

УДК 621.18:621.315.592.3

СОЗДАНИЕ МЕТОДОВ КАТАЛИТИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ НЕЙТРАЛИЗАТОРОВ УХОДЯЩИХ ГАЗОВ

Лёгкий А.Д., Злобин В.Н., Кудашев А.С., Карапузова Н.Ю., Мензелинцев Н.В.

*Институт архитектуры и строительства Волгоградского государственного
технического университета, Волгоград, e-mail: aist@vgasu.ru*

Рассмотрен метод модернизации схемы горелочного устройства котлоагрегатов. Показана схема работы газогорелочного устройства без использования каталитического дожигателя. Приведена схема каталитического дожигателя, с помощью которого происходит более полный процесс выхода диоксидов углерода, азотистых и сернистых соединений. Приведен пример химических соединений для ионного легирования решетчатых устройств каталитического дожигателя. Приведена схема изменения концентрации оксидов углерода, азотистых и сернистых соединений в зависимости от длины факела на горелке. Показано уменьшение вредных выбросов оксидов серы, азота и углерода с установленным на горелке каталитическим дожигателем. Описан процесс ионного легирования в установке ионной имплантации для решеток каталитического дожигателя, в результате которого отсутствует раздел между атомами легированного слоя и материалом, который подвергается легированию, вследствие чего отсутствует коррозия данных решеток. Каталитический дожигатель позволяет проводить более глубокий процесс сжигания топлива, а также повышает экономичность котлоагрегата. Также описан способ ионного легирования, как процесс имплантации ионов на любом материале решетчатых устройств. Показано, что химические соединения для ионного легирования решетчатых устройств могут быть различными, в зависимости от требуемой полноты сжигания топливной смеси, а также предела допустимой концентрации уходящих топочных газов котла.

Ключевые слова: горелочное устройство, оксид углерода, оксид азота, оксид серы, каталитический дожигатель, топливная смесь

DEVELOPMENT OF CATALYTIC COATING METHODS FOR FLUE GAS CONVERTERS

Legkiy A.D., Zlobin V.N., Kudashev A.S., Karapuzova N.Yu., Menzelintseva N.V.

*Institute Volgograd State Technical University Institute of Architecture and Construction
of Volgograd State Technical University, Volgograd, e-mail: aist@vgasu.ru*

The method of modernization of the burner circuit of boiler units is considered. The diagram of the operation of the gas-burner device without the use of a catalytic afterburner is shown. A schematic diagram of a catalytic afterburner, with the help of which a more complete process of the release of carbon dioxide, nitrogenous and sulfur compounds, occurs. An example of chemical compounds for ion doping of lattice devices of a catalytic afterburner is given. A diagram of the change in the concentration of carbon oxides, nitrogenous and sulfur compounds, depending on the length of the torch on the burner, is given. A reduction of harmful emissions of oxides of sulfur, nitrogen and carbon is shown with a catalytic afterburner installed on the burner. The process of ion doping in an ion implantation unit for catalytic afterburner gratings is described, as a result of which there is no separation between the atoms of the alloyed layer and the material being doped, as a result of which there is no corrosion of these gratings. The catalytic afterburner allows for a deeper fuel combustion process, as well as an increase in the efficiency of the boiler unit. Also described is the method of ion doping, as the process of implantation of ions on any material of lattice devices. It is shown that the chemical compounds for ionic alloying of lattice devices can be different, depending on the required completeness of combustion of the fuel mixture, as well as the limit of the permissible concentration of the flue gases of the boiler.

Keywords: burner, carbon monoxide, nitrogen oxide, sulfur oxide, catalytic converter, fuel mixture

В настоящее время на энергетических котлах установлены газомазутные горелочные устройства для преобразования химической энергии топлива в потенциальную энергию, для нагрева питательной воды и её перехода в острый пар высокого давления. Однако в данных горелочных устройствах котлоагрегатов существует недожог топлива в виде окислов сульфатов, углеродных и азотистых соединений, что повышает общий удельный расход топлива котла, а также снижает его КПД в целом.

Данная статья посвящена исследованию работы каталитического дожигателя на газомазутные горелочные устройства паровых, водогрейных, энергетических котлов.

Материалы и методы исследования

Основное теплоэнергетическое оборудование котельных и теплоэлектроцентралей, работающих на органическом топливе, таком как газ, мазут, уголь, процесс сжигания которых происходит при помощи газогорелочных устройств, является одним из основных источников загрязнения атмосферного воздуха. При сжигании органических видов топлив в теплоэнергетических установках в атмосферу выбрасывается большое количество вредных веществ: оксиды азота (NO и NO_2), оксиды серы (SO_2 и SO_3), твердые частицы (зола, пыль, сажа), а также в меньших количествах ок-

сид углерода (CO), альдегиды (в основном HCHO) [1]. В большинстве промышленных районов крупных городов обнаруживаются следующие массовые доли недожога топлива в атмосферу: оксиды углерода около 50 %, оксиды серы около 20 %, твердые частицы около 16–20 %, оксиды азота 6–8 %, углеводороды 2–5 %. Также при более высоком содержании оксидов азота, ПДК которых составляет 0,085 мг/м³ по сравнению с 0,5 мг/м³ для пыли и сернистого ангидрида и 5 мг/м³ для оксида углерода, их массовая доля в загрязнении наружного воздуха оценивается в интервале 30–35 %, в последующем уменьшении процентной массовой доли следуют оксиды серы, углерода, а также твердые продукты химического недожога топлива [2]. Но на сегодняшний день стоимость на рынке промышленных воздухоочистных устройств для улавливания и обезвреживания уходящих дымовых газов от содержания описанных химических соединений сопоставима со стоимостью самого теплоэнергетического оборудования.

В настоящее время развитие газомазутных горелочных устройств идет в направлении повышения качества газовой смеси на выходе из горелки, при помощи более интенсивного распыления смеси. Данное мероприятие позволяет уменьшить количество оксидов азота в интервале 70–90 %, при сжигании мазута и природного газа и на 55–60 % при сжигании угля [3].

Основным способом сжигания газовой смеси в котлоагрегатах являются газогорелочные устройства, в которых происходит процесс смешивания органического топлива с воздухом и последующее горение вещества [4]. Схема факела вихревой горелки представлена на рис. 1 [5].

Зона L_{ϕ} является длиной факела горелки, которая объединяет в себя три зоны горения: зону смешения, основную зону и зону догорания.

Участок смешения топливной смеси с воздухом является начальным этапом процесса горения $L_{\text{н}}$, где воздух подается на запальник горелки. В чашу горелки подается топливная смесь, раскручиваясь, создает вихревой поток, повышающий эффективность горения.

В основной L_0 зоне горения происходит смешение потоков воспламененной топливоздушной смеси с продуктами сгорания, переходящими с зоны догорания факела.

Зона догорания газовой смеси $L_{\text{д}}$ является зоной окончания сгорания топлива, где его концентрация снижается вследствие попутных продуктов недожога топлива.

В зависимости от конструктивных особенностей горелки котлоагрегата процесс подачи топливной смеси в горелку, а также воздушной смеси зоны факела горелки могут быть различными. Также может быть различной длина факела горелки в зависимости от режима работы котельного оборудования. Но для рассмотрения общего вида, а также конструкции каталитического дожигателя за основу будет принято именно горелочное устройство данного типа.

Каталитический дожигатель будет рассмотрен на одну горелку котла, в качестве наглядности ее технического устройства. Помимо этого, число, форма и расположение решетчатых устройств в дожигателе также будет условным. Легированный материал, нанесенный на поверхность нижнего решетчатого устройства, принимается за MOSi_2 , а верхнее решетчатое устройство за VSi_2 .

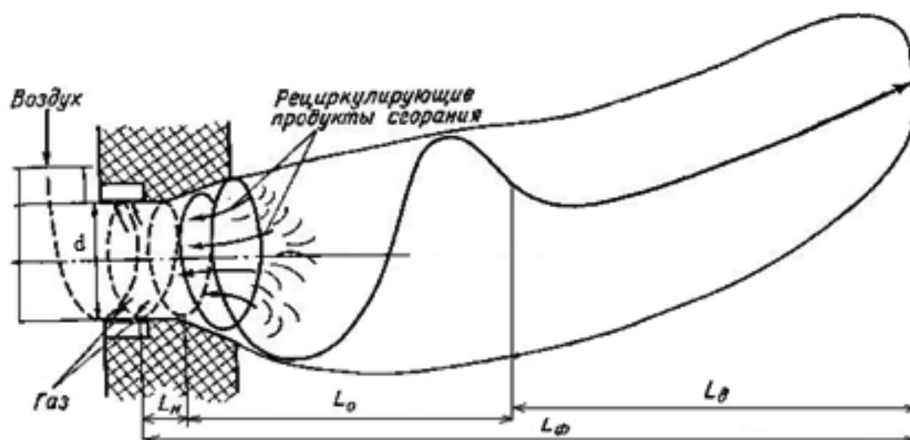


Рис. 1. Схема факела вихревой горелки [5]

Расстояние от горелочного устройства котлоагрегата до дожигателя учитываться не будет. Также не будут учтены степень загрузки горелки и качество топливоздуш- ной смеси.

Для улучшения режима работы котла и более полного процесса сгорания оксидов углерода, азота и серы предлагается установка каталитического дожигателя. Схема дожигателя представлен на рис. 2.

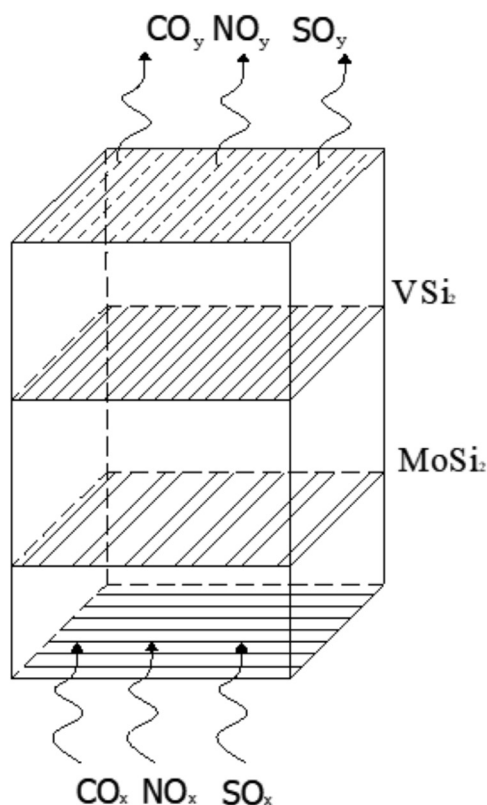


Рис. 2. Схема каталитического дожигателя

Наибольший коэффициент токсичности в газовой смеси, учитывающий массовый выброс и предельно допустимые концентрации (ПДК), имеют оксид углерода — CO_x , оксид азота — NO_x и оксид серы — SO_x . Именно по этим наиболее токсичным и представительным компонентам в мировой практике осуществляется нормирование выбросов в атмосферу отработавших газов котельных агрегатов [3].

Для нейтрализации данных соединений с целью повышения ПДК и более глубокого процесса сжигания топлива горелочными устройствами предлагается установка каталитического дожигателя.

Устройство каталитического дожигателя состоит в следующем. Сварная конструкция (рис. 2) устанавливается над ярусом горелок. Затем газоздушная смесь,

в составе которой находятся оксид углерода — CO_x , оксид азота — NO_x и оксид серы — SO_x , проходя через легированные решетки VSi_2 и MoSi_2 , вследствие процесса замещения переходит в продукты частичного сгорания топливной смеси, что приводит к увеличению химической энергии топлива, а также к снижению ПДК уходящих топочных газов. На каждом уровне каталитического дожигателя установлены легированные решетки различной толщины, формы и с различным межячейковым расстоянием, с целью наилучшего улавливания компонентов оксидов углерода, азота и серы, а также при зарастании решеток продуктами не сгорания, сохранить проходную способность топливной смеси через дожигатель. Пройдя решетчатые устройства, выходящие топочные газы уходят с содержанием CO_y , NO_y , SO_y , т.е. с уменьшенным составом токсичных веществ оксидов углерода, азота и серы. Что позволяет уменьшить недожог топлива и ПДК уходящих топочных газов.

При верхнем и нижнем ярусах горелок котлоагрегата существует возможность двухступенчатой установки дожигателя. На нижнем ярусе решетки каталитического дожигателя будут легированы элементами преимущественно для более полного дожигания топлива. Верхний ярус дожигателей возможно пролегируют веществами для более полной нейтрализации токсичных веществ, находящихся в составе уходящего топочного газа.

При высоких температурах топочной части котла, вырабатывающей пар или воду с высокими физическими параметрами, возникает необходимость в создании жаропрочного каркаса каталитического дожигателя, для сохранения необходимых механических параметров. Для этой цели существует возможность обработки корпуса легирующими веществами с высокими жаростойкими свойствами.

Следует учитывать, что существуют различные вариации горелок: для определенного вида органического топлива, разных форм, конструкций, насадок и расположения в камере сгорания котла. Геометрическая конструкция каталитического дожигателя может быть вариативной, от сферической и пирамидальной до цилиндрической и кубической, что позволяет производить монтаж данных дожигателей практически в любой котлоагрегат.

Во внешний слой решеток дожигателя внедряют атомы веществ, способных в ходе химической реакции проводить доокисление оксидов по следующим формулам [4]:



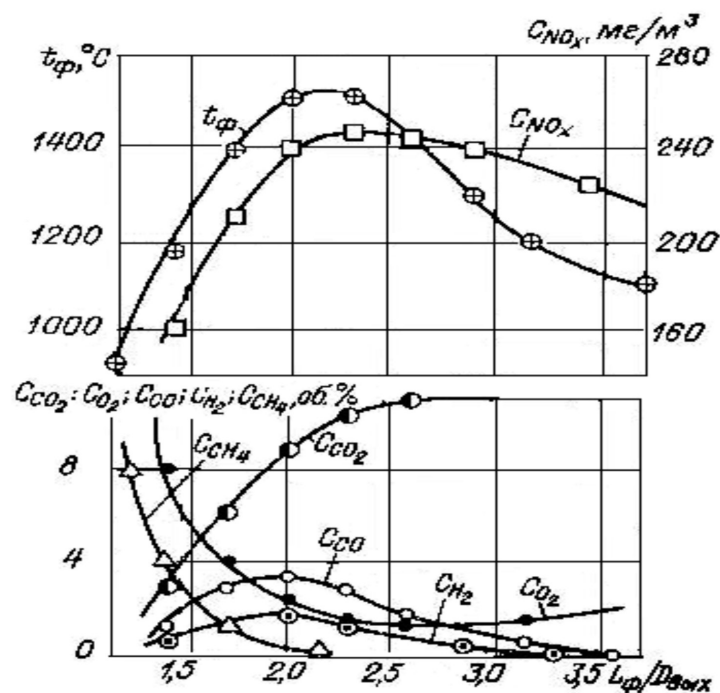


Рис. 3. График изменения концентраций продуктов сгорания [5]



Процесс доокисления оксидов углерода, азота и серы может протекать в различных участках факела горелки неравномерно, в зависимости от температуры топливо-воздушной смеси [4]. График температурных зон концентрации продуктов сгорания представлен на рис 3 [5].

В результате для ионного обмена были выявлены следующие химические соединения в порядке уменьшения эффективности реакции дегидрирования [6]:



где MoSi_2 – дисилицид молибдена, WC – карбид вольфрама, Mo_2C – карбид молибдена, V_3Si – силицид ванадия, ZrC – карбид циркония, Mo_3Si – силицид молибдена, TiC – карбид титана, CrB_2 – борид хрома.

Для создания легированных сеток использовался метод ионного легирования материалов. Суть данного легирования заключается в том, что решетчатое устройство каталитического дожигателя «А» помещается в специальную камеру 1, откуда форвакуумным насосом 2 создается разрежение и затем через деталь пропускается электрический разряд для создания электрического

и магнитного поля [7]. Затем через распылитель 3 осуществляется подача химических соединений дисилицида молибдена, либо карбида вольфрама, либо других веществ, описанных выше. Вследствие ионной имплантации, управление которой осуществляется через специальный блок 4 управления, происходит нанесение необходимого слоя требуемой толщины на рассматриваемую деталь [8]. Схема установки представлена на рис 4.

Заключение

К преимуществам установки каталитического дожигателя на горелочные устройства котлоагрегатов можно отнести:

- простоту конструкции и установки каталитического дожигателя;

- химические соединения для ионного легирования решетчатых устройств могут быть различными, в зависимости от требуемой полноты сжигания топливной смеси, а также предела допустимой концентрации уходящих топочных газов котла;

- отсутствие атомного раздела между легированным слоем и материалом, который подвергается легированию, вследствие чего отсутствует коррозия данных решеток;

- ионное легирование позволяет проводить имплантацию ионов на любом материале решетчатых устройств;

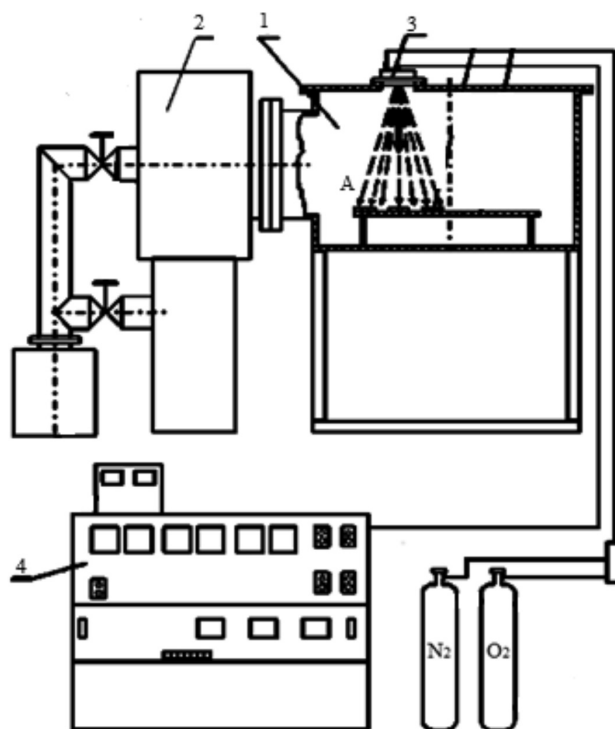


Рис. 4. Схема установки ионной имплантации

– каталитический дожигатель позволяет проводить более глубокий процесс сжигания топлива, что позволяет повысить экономичность котлоагрегата;

– меньший ПДК уходящих топочных газов позволяет улучшить экологическую обстановку промышленных районов городов за счет уменьшенной концентрации оксидов углерода, азота и серы;

– уменьшенная концентрация токсичных соединений в уходящих топочных газах позволяет разгрузить фильтрующие устройства или отключить их полностью.

Список литературы

1. Теплотехника: учеб. для инженер.-техн. специальностей вузов / Под ред. А.П. Баскакова. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Бастет, 2010. 324 с.
2. Делягин Г.Н., Лебедев В.И. Теплогенерирующие установки: учеб. для вузов по специальности «Теплогазоснабжение и вентиляция». Изд. 2-е, перераб. и доп. М.: Бастет, 2010. 622 с.
3. Известия Волгоградского государственного технического университета: межвуз. сб. науч. ст.: № 12 (115). Волгоград: ВолгГТУ, 2013. 112 с.
4. Фокин В.М., Володин В.В., Глухарев В.А. Основы теплообмена в тепловых установках предприятий ЖКХ и АПК: учеб. пособие / Федер. агентство по образованию, Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-т. Волгоград: Изд-во ВолгГАСУ, 2009. 106 с.
5. Куш Л.Р. Оптимизация работы систем теплоснабжения с котельными установками малой мощности с целью снижения образования оксидов азота: дис. ... канд. техн. наук. Волгоград, 2010. 148 с.
6. Кулакова И.И., Лисичкин Г.В. Каталитическая химия. Ч. 1. Основы катализа // МГУ, конспект лекций по спецкурсу для студентов IV курса химического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова. М., 2014. 112 с.
7. Злобин В.Н. Техника и технология ионного легирования: учебное пособие / Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Волгоградский государственный технический университет. Волгоград: Изд-во ВолгГТУ, 2020. 69 с.
8. Злобин В.Н., Васильев И.П. Нанесение каталитических покрытий способом ионной имплантации в двигателестроении. Волгоград, Луганск, 2018. 210 с.