

# Обзор современного состояния переработки и утилизации золошлаковых отходов тепловых электростанций

Н.И.Ибрагимов, Н.Боймуродова

ТГТУ

Ежегодно в развитых странах количество образующихся золошлакоотходов, которое являются основными техногенными отходами ТЭС и ГРЭС составляет до 15 тонн на человека в год, в странах с сырьевой экономикой до 50-100 тонн. Основная доля отходов приходится на промышленные области и представлена вскрышными породами горнодобывающей отрасли, хвостами обогащения, золошлаковыми отходами. Значительное количество золошлаковых отходов образуется при сжигании твердых топлив. (Таблица 1) :

Таблица 1

Выход количество золошлаковых отходов при сжигании твердого топлива

Бурого угля	10-15
Каменного угля	3-40
Антрацита	2-30
Торфа	2-30
Дров	0,5 -1,5
Мазута	0,15-0,2
Сланцев	50 - 80

Для реализации летучей золы и шлаков в качестве сырья и материала, для безопасного складирования и использования золошлаков в хозяйственном комплексе, в различных отраслях промышленности необходимо иметь основную информацию по их свойствам и характеристике: химический состав, физические свойства, минералогический состав, физико-химические свойства, экологические характеристики (радиоактивность и токсичность). Химический состав золошлаковых отходов зависит от минеральной составляющей топлива и колеблется в зависимости от месторождений угля. При производстве портландцемента добавляют до 15% золошлака, в пуццолановый до 25-40%. Введение золы в цемент снижает его прочность в начальные сроки твердения, а при длительных сроках твердения прочность цементов с золой становится более высокой. Одним из наиболее перспективных направлений утилизации золошлаковых отходов является производство из них пористых заполнителей для легких бетонов. Мелкий заполнитель заменяется золой. В качестве крупных заполнителей применяют щебень из топливных шлаков, аглопорит на основе золы, зольный обжиговый и безобжиговый гравий и глинозольный керамзит. Топливные шлаки и зола являются сырьем для производства искусственного пористого заполнителя - аглопорита. При обычной технологии его получают в виде щебня. Разработаны также технологии производства аглопоритового гравия из золы, глинозольного керамзита и зольного гравия. Глинозольный керамзит получают вспучиванием и спеканием в печах гранул, сформованных из смеси глины и золы. Разработаны технологии производства обжигового и безобжигового зольного гравия, позволяющие использовать практически любые золы, получаемые от сжигания различных видов углей. Установлена эффективность введения золы до 20-30% взамен цемента при изготовлении бетонов и растворов. Особенно целесообразно введение золы в бетон

гидротехнических сооружений. Золошлаковые отходы используют для производства силикатного кирпича, при этом расход извести снижается на 10-50%, песка на 20-30%. Такой кирпич имеет более низкую плотность, чем обычный. Топливные зола и шлак применяются в качестве отощающих и выгорающих добавок в производстве керамических изделий на основе глинистых материалов, а также в качестве основного сырья для изготовления зольной керамики. Зольная керамика характеризуется высокой кислотостойкостью, низкой истираемостью, высокой химической и термической стойкостью. Из топливных золошлаков получают плавные материалы: шлаковую пемзу и вату. Разработана технология производства высокотемпературной минеральной ваты методом плавки в электродуговой печи. Этот материал используется для изоляции поверхностей с температурой до 900-1000° С. Также возможно получение стекол, архитектурно-строительных изделий и облицовочных плиток. В дорожном строительстве золошлаковые отходы используют как засыпку при устройстве оснований при приготовлении асфальтобетонных покрытий. Зола используют также в качестве наполнителей для производства мастик рулонных кровельных материалов. Применение золошлаков в сельском хозяйстве улучшает агрофизические свойства почвы, пополняет ее микро- и макроэлементный состав, улучшает пористость, нейтрализует кислотность, но при этом обязательно надо учитывать их опасность по радиационным, водомиграционным, общесанитарным, транслокационным и токсикологическим показателям. Продукция на основе золошлаков является источником инвестиций на техническое перевооружение ТЭС и покрытия экологических платежей на содержание золоотвалов. Несмотря на очевидные выгоды и перспективы широкого применения золошлаковых отходов, объем их использования не превышает 10%, а утилизация золошлаков требует решения комплекса вопросов — от разработки технических условий на их применение, технологических линий по их переработке, транспортных и погрузочно-разгрузочных средств до перестройки психологии хозяйственников в отношении вторичных минеральных ресурсов. Поэтому основная цель производства - довести все процессы до высокой экономичности, надежности, полной экологической безопасности, т.е. добиться минимальных затрат топливно-энергетических ресурсов, при оптимальных энергосберегающих технологиях. Как было отмечено выше, в действующих тепловых электростанциях, работающих на угольном топливе, в результате сжигания которого, помимо прочего, образуется огромное количество золы. Складирование золошлаковых отходов занимает большие площади. Однако золу можно использовать в строительстве и других отраслях промышленности. Рассмотрим возможности утилизации золы на примере одной ТЭЦ использующей в качестве топлива уголь. По химическому составу основными компонентами золы ТЭЦ являются оксиды кремния, алюминия и железа. Помимо этого, в ней содержится большое количество углерода, так называемого недожога угля (табл. 1). Высокое содержание в золе углерода и оксидов железа снижает ее качество и препятствует широкому использованию в строительной и других отраслях промышленности.

Таблица 1  
Химический состав золы уноса (% масс.)

Компоненты	Содержание, % масс.	Компоненты	Содержание, % масс.
SiO <sub>2</sub>	52,2 – 64,3	MgO	1,0 – 2,0
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	23,5 – 29,0	K <sub>2</sub> O	1,0 – 2,3
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (3+)	6,0 – 10,0	SO <sub>2</sub>	0,2 – 0,8
FeO (2+)	0,8 – 1,5	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,2 – 1,0
TiO <sub>2</sub>	0,6 – 1,0	MnO	0,3 – 0,4
CaO	2,2 – 5,8	C (углерод)	12,0 – 16,0

Рассчитанные по данным химического анализа золы значения модуля основности (соотношение содержание основных и кислотных - гидросиликатный)  $M_o = 0,068$ , силикатного (кремнеземистый) модуля  $M_c = 1,744$  и коэффициента качества  $K = 0,493^1$  показали, что зольные отходы ТЭЦ по этим показателям относятся к инертным материалам. Летучая зола – материал пылящий и характеризуется большим количеством (около 40 %) тонких классов, размер частиц которых меньше 10 мкм

Таблица 2  
Фракционный состав летучей золы ТЭЦ – 22 (по данным [2])

Размер частиц, мкм	>100	40-100	20-40	10– 20	6-10	4-6	1-2
Содержание в пробе, % масс.	10	26	9	15	13	12	15

(табл.2).

Ниже рассмотрим комплексной переработки золошлаковых отходов

О возможной утилизации зол уноса, улавливаемых в циклонах и электрофильтрах при сжигании углей, написано огромное количество материалов. Проблему заметили полвека назад. За это время города, особенно мегаполисы в Сибири, оказались буквально засыпанными отходами, главную часть которых составляют золы. Однако значимых результатов достигнуто не было. Одна из главных причин этого – неоднородность и нестабильность состава производимой золы, что не обеспечивает надежного полезного эффекта при ее утилизации в строительной отрасли – главном потенциальном потребителе. Переработка гигантских объемов производимой вокруг мегаполисов золы с помощью известной техники – классификаторов и мельниц, учитывая низкую потребительскую стоимость и сильное расхождение в сроках производства и потребления, гарантированно будет убыточным производством. Неполное потребление производимой золы доставляет энергетикам одни лишь проблемы, т. к. в этом случае необходимо содержать две системы золоудаления. Удаление золы и содержание отвалов составляли раньше примерно 30% себестоимости энергии и тепла ТЭЦ. Однако если учесть рыночную стоимость потерянной земли вблизи мегаполисов, снижение стоимости земли и недвижимости на значительном расстоянии от станций и золоотвалов, прямой ущерб здоровью людей и природе, в частности загрязнение пылью воздушного бассейна и растворимыми солями и щелочью водоемов и подземных вод, то эта доля реально должна быть значительно выше. Зола уноса в развитых странах является таким же товаром, причем дефицитным, как тепло и электроэнергия. Качественная зола уноса, удовлетворяющая стандартам и пригодная для использования в бетоне в качестве добавки, связывающей избыток извести и снижающей водопотребность, стоит, например, в США наравне с портландцементом ~60\$/т. Идея экспорта в США переработанной каменноугольной золы может оказаться разумной. Некачественная зола уноса, например с низкотемпературных «экологически чистых» котлов с кипящим слоем, в которых сжигается низкокачественный уголь с высоким содержанием серы (станция Жерань в Варшаве), предлагается по отрицательной стоимости порядка -5\$/т, но при условии, что потребитель забирает ее всю. Аналогичная ситуация в Австралии. Таким образом, переработка золы может быть рентабельной только в том случае, если благодаря технологии появится ряд более качественных продуктов, которые найдут потребителей в полном или почти полном объеме на ограниченной территории вблизи места производства. При стандартном использовании золы уноса в качестве добавки в бетон или строительную керамику проблема не может быть решена принципиально из-за ограниченной емкости местного рынка. К тому же добавка золы нестабильного состава в бетон возможна без потери качества лишь в очень ограниченном количестве, что делает бессмысленной всю эту затею. С химической точки зрения

не использовать золы уноса – абсурд. Можно выделить как минимум 3 типа перспективных для переработки зол:

- высокальциевые золы от сжигания бурых углей (БУЗ), например, с Канско-Ачинского угольного бассейна, с высоким содержанием оксида и сульфата кальция, т. е. по составу близких к портландцементу и с высоким химическим потенциалом – запасенной энергией;
- кислые золы от сжигания каменных углей (КУЗ), состоящих в основном из стекла, включая микросферы;
- золы с высоким содержанием редкоземельных элементов.

Необходимо отметить, что в природе не бывает двух одинаковых углей, поэтому не бывает одинаковых зол. Речь всегда должна идти о локальной технологии переработки золы уноса в конкретном регионе, т. к. основные потребители должны располагаться вблизи источника золы. Любая самая замечательная технология состоится лишь в том случае, если местный рынок будет в состоянии «проглотить» всю или почти всю массу переработанной золы. Для комплексной переработки золы уноса предлагается использовать возможности нового класса техники – так называемой электро-масс-классификаторов (ЭМК). Эта техника основана на обнаруженном относительно недавно новом явлении – образовании во вращающихся турбулентных газовых потоках плотных заряженных аэрозолей (газо-пылевой плазмы) и их разделении во внутренних электрических полях. Явление трибозарядки частиц при трении или ударах известна человечеству с незапамятных времен, однако до сих пор наука не может предсказать даже знак заряда. При переработке 100 тыс. т золы в год, по экспертной оценке может быть получено 18–19 тыс. т углеродного концентрата, 8–9 тыс. т магнитного (Fe) концентрата и 72–74 тыс. т высококачественного алюмосиликатного продукта. Очищенный от примесей углерода и железа алюмосиликатный продукт может быть использован в качестве высококачественного компонента бетонных смесей, при производстве глинозольного кирпича и других строительных материалов и изделий. Одним из новых перспективных направлений его использования является получение на его основе сверхлегкого пористого стеклокристаллического материала – пенозола. Кроме того, он может быть использован в качестве сырья для глубокой переработки на глинозем и белитовый шлам, при производстве керамических изделий и др. Таким образом использование отходов теплоэлектростанций (ТЭС) имеет большое экономическое и экологическое значение, поскольку их очень много, а создание и содержание отвалов требует значительных средств. За сутки работы ТЭС мощностью 1 млн. кВт сжигает 10000 т угля и выделяет 1000 т шлака и золы. Ежегодно для захоронения такого количества шлаков при высоте захоронения 8 м требуется более 1 га площадей. Золошлаковые отходы являются загрязнителями окружающей среды. В большинстве стран принята Государственная программа по переработке золошлаковых отходов ТЭС предусматривающая строительство предприятий по переработке их в стройматериалы с последующей рекультивацией земель. Топливные шлаки по составу и свойствам отличаются от металлургических. Основными компонентами золошлаковых отходов, образующихся при сжигании твердых топлив, являются оксиды кремния (19–65 %) и алюминия (3–39 %) и несгоревшие частицы топлива (7–23 %). Температура в топливных камерах современных ТЭС достигает 1600 °С, топливо подается в камеру в пылевидном состоянии. Образующиеся из минеральной части топлива частицы пыли имеют различный фракционный состав. При размере до 100 мкм пылевидные частицы уносятся дымовыми газами (зола-унос). Более крупные частицы оседают на под камеры и оплавляются, образуя стекловидную массу, которую затем подвергают грануляции. Количественное соотношение между золой-уносом и шлаком зависит

от сорта топлива и конструкции топки. Для одного и того же топлива из минеральной части в шлак переходит: в топках с твердым шлакоудалением 10—20 %, в топках с жидким шлакоудалением — 20—40 %, в циклонных топках — до 85—90 %. Зола-унос может использоваться в производстве строительных материалов без дополнительной обработки (помола, просеивания и т. п.). Нелетучая зола может использоваться в гранулированном виде в дорожном строительстве для изготовления основания участков парковки автомобилей, велосипедных дорожек, дорог, набережных. Ее можно использовать в качестве покрытия на полигонах для размещения твердых бытовых отходов. Летучую и нелетучую золу можно использовать в качестве инертного наполнителя в асфальтах.

Таким образом анализ и изучение состояния переработки и утилизации золошлаковых отходов тепловых электростанций является актуальными вопросами современности с точки зрения экономии сырьевых ресурсов и охраны окружающей природной среды.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Корнеев А.В. Инновационная технология организации безотходного производства утилизации золошлаковых отходов. Проблемы экологии, безопасности жизнедеятельности рационального природопользования Дальнего Востока и стран АТР (Материалы II Международной конференции 25-27 октября 2006 г.). Владивосток, стр.287-291
2. Обухов И.В. Экологическая опасность золоотвалов и возможности утилизации золошлаковых отходов ТЭС Дальнего Востока // Экологический вестник Приморья. 2000. № 7
3. Белозерова Т.И. Совместная утилизация золошлаковых отходов угольной ТЭЦ и илов канализационных очистных сооружений. / Белозерова Т.И., Буркова О.А., Шадрина Н.С. // Окружающая природная среда экологическое образование и воспитание: Сборник материалов IV Всероссийской научно-практической конференции. – Пенза, 2004, с. 53-55.
4. Технология получения минеральных волокон путем утилизации золошлаковых отходов и отходов горючих сланцев/ Г.Г. Волокитин, Н.К. Скрипникова, О.Г. Волокитин, С. Волланд// Стекло и керамика. – 2011. – №8. – С. 3–5.
5. Применение зол и золошлаковых отходов в строительстве/ Н.И. Ватин, Д.В. Петросов, А.И. Калачев, П. Лахтинен// Инженерно-строительный журнал. – 2011.– №4 (22). – С. 16–21.
6. [www.findpatent.ru](http://www.findpatent.ru)
7. [www.ufpk.com.ua](http://www.ufpk.com.ua)
8. [www.science-education.ru](http://www.science-education.ru)
9. [www.yung.org](http://www.yung.org)