

ТЕПЛОФИЗИКА И ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ТЕПЛОТЕХНИКА**УДК 628.544, 620.9****ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗОЛЫ УНОСА
ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ КУЗБАССА****PROSPECTS OF USING FLY ASH PRODUCED AT THERMAL POWER PLANTS
OF KUZBAS**

Темникова Елена Юрьевна¹,
 кандидат техн. наук, доцент, e-mail: teu.pmahp@kuzstu.ru

Temnikova Elena Yu.¹, C. Sc., Associate Professor

Богомолов Александр Романович²,

доктор техн. наук, вед. науч. сотрудник, e-mail: barom@kuzstu.ru

Bogomolov Alexander R.², Dr. Sc., Senior researcher

Тиунова Наталья Владимировна¹,
 старший преподаватель, e-mail: tascha.05@mail.ru

Tiunova Natalya V.¹, Senior lecturer

Лапин Алексей Александрович³,

ведущий консультант – гл. гос. инспектор, e-mail: aa-lap@mail.ru

Lapin Alexey A.³, Leading consultant – main state inspector

¹Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28

T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 28 street Vesennaya, Kemerovo, 650000, Russia

²ФГБУН «Институт Теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН (ИТ СО РАН)», Россия, 630090, г. Новосибирск-90, пр. Ак. Лаврентьева, 1

Federal State Institution of Science Institute of Thermophysics. S.S. Kutateladze Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (RAS IT SB), 1 ave. Ak. Lavrent'eva, Novosibirsk, 630090, Russia

³Государственная жилищная инспекция Кемеровской области, 650064, Россия, г. Кемерово, пр. Советский, 60

The State Housing Inspection of the Kemerovo region, 60 street Sovetsky, Kemerovo, 650064, Russia

Аннотация. В работе представлены результаты исследований физико-химических свойств фракционированных золовых отходов предприятий угольной генерации Кузбасса, таких как Кемеровская ГРЭС, Беловская ГРЭС, Томь-Усинская ГРЭС, Ново-Кемеровская ТЭЦ. Дано сравнение фракционного распределения золы уноса, интегральных кривых распределения. Приведены результаты разделения золовых отходов на микросферы, магнитную и немагнитную фракции. Выполнен анализ элементного состава зол, а также их магнитной и немагнитной фракций. Обозначены перспективы использования разделенных фракций золы уноса.

Abstract. The study presents the results of researches of physical and chemical properties of fractionated fly ash of the enterprises of coal generation of Kuzbas, such as the Kemerovo state district power plant, the Belovskaya state district power plant, Tom-Uusinskaya state district power plant, and the Novo-Kemerovo thermal power plant. It gives the comparison of fractional distribution of fly ash, and the integrated curves of distribution. The article shows the results of fly ash separation into microspheres, magnetic and non-magnetic fractions. The analysis of element composition of fly ashes, and also their magnetic and non-magnetic fractions is made. The article shows the prospects of use of the fly ash separated fractions.

Ключевые слова: зола уноса, дисперсный состав, элементный состав

Keywords: fly ash, disperse composition, element composition

В России работают 350 угольных ГРЭС и ТЭЦ,рабатывающих около 20% тепловой и электрической энергии от общей выработки по стране. Из них 172 электростанции производят

более 100 тыс. т золы в год. Ежегодная выработка золошлаковых отходов (ЗШО) в России составляет около 22 млн. т. Ежегодной реализации подвергается около 18% от выработки. Остальные хра-

нятся на золоотвалах, ресурсы большинства которых практически исчерпаны. Из этих 18% реализации около 14,5% составляет гидратированная золошлаковая смесь из золоотвалов, идущая в основном, на рекультивацию земель и ландшафтные работы. Лишь 3,5% золы отбирается и утилизируется в сухом виде. Между тем, продажи золы в сухом виде из Эстонии на рынке России успешно реализуемые отечественной компанией в течение более 6 лет, подтверждают, что спрос на сухую золу есть [1].

На отдельных электростанциях в России идет реализация проектов сухого золошлакоудаления (СЗШУ). Назвать ее «сухой» можно с большой натяжкой, так как конечной целью эти проекты претендуют на продление срока использования существующих площадей золоотвалов с переходом на увлажненное складирование уловленной в сухом виде золы [1-3].

Угольная генерация в Кузбассе занимает ведущее место по сравнению с другими видами используемого топлива и высокотемпературные процессы переработки углей в пылеугольных котлах вносят значительную долю загрязнений в окружающую среду в виде золошлаковых отходов. Группой компаний Кузбасского филиала Сибирской генерирующей компании (СГК) в Кузбассе ежегодно производят вывоз около 1,4 млн. тонн золошлаковых отходов в регламентированные золоотвалы. Необходимо отметить не только количество образующихся отходов, но и содержание золы уноса, которая составляет 80% [4] по массе от общего вывоза, включая крупнозернистую фракцию шлака. Пыление от заполненных, высушенных временем отвалов вызывает значительное беспокойство, так как частицы пыли, в основном размером менее 200 мкм, уносятся ветром (витают) скоростью всего лишь более 0,8 м/с. Безветренной погоды в летнее время, или при скорости ветра менее 0,8 м/с в Кузбассе практически не бывает.

Европейский опыт решения проблемы утилизации показывает, что большинство станций применяют технологии в большей части сухого золошлакоудаления, имеют отдельные склады для хранения золы и шлака, лаборатории, осуществляющие ежечасный мониторинг производимой золы, а не только угля, и системы производства золошлаковых продуктов, при этом золоотвалы в принципе отсутствуют [1]. В 2010 г. во всех странах ЕС годовое количество ЗШО оценивается в 100 млн. т. Они в основном используются в производстве строительных материалов, гражданском строительстве, при строительстве дорог, угольных шахт, рекультивации карьеров. В том числе производство шлака составило около 1 млн. т, который применяется в струйной очистке, дорожном строительстве [5].

Отсутствие фракционирования золы стало препятствием на пути повышения ее потребитель-

ских свойств и, следовательно, цены, которую за нее готов заплатить потребитель.

Решение назревшей проблемы требует научного подхода в разработке новых, прорывных технологий утилизации золошлаковых отходов непосредственно в местах их образования, при одновременном извлечении накопленных за десятилетия таких отходов. Такая постановка вопроса комплексного исследования проблемы формирует новые методы и подходы направления исследований, включая использование существующих знаний в данной области, ориентированных на изучение частных или индивидуальных свойств золы уноса.

Цель работы заключается в изучении элементного и дисперсного состава золовых отходов предприятий угольной генерации Кузбасса для дальнейшего промышленного фракционирования на ценные компоненты.

Были взяты представительные пробы на четырех предприятиях угольной генерации Кузбасса: Кемеровской ГРЭС (КемГРЭС), Беловской ГРЭС (БелГРЭС), Томь-Усинской ГРЭС (ТУ ГРЭС), Ново-Кемеровской ТЭЦ (НК ТЭЦ). Способы улавливания золы уноса на этих станциях имеют существенное различие. Сухой способ улавливания с использованием электрофильтров применяется на двух станциях: Кемеровской ГРЭС и Беловской ГРЭС. Мокрое пылеулавливание с использованием скрубберов Вентури и последовательно установленными полыми форсуночными скрубберами, орошающими водой, реализуется на Ново-Кемеровской ТЭЦ и Томь-Усинской ГРЭС.

Взятые пробы на станциях имели существенное отличие, связанное с различием способа очистки дымовых газов. При мокром способе очистки пробы золы были взяты во влажном виде либо в скрубберах, остановленных для регламентированной очистки от отложений золы на стенках диффузора скруббера Вентури или на кольцевом козырьке – брызгоуловителе полого форсуночного скруббера, либо у дымососа. При сухом способе улавливания пробы золы уноса отбирались из бункера в сухом виде, из которого зола поступала в канал гидрозолоудаления, далее сливалась с потоком измельченного шлака и баггерыми насосами направлялась в отстойники накопители. Схемы гидро-золо-шлакоудаления не имеют значительных отличий при мокром и сухом способе улавливания золы уноса.

В связи с этим в пробах, взятых на станциях с мокрым способом очистки дымовых газов, наблюдалось отсутствие легкой фракции золы (полых микросфер или ценосфер) или её следы. К пробам золы уноса при сухом способе очистки дымовых газов можно применить фразу: пробы «в первозданном виде».

Разделение проб золы на фракции производили механическим способом [6] – ситовой анализ с помощью выбросит на вибростенде ПЭ-6700 с

Таблица 1. Фракционный состав зол предприятий угольной генерации Кузбасса [7]
Table 1. Fractional composition of fly ashes of the enterprises of coal generation of Kuzbas [7]

Зола	Фракционный состав, %						
	Размеры частиц, мкм						
	0-50	50-63	63-80	80-100	100-160	160-200	>200
БелГРЭС	53,07	18,985	16,417	9,334	2,132	0,017	0,045
ТУ ГРЭС	76,378	4,549	4,496	3,462	3,713	0,7463	6,655
КемГРЭС	66,02	10,38	8,31	7,45	6,27	0,34	1,23
НК ТЭЦ	78,233	3,319	3,331	2,976	3,563	0,891	7,686

регулируемой частотой и амплитудой колебаний. Воздушно-сухая навеска золы (сухой просев) при каждом рассеве составляла около 150-200 г. Для интенсификации процесса перемешивания золы (уменьшение времени анализа) в каждое сито укладывались по 5-7 резиновых кубиков размером ребра 10 мм.

Результаты дисперсионного анализа фракционного состава золовых отходов [7] приведены в табл. 1.

По данным табл. 1 построено фракционное распределение частиц золы на рис. 1. Графическое изображение результатов дисперсионных анализов в виде интегральных кривых $D(d_u)$ (проход) и $R(d_u)$ (остаток), каждая точка которых показывает относительное содержание частиц с размерами меньше и больше данного размера, представлено на рис. 2.

Из табл. 1 и рис. 1 видно, что зола уноса большей частью состоит из частиц размером от 0 до 50 мкм. Количество по массе частиц золы менее 100 мкм составляет: для Беловской ГРЭС - ≈ 98 %, для Томь-Усинской ГРЭС - ≈ 89 %, для Кемеровской ГРЭС - ≈ 92 %, для Ново-Кемеровской ГРЭС - ≈ 88 %. Дисперсность золы Белов-

ской ГРЭС наиболее высокая.

Важно отметить, что при мокром пылеулавливании (скрубберах Вентури и полые форсуночные скруббера), реализованном на станциях Томь-Усинской ГРЭС (ТУ ГРЭС) и Ново-Кемеровской ГРЭС (НК ТЭЦ) доля частиц класса крупности 0-50 мкм достигает 76-78% (масс.) против 53-66% (масс.) на Беловской ГРЭС (Бел. ГРЭС) и Кемеровской ГРЭС (Кем. ГРЭС), где осуществляется сухое пылеулавливание в электрофильтрах. Полагаем, что при практически одинаковой технологии и используемом оборудовании пылеприготовления, сжигаемой шихты углей марки Д и Г различных сортов (омсш), значительная часть (до 20% от общего количества золы уноса) наиболее мелких частиц золы (класс 0-50) выносится в атмосферу через дымовую трубу при сухом способе очистки. Этот факт свидетельствует о том, что более эффективным процессом пылеулавливания остается метод мокрой очистки. Для региона Кузбасса это важный вывод, основанный на результатах инструментальных измерений, позволяющий внести предложение о перевооружении систем очистки ТЭЦ от твердых мелкодисперсных золовых выбросов на более эффективные методы.

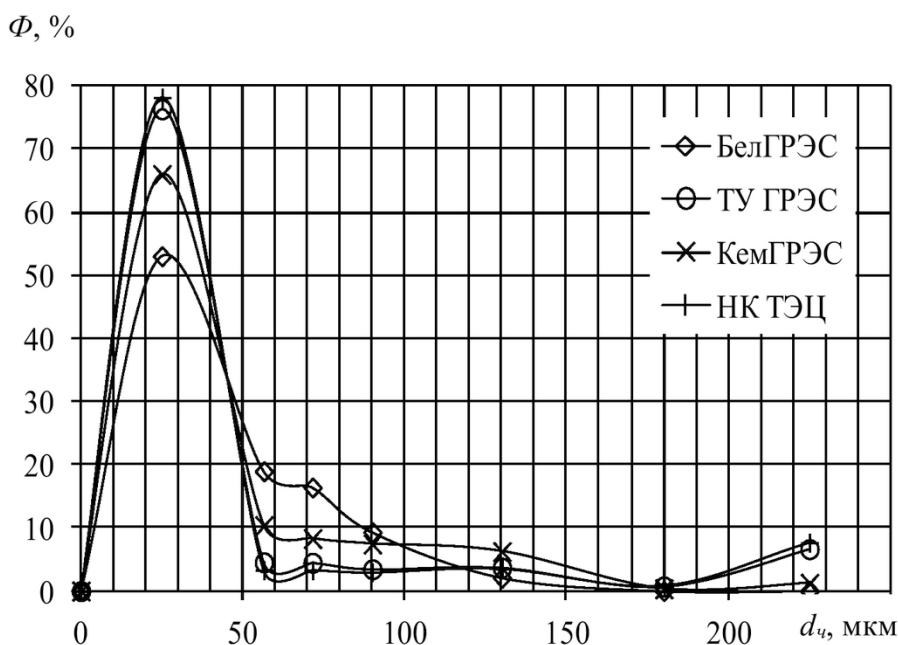


Рис. 1. Распределение частиц золы по фракциям в зависимости от среднего размера
Fig. 1. Distribution of particles of fly ash on fractions depending on the average size

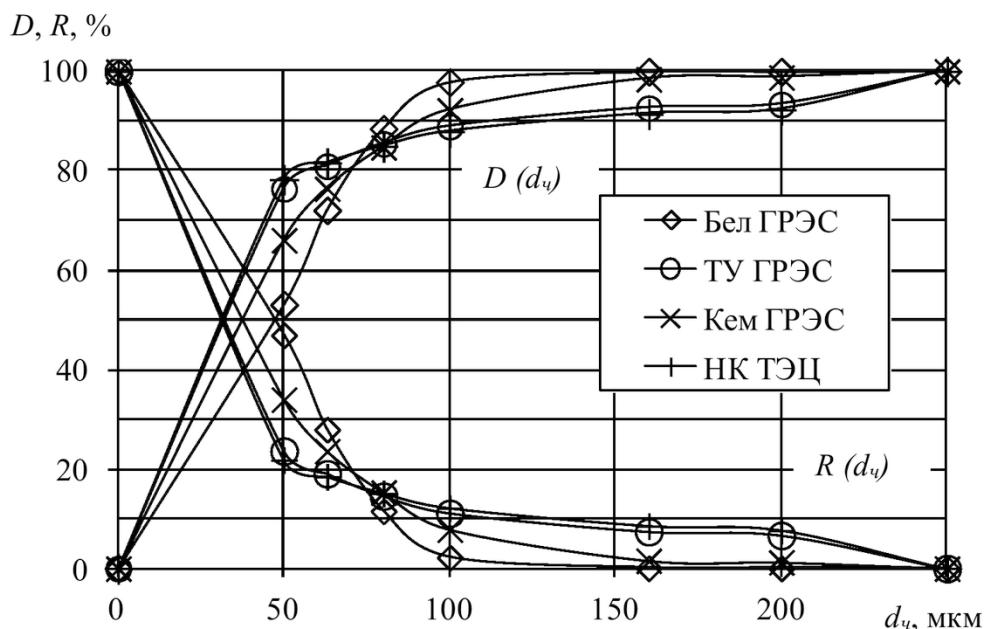


Рис. 2. Интегральные кривые распределения зол уноса
Fig. 2. Integrated curve distributions of fly ash

Установлено (рис. 2), что модальный размер частиц, делящих общую массу зольных частиц поровну, для золы уноса при мокром пылеулавливании, приходится на 30 мкм (ТУ ГРЭС и НК ТЭЦ). При сухом пылеулавливании для Кемеровской ГРЭС модальный размер составляет около 40 мкм, а для Беловской ГРЭС – около 50 мкм.

Основываясь на данных по содержанию фракции золовых частиц 0-50 мкм, можно предположить, что при сухой системе очистки более эффективно работает система пылеулавливания Кемеровская ГРЭС, чем система Беловской ГРЭС. При абсорбционной (водной) очистке станции ТУ ГРЭС и НК ТЭЦ работают практически с одинаковой эффективностью. При мокрой очистке на Томь-Усинской ГРЭС и на Ново-Кемеровской ТЭЦ массовая доля частиц для класса крупности 50-160 практически одинакова.

Перед проведением фракционирования золы уноса на магнитную и немагнитную фракции проведено отделение полых микросфер методом мокрой флотации (на лабораторных машинах и механизмах, моделирующих процесс мокрой флотации

на угольных обогатительных фабриках без применения флотореагентов). Необходимости использовать флотационные реагенты не было, так как работает закон Архимеда при достаточно большой разности выталкивающей силы, обеспечиваемой значительной разницей истинной плотностью частиц золы и полых микросфер.

Фракционирование обдненной полыми микросферами золы уноса на магнитную и немагнитную фракции проводили на лабораторном магнитном анализаторе, используемом для определения эффективности отделения магнитных частиц из состава природного (минерального) мелкодисперсного железосодержащего концентрата.

В табл. 2 представлены результаты разделения зол на микросфера, магнитную и немагнитную фракции. В золах НК ТЭЦ и ТУ ГРЭС микросфера отсутствуют, так как технология улавливания золы уноса у них отличается от Кемеровской ГРЭС и Беловской ГРЭС.

Нужно обратить внимание, что зола Томь-Усинской ГРЭС имеет более значительное содержание магнитной фракции, чем золы других стан-

Таблица 2. Результаты разделения зол предприятий угольной генерации Кузбасса
Table 2. Results of separation of fly ashes of the enterprises of coal generation of Kuzbas

Станция	Состав золы уноса, % масс.			
	Микросфера	Магнитная фракция	Немагнитная фракция	Потери
Кем. ГРЭС	2,46	3,82	89,18	4,54
Бел. ГРЭС	1,11	8,22	89,56	1,11
НК ТЭЦ	-	4,48	91,65	3,86
ТУ ГРЭС	-	14,49	76,14	9,36

Таблица 3.Элементный состав зол, магнитной и немагнитной фракций зол предприятий угольной генерации Кузбасса

Table 3. Element structure of fly ashes, magnetic and not magnetic fractions of fly ashes of the enterprises of coal generation of Kuzbas

Элементы	Зола уноса КемГРЭС	Немагнитная фракция	Магнитная Фракция (две стадии)	Зола НК ТЭЦ	Немагнитная фракция	Магнитная фракция	Зола уноса БелГРЭС	Немагнитная фракция	Магнитная фракция	Зола ТУ ГРЭС	Немагнитная фракция	Магнитная фракция
C	16,24	-	-	24,86	-	22,95	17,75	37,59	23,70	17,47	18,59	14,76
O	39,23	47,39	42,12	48,49	47,30	34,85	49,17	28,53	33,99	49,56	38,15	37,68
Na	0,86	1,18	1,01	0,69	0,99	0,80	1,21	0,88	0,97	0,33	-	-
Mg	0,98	1,29	2,3	0,79	1,30	1,52	0,78	0,65	0,97	1,07	2,66	3,46
Al	9,51	11,13	7,87	6,11	11,01	7,61	6,55	6,14	6,73	9,5	11,52	10,18
Si	22,16	28,09	19,08	13,72	27,01	17,65	17,5	16,17	18,29	14,72	18,59	15,72
P	-	-	-	-	0,50	0,42	0,09	-	-	0,17	0,48	0,47
S	0,25	-	-	0,22	0,26	0,36	0,07	-	0,11	0,18	0,24	0,36
K	1,84	2,11	1,16	1,06	2,29	1,33	1,36	1,48	1,57	0,67	1,01	0,73
Ca	4,37	4,15	4,9	1,58	4,14	4,19	2,33	5,26	8,48	2,18	4,23	5,48
Ti	0,50	0,59	0,29	0,28	0,61	0,41	0,33	0,37	0,40	0,42	0,65	0,64
Mn	-	0,06	0,05	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fe	4,04	4,01	21,22	2,19	4,59	7,9	2,86	2,92	4,79	3,71	3,87	10,51

ций.

Для определения элементного и химического состава образцов зол предприятий, а также магнитной и немагнитной фракций 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 анализов представлены в табл. 3.

В магнитной фракции железо может находиться в составе золы уноса как отдельный элемент Fe, как оксид железа (II, III) (Fe_2O_3 и/или Fe_3O_4 ($FeO \cdot Fe_2O_3$ в виде магнетита или железной окалины)), как карбонат железа (II) $FeCO_3$, как сульфата железа $FeSO_4$, который в присутствии карбоната натрия Na_2CO_3 или карбоната кальция $CaCO_3$ в инертной среде переходит в карбонат железа $FeCO_3$ с образованием сульфата натрия Na_2SO_4 или сульфата кальция $CaSO_4$. При этом серные или сернистые оксиды образуют твердые минеральные сульфаты либо с натрием или кальцием, либо с железом, т.е. происходит связывание газообразных оксидов серы, образованных при горении угля, в которых находится, хотя и небольшое количество, серы (Кузбасские угли бедны серой и сернистыми соединениями). Отметим, что карбонаты железа $FeCO_3$, образовавшиеся в процессе горения про температурах более $500^{\circ}C$ переходят в оксиды железа (II) и выделением газообразного диоксида углерода CO_2 .

Таким образом, при выделении магнитной фракции из общего состава золы уноса, должно

происходить увеличение концентрации железосодержащих соединений, полагаем в большей степени сульфатов железа в виде $FeSO_4$, сульфатов кальция $CaSO_4$ и оксидов Fe_2O_3 (в пересчете на элемент – железо), а также увеличение концентрации сернистых соединений (в пересчете на элемент – сера).

Из табл. 3 видно, что в магнитной фракции содержание магнетита в пересчете на элементное железо, выделенное при проведении одностадийной мокрой магнитной сепарации на магнитном анализаторе, в 2-3 раза больше, чем в исходной золе уноса. При двухстадийной сепарации (мокрой и сухой) в содержании магнетита элементного железа в 5 раз больше, чем в исходной золе уноса. Увеличение концентрации серы при одновременном росте содержания кальция показывает, что сера может находиться с большей вероятностью в виде сульфатов железа и кальция.

На основе полученных результатов в дальнейшей перспективе будет определена рациональная последовательность операций технологического процесса получения магнитной фракции (железосодержащего концентрата), легкой фракции золы уноса (полых микросфер) и немагнитной фракции с предварительно разработанными режимными параметрами процессов разделения. Разработанная технология утилизации золы уноса позволит показать путь повышения ее потребительских свойств и, следовательно, цены. Известно, что золошлаковые материалы представляют промышленный интерес из-за химического состава и физико-химических свойств. В золах и шла-

как содержаться компоненты, обладающие ценными уникальными технологическими свойствами, позволяющими во многих современных технологиях эффективно использовать эти компоненты.

Алюмосиликатные полые микросфера являются самым ценным продуктом фракционирования золы уноса и благодаря низкой плотности и правильной сферической форме обладают свойствами прекрасного наполнителя в самых разнообразных изделиях, применяются в производстве сферопластиков, дорожно-разметочных термопластиков, тампонажных и буровых растворов, теплоизоляционных радиопрозрачных и облегченных строительных керамик, теплоизоляционных безобжиговых материалов и жаростойких бетонов [8-11].

Инертная масса (немагнитная фракция) может широко использоваться в строительной отрасли для производства цемента, бетона, кирпича, лег-

ких заполнителей, рубероида, керамзита и др. строительных материалов, в сельском хозяйстве для улучшения текстуры почв, изменения их плотности, увеличения влажного замещения и нейтрализации кислотности [10, 11].

Магнитный концентрат может применяться для производства ферросилиция, чугуна, стали, а также может служить сырьем для порошковой металлургии, для получения магнитных полупроводников и дизелектриков [11, 12]. Кроме того, стоит отметить применение коллоидов магнетита в биофизике, а также для получения армко-железа, выплавляемое в матеновских и электрических плавильных печах при удлинении процесса выгорания примесей.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Департамента образования и науки Кемеровской области в рамках научного проекта (договора) № 16-48-420871, «р_a» и соглашения № 6 от 15 декабря 2016 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Принципиальная схема очистки отходящих газов угольных электростанций для создания качественных попутных продуктов сжигания угля / А.И. Калачев // ТЭК. Стратегии развития. – 2015. - № 4 (39). – С. 36-41.
2. Технические решения по использованию золошлаковых отходов Каширской ГРЭС / А.Г. Тумановский, Ю.К. Целыковский, А.М. Зыков, Л.М. Делицын, С.Ф. Торхунов // Энергетик. – 2014. – № 4. – С. 27-31.
3. Переработка отвальных золошлаковых смесей в кондиционные зольные продукты – одно из приоритетных направлений эффективного решения проблемы обращения с золошлаками ТЭС в современных условиях / А.Н. Набоков, Г.Н. Фрейберг, Т.П. Щеблыкина // Энергетик. – 2014. – № 10. – С. 31-35.
4. Утилизация отходов производства предприятий энергетики Кузбасса. Проблемы и перспективы / А.И. Копытов, Ю.В. Антонов // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2013. – № 3. – С. 62-64.
5. Золошлаковые отходы европейских ТЭС / А.А. Саламов // Энергетик. – 2014. - № 10. – С. 33-38.
6. Коузов П.А. Основы анализа дисперсного состава промышленных пылей измельченных материалов. – Л.: Химия, 1987. – 264 с.
7. Исследование дисперсного состава золовых отходов предприятий угольной генерации Кузбасса [Электронный ресурс] / Е.Ю. Темникова, Н.В. Тиунова, Л.Ю. Беляевская // Сб. мат. III Всерос. конф. «Химия и химическая технология: достижения и перспективы», 16-17 нояб. 2016 г., Кемерово. – Кемерово, 2016. – Режим доступа: <http://science.kuzstu.ru/wp-content/Events/Conference/HIHT/2016/HIHT/index.htm>. – Загл. с экрана.
8. Гладких, И. В. Утилизация зольных микросфер Западно-Сибирской ТЭЦ при получении безобжиговых композиционных материалов / И.В. Гладких, Е.П. Волынкина // Экология и промышленность России. – 2009. – № 2. – С. 32-34.
9. Физико-химические свойства алюмосиликатных полых микросфер / Т.Н. Теряева, О.В. Костенко, З.Р. Исмагилов, Н.В. Шикина, Н.А. Рудина, В.А. Антипова // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – Кемерово, 2013. – № 5. – С. 86-90.
10. .Федорова, Н. В. Перспективы использования золы-уноса тепловых электростанций Ростовской области / Н.В. Федорова, Д.А. Шафорост / Теплоэнергетика. – 2015. – № 1. – С. 53-58.
11. Sysolyatin, A.S. Analysis of Fractionated Fly Ash and Slag at Kemerovo State District Power Plant / A.S. Sysolyatin, I.A. Zvingul, E.Yu. Temnikova// MATEC Web of Conferences, 2016, Vol. 72 (2016), Heat and Mass Transfer in the System of Thermal Modes of Energy – Technical and Technological Equipment (HMTTSC-2016), Tomsk, Russia, April 19-21, 2016, Published online: 09 August 2016. – DOI: <http://dx.doi.org/10.1051/matecconf/20167201137> – Article available at <http://www.matec-conferences.org/articles/matecconf/abs/2016/35/contents/contents.html>
12. Соловьев, Л. П. Извлечение ферромагнитных материалов из золошлаковых отходов Кузнецкой ТЭЦ / Л.П. Соловьев, В.А. Пронин, С.В. Пронин, Ф.Ф. Тузовская // Экология и промышленность России. – 2009. – № 6. – С. 34-35.

REFERENCES

1. Printsiplialnaya shema ochistki othodyashchih gazov ugolnyh elektrostantsij dlya sozdaniya kachestvennyh poputnyh produktov szhiganiya uglya / A.I. Kalachev // TEK. Strategiya razvitiya – 2015. – N 4 (39). – PP. 36-41. (rus)
2. Tehnicheskie resheniya po ispolzovaniyu zoloshlakovyh othodov Kashirskoj GRES / A.G. Tumanovskij, Yu.K. Tselykovskij, A.M. Zykov, L.M. Delitsin, C.F. Torhunov // Energetic. – 2014. – N 4. – PP. 27-31. (rus)
3. Pererabotka otvalnih zoloshlakovyh smesej v konditsionnye produkty – odno iz prioritetnyh napravlenij effektivnogo resheniya problemy obrashcheniya s zoloshlakami TES v sovremennyh usloviyah / A.N. Nabokov, G.N. Frejberg, T.P. Shcheblykina // Energetic. – 2014. – N 10. – PP. 31-35. (rus)
4. Utilizatsiya othodov proizvodstva predpriyatiy energetiki Kuzbassa/ Problemy i perspektivy / A.I. Kopytov, Yu.V. Antonov // Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tehnicheskogo universiteta. – 2013. – N 3. – PP. 62-64. (rus)
5. Zoloshlakovye othody evropejskikh TES / A.A. Salamov // Energetic. – 2014. – N 10. – PP. 33-38. (rus)
6. Kouzov P.A. Osnovy analiza dispersnogo sostava promyshlennyh pylej izmelchennyh materialov. – L.: Himiya, 1987. – 264 p. (rus)
7. Issledovanie dispersnogo sostava zolovyh othodov predpriyatiy ugolnoj generatsii Kuzbassa [Elektronnyj resurs] / E.Yu. Temnikova, N.V. Tiunova, L.Yu. Belyaevskaya // Sb. mat. III Vseross. konf. «Himiya i himicheskaya tehnologiya: Dostizheniya i perspektivy », 16-17 noyab. 2016 g., Kemerovo. – Kemerovo, 2016. – Rezhim dostupa: <http://science.kuzstu.ru/wp-content/Events/Conference/HIHT/2016/HIHT/index.htm> . – Zagl. s ekranu. (rus)
8. Gladkih, I.V. Utilizatsiya zolnyh mikrosfer Zapadno-Sibirskoj TETS pri poluchenii bezobzhigovyh kompozitsionnyh materialov / I.V. Gladkih, E.P. Volynkina // Ekologiya i promyshlennost Rossii. – 2009. – N 2. – PP. 32-34. (rus)
9. Fiziko-himicheskie svojstva alyumosilikatnyh polyh mikrosfer / T.N. Teryaeva, O.V. Kostenko, Z.R. Ismagilov, N.V. Shikina, N.A. Rudina, V.A. Antipova // Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tehnicheskogo universiteta. – Kemerovo, 2013. – N 5. – PP. 86-90. (rus)
10. Fedotova, N. V. Perspektivnye ispolzovaniya zoly-unosa teplovyyh elektrostantsij Rostovskoj oblasti / N.V. Fedotova, D.A. Shaforost / Teploenergetika. – 2015. – N 1. – PP. 53-58. (rus)
11. Sysolyatin, A.S. Analysis of Fractionated Fly Ash and Slag at Kemerovo State District Power Plant / A.S. Sysolyatin, I.A. Zvingul, E.Yu. Temnikova// MATEC Web of Conferences, 2016, Vol. 72 (2016), Heat and Mass Transfer in the System of Thermal Modes of Energy – Technical and Technological Equipment (HMTTSC-2016), Tomsk, Russia, April 19-21, 2016, Published online: 09 August 2016. – DOI: <http://dx.doi.org/10.1051/matecconf/20167201137> – Article available at <http://www.matec-conferences.org/articles/matecconf/abs/2016/35/contents/contents.html>
12. Solovev, L.P. Izvlechenie ferromagnitnyh materialov iz zoloshlakovyh othodov Kuznetskoj TETS/ L.P. Solovev, V.A. Pronin, S.V. Pronin, F.F. Tuzovskaya // Ekologiya i promyshlennost Rossii. – 2009. – N 6. – PP. 34-35. (rus)

Поступило в редакцию 25.01.2017
Received 25.01.2017