

УДК 536.3

## МЕТОД ОЧИСТКИ ПОТОКА ГАЗОВ ПРИ КИСЛОРОДНОМ СЖИГАНИИ УГЛЯ

А.С. Богданов, Т.В. Петрошенко

Предложен метод очистки гетерогенных потоков газа на специально разработанном коаксиальном газодинамическом электрофильтре

*Ключевые слова:* угли; горение; гумины; пары воды.

---

## GAS STREAM IN OXYGEN COAL COMBUSTION CLEANING

A.S. Bogdanov, T.V. Petroschenko

The work offers a cleaning method of heterogeneous flows to the gas-dynamic-electro-precipitator.

*Keywords:* a coals; burning; humins; water vapor.

**Введение.** Промышленные газы содержат частицы, которые являются конечным продуктом при производстве цветных металлов, сажи, цементов. Поэтому промышленные и тепловые объекты оборудованы электрофильтрами с разной степенью очистки (как правило, 10–100 мкм), задачей которых является очистка дымов и газов от частиц и пыли. Современные технологии электрофильтрации и экологические требования ставят вопрос об увеличении эффективности очистки и возможности попутного извлечения из газовых потоков продуктов горения полезных элементов [1]. Эта задача уже решается путем более активного осаждения заряженных частиц в электрических полях большей напряженности в сочетании с уменьшением времени импульсов коронного разряда до миллисекунд [2], и возможностью улавливания частиц размером до 1 мкм [3]. В настоящее время установлено, что содержание золота в некоторых видах угля достигает нескольких грамм на тонну. Поэтому их можно рассматривать как золотосодержащее полезное ископаемое. Однако оно присутствует в углях не в металлической форме, а в виде химического соединения, входящего в гуминовые кислоты [4, 5]. При его сжигании образуется металлическое наноразмерное золото, улетучивающиеся с потоками газов продуктов горения, и не улавливающиеся традиционными электрофильтрами. Имеющиеся разработки [6, 7] позволяют обеспечить извлечение частиц золота из дыма и паров до 85 %. Но предлагаемые технологии не применимы для стационарных, давно функционирующих тепловых и про-

мышленных объектов ввиду их технологических и конструктивных особенностей. Проведенные нами ранее исследования [8, 9] легли в основу разработки метода и режимов очистки гетерогенного газового потока в специальной экспериментальной установке с коаксиальным газодинамическом электрофильтром (ГДЭ), который одинаково хорошо улавливает крупные и мелкие (до 1 мкм) частицы из дыма. Апробация работы установки ГДЭ с целью последующего улавливания наноразмерного золота из дымовых газов тепловых электростанций и котельных является задачей данного исследования.

**Экспериментальная установка.** Разработанная экспериментальная установка, содержащая ГДЭ, представлена на рисунках 1, 2. Уголь размером 1–5 мм и массой 1 кг засыпали в корпус установки ГДЭ (1) через верхнее отверстие со снятой заглушкой (6). Туда же опускали нихромовую спираль для его поджигания. Внутри корпуса (1) от кислородного баллона (12) через редуктор (13), по кислородопроводу (14), ротаметр (15) и штуцер (16), подавался кислород с расходом 3–5 л/мин. Далее включался источник питания высокого напряжения (18) и на коронирующий провод (9), расположенный аксиально внутри нижнего теплообменника (8) цилиндрической формы, подавали высокое напряжение (до 20 кВ).

При этом с коронирующего провода на внутреннюю поверхность нижнего теплообменника зажигался коронный разряд. Нихромовый поджигатель от аккумулятора поджигал уголь, который далее самостоятельно горел в потоке кислорода.

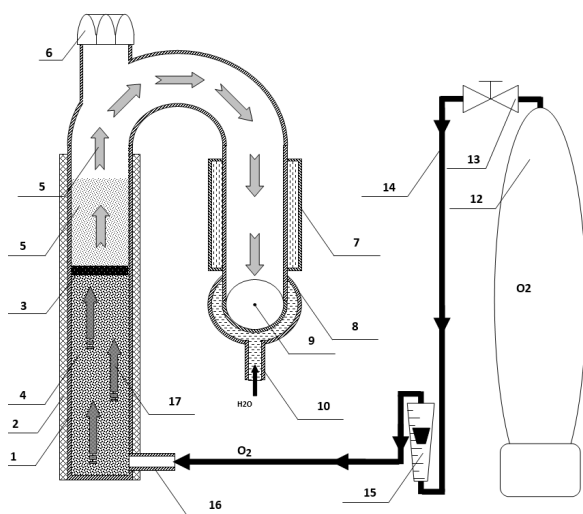


Рисунок 1 – Принципиальная схема ГДЭ (вид сбоку):  
 1. Корпус ГДЭ. 2. Уголь. 3. ФГ и газификация угля, распространяющегося навстречу потоку кислорода. 4. Коксовый остаток. 5. Выход продуктов горения и газификации угля. 6. Заглушка. 7. Верхний теплообменник. 8. Нижний теплообменник. 9. Коронирующий провод. 10. Штуцер подачи охлаждающей жидкости (воды). 12. Кислородный баллон. 13. Редуктор. 14. Кислородопровод. 15. Ротаметр. 16. Штуцер подачи кислорода. 17. Поток кислорода в угле.  
 Штуцер выхода теплой воды из нижнего теплообменника и штуцеры входа и выхода воды из верхнего теплообменника показаны на рисунке 2

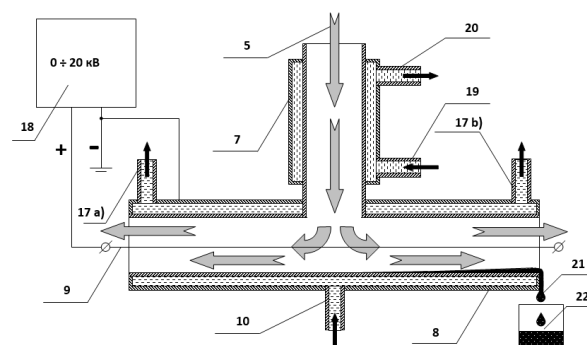


Рисунок 2 – Принципиальная схема устройства ГДЭ (фронтальный вид): 7. Нижний теплообменник. 10. Вход охлаждающей жидкости (воды) в нижний теплообменник. 9. Коронирующий провод. 17, а, б. Выход воды из нижнего теплообменника. 18. Источник питания высокого напряжения прямой полярности (0÷20 кВ). 6. Верхний теплообменник. 5. Направление движения газообразных продуктов горения и пиролиза угля. 19. Вход воды в верхний теплообменник. 20. Выход воды из верхнего теплообменника. 21. Конденсат продуктов пиролиза угля. 22. Сосуд для сбора конденсата пиролиза угля

После этого спираль извлекали, а верхнее отверстие закрывали заглушкой (6). Дымовые газы и продукты пиролиза угля (5) при этом начинали перемещаться по направлению к верхнему теплообменнику (7). Здесь они несколько охлаждались и далее входили в середину ГДЭ, изготовленного в виде перевернутой буквы Т (рисунок 2). Под действием коронного разряда в ГДЭ твердые и жидкие продукты газификации угля заряжались положительным потенциалом и под действием электрического поля оседали на внутренней поверхности нижнего теплообменника (8). Здесь же скапливался конденсат пиролиза угля (21), стекал по нижней поверхности теплообменника за его пределы, и собирался в специальном сосуде (22). Предполагалось, что практически все нанозолото будет находиться в конденсате пиролиза угля. Поэтому необходимо, чтобы экспериментальная установка была слегка наклонена в направлении сосуда для сбора конденсата.

**Обсуждение.** В данной установке одновременно работают два механизма осаждения нанозолота: первый – конденсация продуктов горения

и пиролиза, при которой частицы нанозолота оказываются внутри конденсата, второй – осаждение заряженных частиц в газодинамическом вихре ГДЭ на внутреннюю поверхность нижнего теплообменника (7). Для максимального увеличения степени извлечения нанозолота необходима максимальная комбинация обоих механизмов. Так, при конденсации компонентов горения и пиролиза угля одновременно происходит снижение температуры неконденсирующихся компонентов, объем этих продуктов сокращается, что приводит к сокращению скорости прохода этих продуктов через ГДЭ и увеличению степени их очистки. Поэтому нижний теплообменник служит для еще большего охлаждения продуктов горения и пиролиза угля. Проведенные эксперименты по сжиганию углей в данной установке выявили полное улавливание дыма и образование пиролизного конденсата. Выделенный конденсат подвергся химическому анализу. Результаты исследований будут опубликованы позже.

**Выводы.** Разработана и успешно опробована экспериментальная установка ГДЭ по очистке гетерогенных газовых потоков при сжигании углей

встречным потоком кислорода, на базе которой разработана методика очистки гетерогенных газовых потоков со степенью улавливания частиц размером до 1 мкм – 99,9 %.

**Литература**

1. Экотехника / под ред. Л.В. Чекалова. Ярославль: “Русь”, 2004. 424 с.
2. Ашмарин Г.В. Электрофильтрация газов и теплообмен в импульсном разряде: дис... канд. физ.-мат. наук / Г.В. Ашмарин Бишкек: Изд-во КРСУ, 2009.
3. Токарев А.В. Коронный разряд и его применение / А.В. Токарев. Бишкек: Изд-во КРСУ, 2009. С. 42–45.
4. Арбузов С.И. Аномальные концентрации золота в бурых углях и торфах юго-восточной части Западносибирской плиты / С.И. Арбузов, Л.П. Рихванов, С.Г. Маслов, В.С. Архипов, З.И. Павлов // Изв. ТПУ. 2007. № 7. Т. 307. Инжиниринг георесурсов. С. 78–84.
5. Гамов М.И. Металлы в углях / М.И. Гамов, Н.В. Грановская, С.В. Левченко. Ростов н/Д: Изд. Южн. федер. ун-та, 2013. С. 65.
6. Кузьминых В.М. Установка для извлечения золота из дымовых газов / В.М. Кузьминых, А.П. Сорокин, А.Н. Лебедев, В.Л. Подберезный, П.Р. Курбатов. Патент РФ № 93803.
7. Шприт В.В. Способ извлечения золота из золотосодержащего природного сырья / В.В. Шприт, А.Д. Рубан. Патент РФ № 2471008.
8. Богданов А.С. Осаждение субмикронных частиц в коаксиальном электрофилтре / А.С. Богданов, В.М. Лелевкин, А.В. Токарев // Вестник КГНУ им. Ж. Баласагына. 2015. С. 21–24.
9. Куимова Н.Г. Экспериментальное моделирование процессов концентрирования золота в торфах / Н.Г. Куимова, Л.М. Павлова, А.П. Сорокин, Л.П. Носкова // Литосфера. 2013. № 4. С. 203.