



УДК 662.613.12.081:621.311.22

Исследование сорбирующих свойств золошлаковых материалов ТЭС по отношению к парам азотной кислоты

Федорова Н.В., Щеглов Ю.В.

Южно-российский государственный технический университет, Новочеркасск

Антоненко Е.М.

Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск

Поступила в редакцию 21.03.2011 г.

Аннотация

В статье представлены результаты лабораторных исследований авторами сорбирующих свойств золошлаковых материалов угольных тепловых электростанций по отношению к парам азотной кислоты при различной начальной степени нагрева сорбентов и различной длительности контакта сорбентов с парами.

Ключевые слова: угольные зола и шлак, утилизация, сорбенты, пары азотной кислоты, свойства сорбентов

The results of laboratory researches by authors of the sorption properties of ashes and slag materials of the coal thermal power stations in relation to nitric acid steams at various initial degree of heating of sorbents and various duration of contact of sorbents with steams are presented in the article.

Keywords: coal ashes and slag, recycling, sorbents, steams of nitric acid, properties of sorbents

Введение

В связи с высокой зольностью углей, сжигаемых на тепловых электрических станциях (ТЭС) в России, возникает проблема складирования и утилизации золошлаковых материалов (ЗШМ). На ОАО "Новочеркасская ГРЭС", где основным видом топлива является уголь Донецкий АШ, проектная зольность сжигаемого угля составляет 18-22%, фактическая доходит до 30-50%. По данным на 1999 г., на золоотвалах НчГРЭС общей площадью 183 га хранилось 39,8 млн тонн отходов. Для сравнения, в странах Западной Европы, в частности, в Германии, допускается к сжиганию уголь зольностью до 2%. Тем не менее, прирост захоронений твердых отходов в мире составляет 300 млн т в год.

Отрицательными факторами влияния золошлакоотвалов на окружающую среду являются:

– пыление, особенно в ветреную погоду;

- выделение в атмосферу токсичных и радиоактивных химических элементов и их соединений (в том числе CO, NO_x, SO_x);
- "кислотные дожди"
- растворение и вымывание технической и дождевой водой вредных соединений и тяжелых металлов из ЗШМ, что приводит к химическому загрязнению водной среды, ухудшает состав грунта и подземных вод;
- повышенный тепловой фон вблизи полигонов ЗШМ, что связано со значительной долей недожега углерода (до 20%, проектная величина недожега – 5%) и последующим окислением углерода при соприкосновении ЗШМ с атмосферным воздухом.

Методы утилизации ЗШМ

Наиболее разработанными и широко используемыми в настоящее время в России и за границей являются следующие методы применения золошлаковых отходов [1-3]:

- в *строительстве* зданий для производства шлакоблоков и как добавки в бетон, в качестве алюмосиликатной составляющей цемента, для изготовления стеновых блоков-кирпичей, кровельных материалов, теплоизолирующих плит, как самостоятельный вяжущий материал, а также как добавки к глине при изготовлении кирпича, черепицы и т.д.;
- в *дорожном строительстве* в качестве насыпного материала под асфальтовое покрытие, как наполнитель углеводородных вяжущих веществ;
- в *сельском хозяйстве* используется зола после сухих золоуловителей как калийное удобрение для раскисления почв;
- в *коммунальном хозяйстве* используется зола после сухих золоуловителей для изготовления фильтров хозяйственно-питьевого водоснабжения;
- в *промышленности* используют нейтрализующие свойства золы при очистке дымовых газов;
- в качестве сырья для *химической промышленности* для получения из зол Al₂O₃, Fe₂O₃, TiO₂, K₂O, Na₂O, P₂O₅, U₃O₃, V и Ge;
- в *литейном производстве* используются золы с повышенным недожегом как заменитель кокса;
- обработанные силикагелем золы используют для *удаления с поверхности воды мазута или остатков кислот*;
- для быстрого *высушивания шламов*;
- большое количество золошлаковой смеси используется для строительства ограждающих дамб на золошлакоотвалах, т.е. *на собственные нужды ТЭС*;
- практикуется перемещение золошлаковых отходов во внутренние отвалы угольных разрезов, что позволяет одновременно решать две задачи: рекультивировать горные выработки и удалять золоотвалы из водоохранных зон рек [2].

В последние годы проводятся исследования сорбционных свойств золошлаковых материалов [4].

Адсорбционные методы очистки газов

Адсорбционные методы очистки основаны на избирательном извлечении из парогазовой смеси определенных компонентов при помощи адсорбентов – твердых высокопористых материалов, обладающих развитой удельной поверхностью. Промышленные адсорбенты, чаще всего применяемые в газоочистке, это активированный уголь, силикагель, алюмогель, природные и синтетические цеолиты (молекулярные сита).

Основные требования к промышленным сорбентам [5-7]:

- высокая поглотительная способность,
- избирательность действия (селективность),
- термическая устойчивость,
- длительная служба без изменения структуры и свойств поверхности,
- возможность легкой регенерации.

Чаще всего для санитарной очистки газов применяют активированный уголь благодаря его высокой поглотительной способности и легкости регенерации. Адсорбцию газовых примесей обычно ведут в полочных реакторах периодического действия без теплообменных устройств; адсорбент расположен на полках реактора. Когда необходим теплообмен (например, требуется получить при регенерации десорбат в концентрированном виде), используют адсорберы со встроенными теплообменными элементами или выполняют реактор в виде трубчатого теплообменника, где адсорбент засыпан в трубки, а в межтрубном пространстве циркулирует теплоноситель. Очищаемый газ проходит адсорбер со скоростью 0,05–0,3 м/с. После очистки адсорбер переключается на регенерацию. Адсорбционная установка, состоящая из нескольких реакторов, работает в целом непрерывно, так как одновременно одни реакторы находятся на стадии очистки, а другие – на стадиях регенерации, охлаждения и др. Регенерацию проводят нагреванием, например выжиганием органических веществ, пропусканием острого или перегретого пара, воздуха, инертного газа (азота). Иногда адсорбент, потерявший активность (эранированный пылью, смолой), полностью заменяют. Наиболее перспективны непрерывные циклические процессы адсорбционной очистки газов в реакторах с движущимся или взвешенным слоем адсорбента, которые характеризуются высокими скоростями газового потока (на порядок выше, чем в периодических реакторах), высокой производительностью по газу и интенсивностью работы.

Общие достоинства адсорбционных методов очистки газов:

- глубокая очистка газов от токсичных примесей;
- сравнительная легкость регенерации этих примесей с превращением их в товарный продукт или возвратом в производство; таким образом осуществляется принцип безотходной технологии.

Адсорбционный метод особенно рационален для удаления токсических примесей (органических соединений, паров ртути и др.), содержащихся в малых концентрациях, т.е. как завершающий этап санитарной очистки отходящих газов.

Недостатки большинства адсорбционных установок – периодичность процесса и связанная с этим малая интенсивность реакторов, высокая стоимость периодической регенерации адсорбентов. Применение непрерывных способов очистки в движущемся или кипящем слое адсорбента частично устраняет эти недостатки, но требует высокопрочных промышленных сорбентов, разработка которых для большинства процессов еще не завершена.

Для сорбции паров азотсодержащих оксидов могут применяться три группы методов: использование жидких щелочных сорбентов, твердых сорбентов (силикагель, алюмогель, активированный уголь и др. твердые поглотители) и метод каталитического восстановления оксидов азота (начал применяться только в последние годы и пока является наиболее совершенным методом).

Наиболее распространенным методом в нашей стране является очистка газов от оксидов азота путем поглощения их растворами Na_2CO_3 и $\text{Ca}(\text{OH})_2$, сравнительно реже – поглощение растворами NaOH и KOH . Щелочная очистка требует существенных капитальных затрат и эксплуатационных расходов, но главный ее недостаток в том, что степень абсорбции оксидов азота не превышает 60-75% и,

таким образом, этот метод не обеспечивает требуемой санитарной нормы очистки газов. Полученные в процессе очистки щелочные растворы нуждаются в дальнейшей многостадийной переработке для получения из них твердых солей [5].

Экспериментальное исследование сорбирующих свойств ЗШМ

Сотрудники кафедры "Тепловые электрические станции" ЮРГТУ (НПИ) совместно со специалистами ФГНУ "РосНИИПМ" проводят исследования сорбирующих свойств золошлаковых материалов ТЭС по отношению к парам различных вредных веществ, и в частности, парам азотной кислоты.

Цели исследований:

1) физико-химическое моделирование условий технологического цикла тепловой электростанции, в которых происходит формирование, удаление и складирование ЗШМ;

2) поиск возможных способов утилизации ЗШМ, в частности, применение ЗШМ в качестве сорбентов.

При сжигании угля в топке энергетического котла из компонентов горючей составляющей угля образуются газообразные кислые оксиды углерода, азота и серы, а также водяной пар. Минеральная составляющая угля, содержащая оксиды металлов и кремния, в ядре факела при температуре 1800-2000°C пребывает в жидком состоянии. Часть минеральной составляющей в жидком состоянии при температуре 1300-1600°C стекает через летку в нижней части топки котла, остывает, дробится и с потоком воды или воздуха транспортируется на золошлакоотвал. Так формируется шлак при жидком шлакоудалении. При твердом шлакоудалении шлак сыпается в летку с температурой 500-700°C, при которой он пребывает в уже застывшем, твердом состоянии, и далее гидравлическим или пневматическим способом перемещается на золошлакоотвал. Другая часть минеральной составляющей уносится потоком дымовых газов, в состав которых помимо уже перечисленных продуктов горения входят азот и кислород воздуха. По мере удаления от топки котла дымовые газы остывают, минеральная составляющая формируется в летучую золу. Когда температура дымовых газов становится ниже температуры точки росы (около 130-150°C в зависимости от состава газов), водяной пар конденсируется, конденсат реагирует с кислыми оксидами и образуются кислоты. Таким образом, в технологическом цикле ТЭС угольные зола и шлак контактируют с водой, с парами и растворами кислот в широком диапазоне температур.

Предварительные исследования показали [8], что ЗШМ реагируют с водой и растворами кислот. В данной статье отражены результаты исследований взаимодействия ЗШМ с парами азотной кислоты. Было выявлено, что ЗШМ обладают сорбирующими свойствами по отношению к парам азотной кислоты. На основании изучения литературных источников по свойствам исследуемых сорбентов мы можем предполагать, что процессы поглощения золошлаковыми материалами паров азотной и других кислот относятся к адсорбционным и частично обратимым физико-химическим типам взаимодействия.

Опыты проводились по двум направлениям:

– с целью выявления зависимости степени поглощения паров азотной кислоты от длительности контакта сорбентов с парами;

– с целью выявления степени поглощения паров азотной кислоты от первоначальной температуры сорбента.

Также были проведены контрольные опыты при комнатной температуре и определение количества недожега углерода в ЗШМ.

Проведенный авторами поиск нормативной документации по методам исследования свидетельствует о наличии гостированных методов испытания сорбентов только на механические показатели (ГОСТы 16187-16190-70) и содержание влаги ГОСТ 12597-67. Методы исследования, рассматривающие кинетику поглощения химических паров, не имеют статус аттестованных на федеральном или отраслевом уровнях, и могут считаться авторскими.

Эксперимент

Опыт 1.

Цель опыта: определение доли недожега в ЗШМ путем прокаливания проб.

Описание опыта. В три керамические чашки поместили по 5 г проб ЗШМ, предварительно просушенных при 105°C в течение 2 часов для удаления паров воды. Затем пробы ЗШМ прокаливали в муфельной печи при 550°C в течение 4 часов.

Результаты опыта [9] представлены в табл. 1. Обозначения в табл. 1 и далее:

зола 1 – зола после электрофилтра; зола 2 – зола из системы золошлакоудаления; шлак – шлак из системы золошлакоудаления (шлакоудаление жидкое), дробленый, фракция до 2 мм.

Таблица 1. Сушка и прокаливание проб ЗШМ

Проба	Вес пробы нетто, до сушки, г	Вес пробы нетто, после сушки, г	Убыль массы, по сравнению с начальной, %р	Вес пробы нетто, после прокаливания, г	Убыль массы, по сравнению с массой после сушки, %	Убыль массы, по сравнению с начальной, %
Зола 1	5.45	4.65	14.7	4.20	9.7	22.9
Зола 2	6.32	6.27	0.8	5.90	5.9	6..6
Шлак	5.65	5.67	0	5.53	2.1	2.1

Выводы по опыту 1.

Наибольший процент углерода содержится в золе 1. Значительная часть (более 50%) этого углерода удаляется уже при сушке, при температуре около 100°C. Шлак практически не содержит влаги. Увеличение массы при сушке – в пределах погрешности измерений. Содержание углерода в шлаке сопоставимо с его содержанием в золе. Низкая отдача углерода при прокаливании связана со стекловидной структурой шлака.

Опыт 2.

Цель опыта: поглощение паров азотной кислоты ЗШМ при комнатной температуре.

Описание опыта. Опыт 2 состоял из двух этапов.

1 этап. В три стеклянных стаканчика разложили по 5 г проб ЗШМ, добавили по 25 мл дистиллированной воды (ГОСТ 6709-83 на дистиллированную воду H₂O здесь и далее по тексту), измерили уровень pH иономером. Погрешность иономера по паспорту прибора 0,05 единицы pH.

Результаты измерений [9]:

зола 1 – pH = 8,8; зола 2 – pH = 9,97; шлак – pH = 7,73

Выводы. Слабощелочная среда. Зола 1 содержит недожег углерода, из золы 2 углерод вымыт, поэтому для золы 2 щелочность выше. Шлак в силу своей

стекловидной структуры меньше растворим, уровень рН близок к нейтральному. Для чистой дистиллированной воды $\text{pH} = 5,5 \div 7,0$ вследствие поглощения углекислого газа из воздуха.

2 этап. В три керамические чашки разложили по 5 г проб ЗШМ, чашки поместили на средний уровень в эксикатор, на дно эксикатора поместили открытый сосуд с большой поверхностью испарения, в который налили 30 мл HNO_3 $\omega = 60\%$. Эксикатор закрыли крышкой и оставили на 8 часов. После этого извлекли пробы, переложили каждую пробу в отдельный стеклянный стаканчик, в каждый стаканчик долили по 25 мл H_2O и измерили уровень рН.

Результаты измерений [9]:

зола 1 – $\text{pH} = 2,0$; зола 2 – $\text{pH} = 1,67$; шлак – $\text{pH} = 1,71$; Выводы по опыту 2.

Все показатели рН близки по числовым значениям. Зола и шлак сорбируют на своей поверхности пары кислот, которые затем переходят в водный раствор. Несмотря на различия структур (шлак обладает стекловидной структурой, структура золы близка к кристаллической [10]), дробленный шлак по своим сорбционным свойствам не уступает золе. Традиционно хорошим сорбентом считается активированный уголь. Но в данном опыте зола 1, содержащая наибольшее количество углерода, к тому же менее связанного чем в шлаке, показала наиболее высокий уровень рН.

Опыт 3.

Цель опыта: определение кислотно-основной характеристики водных растворов ЗШМ в дистиллированной воде при различной начальной температуре нагрева ЗШМ.

Описание опыта. Образцы проб ЗШМ массой по 5 г в керамических чашках нагреваются в муфельной печи до различных заданных температур – 80°C , 150°C , 250°C (температура в помещении лаборатории 20°C), прогреваются в течение получаса, затем быстро взвешиваются, пересыпаются в стеклянные стаканчики, в каждый из которых добавляется по 25 мл дистиллированной воды, взвесь перемешивается стеклянной палочкой в течение 2-3 минут и в течение 1 минуты определяется уровень рН раствора иономером. Для чистой воды $\text{pH} = 5,14$ вследствие поглощения CO_2 из атмосферного воздуха.

Результаты опыта [11]. В результате нагревания вес золы 1 уменьшался на 0,4 – 0,8 г, вес золы 2 при нагревании на 150°C и выше уменьшался на 0,1 – 0,2 г, вес шлака не менялся. Зависимость уровня рН раствора от вида ЗШМ и от температуры их начального нагрева представлена на рис. 1, где по горизонтальной оси отложена температура начального нагрева сорбента, $^\circ\text{C}$, по вертикальной оси – уровень рН раствора.

Выводы по опыту 3.

С ростом температуры нагрева щелочность растворов повышается для всех ЗШМ, однако, показатели для 150°C и для 250°C практически совпадают. Более низкая щелочность растворов золы 1 может быть связана с более высоким содержанием углерода в ней по сравнению с золой 1 и с убылью массы при нагревании. С учетом результатов опыта 2 это может означать большую сорбционную пригодность золы 2.

Опыт 4.

Цель опыта: поглощение паров азотной кислоты ЗШМ при различной начальной температуре ЗШМ и различной длительности выдержки в эксикаторе.

Описание опыта. Методика аналогична опытам 2 и 3.

Результаты опыта [11]. Зависимость уровня рН растворов от вида ЗШМ и от температуры их начального нагрева представлена на рис. 2 – 5. Для сравнения

отмечается точка 0 уровня pH с нагревом проб ЗШМ, но без выдержки проб в эксикаторе с парами азотной кислоты. По горизонтальной оси отложена длительность выдержки проб в эксикаторе в часах, по вертикальной – уровень pH растворов.

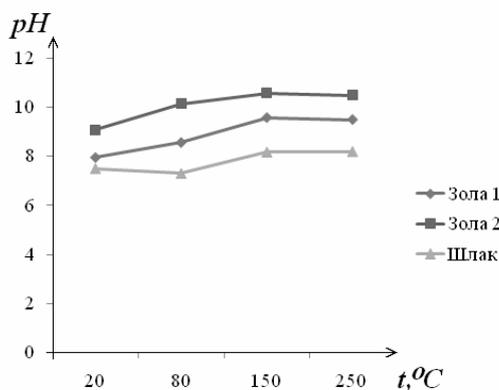


Рис. 1. Уровень pH растворов чистых золошлаковых сорбентов в зависимости от различной начальной степени нагрева ЗШМ и от их вида

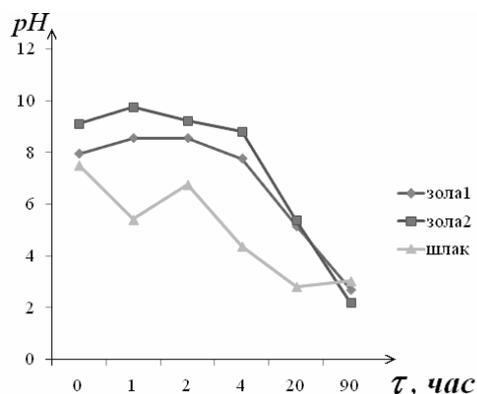


Рис. 2. Уровень pH растворов золошлаковых сорбентов при различной длительности выдержки в эксикаторе и при температуре 20°C, без предварительного нагрева сорбентов

Выводы по опыту 4. Понижение уровня pH сорбентов после контакта с кислотами по сравнению с контрольным уровнем, для чистых сорбентов (точка 0), наблюдалось практически во всех опытах. Чем ниже достигался уровень pH, тем большее количество паров кислоты было сорбировано. Наибольшее относительное понижение уровня pH отмечено для золы 2 при длительной (более 70-90 часов) выдержке в эксикаторе. При выдержке до суток шлак, несмотря на различие в структуре по сравнению с золой, также показывает хорошие сорбционные свойства. Нагрев примерно до 150°C активизирует сорбент, однако дальнейшее нагревание неэффективно.

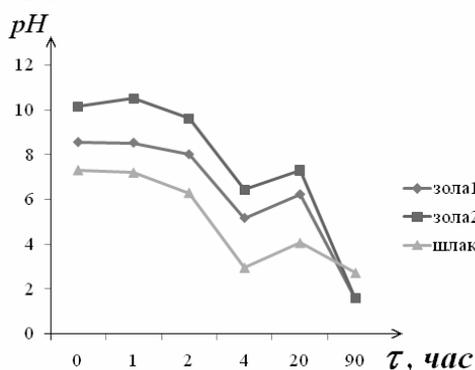


Рис. 3. Уровень pH растворов золошлаковых сорбентов при различной длительности выдержки в эксикаторе, с предварительным нагревом сорбентов до 80°C

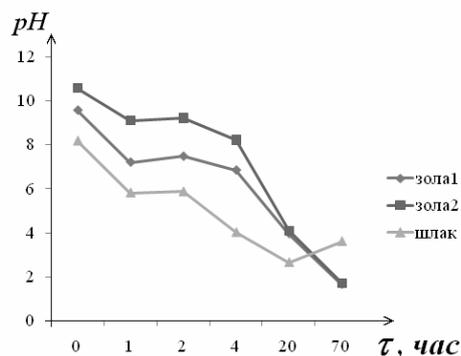


Рис. 4. Уровень pH растворов золошлаковых сорбентов при различной длительности выдержки в эксикаторе, с предварительным нагревом сорбентов до 150°C

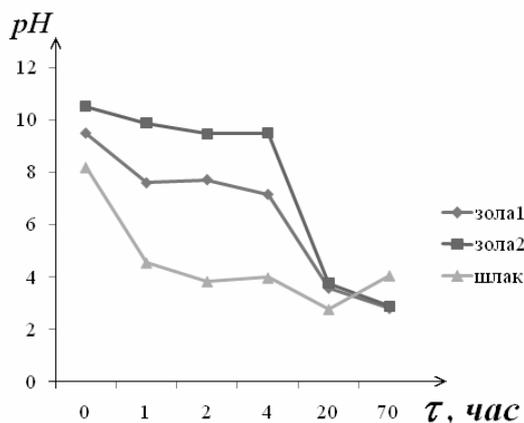


Рис. 5. Уровень pH растворов золошлаковых сорбентов при различной длительности выдержки в эксикаторе, с предварительным нагревом сорбентов до 250°C

Количественная оценка сорбирующих свойств ЗШМ

Рассмотрим рис. 3, на котором изменение уровня pH одно из наибольших. За 90 часов при первоначальном нагреве ЗШМ до 80°C уровень pH раствора, содержащего золу 2, изменился с 10 до 2. Это означает, что концентрация раствора, содержащего золу 2, не контактировавшую с парами азотной кислоты, составляла 10^{-4} М ионов OH^- . А концентрация раствора, содержащего золу 2, нагретую до 80°C и затем контактировавшую с парами азотной кислоты 90 часов, равна 10^{-2} М ионов H^+ . В 25мл второго раствора содержится $0,025 \cdot 10^{-2}$ моль ионов H^+ , отданных ЗШМ-сорбентом. Еще как минимум $0,025 \cdot 10^{-4}$ моль ионов H^+ пошло на нейтрализацию ионов OH^- , которые могли бы образоваться в растворе при контакте с поверхностью ЗШМ, что составляет 1% от имеющегося в растворе количества ионов H^+ . Количество $0,025 \cdot 10^{-2}$ моль ионов H^+ соответствует 0,016 г HNO_3 на 5 г ЗШМ, или 0,32% по массе за один цикл.

Погрешность измерений

Использовался иономер с погрешностью 0,05 единицы pH. Для метрологической оценки проведенных измерений уровня pH нами применялся расчет среднеквадратической погрешности (стандартного отклонения). Для золы 1 и золы 2 показатели стандартного отклонения не превышают 10%, что соответствует уровню технической погрешности. Для шлака стандартное отклонение варьирует в пределах 20-30%, что свидетельствует о большей неоднородности поверхности дробленых шлаковых сорбентов, чем золы. Количество данных наших экспериментов мало для статистических расчетов (не образует представительную выборку), поэтому оценка погрешности носит предварительный характер.

Заключение

Первичная оценка ЗШМ как сорбентов на основе проведенных опытов показывает, что они обладают достаточно высокой поглотительной способностью и термической устойчивостью в широком диапазоне температур (температура плавления шлака в зависимости от марки угля составляет 1300-1600°C). Более того, при определенном повышении температуры сорбционные свойства ЗШМ усиливаются. С точки зрения длительности службы без изменения структуры и

свойств поверхности наиболее перспективным представляется дробленый шлак со стекловидной структурой. В проведенных опытах стабильный уровень рН в растворах устанавливался через 30-60 секунд после внесения в них ЗШМ, что говорит о возможности достаточно легкой регенерации ЗШМ-сорбентов.

Конечно, необходимы дальнейшие исследования для уточнения количественных характеристик сорбирующих свойств ЗШМ. Но в целом золошлаковые материалы являются перспективными и дешевыми сорбентами паров азотной кислоты. Сорбция азотсодержащих паров может быть использована на производствах минеральных и комбинированных удобрений, взрывчатых и лекарственных веществ, красителей, пластмасс, искусственных волокон, ракетных топлив, травлении печатных плат и в ряде других производств.

Список литературы

1. Федорова Н.В., Рогатина Ю.Н. Способы утилизации отходов сжигания угля // Экология промышленного производства. 2004. Вып. 4. С. 35-37.
2. Озерский А. Ю., Озерский Д. А. Складирование золошлаковых отходов Берёзовской ГРЭС – 1 в выработанном пространстве разреза Берёзовского–1 – перспективное направление охраны окружающей среды региона. // Электрические станции. 2003. №7. С. 22.
3. http://www.newchemistry.ru/letter.php?n_id=2871&cat_id=24&page_id=3
4. Дарманская Т.А. Очистка металлосодержащих сточных вод сорбционными материалами из отходов производства. // Автореф. диссерт. на соискание ученой степени канд. техн. наук. Томск. 2008.
5. И.П. Мухленов, А.Е. Горштейн, Е.С. Тумаркина. Основы химической технологии: Учебник для студентов хим.-технол.спец. вузов // 4-е изд., перераб. и доп. М.: Высш. школа. 1991. 463 с.
6. Глинка Н.Л. Общая химия // Изд. 17-е, испр. Л.: Химия. 1975. 728 с.
7. Кузнецов В.В., Усть-Качкинцов В.Ф. Физическая и коллоидная химия: Учеб. пособие для вузов // М.: Высш. школа. 1976. 277 с.
8. Федорова Н.В., Щеглов Ю.В. Взаимодействие золошлаковых материалов ТЭС с растворами некоторых кислот. – Экология промышленного производства. – 2011. – Вып. 2. – С. 54-56.
9. Протокол КХА № 82-1-10 от 19.11.2010 г. // ФГНУ "РосНИИПМ", Эколого-аналитическая лаборатория, аттестат № ROCC RU.001.512.581
10. Н. В. Федорова, Ю. Н. Рогатина. Сравнительный анализ состава и структур угольных золы и шлака с учетом условий их формирования. // Современные проблемы органического синтеза, электрохимии и катализа: материалы междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 80-летию проф. Кириллоса И.В. Караганда: Изд-во КГУ. 2006. С. 252-255.
11. Протокол КХА № 82-2-10 от 19.11.2010 г. // ФГНУ "РосНИИПМ", Эколого-аналитическая лаборатория, аттестат № ROCC RU.001.512.581

Федорова Наталья Васильевна – доцент, к.т.н., доц. кафедры "Тепловые электрические станции" и доц. кафедры "Общая и неорганическая химия" Южно-российского государственного технического университета (Новочеркасского политехнического

Fedorova Natalya V. – the senior lecturer, a Cand.Tech.Sci., the senior lecturer of chair "Thermal power stations" and the senior lecturer of chair "General and inorganic chemistry" of the South Russian state technical university (Novocherkassk polytechnical institute),

института), Новочеркасск

Антоненко Елена Михайловна – кандидат технических наук, заведующая лабораторией федерального государственного научного учреждения Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск

Щеглов Юрий Васильевич – студент кафедры "Тепловые электрические станции" Южно-российского государственного технического университета (Новочеркасского политехнического института), Новочеркасск

Novocherkassk

Antonenko Elena M. – a Cand.Tech.Sci., managing laboratory of federal state scientific institution the Russian scientific research institute of land improvement problems, Novocherkassk

Scheglov Jury V. – the student of chair "Thermal power plants" of the South Russian state technical university (Novocherkassk polytechnical institute), Novocherkassk