

УДК 697.245

А. Д. Легкий, И. В. Стефаненко, Н. Ю. Карапузова, И. А. Обиднов

Волгоградский государственный технический университет

СОЗДАНИЕ МЕТОДА ОТЧИСТКИ ДИНАМИЧЕСКОГО КАТАЛИТИЧЕСКОГО ДОЖИГАТЕЛЯ

Рассмотрена модернизация схемы динамического каталитического дожигателя для отчистки легированных лопаток рабочих колес динамического каталитического дожигателя от продуктов недожога, содержащихся в топливной смеси на выходе из горелочных устройств. Описан процесс отчистки легированных лопаток рабочих колес дожигателя и экстракции соединений оксидов углерода, азота и сернистых соединений с помощью выдвижного лотка, установленного в диффузоре дожигателя.

К л ю ч е в ы е с л о в а: динамический каталитический дожигатель, легированные лопатки, очистка динамического дожигателя, рабочие колеса дожигателя.

Введение

Энергетика является значительным отраслевым сектором многих стран мира. Однако производство электроэнергии негативно сказывается на окружающей среде, приводя к ее загрязнению, особенно воздушного пространства. Тепловые станции выделяют вредные вещества, которые представляют опасность для здоровья людей и животных. Среди опасных компонентов выделяются следующие химические соединения: оксиды углерода, азота и серы — соответственно CO_x , NO_x и SO_x . Они обладают высокой токсичностью и способствуют формированию кислотных дождей, которые негативно воздействуют на природу.

По результатам исследований, наиболее токсичными веществами являются оксиды углерода. Кроме того, они играют важную роль в климатологических прогнозах, т. к. являются одними из основных парниковых газов. По этой причине правительства многих стран активно поддерживают разработку новых технологий и методов снижения уровня выбросов вредных веществ в атмосферу [3—6]. Одним из таких методов является установка динамического каталитического дожигателя, который обеспечивает более эффективный процесс сжигания топлива.

Существующая схема динамического каталитического дожигателя, установленного над горелочными устройствами котельных агрегатов для доокисления продуктов недожога, содержащихся в органических видах топлива [1, 2], не предполагает отчистки легированных лопаток рабочих колес дожигателя. Вследствие неполной реакции окисления продуктов недожога, находящихся в газовой смеси, происходит загрязнение устройства, что приводит к снижению площади соприкосновения оксидов углерода, азота и сернистых соединений с каталитическим легированным слоем, нанесенным на лопатки рабочего колеса дожигателя, и ухудшению эксплуатационных характеристик каталитических лопаток дожигателя, уменьшению коэффициента полезного действия (КПД) установки в целом.

Цель исследования

Целью данного исследования является разработка метода отчистки динамического катализатора теплоэнергетических установок для повышения их производительности и экономии топливных ресурсов при работе на различных видах топлив. Исследование включает:

- анализ работы динамического каталитического дожигателя;
- обзор по проведению оптимальных условий очистки;
- изучение воздействия процесса очистки на характеристики работы теплоэнергетических установок.

Данный обзор позволяет использовать новые методы и технологии для повышения эффективности использования топлив в теплоэнергетическом оборудовании.

Материал и методы исследования

Установка дожигателя применяется для удаления остатков органических материалов после сгорания топлива. Это оборудование существенно снижает выброс вредных веществ в атмосферу, таких как CO_x , NO_x и SO_x . Однако для его эффективной работы необходимо соблюдение определенных условий. Прежде всего, обеспечение стабильного режима работы теплоэнергетической установки, чтобы ее функционирование не прерывалось и не сопровождалось сбоями [7—9]. Тщательный контроль качества поступающего топлива является еще одним из основных условий предотвращения возможных проблем с работой теплоэнергетического оборудования. В этом смысле динамический каталитический дожигатель имеет стратегическое значение в сохранении окружающей среды и защите здоровья людей. Его использование способствует снижению выбросов вредных веществ в атмосферу, благоприятно влияет на состояние экосистемы и общее благосостояние человечества.

Основная часть

Для нейтрализации вредных веществ и с целью повышения КПД и более полного процесса сжигания топлива горелочными устройствами предложена установка динамического каталитического дожигателя. Схема дожигателя представлена на рис. 1.

Принцип работы динамического каталитического дожигателя заключается в следующем. Смесь газа и воздуха, выходящая из сопла горелки, направляется во входной патрубок дожигателя — конфузор 1. В нем, благодаря аэродинамическим силам, смесь ускоряется и проходит через рабочие колеса дожигателя 3—5. Поток смеси приводит колеса во вращение относительно вала дожигателя 7, что обеспечивает эффективную работу устройства. Корпус динамического каталитического дожигателя 2 представляет собой компоновку из трех последовательно установленных ступеней рабочих колес. Эти колеса расположены вертикально на валу дожигателя. Каждое рабочее колесо проходит процедуру ионного легирования, во время которой на его поверхность наносятся покрытия из силицидмолибдена (Mo_3Si), дисилицидмолибдена (MoSi_2) и силицидванадия (V_3Si) [10—15]. Продукты неполного сгорания, находящиеся в газовой смеси, при контакте с покрытием лопаток рабочих колес устройства вступают во взаимодействие с добавленными элементами, и в результате каталитического действия реакции окисления протекают до конца. Образовавшиеся газы направляются в камеру сгорания котельного агрегата через устройство для увеличения давления — диффузор 6.

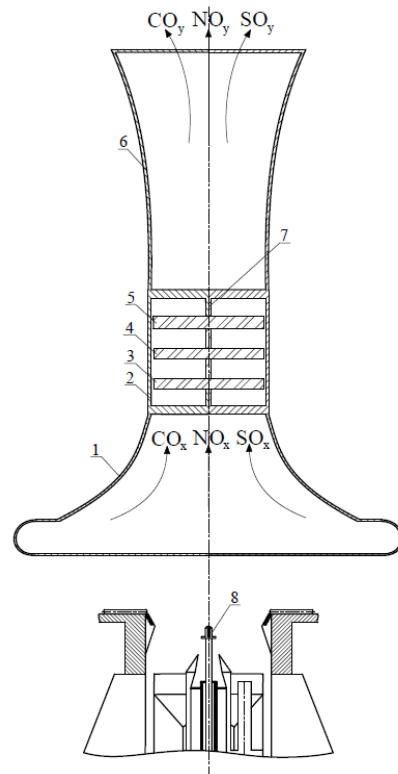


Рис. 1. Схема динамического каталитического дожигателя: 1 — конфузор; 2 — корпус дожигателя; 3, 4, 5 — рабочие колеса; 6 — диффузор; 7 — вал рабочих колес; 8 — горелочное устройство котлоагрегата

Для достижения равномерного выхода диоксидов углерода, азота и сернистых соединений применяется несоосное расположение легированных лопаток рабочих колес дожигателя. Благодаря этому расположению газозвушная смесь проходит реакцию доокисления на поверхности нижних лопаток рабочего колеса и переходит на рабочие лопатки следующего рабочего колеса. В результате данного процесса рабочие лопатки следующего рабочего колеса начинают вращаться относительно посадочного вала. В связи с прохождением через легированные лопатки дожигателя продуктов недожога и неполнотой процесса их дегидрирования при длительной эксплуатации дожигателя на ребрах легированных лопаток откладываются продукты недожога газозвушной смеси и их соединения.

Для решения данной проблемы предлагается продувочная система, подведенная с линии подачи воздуха на горелку в корпус дожигателя. Схема продувки рабочих

колес динамического каталитического дожигателя приведена на рис. 2.

Воздушная линия продувки подводится в корпус дожигателя 5 и через форсунки 6 направляется на легированные лопатки рабочих колес 9, 10, 11, расположенных на валу дожигателя 4, приводя их во вращение, обратное при прохождении газозвушной смеси. Схема врезки воздушных форсунок в корпус дожигателя приведена на рис. 3.

При продувке рабочих колес дожигателя для направления потока в нижнюю часть дожигателя, корпус закрывается диафрагмой 7. Расположение диафрагмы на валу дожигателя приведено на рис. 4.

Воздушные форсунки располагаются под углом, обеспечивающим создание вихревого потока, приводящего во вращения рабочие колеса дожигателя. Реверсивный воздушный поток, уносящий продукты недожога, не вступившие в реакцию окисления, проходя через конфузор дожигателя 3, выходит через продувочное кольцо 2. Продукты недожога, не вступившие в реакцию окисления, состоящие из крупнодисперсных частиц большей массы, попадают на абсорбционную тарелку 12, где оседают в улавливающих ячейках 13. Схема установки и экстракции абсорбционной тарелки приведена на рис. 5.

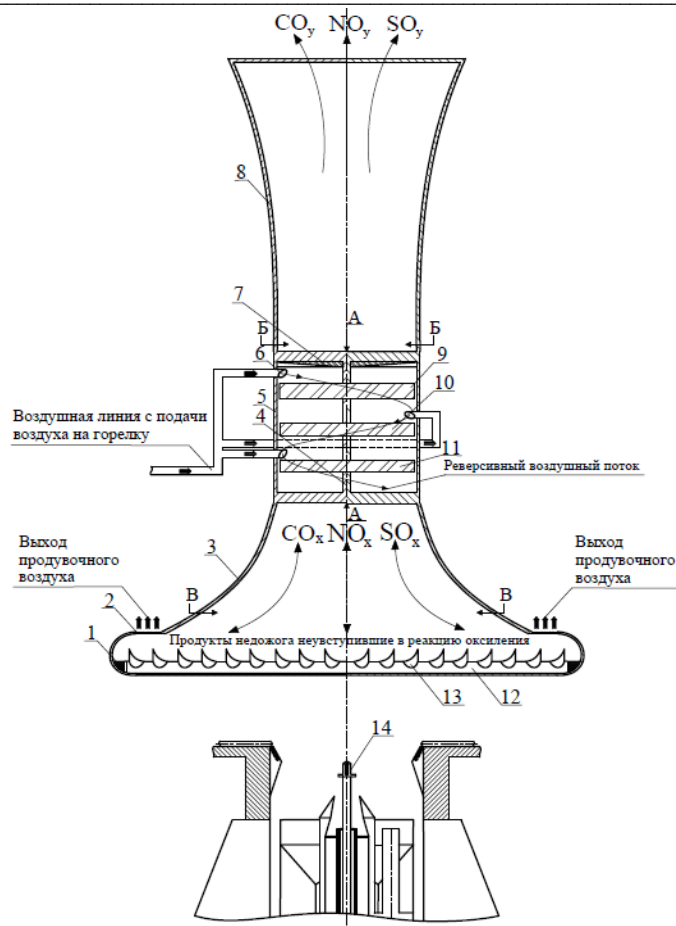


Рис. 2. Схема очистки динамического каталитического дожигателя:
 1 — направляющие; 2 — продувочное кольцо; 3 — конфузор; 4 — вал дожигателя;
 5 — корпус дожигателя; 6 — воздушная форсунка; 7 — диафрагма; 8 — диффузор;
 9, 10, 11 — рабочие колеса; 12 — абсорбционная тарелка; 13 — улавливающие ячейки;
 14 — горелочное устройство котлоагрегата

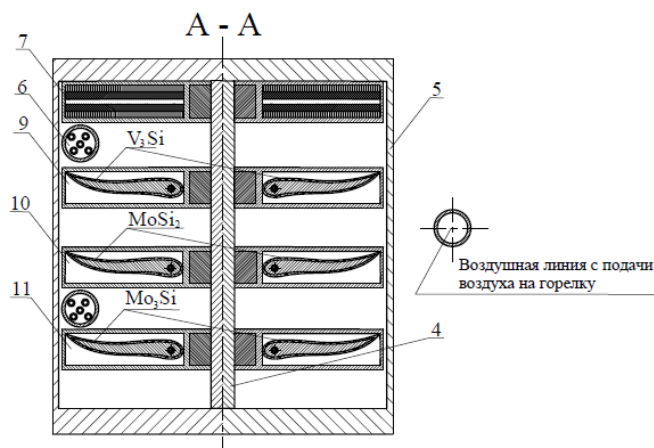


Рис. 3. Схема врезки воздушных форсунок в корпус дожигателя

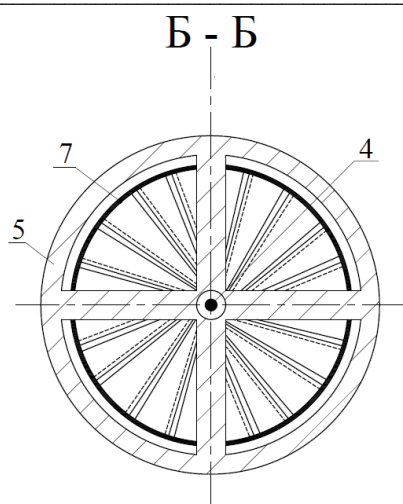


Рис. 4. Расположение диафрагмы на валу дожигателя

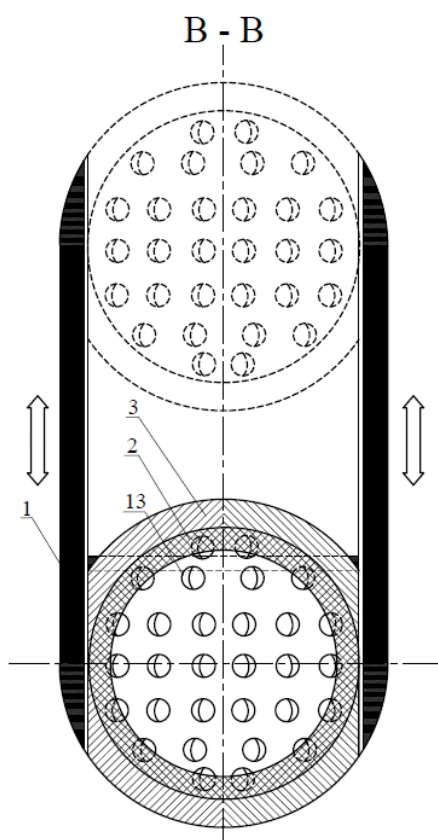


Рис. 5. Схема установки и экстракции абсорбционной тарелки

В рабочем состоянии абсорбционная тарелка находится вне дожигателя, не препятствуя прохождению газовой смеси. В режиме продувки легированных лопаток горелочное устройство отключается, открывается шибер 13, для подачи абсорбционной тарелки 12 по направляющим 1 в конфузор дожигателя 3 для улавливания крупнодисперсных частиц, уносимых продувочным потоком воздуха. Мелкодисперсные частицы удерживаются в межрешетчатом пространстве продувочного кольца 2. Осевшие частицы нагара удаляются путем отключения подачи воздушного потока на рабочие лопатки дожигателя для экстракции абсорбционной тарелки с последующим удалением и утилизацией продуктов недожога. Далее происходит открытие диафрагмы, расположенной на валу дожигателя, и включение в работу горелочного устройства.

Из-за особенностей подключения динамического каталитического дожигателя к системе продувки рабочих колес, которая обеспечивается с воздушной линии подачи на горелочное устройство, существует возможность регулирования расхода воздуха. Это позволяет контролировать вращение рабочих колес в зависимости от уровня загрязнения легированных лопаток, а также скорость вращения, чтобы избежать возможной избыточной динамической нагрузки на рабочий вал и колеса дожигателя.

Процесс отчистки динамического каталитического дожигателя можно осуществлять дистанционно с панели щита управления котельным агрегатом, что упрощает обслуживание и контроль работы горелочного устройства в паре с дожи-

гательем, а также включение системы очистки легированных лопаток рабочих колес дожигателя.

Выводы

К преимуществам установки продувочной системы динамического каталитического дожигателя можно отнести:

- эффективность конструкции динамического каталитического дожигателя в сравнении с установкой каталитического дожигателя;
- возможность широкого выбора химических соединений для ионного легирования лопаток дожигателя в зависимости от требуемой полноты сжигания топливной смеси, а также ПДК уходящих топочных газов котла;
- отсутствие четкой границы раздела между слоем каталитического покрытия и лопатками рабочих колес дожигателя, которые подвергались ионному легированию, что повышает механическую прочность покрытия;
- динамический каталитический дожигатель позволяет проводить более равномерный процесс доокисления продуктов недожога топлива вследствие равномерного вращения рабочих колес, а также наиболее эффективного улавливания продуктов недожога, содержащихся в газовой смеси на выходе их горелочного устройства, в сравнении с установкой каталитического дожигателя;
- повышение эффективности очистки легированных лопаток рабочих колес дожигателя без значительного изменения его конструкции;
- подача воздуха для продувки лопаток дожигателя осуществляется с линии подачи воздуха на горелку, делая процесс экономичным с точки зрения энергозатрат;
- установленная диафрагма в продувочном режиме обеспечивает направленное движение воздушного потока к легированным лопаткам дожигателя, а также предотвращает попадание загрязненного воздушного потока в топочную часть котлоагрегата;
- простая конструкция улавливания и удаления продуктов недожога при помощи абсорбционной тарелки позволяет избежать загрязнения сопла горелки;
- возможность автоматизации управления системой очистки динамического дожигателя с панели щита управления котельного агрегата.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Barbera E., Mio A., Pavan A. M., Bertucco A. Fuelling power plants by natural gas: An analysis of energy efficiency, economical aspects and environmental footprint based on detailed process simulation of the whole carbon capture and storage system // *Energy Conversion and Management*. 2022. Vol. 252. Iss. 4. Pp. 115072.
2. . Fuel Pretreatment Systems in Modern CI Engines / J. Eliaz, T. Osipowicz, K. F. Abramek, Z. Matuszak, L. Mozga // *Catalysts*. 2020. Vol. 10. P. 696.
3. Кошкарёв С. А., Кошкарёв К. С. Повышение экологической безопасности предприятий стройиндустрии при снижении выбросов пыли и отходов от систем обеспыливания с пылеуловителями фильтрующе-псевдоожиженного слоя дисперсного материала // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура*. 2022. Вып. 3(88). С. 255—267.
4. Путькин Д. П., Оводков М. В., Азаров В. Н. Актуальные задачи эксперимента по кво-тированию выбросов загрязняющих веществ и подходы к их решению // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура*. 2022. Вып. 4(89). С. 209—221.

5. Создание методов каталитических покрытий для нейтрализаторов уходящих газов / А. Д. Легкий, В. Н. Злобин, А. С. Кудашев, Н. Ю. Карапузова, Н. В. Мензелинцева // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2020. № 12. С. 70—74.
6. Легкий А. Д., Злобин В. Н., Кудашев А. С., Карапузова Н. Ю. Каталитический дожигатель: патент на полезную модель. RU 211537U1. URL: <https://patents.google.com/patent/RU211537U1/ru>.
7. Environmental Life-Cycle Assessment of Eco-Friendly Alternative Ship Fuels (MGO, LNG, and Hydrogen) for 170 GT Nearshore Ferry / G. N. Lee, J. M. Kim, K. H. Jung, H. Park, H. S. Jang, C. S. Lee, J. W. Lee. // Journal of Marine Science and Engineering. 2022. Vol. 10. Iss. 6. P. 755.
8. Decarbonising inland ship power system: Alternative solution and assessment method / A. Fan, J. Wang, Y. He, M. Perčić, V. Nikola, Y. Liu // Energy. 2021. Vol. 226(C). DOI: 10.1016/j.energy.2021.120266.
9. Fault prognosis control of solid oxide fuel cell system based on health evaluation / T. Cheng, H. Qin, Z. Cheng, D. Yan, L. Jia, J. Jiang, J. Li // International Journal of Hydrogen Energy. 2021. Vol. 46. No. 77. Pp. 38425—38450.
10. Molybdenum Modified Sol-Gel Synthesized TiO₂ for the Photocatalytic Degradation of Carbamazepine under UV Irradiation / C. B. Anucha, E. Bacaksiz, V. N. Stathopoulos, P. K. Pandis, C. Argiris, C.-D. Andreouli, Z. Tatoudi, I. Altin. // Processes. 2022. Vol. 10. P. 1113.
11. Hemmingsson F., Schaefer A., Skoglundh M., Carlsson P.-A. CO₂ Methanation over Rh/CeO₂. Studied with Infrared Modulation Excitation Spectroscopy and Phase Sensitive Detection // Catalysts. 2020. Vol. 10. P. 601. DOI: 10.3390/catal10060601.
12. Кулакова И. И., Лисичкин Г. В. Каталитическая химия. Часть 1. Основы катализа: конспект лекций по спецкурсу для студентов IV курса химического факультета МГУ им. М. В. Ломоносова. М.: Изд-во МГУ, 2014. 112 с.
13. Burlachenko O. V., Zlobin V. N., Burlachenko A. O. Technical Support for the Health of the Reducers of Construction Machines on the Basis of Application Device for the Application of Hard Coatings // Materials Science Forum. 2019. Vol. 945. Pp. 724—728. DOI: 10.4028/www.scientific.net?MSF.945.
14. Злобин В. Н., Васильев И. П. Нанесение каталитических покрытий способом ионной имплантации в двигателестроении. Волгоград, Луганск, 2018. 210 с.
15. Злобин В. Н. Техника и технология ионного легирования: учебное пособие. Волгоград: Изд-во ВолгГТУ, 2020. 69 с.

© Легкий А. Д., Стефаненко И. В., Карапузова Н. Ю., Обиднов И. А., 2024

Поступила в редакцию
в марте 2024 г.

Ссылка для цитирования:

Легкий А. Д., Стефаненко И. В., Карапузова Н. Ю., Обиднов И. А. Создание метода отчистки динамического каталитического дожигателя // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2024. Вып. 2(95). С. 118—125. DOI: 10.35211/18154360_2024_2_118.

Об авторах:

Легкий Александр Дмитриевич — ассистент каф. энергоснабжения, теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; alegkii@mail.ru

Стефаненко Игорь Владимирович — д-р техн. наук, проф., зав. каф. энергоснабжения, теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1

Карапузова Наталья Юрьевна — канд. техн. наук, доц., Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1

Обиднов Илья Андреевич — студент, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1

Aleksandr D. Legkii, Igor' V. Stefanenko, Natalya Yu. Karapuzova, Ilya A. Obidnov

Volgograd State Technical University

DEVELOPMENT OF A CLEANING METHOD FOR A DYNAMIC CATALYTIC CONVERTER

The modernization of the scheme of a dynamic catalytic afterburner for cleaning the alloyed blades of the impellers of a dynamic catalytic afterburner from underburning products contained in the fuel mixture at the outlet of the burner devices is considered. The process of cleaning the alloyed blades of the afterburner impellers and extraction of compounds of carbon oxides, nitrogen and sulfur compounds using a retractable tray installed in the afterburner diffuser is described.

Key words: dynamic catalytic afterburner, alloy blades, cleaning of dynamic afterburner, afterburner impellers.

For citation:

Legkii A. D., Stefanenko I. V., Karapuzova N. Yu., Obidnov I. A. [Development of a cleaning method for a dynamic catalytic converter]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2024, iss. 2, pp. 118—125. DOI: 10.35211/18154360_2024_2_118.

About authors:

Aleksandr D. Legkii — Assistant, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; alegkii@mail.ru

Igor' V. Stefanenko — Doctor of Engineering Sciences, Professor, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation

Natalya Yu. Karapuzova — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Volgograd State Technical University. 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation

Ilya A. Obidnov — Student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation