередь вспенивают на малых оборотах данную массу (сырье) и при помощи насосов отправляют собранную пену в специальные центрифуги. Далее в центрифуге через специальные сито происходит разделение микросфер на разные фракции и при определенной температуре вода испаряется, а микросферы в сухом виде по разным фракциям рассыпаются в мешки и далее отправляются потребителю.

Третий этап: методом магнитной сепарации, зола разделяется на магнитную и немагнитную фракции. Магнитный концентрат из золошлаковых отходов может быть использован для производства ферросилиция, чугуна и стали. Он также может служить исходным сырьем для порошковой металлургии. Стоимость магнитного концентрата, полученного из золошлаковых отходов ТЭС методом магнитной сепарации, значительно ниже рудного концентрата.

Четвертый этап: очищенные золошлаковые отходы в сухом состоянии смешиваются в смесителе с реагентом и попадают в печь, где при определенных температурных режимах происходит процесс вскрытия золы. В качестве технологического приема вскрытия золы выбрано сплавление ее с содой, что позволяет перевести значительную часть кремнезема в водорастворимые си-

ликаты (силикаты натрия и калия). Сплавление с содой позволяет при водном выщелачивании плава перевести в раствор до 70% кремнезема.

Пятый этап: охлажденный спек подвергается смешиванию с раствором соляной кислоты. Обезкремненный раствор поступает на передельные производства редких металлов, а кек – на производство соединения кремния.

Шестой этап: получение редкоземельных металлов обуславливает уже известные технологические процессы из готового к работе раствора-концентрата.

Высококачественные товарные продукты из золы получают на основе технологий компании OmegaMineralsGroup (Германия). Технология извлечения микросфер основана на механизированной добыче легких фракций золы (ЛФЗ) с поверхности намываемых карт гидрозолошлакоотвалов. Добытая ЛФЗ упаковывается в соответствии с требованиями к перевозке подобных грузов и транспортируется на перерабатывающее предприятие для дальнейшего процессинга. Процессинг ЛФЗ с целью получения кондиционных микросфер включает в себя несколько частично совмещаемых стадий:

- удаление органических примесей и недожога;
- неразрушающая сушка и отделение мусора;
- классификация материала по крупности частиц, плотности, прочности;
- магнитная сепарация продукта, удаление железосодержащих частиц;
- прокаливание материала (при необходимости);
- обезвоживание материала до влажности менее 0,25% и обеспечение его свободной текучести;
- регулирование кислотно-щелочных свойств материала (уровень pH);
- стерилизация материала (при необходимости – для производителей ЛКМ) [6].

Технологии фирмы RockTron (Великобритания), основанные на методе пенной флотации, позволяют комплексно решить задачу фракционирования отвальной золы с золошлакохранилищ. Разработанная специалистами компании RockTron уникальная технология обогащения золошлаков, которая более 20 лет успешно применяется в Европе, позволяет получать из отходов ряд экоминеральных продуктов с уникальными характеристиками. Эти минеральные продукты могут быть использованы в различных отраслях промышленности, включая производство стройматериалов, по-

лимеров, эластомеров, покрытий, клеев, могут заменить дорогостоящее сырье и позволят производителям получить экономический эффект от использования. Наиболее интересным для строительной отрасли является продукт Alpha, использование которого в качестве добавки при производстве товарного бетона и железобетонных конструкций и изделий позволяет уменьшить объем используемого цемента на 25–30% без снижения прочностных характеристик и сроков набора прочности изделий. С учетом более низкой стоимости Alpha по отношению к цементу это позволит производителям бетона и ЖБК снизить себестоимость своей продукции. Уникальность технологии RockTron также заключается в том, что она является безотходной и позволяет 100% золошлаков как текущего выхода, так и размещенных на золоотвалах, перерабатывать в полезные экоминеральные продукты RockTron [7].

Технология электростатической сепарации, разработанная компанией Separation Technologies (США), позволяет снизить содержание углерода в угольной летучей золе, в результате чего образуется зола с низким содержанием углерода, которая может использоваться для замещения части цемента. Из летучей золы с содержанием потерь при прокаливании (п.п.п.) >25 % получена зола с контролируемым содержанием недожога около  $2\pm 0,5\%$ . Разделение основано на том, что в электрическом поле частицы золы заряжаются отрицательно, а частицы угля – положительно. Кроме образовавшегося высококачественного товарного продукта с низким содержанием углерода, известного под торговой маркой ProAsh (зола ProAsh), который применяется при производстве бетонов, в результате сепарационных процессов ST также выделяется зола с высоким содержанием углерода с торговой маркой EcoTherm (зола EcoTherm). Зола EcoTherm имеет значительную энергетическую ценность и может быть легко использована на ТЭС для повышения эффективности топливоиспользования с помощью установки возврата золы EcoTherm в систему топливоподачи [8].

**Выводы.** Эффективная утилизация золошлаковых отходов в нашей республике невозможна без применения современных разработок и технологий комплексной переработки, позволяющих извлекать из золошлаковых отходов необходимые в производстве строительных материалов алюмосиликатные микросферы, которые могут найти применение в качестве эффективных теплоизоляционных материалов, радиопрозрачных керамик, наполнителей, композиционных материалов и специальных видов цемента.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Дворкин, Л.И. Эффективные цементно-золевые бетоны / Л.И. Дворкин, О.Л. Дворкин, Ю.А. Корнейчук. – Ровно, 1998. – 190 с.
2. Способ получения алюмосиликатных микросфер из золошлаковых отходов теплоэлектростанций и печь для сушки алюмосиликатных микросфер : пат. 2263634 РФ : МПК7 С 01 В 33/26, С 10 В 1/10 / А.Н. Смаль, М.Р. Предтеченский ; дата публ.: 10.11.05.
3. Способ получения микросфер : пат. 2257267РФ : МПК7 В 03 В 7/00, С 04 В 18/10 / Общество с ограниченной ответственностью «Нормин» ; дата публ.: 27.02.05.
4. Устройство для выделения полых микросфер из золошлаковой пульпы: пат. 2047379РФ, МПК7 В 03 В 5/62 / А.С. Кузин, И.П. Прокопьев, Г.Н. Якунин ; дата публ.: 10.11.95.
5. Безотходная технология 100% переработки золошлаковых отходов [Электронный ресурс] // Zolanewtechnology. – Владивосток, 2011. – Режим доступа: [www.zolanewtechnology.de/images/PDF/business\\_proposal.pdf](http://www.zolanewtechnology.de/images/PDF/business_proposal.pdf). – Дата доступа: 29.09.2016.
6. Современные тенденции переработки и использования золошлаковых отходов ТЭС и котельных [Электронный ресурс] / Г.Р. Мингалеева [и др.] // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 6. –Режим доступа: <http://www.science-education.ru>. – Дата доступа: 29.09.2016.
7. Овчинников, Р.В. Оценка золошлаковых отходов как добавки в бетон / Р.В. Овчинников, А.Г.Авакян // Новые технологии. – № 1. – 2014. – С. 100–107.
8. Опыт и возможности комплекса технологий компании ST по кондиционированию летучей золы с учетом реализованного проекта на электростанции Яникосода в Польше / Биттнер, Дж. [и др.] // Золошлаки ТЭС: удаление, транспорт, переработка, складирование : материалы IV науч.-практ. семинара, Москва, 19–20 апр. 2012 г. – М. : Издат. дом МЭИ, 2012. – С. 71–77.

## REVIEW OF FOREIGN TECHNOLOGY RECYCLING ASH AND SLAG WASTE OF THERMAL POWER PLANT

**L. PARFENOVA, M. VYSOTSKAYA**

*The article presents the foreign technology recycling ash and slag waste of thermal power plant. Various technological solutions for the production of aluminosilicate microspheres of ash waste of thermal power plants are considered. A brief analysis of technology companies «Zolanewtechnology» (Russia), OmegaMineralsGroup (Germany), RockTron (United Kingdom), SeparationTechnologies (USA) was made.*

**Keywords:** *ash and slag waste, aluminosilicate microspheres, complex utilization.*

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТВЕРДЕНИЯ  
И ФОРМОИЗМЕНЕНИЙ МАТЕРИАЛОВ  
С ТРЕЩИНОВАТО-ПОРИСТОЙ СТРУКТУРОЙ**

*канд. техн. наук Д.Н. ШАБАНОВ, С.А. ТЕРЕХОВ,  
Е.В. ПИНЧУК, А.Г. ДОЛЖОНОК  
(Полоцкий государственный университет, Беларусь)*

*Изучение микроструктуры гидросиликатов, являющихся важнейшей частью искусственного камня, представляет большой интерес с целью исследования природы физико-механических свойств камня (прочности, усадки, ползучести). Трещина представлена в виде физического разреза с характерной толщиной и неопределенной границей окончания. Введенный в модель линейный размер трактуется в виде предельного радиуса кривизны эллиптической поры. Для описания распределения напряжений и раскрытия трещин в зоне предразрушения в окрестности вершин трещин отрыва предлагается использовать подход Нейбера–Новожилова, когда решения классической теории упругости имеют сингулярную составляющую. Для критических длин зон предразрушения и критического коэффициента трещиностойкости материала получены зависимости, связывающие структурные, прочностные и упругие характеристики материала. Предлагается модификация этой модели, когда для зоны предразрушения используется схема армирования стеклопластиковой арматурой, причем арматура занимает положение не только под  $90^\circ$  относительно трещины.*

**Введение.** Постановка задач исследования зарождения и развития трещин в рамках механики деформируемого твердого тела возможна при определении соответствующей модели трещины и критерия образования новых материальных поверхностей. Основные фундаментальные результаты в данной области относятся к моделям, для которых форма трещины задается математическим разрезом. В работах [1, 2] предложена модель трещины в виде физического разреза, форма окончания которого не определена. Основным параметром данного представления является линейный размер, определяющий толщину физического разреза. Чаще всего реальная внутренняя прямо-