

УДК 502.12

**М.Н. ШАФОРОСТОВА**<sup>1</sup> (канд. наук гос. упр., доц.), **А.Л. ХОХЛОВА**<sup>2</sup> (зам. начальника ППН)  
<sup>1</sup>Донецкий национальный технический университет  
<sup>2</sup>ООО «Пожарное наблюдение – Донецк»

### ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ УТИЛИЗАЦИИ ОТХОДОВ ПРЕДПРИЯТИЙ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКИ

*Проведена оценка уровня использования отходов теплоэнергетики, определены перспективные направления утилизации золошлаковых отходов, рассмотрены существующие технологии использования твёрдых отходов тепловых электрических станций.*

*зола, золошлак, отходы, утилизация*

*Постановка проблемы.* Доля тепловых электростанций в энергетическом комплексе страны составляет 67,5%. Характерные особенности влияния предприятий электроэнергетики на экологию — многофакторность (одновременное воздействие на атмосферу, гидросферу, биосферу), разнообразие характера (отчуждение территорий, искажение ландшафтов, механические нарушения, химическое загрязнение, тепловые, акустические и прочие физические влияния).

Предприятия электроэнергетики образуют большое количество отходов всех видов, в том числе производственных различного класса опасности, нетоксичных и бытовых. Значительную часть составляют золошлаковые отходы.

Золошлаки, образующиеся от сжигания угля на ТЭС, являются крупнотоннажными отходами. Для их транспортирования применяются системы гидрозолоудаления. В основном золошлаки транспортируются в виде пульпы низкой концентрации для размещения в гидрозолоотвалах, которые являются одним из главных источников загрязнения окружающей среды при производстве энергии.

Значительное количество шлаков и золы образуется при сжигании твердых топлив. В табл.1 указано количество золы, образуемой при сжигании различных видов топлива.

Таблица 1 – Выход золы при сжигании топлива

Наименование топлива	Образование золы, %
Бурый уголь	10-15
Каменный уголь	2-40
Антрацит	2-30
Торф	2-30
Дрова	0,5-1,5
Мазут	0,15-0,2
Сланцы	50-80

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.

*Целью статьи* является анализ способов и технологий утилизации отходов энергетической промышленности и оценка их перспективности.

*Материалы и обсуждение.* К настоящему времени в отвалах ТЭС Украины накоплено 358,8 млн. т золошлаков на площади 3170 га. Среднегодовой выход шлаков достиг 14 млн. т и в связи с ухудшением качества топлива имеет тенденцию к росту [1]. Это создает технологические и экологические проблемы, так как увеличиваются производственные затраты и стоимость природоохранных мероприятий.

Западные страны, промышленный симбиоз развит в большей степени, используют около 70% образующихся золошлаковых отходов. В Польше резко завышена цена на землю под золоотвалы, и поэтому ТЭС доплачивают потребителям золы для снижения затрат на хранение. В Великобритании и Германии действуют специализированные фирмы по сбыту золы и шлаков.

Золошлаки в основном экологически не опасны, обладают консервирующими свойствами, что позволяет использовать их для захоронения и утилизации других отходов, в том числе опасных.

Золошлаковые отходы можно использовать как добавки и наполнители при производстве широкого спектра строительных материалов: цемента, бетонов, растворов, кирпича, керамики и т.д. Они хорошо себя зарекомендовали при укладке в земляное полотно автомобильных дорог и в других производствах. На основе золошлаков можно производить бесклинкерные и малоклинкерные вяжущие, шлаковый песок, щебень, сухие строительные смеси и т. д. с использованием технологий перемешивания, дробления, помола и расфасовки.

Несмотря на очевидные выгоды и перспективы широкого применения золошлаковых отходов, объем их использования в нашей стране не превышает 10%.

По статистическим данным Главного управления статистики в Донецкой области, на начало 2009 года в регионе накопилось 794 млн. тонн отходов, из которых свыше 70% приходится на отходы угледобычи и углеобогащения, девятая часть – на известковые и известково-магниевого отходы, десятая часть – на золу и золошлаковые отходы [2]. Это служит постоянным источником загрязнения земли, воды и воздушного пространства. Годовые затраты на хранение и уничтожение отходов производства составили 157 млн. грн.

Если уровень использования шлаков доменного и сталеплавильного производства составил 59%, а железосодержащих отходов металлургического производства – 100%, то отходов угледобычи и углеобогащения было утилизировано, лишь 5% образовавшихся за год и столько же золы и золошлаковых отходов электростанций.

Динамика использования золы и шлаков в Донецкой области в 2004-2008 годах представлена на рис. 1.

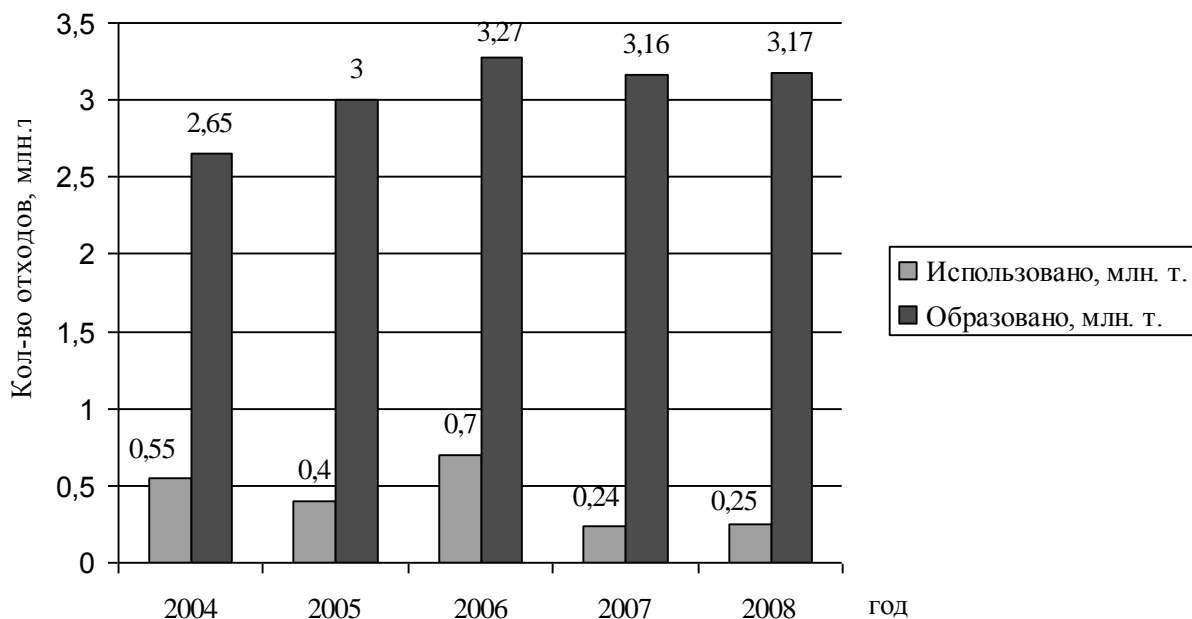


Рисунок 1 – Объём использования и образования золы и золошлаков, млн. тонн

Химический состав и свойства золошлаковых отходов определяют основные направления их использования.

Состав шлаков и золы определяется составом минеральной части исходного топлива и способом его сжигания. При этом ЗШО являются своего рода концентраторами элементов, содержащихся в топливе. В табл. 2 представлен состав золошлака от сжигания угля тепловой электрической станцией [3].

Таблица 2 – Состав золошлака от сжигания каменного угля

Наименование компонента	Содержание, %
Оксид кремния ( $\text{SiO}_2$ )	37-63
Оксид алюминия ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )	9-37
Оксид железа ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )	4-17
Оксид кальция ( $\text{CaO}$ )	1-32
Оксид магния ( $\text{MgO}$ )	1-32
Кремниевая кислота ( $\text{SiO}_3$ )	0,05-2,5
Оксиды натрия и калия ( $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ )	0,5-5

Основная масса используемой части шлаков и зол служит сырьем для производства строительных материалов. Так, золу тепловых электрических станций используют для производства искусственных пористых заполнителей — зольного и аглопоритового гравия. При этом для получения аглопоритового гравия используют золу, содержащую не больше 5-10% горючих, а для производства зольного гравия содержание в золе горючих не должно превышать 3%. Обжиг сырьевых гранул при производстве аглопоритового гравия осуществляют на решетках агломерационных машин, а при получении зольного гравия — во вращающихся печах. Возможно использование зол тепловых электрических станций и для производства керамзитового гравия.

Золы и шлаки от сжигания бурых и каменных углей, торфа и сланцев, содержащие не более 5% частиц несгоревшего топлива, могут широко использоваться для производства силикатного кирпича в качестве вяжущего при содержании в них не менее 20%  $\text{CaO}$  или в качестве кремнеземистого заполнителя, если в них содержится не более 5%  $\text{CaO}$ . Золо с высоким содержанием частиц угля с успехом используются для производства глиняного (красного) кирпича. Зола в этом случае играет роль как отощающей, так и топливной добавки. Содержание вводимой золы зависит от вида используемой глины и составляет 15-50%, а в отдельных случаях может достигать 80% [4].

Кислые золошлаковые отходы, а также основные с содержанием свободной извести менее 10% используют как активную минеральную добавку при производстве цемента. Содержание горючих веществ в таких добавках не должно превышать 5%. Эти же отходы можно использовать в качестве гидравлической добавки (10-15%) к цементу. Зола с содержанием свободной  $\text{CaO}$  не более 2-3% используют для замены части цемента в процессе приготовления различных бетонов. При производстве ячеистых бетонов автоклавного твердения в качестве вяжущего компонента используют сланцевую золу, содержащую более 14% свободной  $\text{CaO}$ , а в качестве кремнеземистого компонента — золу сжигания углей с содержанием горючих менее 3-5%. Использование золошлаковых отходов по указанным направлениям является не только экономически выгодным (вследствие сокращения потребления гипсового камня, песка, цемента, извести, топлива), но и позволяет повысить качество соответствующих изделий.

Золошлаковые отходы используют в дорожном строительстве. Они служат хорошим сырьем для производства минераловатных изделий. Высокое содержание  $\text{CaO}$  в золе сланцев и торфа позволяет использовать ее для снижения кислотности — известкования почв [5]. Растительная зола широко используется в сельском хозяйстве в качестве удобрения ввиду значительного содержания калия и фосфора, а также других необходимых растениям макро- и микроэлементов [6].

В ходе производства минеральных удобрений в форме муки из остеклованного кускового шлака размером 150-200 мм первичное дробление производится в шаровой мельнице с периферийной разгрузкой. Фракция размером 25 мм сепарируется и тарельчатым питателем подается в мельницу тонкого помола, работающую в замкнутом цикле с воздушным сепаратором. Мелкие частицы (до 2 мм) попадают в циклон, из которого ковшовым элеватором подаются в силосный склад, а оттуда — в бункер упаковочных машин. Вся линия подключена к обеспыливающим фильтрам и работает под небольшим вакуумом.

Представляет интерес использование в качестве удобрений гранулированных шлаков, так как такое удобрение будет разлагаться в почве в течение 10-15 лет, передавая все это время растениям необходимые питательные вещества. Такие гранулы не пылят, не слеживаются и не смерзаются, а

потому их можно вносить в почву и летом, и зимой. Стоимость гранулированного шлака ниже стоимости муки.

Отдельные виды золошлаковых отходов обладают свойствами, делающими перспективным их применение в качестве агентов очистки отходящих газов ТЭС и производственных сточных вод.

Зола углей и нефтей содержит практически все металлы. Среднее содержание в золе углей некоторых ценных металлов иллюстрируется следующими данными табл. 3.

Таблица 3 – Содержание металлов в золе углей и нефти

Металл	Zn	Ga	Co	Ni	Ge	V	Sn
Содержание, г/т	200	100	300	700	500	400	200

В ряде случаев концентрации металлов в золе таковы, что становится экономически выгодным их извлечение. Концентрация Sr, Zn, V, Ge достигает 10 кг на 1 т золы. Содержание урана в золе бурых углей некоторых месторождений может достигать 1 кг/т. Зола торфа содержит значительные количества V, Co, Cu, Ni, Zn, U, Pb. В золе нефтей (мазутов) содержание  $V_2O_5$  в некоторых случаях достигает 65 %, кроме того в ней в значительных количествах присутствуют Mo и Ni. В связи с этим извлечение металлов является еще одним направлением переработки таких отходов. Из золы некоторых углей извлекают в настоящее время редкие и рассеянные элементы (например, Ge и Ga), из золы мазутов – ванадий, никель и другие металлы.

Вместе с тем, несмотря на наличие разработанных процессов утилизации топливных золошлаковых отходов, уровень их использования все еще остается низким по сравнению с имеющимися ресурсами. С другой стороны, современное технологическое использование энергии топлива (по сравнению, например, с его использованием на мощных ТЭС) является малоэффективным. При решении вопросов защиты окружающей среды, в частности от вредного влияния твердых и газообразных отходов ТЭС, перспективным может оказаться путь комплексного энерготехнологического использования топлив. Объединение крупных промышленных установок для получения металлов и других технологических продуктов (в частности химических), а также технологических газов с мощными топками ТЭС может позволить полностью утилизировать как органическую, так и минеральную части топлива, увеличить степень использования тепла, резко сократить расход топлива.

Значительные перспективы в решении задач борьбы с отходами в энергетике и некоторых смежных отраслях обещает детальная отработка трех наиболее важных способов получения жидких топлив из ископаемых углей:

- газификация (производство синтез-газа с последующим получением на его основе жидкого топлива);
- гидрогенизация (насыщение угля водородом при температурах порядка 500 °С и давлениях в несколько сот атмосфер);
- пиролиз (высокотемпературное разложение угля в инертной среде).

Так, например, на энергогазохимическом комбинате топливо перед сжиганием можно будет подвергать направленному пиролизу с получением ценных химических продуктов. Из сернистых мазутов, в частности, можно будет получать в виде сжиженного газа пропанбутановую смесь, бензол, серную кислоту, ванадий и газ с высоким содержанием этилена и пропилена.

Определенные успехи на пути комплексного использования топлив уже достигнуты. Так, например, в топках котлов крупнейшей в Эстонии электростанции сжигают жидкое топливо, поступающее с введенной в эксплуатацию энерготехнологической установки переработки сланцев, на которой из последних извлекают ценные компоненты, используемые в качестве сырья для производства синтетических материалов, а жидкий остаток направляют в качестве топлива на электростанцию.

Температура в топливных камерах современных тепловых электростанций 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 пол 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.

Большие возможности утилизации золы связаны с ее сорбционными свойствами. По составу зола близка к неорганическим катионообменникам – цеолитам, имеющим формулу  $n\text{Na}_2\text{O} \cdot m\text{SiO}_2 \cdot k\text{Al}_2\text{O}_3$ . Несгоревшие частицы угля, присутствующие в золе, также являются активным адсорбентом по отношению к органическим малодиссоциирующим веществам. Благодаря этим свойствам, золу можно применять для очистки слабозагрязненных сточных вод. Емкость золы, как адсорбента, составляет, мг/ч: 3-10 по меди, 2-5 по цинку, 4-6,5 по свинцу. Степень очистки сточных вод определяется количеством использованной для этих целей золы и кислотностью раствора [4].

Из приведенных данных видно, что при содержании золы 3,0 г/л раствора (или сточной воды) очищенная вода практически не содержит ионы меди, свинца, цинка и мышьяка.

Для определения возможности и направлений использования золы необходимо знать ее физические и химические свойства. Химический состав золы влияет на её способность к выщелачиванию, а также определяет ее поведение при старении. Физические свойства золы (такие, как дисперсность, гидравлическая проводимость, плотность, уплотняемость, прочность, несущая способность и др.) влияют на прочностные характеристики и эксплуатационные свойства получаемых строительных материалов на ее основе.

Наиболее важными являются испытания, при которых определяется способность к выщелачиванию различных составляющих золы. Они позволяют определить поведение золы и ее производных при эксплуатации.

Главной областью применения топливных шлаков, так же как и металлургических, является производство строительных материалов. Их используют самостоятельно как теплоизолирующую засыпку и как компонент для производства цемента, газобетона, керамзитобетона, зольного гравия, глиняного и силикатного кирпича. При использовании шлакозольных вяжущих получают бетоны с прочностью на сжатие до 40 МПа.

Жидкие топливные шлаки можно использовать в производстве отделочной керамической плитки: при содержании в смеси до 30 % шлаков плитка имеет отличные физико-механические свойства и хороший внешний вид.

Зола-унос сухого улавливания может использоваться при строительстве автомобильных дорог для укрепления грунтов, в качестве самостоятельного медленно твердеющего связующего, а также в сочетании с цементом и известью. Возможно также использование такой золы и при выполнении гидротехнических работ: для производства сборного железобетона, изготовления бетонных растворов при строительстве плотин, дамб и других гидротехнических сооружений.

*Выводы.* Химический и минералогический состав золошлаков таков, что их правильнее считать обогащенным сырьем для различных отраслей промышленности. Это позволяет реализовать самые различные методы их применения в качестве вторичного сырья.

Однако, 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. Все эти мероприятия требуют привлечения значительных инвестиций, что является довольно рискованным в период мирового экономического кризиса.

Но стоит заметить, что продукция на основе золошлаков может сама стать источником инвестиций на техническое перевооружение ТЭС и покрытия экологических платежей на содержание золоотвалов.

#### Библиографический список:

1. [www.ukrstat.gov.ua](http://www.ukrstat.gov.ua) - Электронный ресурс Госкомстата Украины.
2. [www.health.gov.ua](http://www.health.gov.ua) - Электронный ресурс Государственного управления охраны окружающей природной среды в Донецкой области.

3. Дворкин Л.И. Строительные материалы из отходов промышленности: учебно-справочное пособие / Л.И. Дворкин, О.Л. Дворкин. – Ростов на Дону: Феникс, 2007. – 368 с.
4. Тимонин А.С. Инженерно-экологический справочник / А.С. Тимонин. – Калуга: Изд-во Н. Бочкаревой. – 2003. – 1024 с.
5. Носков А.С. Воздействие ТЭС на окружающую среду и способы снижения наносимого ущерба / А.С. Носков, М.А. Савинкина, Л.Я. Анищенко. – Новосибирск: Изд-во ГПИТБ СО АН СССР. – 1990. – 177 с.
6. Галич С.А. Перспективы использования золошлаков ТЭС в качестве микроудобрения для почв / С.А. Галич // Тезисы докладов 4-й Международной конференции «Сотрудничество для решения проблемы отходов». – Харьков. – 2007. – 336 с.

*Надійшла до редакції 09.09.2010*

*М.М. Шафоростова, Г.Л. Хохлова*

**ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ УТИЛІЗАЦІЇ ВІДХОДІВ ПІДПРИЄМСТВ ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКИ**

*Проведена оцінка рівня використання відходів теплоенергетики, визначені перспективні напрями утилізації попеложузьільових відходів, розглянуті існуючі технології використання твердих відходів теплових електричних станцій.*  
**зола, золошлак, відходи, утилізація**

*M. Shafarostova, A. Khokhlova*

**ADVANCED TECHNOLOGY FOR UTILIZATION OF THERMAL POWER PLANT WASTES**

*We estimated the use of heat power wastes, identified promising directions of ash-and-slag waste recycling, and considered the existing technology of thermal power plants solid waste utilization.*  
**ashes, ash-and-slag, waste, utilization**

© Шафоростова М.Н., Хохлова А.Л., 2010