

УДК 697.245:662.61

А. Д. Легкий, Н. Ю. Карапузова, Н. М. Веселова, А. И. Жупанов

Волгоградский государственный технический университет

МОДЕРНИЗАЦИЯ СХЕМЫ КАТАЛИТИЧЕСКОГО ДОЖИГАТЕЛЯ

Приведена установка динамического каталитического дожигателя, с помощью которого происходит преобразование химической энергии топливной смеси, проходящей через каталитические лопатки рабочих колес дожигателя, в механическую энергию. Вращение рабочих колес дожигателя обеспечивает равномерность распределения продуктов недожога топлива на легированных лопатках дожигателя. Описана схема и принцип работы установки, установленной над горелочным устройством котлоагрегата.

Ключевые слова: динамический каталитический дожигатель, оксид углерода, оксид азота, оксид серы, каталитические лопатки.

Введение

Предложена установка каталитического дожигателя над горелочными устройствами котлоагрегатов для доокисления продуктов недожога, содержащихся в органических видах топлива, — оксидов углерода, азота и сернистых соединений. Однако в данной установке каталитические решетки снижают пропускную способность газовой смеси вследствие их статичности внутри корпуса, что приводит к задерживанию потока и ускорению загрязнения поверхности каталитических решеток оксидами углерода, азота и сернистых соединений, снижению эксплуатационных характеристик каталитических решеток дожигателя и его коэффициента полезного действия (КПД) в целом.

Цель исследования. Рассматривается работа динамического каталитического дожигателя при использовании в качестве топлива газо-мазутных горелок для паровых, водогрейных и энергетических котлов. Исследование проводилось с целью определения возможности повышения эффективности процесса горения за счет оптимизации состава топливного потока и режимов работы оборудования. Результаты экспериментов показали значительное улучшение характеристик работы системы благодаря использованию динамической технологии дожигания, а также улучшению распределения теплового потока газовой смеси, проходящей через динамический каталитический дожигатель. В статье представлены рекомендации по выбору наиболее подходящих параметров рабочих условий для достижения максимальной производительности и экономии топлива.

На сегодняшний день теплоэнергетика является одной из ключевых отраслей экономики и технического развития многих стран. Однако производство тепловой электрической энергии, в частности работа тепловых и теплоэлектростанций, может приводить к значительному загрязнению окружающей среды, что оказывает негативное влияние на здоровье людей и экологию в целом. Одними из самых опасных компонентов являются оксиды углерода, азота и сернистых соединений, образующиеся в результате сжигания

органического топлива тепловыми электростанциями. Оксиды углерода (CO_x), азота (NO_x) и серы (SO_x) обладают высокой токсичностью и могут привести к различным заболеваниям [1—4]. Кроме того, они способствуют образованию химических осадков, ухудшающих экологическое состояние как почвы и природных водных ресурсов, так и воздушного бассейна. Оксиды азота также обладают высокой токсичностью и могут наносить ущерб растениям и животным, с одной стороны. С другой стороны, они могут вызвать парниковый эффект, пагубно влияющий на климатическую обстановку в целом. Загрязнение окружающей среды, особенно воздуха, в результате работы тепловых и теплоэлектростанции является серьезной проблемой. Для ее решения необходимо принимать меры по снижению выбросов вредных веществ в атмосферу, а также развивать и внедрять более экологичные и безопасные источники энергии.

Согласно исследованиям, наибольшим коэффициентом токсичности обладает оксид углерода, что делает его основным объектом контроля и регулирования выбросов в атмосферу. Кроме того, он также имеет большое значение для климатологических прогнозов, так как является одной из главных составляющих парниковых газов. По этой причине правительства многих стран активно работают над созданием новых технологий и методов, позволяющих снизить уровень выброса CO_x в атмосферу [5—7]. Одна из таких технологий — установка динамического каталитического дожигателя, которая позволяет достичь более глубокого процесса сжигания топлива. Этот инструмент используется для удаления остатка органических материалов после полного сгорания топливных частиц. Благодаря такому оборудованию можно существенно снизить количество выбрасываемых вредных веществ в атмосферу, включая CO_x , NO_x и SO_x .

Однако установка динамического каталитического дожигателя требует определенных условий для работы. Например, необходимо обеспечивать стабильный режим работы теплоэнергетических установок, чтобы они могли функционировать без перерывов или сбоев, а также более полное сжигание вредных веществ, снижая при этом их выброс в атмосферу. Данное нововведение позволяет, помимо описанных преимуществ, снизить отложение продуктов недожога топлива в топочной части энергетических установок, а также в оборудовании, участвующем в удалении отработанной газозадушной смеси, например на рабочих лопатках дымососов. При этом затраты на капитальный ремонт и обслуживание основного и вспомогательного оборудования энергетической установки будут ниже, чем без установленного каталитического дожигателя, что позволяет увеличить экономическую эффективность работы тепловых и теплоэлектроцентралей.

Также важно следить за качеством топлива, которое подается на горелочную установку, чтобы избежать возникновения проблем с ее работой. В целом установка динамического каталитического дожигателя представляет собой важный шаг по сохранению окружающей среды и защите здоровья населения. Ее использование позволяет снизить уровень выбросов вредных веществ в атмосферу, что положительно сказывается на состоянии экосистемы и общем благосостоянии человечества.

Материалы и методы

Предлагается установка каталитического дожигателя¹ [8].

На рисунке 1 представлена схема каталитического дожигателя.

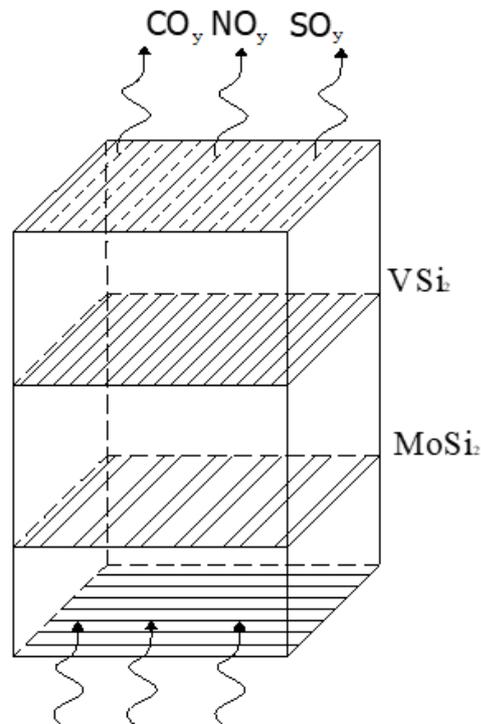


Рис. 1. Схема каталитического дожигателя

Каталитический дожигатель представляет собой вертикальную сварную конструкцию с горизонтально установленными легированным решетками MoSi₂ и VSi₂² [9]. Он состоит из сварной конструкции, устанавливаемой над ярусом горелок (см. рис. 1). Топливная смесь, подающаяся на горелки, состоит, как правило, из оксида углерода, оксида азота и оксида серы, проходит через легированные решетки VSi₂ и MoSi₂. В результате ионного обмена происходит доокисление продуктов недожога путем дегидрирования на легированной поверхности³ [8, 9]. Благодаря этому увеличивается энергетическая ценность топливной смеси, а также снижается концентрация вредных веществ в уходящих дымовых газах.

Внутри дожигателя установлены каталитические решетки на разных уровнях, с различным межрешетчатым пространством и легированным слоем их поверхностей соединениями VSi₂ и MoSi₂ для наилучшего процесса ионного обмена с продуктами недожога топлива: монооксидами углерода, азота и серы. При прохождении топливоздушнoй смеси через решетчатые по-

¹ Легкий А. Д., Злобин В. Н., Кудашев А. С., Карпузова Н. Ю. Патент на полезную модель RU 211537 U1, 10.06.2022. Заявка № 2021137848 от 20.12.2021.

² Там же.

³ Там же.

верхности дожигателя происходит процесс доокисления продуктов недожога топлива в диоксиды CO_2 , NO_2 , SO_2 [10—14]. В итоге данные соединения в процентном соотношении с монооксидами являются более полными продуктами доокисления и, как результат, более энергетически ценными в теплоэнергетических установках, а также более экологичными продуктами, содержащимися в газозооной смеси сжигаемого топлива. Для дальнейшего улучшения процентного соотношения данных продуктов предлагается установка динамического каталитического дожигателя. Схема представлена на рис. 2.

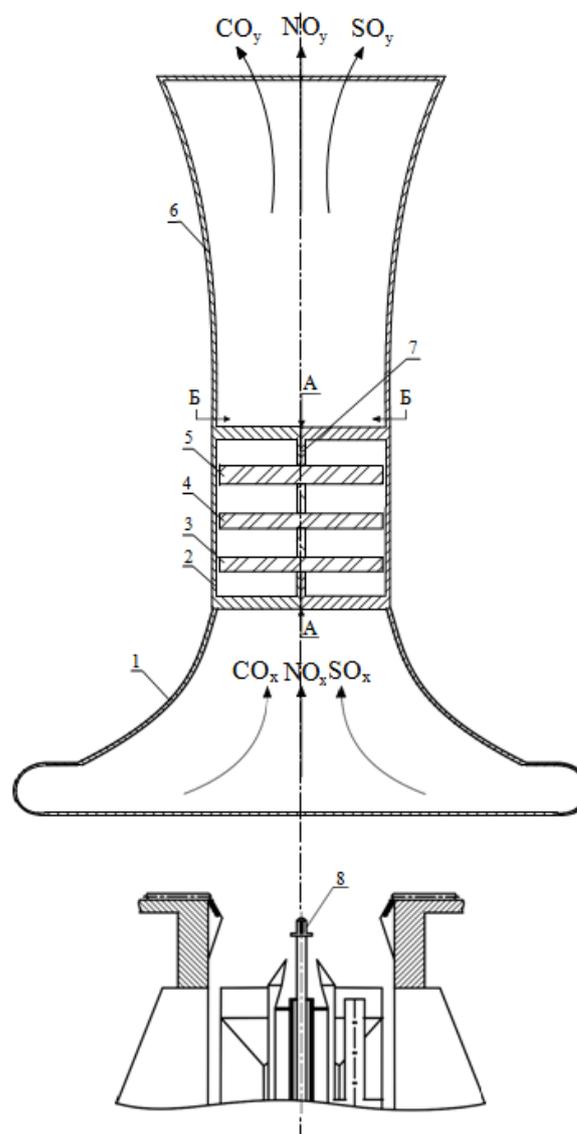


Рис. 2. Схема динамического каталитического дожигателя:
1 — конфузор дожигателя; 2 — корпус дожигателя; 3—5 — рабочие колеса дожигателя;
6 — диффузор дожигателя; 7 — вал рабочих колес дожигателя;
8 — горелочное устройство котлоагрегата

Принцип работы динамического каталитического дожигателя заключается в следующем. Газовоздушная смесь, выходящая из сопла горелки 8, попадает во входной патрубок дожигателя (конфузор) 1, где под действием аэродинамических сил ускоряется и проходит через рабочие колеса дожигателя 3—5, что приводит их во вращение относительно вала дожигателя 7. На рисунках 3 и 4 представлены продольный и поперечный разрезы рабочих колес динамического дожигателя.

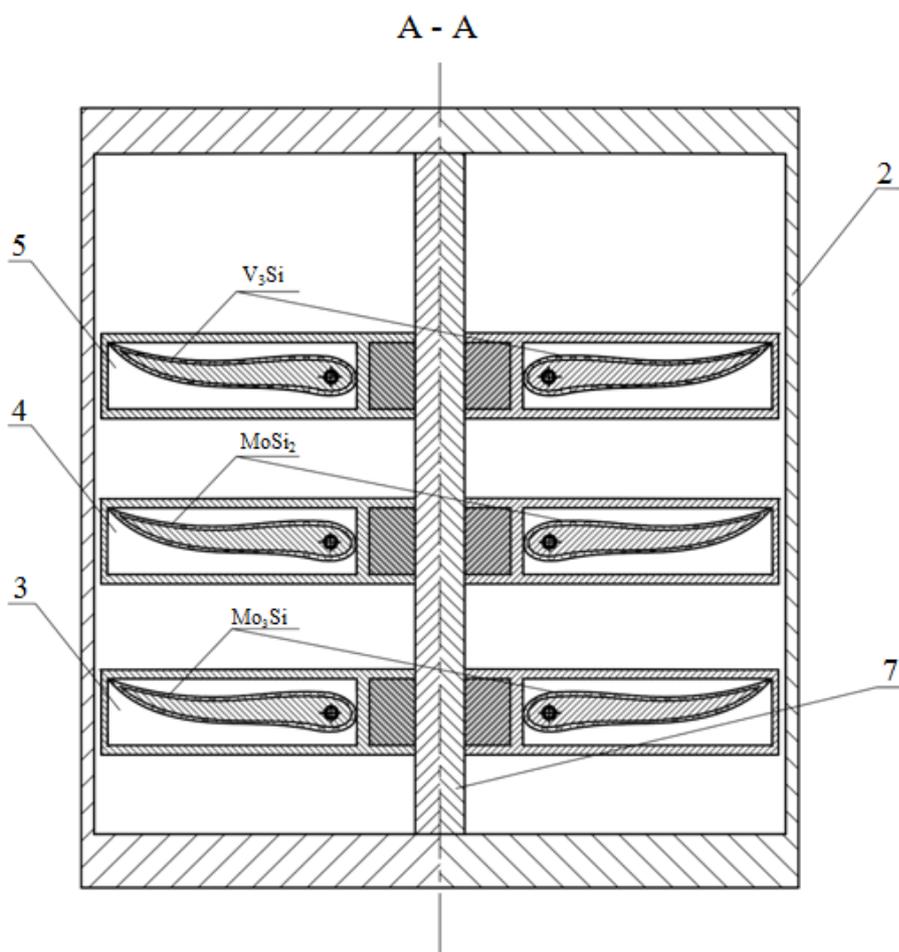


Рис. 3. Продольный разрез рабочих колес динамического каталитического дожигателя

Корпус динамического каталитического дожигателя 2 состоит из трех последовательно установленных ступеней рабочих колес 3—5, вертикально размещенных на валу дожигателя 7. Каждое рабочее колесо, в которое устанавливаются лопатки, проходит обработку методом ионного легирования, на поверхности нанесены силицидмолибден (Mo_3Si), дисилицидмолибден (MoSi_2) и силицидванадий (V_3Si)⁴ [8, 9].

⁴ Там же.

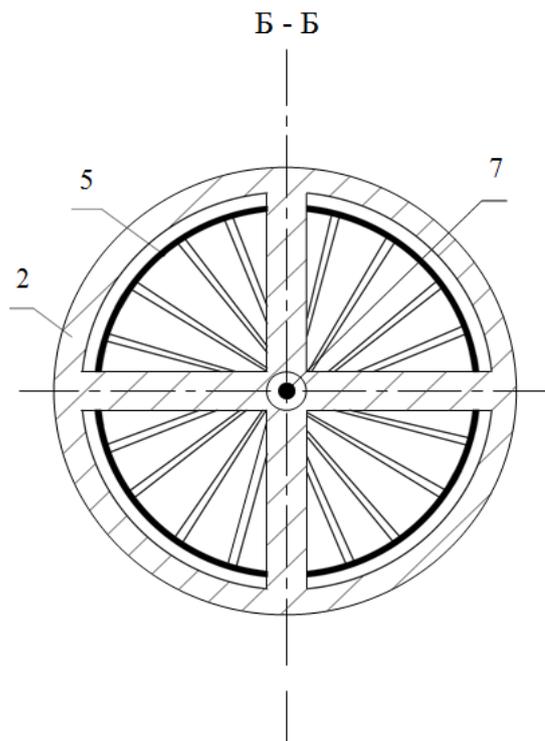


Рис. 4. Поперечный разрез рабочих колес динамического каталитического дожигателя

Кроме того, существует возможность регулирования угла атаки легированных лопаток динамического каталитического дожигателя для наиболее эффективной пропускной способности газовой смеси, идущей от горелочного устройства, не снижая при этом эффективность ионного обмена для процесса дегидрирования продуктов недожога в этой смеси с ионами Mo_3Si , MoSi_2 и V_3Si .

Возможен вариант легирования лопаток одного рабочего колеса дожигателя различными ионами таким образом, чтобы каждое рабочее колесо максимально эффективно участвовало в ионном обмене со всеми продуктами недожога топлива на разных ступенях дожигателя, тем самым увеличивая число последующих ступеней доокисления продуктов недожога, находящихся в топливной смеси.

Легированные лопатки рабочих колес дожигателя взаимодействуют с продуктами недожога, содержащимися в газовой смеси. Это приводит к их дегидрированию и последующему окислению до продуктов сгорания. Результатом химической реакции является увеличение энергетической ценности газовой смеси. Такая смесь выходит в топочную камеру котла через диффузор дожигателя *б*. Следствием этого является снижение расхода топливной смеси на газомазутном горелочном устройстве.

Равномерность выхода диоксидов углерода, азота и сернистых соединений достигается путем несососного расположения легированных лопаток ра-

бочих колес дожигателя, вследствие чего газоздушная смесь, пройдя реакцию доокисления на поверхности нижних лопаток рабочего колеса, попадает на рабочие лопатки последующего рабочего колеса, приводя их во вращения относительно посадочного вала.

Также из-за особенностей динамических процессов, связанных с движением газоздушного потока, существуют различия в его движении в зависимости от видов каталитических дожигателей.

Движение газоздушного потока через каталитический дожигатель осуществляется прямоточно, т. к. решетки каталитического дожигателя располагаются статично относительно горелочного устройства, что не меняет процесс движения газоздушной смеси в топочной части котлоагрегата. Вследствие этого газоздушный поток неравномерно распределяется на теплообменных поверхностях экранных трубок теплогенератора, нагрев теплоносителя происходит неравномерно. Это также способствует истончению стенок экранных трубок в местах их наибольшей термической нагрузки.

Процесс движения газоздушного потока через каталитический дожигатель представлен на рис. 5.

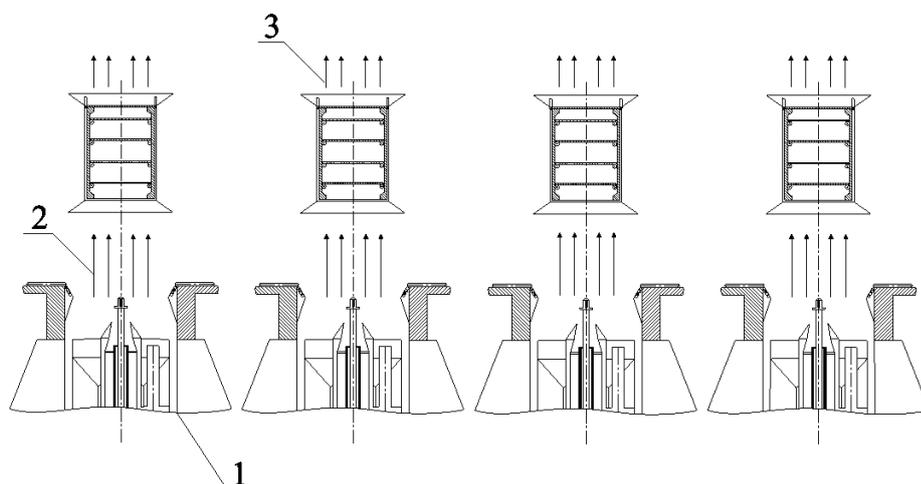


Рис. 5. Движение газоздушного потока через каталитический дожигатель:
1 — горелка ГМ-45; 2 — газоздушный поток на входе в дожигатель;
3 — газоздушный поток на выходе из дожигателя

Из-за особенностей аэродинамической формы корпуса дожигателя, а также вращения рабочих колес на выходе газоздушный поток турбулизуется и, как следствие, более равномерно распределяется на теплообменных поверхностях экранных трубок теплогенератора, в результате чего происходит более равномерный нагрев теплоносителя, а также равномерное распределение тепловой энергии газоздушной смеси в топочной камере котлоагрегата, что способствует более равномерному распределению теплового потока на поверхностях экранных труб котла.

Процесс движения газоздушного потока через динамический каталитический дожигатель приведен на рис. 6.

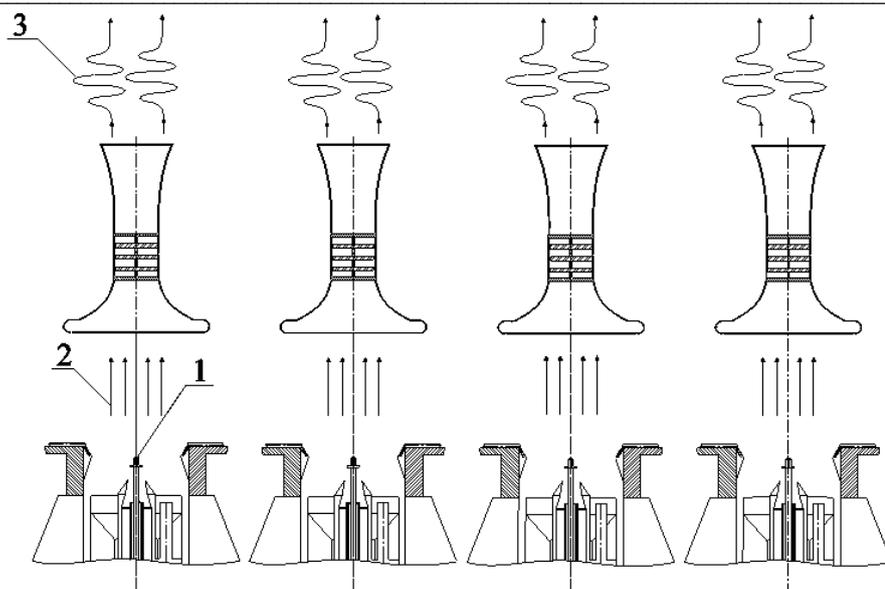


Рис. 6. Процесс движения газозвдушного потока через динамический каталитический дожигатель: 1 — горелка ГМ-45; 2 — газозвдушный поток на входе в дожигатель; 3 — газозвдушный поток на выходе из дожигателя

Выводы и заключение

Установка динамического каталитического дожигателя является более эффективным способом сжигания топлива, чем традиционный каталитический дожигатель. Эффективное дожигание топлива осуществляется благодаря особенностям аэродинамической формы корпуса. Это позволяет достичь равномерного распределения газозвдушного потока, вследствие чего происходит равномерный нагрев теплоносителя.

1. Использование химически активных материалов для изготовления лопаток дожигателя позволяет оптимально подобрать состав топливной смеси и обеспечить максимальную степень ее сгорания без образования опасных веществ. Это способствует сохранению окружающей среды и защите здоровья людей.

2. Установка динамического каталитического дожигателя дает возможность управлять процессом сжигания топлива в реальном времени, что позволяет быстро реагировать на изменения условий работы котельной и значительно сократить уровень выброса CO_x в атмосферу.

3. Использование динамического каталитического дожигателя на горелочных устройствах котлоагрегатов представляет собой современное технологическое решение, которое позволяет существенно повышать энергетическую эффективность систем тепло- и электроснабжения.

4. Благодаря отсутствию четкой границы раздела между слоем каталитического покрытия и лопатками рабочих колес дожигателя, которые подвергались ионному легированию, повышается механическая прочность покрытия.

5. Существует возможность легирования лопаток одного рабочего колеса дожигателя различными ионами таким образом, чтобы каждое рабочее колесо максимально эффективно участвовало в ионном обмене со всеми продуктами недожога топлива на разных ступенях дожигателя.

6. Динамический каталитический дожигатель позволяет проводить более равномерный процесс доокисления продуктов недожога топлива вследствие равномерного вращения рабочих колес, а также более эффективного улавливания продуктов недожога, содержащихся в газоздушном смеси на выходе из горелочного устройства, в сравнении с установкой каталитического дожигателя.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Barbera E., Mio A., Massi Pavan 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. P. 115072. DOI: 10.1016/j.enconman.2021.115072.
2. Fuel Pretreatment Systems in Modern CI Engines / J. Eliaz, T. Osipowicz, K. Franciszek Abramek, Z. Matuszak, Ł. Mozga // *Catalysts*. 2020. Vol. 10. DOI:10.3390/catal10060696.
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. Путьятин 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. 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 // *J. Mar. Sci. Eng.* 2022. Vol. 10. DOI: 10.3390/jmse10060755.
6. Decarbonising inland ship power system: Alternative solution and assessment method / A. Fan, J. Wang, Y. He, M. Perčić, N. Vladimir, Y. Liu // *Energy*. 2021. Vol. 226. DOI: 10.1016/j.energy.2021.120266.
7. 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. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2021.09.103.
8. 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. URL: <https://applied-research.ru/ru/article/view?id=13162>.
9. 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, Ch. Argiris, C. Andreouli, Z. Tatoudi, I. Altin // *Processes*. 2022. Vol. 10. No. 1113. DOI: 10.3390/pr10061113.
10. 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. No. 601. DOI: 10.3390/catal10060601.
11. Кулакова И. И., Лисичкин Г. В. Каталитическая химия. Ч. 1. Основы катализа: кон-спект лекций по спецкурсу для студентов IV курса химического факультета МГУ им. М. В. Ломоносова. М., 2014. 112 с.
12. 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.
13. Злобин В. Н., Васильев И. П. Нанесение каталитических покрытий способом ионной имплантации в двигателестроении. Волгоград, Луганск, 2018. 210 с.
14. Злобин В. Н. Техника и технология ионного легирования: учеб. пособ. Волгоград : ВолГТУ, 2020. 69 с.

© Легкий А. Д., Карапузова Н. Ю., Веселова Н. М., Жупанов А. И., 2024

Поступила в редакцию
в июне 2024 г.

Ссылка для цитирования:

Модернизация схемы каталитического дожигателя / А. Д. Легкий, Н. Ю. Карапузова, Н. М. Веселова, А. И. Жупанов // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2024. Вып. 3(96). С. 67—76. DOI: 10.35211/18154360_2024_3_67.

Об авторах:

Легкий Александр Дмитриевич — ассистент каф. электроснабжения, теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1

Карапузова Наталья Юрьевна — канд. техн. наук, доц. каф. электроснабжения, теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; karapuzova_ny@mail.ru

Веселова Наталья Михайловна — доц. каф. электроснабжения, теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1

Жупанов Александр Игоревич — студент, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1

**Aleksandr D. Legky, Natalya Yu. Karapuzova, Nataliya M. Veselova,
Aleksandr I. Zhupanov**

Volgograd State Technical University

**MODERNIZATION OF THE CATALYTIC AFTERBURNER CIRCUIT
BY CHANGING ITS DESIGN FEATURES**

The installation of a dynamic catalytic afterburner is presented, with the help of which the chemical energy of the fuel mixture passing through the catalytic blades of the afterburner impellers is converted into mechanical energy. Rotation of the afterburner impellers ensures uniform distribution of underburned fuel products on the alloy afterburner blades. The diagram and principle of operation of the installation installed above the burner device of the boiler unit is described.

Key words: dynamic catalytic afterburner, carbon monoxide, nitrogen oxide, sulfur oxide, catalytic blades.

For citation:

Legky A. D., Karapuzova N. Yu., Veselova N. M., Zhupanov A. I. [Modernization of the catalytic afterburner circuit by changing its design features]. *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. 3, pp. 67—76. DOI: 10.35211/18154360_2024_3_67.

About authors:

Aleksandr D. Legky — Assistant of Electric Power Supply, Heat Engineering, Heat and Gas Supply and Ventilation Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation

Natalya Yu. Karapuzova — Candidate of Engineering Sciences, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; karapuzova_ny@mail.ru

Nataliya M. Veselova — Docent of Electric Power Supply, Heat Engineering, Heat and Gas Supply and Ventilation Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation

Aleksandr I. Zhupanov — Student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation