

УДК 628.544, 67.08

**ВЫДЕЛЕНИЕ МАГНИТНОЙ ФРАКЦИИ ЗОЛЫ УНОСА  
КЕМЕРОВСКОЙ ГРЭС**

**Е.Ю. Темникова, к.т.н., доцент**

**А.А. Лапин, старший преподаватель**

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева  
г. Кемерово

**А.Р. Богомолов, д.т.н., зав. кафедрой ТЭ**

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева  
г. Кемерово

ведущий научный сотрудник института теплофизики им. С. С. Кутателадзе  
СО РАН г. Новосибирск

**Н.В. Тиунова, старший преподаватель**

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева  
г. Кемерово

В начале второго десятилетия нашего века обострилась проблема с хранением и использованием золошлаковых отходов (ЗШО), выделяемых при сгорании твердого угольного топлива на ТЭС.

Распоряжением Правительства РФ от 3 апреля 2013 г. № 512-р утверждена Государственная программа Российской Федерации «Энергоэффективность и развитие энергетики» [1], которая намечена на реализацию до 2020 г. Цель программы – надежное обеспечение страны топливно-энергетическими ресурсами, повышение эффективности их использования и снижение антропогенного воздействия ТЭК на окружающую среду, которая соответствует цели Энергетической стратегии России на период до 2030 г. (ЭС-2030) [2]. Результатом реализации программы ставится снижение рисков вывода угольных электростанций из энергобаланса вследствие переполнения золошлакоотвалов на основе обеспечения в 2020 году использования ЗШО в текущего (годового) выхода на уровне 70% (объем финансирования 0,5 млрд. рублей).

В России действует 172 ТЭС на угольном топливе, имеющие золошлакоотвалы. В золоотвалах ТЭС России в настоящее время накоплено ЗШО примерно 1,5 млрд. т. Годовой выход ЗШО составляет 22-23 млн. т. Утилизируется и используется около 8-10% (1,7-2,3 млн. т.) ежегодного выхода ЗШО. При такой тенденции к 2020 году объем накопленных ЗШО превысит 1,7 млрд. т. Площадь золошлакоотвалов составляет более 28 тыс. га. Золошлаковые отвалы 107 электростанций (около 60% от их общего количества) близки к переполнению или уже переполнены.

Известна проблема исчерпания в ближайшее время открытых золоотвалов теплоэлектростанций Кемеровской области. Так, по данным [3, 4] на Кузнецкой ТЭЦ накопители золошлаковых материалов полностью заполнятся в 2017 году, на Кемеровской ГРЭС – в 2018 г., Ново-Кемеровской ТЭЦ – 2020 г.,

Кемеровской ТЭЦ – 2021 г., Беловской ГРЭС – 2022 г., Томь-Усинской ГРЭС – 2028 г.

Затраты на содержание вновь образуемых ЗШО (включающие расходы на транспортировку ЗШО от станции до золошлакоотвала, эксплуатацию золошлакоотвала, экологические платежи, аренду земли) составляют более 500 руб./т (годовые затраты в целом по отрасли – более 14 млрд. рублей).

В себестоимости угольных электростанций затраты на ЗШО составляют 5-7%. Инвестиции в реконструкцию одного золошлакоотвала (строительство ограждающей дамбы) могут быть порядка 1 млрд. руб. Стоимость строительства нового золошлакоотвала оценивается в 2-4 млрд. руб.

В результате накопления ЗШО происходит пыление и фильтрация золоотвалов, что является источником опасности для населения, растительного и животного мира близлежащих к золоотвалам районов; для водных бассейнов (рек и озер) из-за возможного прорыва дамб.

Одной из причин отсутствия рынка золошлаков ТЭС – это затрудненность их конкуренции с первичными минеральными ресурсами из-за невысоких цен на природные материалы, которые достигаются, главным образом за счет невыполнения обязательств недропользователями [5-7].

В [1] указано, что необходимо создать условия для производителей, переработчиков и потребителей ЗШМ, способствующих их вовлечению в хозяйственный оборот. Здесь перечислены направления полезного использования ЗШМ, например, сепарация золошлаковой смеси на отдельные компоненты с выделением коммерчески значимых концентраций: микросферы; магнетитовый концентрат; высокотехнологичная переработка микросферы; микросфера различных фракций.

Но Правительство РФ допустило определенную погрешность в [1] и на следующий год вышло в свет не распоряжение, а постановление Правительства [8], отменяющее [1], в котором о проблемах с хранением и использованием ЗШО или ЗШМ нет даже упоминания.

В связи с этим, переработка золошлаковых отходов (ЗШО) или как в настоящее время их называют золошлаковые материалы (ЗШМ) в востребованные ценные продукты, в том числе инновационными способами, является срочными и необходимыми мерами, актуальность которых исходит из отмененных Государственных программах РФ [1], статистических данных о перспективах заполнения существующих полигонов для золоотвалов.

Использование ЗШО путем их переработки является экономически более эффективно, чем складирование на золоотвалах, а с учетом перспективного увеличения экологических платежей и штрафов за вывоз ЗШО на золоотвалы и дефицита свободных земель в черте города вблизи существующих ТЭС для золоотвалов, будет становиться все более рентабельно.

Предметом работы являлось исследование процесса выделения из золы уноса Кемеровской ГРЭС магнитного или магнетитового концентрата, в состав которого включено железо.

Железо может находиться в составе магнитного концентрата как самостоятельный элемент Fe, как оксид железа (II, III) ( $Fe_2O_3$  и/или  $Fe_3O_4$ ), как карбонат железа (II)  $FeCO_3$ , как сульфат железа  $FeSO_4$ .

Для определения содержания железосодержащего элемента использовался метод сканирующей электронной микроскопии с применением сканирующего электронного микроскопа JEOL JSM-6390 LA с энергодисперсионным детектором рентгеновского излучения JED 2300 Центра коллективного пользования ФИЦ УУХ СО РАН. Результаты анализа золы уноса Кемеровской ГРЭС по элементам и в пересчете на оксиды элементов приведены в табл. 1. Видно, что концентрация железа в золе уноса низкая – 3,5 %. Однако, с учетом прогнозируемого увеличения величины экологического налога за использование земель под открытые отвалы (полигоны складирования) штрафных санкций, а также сокращение доступных для использования с целью хранения золы и шлака земель вблизи с источниками, то и такая концентрация железа в его выше перечисленных видах становится конкурентным и необходимым направлением в комплексе мероприятий по переработке золы [9].

В настоящей работе при выделении коммерчески значимых концентраций магнетитового концентрата применялось серийное оборудование – барабанный электромагнитный сепаратор ЭБМ-

32/20. Принцип работы, которого основан на намагничивании содержащегося в золе уноса железа за счет создания магнитного поля электромагнитным барабаном. Разгрузка магнитной фракции осуществляется при помощи индукционной щетки, за счет притягивания железосодержащих частиц к ее штырям.

Для определения режимных параметров работы электромагнитного сепаратора в работе исследованы способы отделения магнитной фракции из золы при различных значениях силы тока обмоток возбуждения электромагнитного барабана. Значение силы тока составляло от 3 до 15 А с шагом в 2 А. Зола уноса массой 0,3 кг подавалась на сепарацию в виде водной суспензии. Процесс отделения магнитных частиц из золы проводился до момента полного их извлечения из суспензии.

Таблица 1  
Элементный и оксидный состав  
золы уноса Кемеровской ГРЭС

Элемент	Концентрация, %	Соединение	Концентрация, масс. %
C	36,82	C	36,82
O	30,04	-	-
Na	0,56	$Na_2O$	0,76
Mg	0,77	$MgO$	1,27
Al	7,78	$Al_2O_3$	14,69
Si	16,79	$SiO_2$	35,92
P	0,17	$P_2O_5$	0,39
S	0,24	$SO_3$	0,61
K	1,18	$K_2O$	1,42
Ca	1,72	$CaO$	2,41
Ti	0,43	$TiO_2$	0,71
Fe	3,50	$Fe_2O_3$	5,00

Результаты химического состава по железосодержащему продукту полученной магнитной фракции представлены на рис. 1. Выход магнетитового концентрата в пересчете на оксиды составил от 5,0 % в массе золы уноса (табл. 1) до содержания оксида железа в полученном магнитном продукте 26,8 %. Для увеличения концентрации нужно применить специальное оборудование.

Из рис. 1 видно, что при значении силы тока 3 А выход магнитного концентрата составлял 1 % от массы золы при концентрации оксида железа в ней около 27%. При дальнейшем росте величины силы тока катушки возбуждения электромагнитного поля барабана до 15 А, а значит и с повышением потребления электроэнергии, доля магнитной фракции увеличилась до 5,5 % с одновременным снижением содержания в ней железа до 13 % (рис. 1). Дальнейшие исследования влияния режимных параметров магнитного сепаратора позволят определить критерий оптимальности выхода оксидов железа способом магнитной сепарации.

На данном этапе экспериментальных исследований, оптимальным количественным выходом продукционного магнитного продукта является значение около 4% с концентрацией железа около 20% при средней величине силы тока около 9 А. При росте значения выхода магнитного концентрата до 5-5,5 % происходит необоснованное увеличение затрат на электроэнергию с одновременным снижением качества продукта, характеризующееся концентрацией железосодержащего элемента.

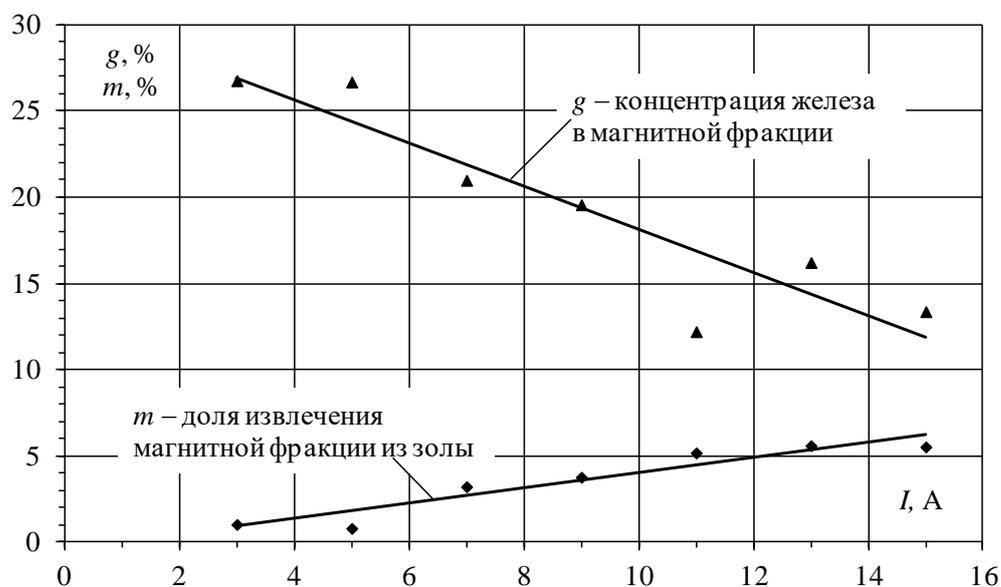


Рис. 1. Зависимости концентрации  $g$  железа и относительной массы  $m$  магнитной фракции золы уноса от силы тока катушки возбуждения электромагнитного барабана

Гранулометрический состав магнитного продукта по классу крупности, полученный на основе ситового анализа, показывает, что максимальное содержание частиц магнитной составляющей (железосодержащей) соответствует размеру 80 мкм (рис. 2).

Режимные параметры работы электромагнитного сепаратора позволили определить рациональные условия для извлечения магнитного продукта с высокой концентрацией железа.

Полученный магнитный концентрат из золы уноса Кемеровской ГРЭС может применяться в производстве ферросилиция, чугуна, стали в металлургии.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Департамента образования и науки Кемеровской области в рамках научного проекта (договора) № 16-48-420871, «р\_а» и соглашения № 2 от 10 октября 2017 г.

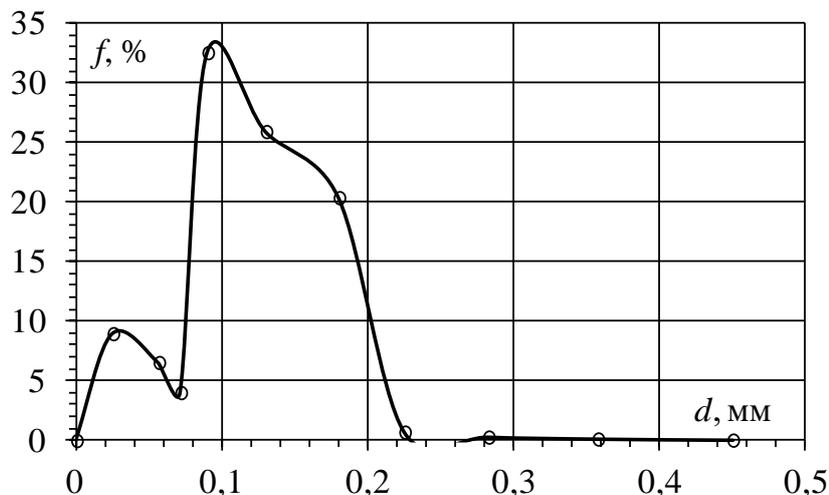


Рис. 2. Распределение  $f$  размеров частиц  $d$  в извлеченном магнитном продукте

### Список литературы:

1. Российская Федерация. Государственная программа Российской Федерации «Энергоэффективность и развитие энергетики». Утверждена распоряжением Правительства РФ от 3 апреля 2013 г. № 512-р.
2. Российская Федерация. Энергетическая стратегия России на период до 2030 года (ЭС-2030). Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 13 ноября 2009 г. № 1715-р.
3. Кожемяко, С. И. Опыт решения проблемы золошлаков ТЭС в условиях Сибири / С.И. Кожемяко, Д.В. Бондарь, В.Р. Шевцов // Материалы II Международного научно-практического семинара «Золошлаки ТЭС: удаление, транспорт, переработка, складирование» (Москва, 23-24 апреля 2009 г.) – М.: Издательский дом МЭИ, 2009. – С. 48-52.
4. Лебедев, В. В. Комплексное использование углей / В.В. Лебедев, В.А. Рубан, М.Я. Шпирт. – М.: Недра, 1980. – 239 с.
5. Российская Федерация. Земельный кодекс Российской Федерации. 25 октября 2001 года № 136-ФЗ.
6. Российская Федерация. Закон Российской Федерации от 21 февраля 1992 г. № ФЗ-2395-1 «О недрах».
7. Российская Федерация. «О рекультивации земель». Постановление Правительства РФ от 23 февраля 1994 г. № 140.
8. Российская Федерация. Государственная программа Российской Федерации «Энергоэффективность и развитие энергетики». Утверждена постановлением Правительства РФ от 15 апреля 2014 г. № 321.