



ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭКОЛОГИЯ

INDUSTRIAL ECOLOGY

DOI: 10.22363/2313-2310-2024-32-2-126-135

EDN: XIBCTW

УДК 66.042.3

Научная статья / Research article

Анализ действующих и разработка модернизированных конструкций горелок типа ГП с низким выбросом оксидов азота для трубчатых нефтезаводских печей

В.Д. Катин, А.А. Журавлев✉*Дальневосточный государственный университет путей сообщения,**г. Хабаровск, Российская Федерация*✉ goposor@yandex.ru

Аннотация. Проанализированы и рекомендованы к внедрению в нефтегазовой отрасли авторские инновационные технические решения по модернизации действующих горелочных устройств типа ГП с малым выбросом токсичных оксидов азота, защищенные патентами на полезные модели. Заслуживают внимания и представляют практический интерес новые конструкции горелок ГП с размещением мазутной форсунки в амбразуре, с дополнительным оборудованием их специальной трубой с распылителем пара в топку, а также с дополнительным расположением разделителя воздушного потока, установленного в смесительной камере и снабженного соплами для подачи сжатого воздуха, что повышает экологичность их работы за счет снижения выбросов оксидов азота и продуктов неполного горения.

Ключевые слова: нефтеперерабатывающие заводы, трубчатые печи, газомазутные горелки, оксиды азота, продукты неполного горения, модернизированные горелочные устройства типа ГП, мазутная форсунка, амбразура горелки, труба с распылителем пара, разделитель воздушного потока, сопла для подачи сжатого воздуха

Вклад авторов. Катин В.Д. – автор полезных моделей, написание текста статьи; Журавлев А.А. – автор полезных моделей, подготовка текста к публикации;

© Катин В.Д., Журавлев А.А., 2024

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode>

История статьи: поступила в редакцию 10.06.2023; доработана после рецензирования 12.11.2023; принята к публикации 15.11.2023.

Для цитирования: Катин В.Д., Журавлев А.А. Анализ действующих и разработка модернизированных конструкций горелок типа ГП с низким выбросом оксидов азота для трубчатых нефтезаводских печей // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2024. Т. 32. № 2. С. 126–135. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2024-32-2-126-135>

Analysis of existing and development of modernized structures GP type burners with low nitrogen oxide emissions for tubular refinery furnaces

Victor D. Katin, Alexander A. Zhuravlev✉

Far Eastern State Transport University, Khabarovsk, Russian Federation

✉goposor@yandex.ru

Abstract. Author's innovative technical solutions for modernizing existing burner devices of the GP type with low emissions of toxic nitrogen oxides, protected by patents for utility models, were analyzed and recommended for implementation in the oil and gas industry. New designs of GP burners with the placement of an oil nozzle in the embrasure, with additional equipment with a special pipe with a steam sprayer into the firebox, as well as with an additional arrangement of an air flow separator installed in the mixing chamber and equipped with nozzles for supplying compressed air, which increases the environmental friendliness of their operation by reducing emissions of nitrogen oxides from incomplete combustion products.

Keywords: oil refineries, tube furnaces, oil-gas burners, nitrogen oxides, incomplete combustion products, modernized GP-type burner devices, fuel oil nozzle, burner embrasure, pipe with steam spray, air flow separator, nozzles for compressed air supply

Authors' contributions. *Katin V.D.* – author of utility models, writing the text of the article; *Zhuravlev A.A.* – author of utility models, preparation of text for publication;

Article history: received 10.06.2023; revised 12.11.2023; accepted 15.11.2023.

For citation: Katin VD, Zhuravlev AA. Analysis of existing and development of modernized structures GP type burners with low nitrogen oxide emissions for tubular refinery furnaces. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2024;32(2):126–135. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2024-32-2-126-135>

Введение

В нашей стране Росприроднадзором осуществляется на деле Федеральный проект «Чистый воздух», согласно которому ключевой задачей является снижение общего объема вредных выбросов в атмосферный воздух к 2026 г. более чем на 20 %. Достичь такого результата возможно за счет модернизации действующих производств, в том числе нефтеперерабатывающих и создания принципиально новых конструкций топливосжигающих, устройств на нефтеперерабатывающих заводах (НПЗ), эксплуатируемых в со-

ставе трубчатых технологических печей и обладающих низким выбросом загрязняющих веществ, прежде всего оксидов азота (NO_x). В этой связи следует отметить, что NO_x считаются наиболее экологически опасным веществом, образующимся при горении газа и мазута в нефтезаводских печах [1–4]. Это подтверждается тем, что, по данным [3], при обеспечении полноты горения топлива токсичность продуктов сгорания природного газа определяется на 90–95% содержанием в них NO_x , а при сжигании мазута выбросы NO_x гораздо выше, что объясняется более высокой максимальной температурой факела, чем при горении газа. В связи с этим вектор усилий исследователей-экологов, на наш взгляд, должен быть направлен на разработку технических решений, снижающих вредные выбросы NO_x .

Эколого-технические требования, предъявляемые к горелочным устройствам

Проблема снижения выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух с продуктами сгорания топлива наиболее тесно связана с созданием новых горелочных устройств (ГУ), обеспечивающих минимальный выброс NO_x .

На отечественных НПЗ эксплуатируется более 1500 технологических трубчатых печей, на которых работают десятки тысяч различных конструкций ГУ. В связи с этим необходимо, чтобы горелки при эксплуатации обеспечивали бы полное и экологичное сжигание топлива, т.е. без химического недожога топлива и с минимальным выбросом NO_x .

По данным [1; 2], на печах работают ГУ следующих типов и классов: кинетические ГУ с полным предварительным смешением топлива и воздуха (типов ГИК, ГЭВК, ГГМ и др.), ГУ диффузионного принципа сжигания топлива (горелки типа ГП и др.) и многосопловые плоскофакельные ГУ (типа ФП и др.), работающие по диффузионно-кинетическому принципу горения.

При этом, по данным обследования парка ГУ Хабаровского НПЗ около 75–80 % всех ГУ приходится на диффузионные горелки, а остальные 20–25 % составляют ГУ кинетического и смешанного принципов горения [4].

Модернизация действующих и разработка новых конструкций ГУ для нефтезаводских печей – одна из актуальных и сложных задач. На протяжении многих лет выпускаемые для печных агрегатов горелки являлись универсальными и использовались в трубчатых печах различных типов без учета специфических особенностей конструкций печей, а также параметров и условий работы.

К конструированию и применению на НПЗ горелок, работающих на газообразном и жидком топливе, предъявляются следующие эколого-технические требования [1; 2]:

- обеспечение равномерного, стабильного распределения теплоты по зонам печи и заданного температурного профиля;
- обеспечение полноты сжигания топлива при малых избытках воздуха;

- возможность включения в систему автоматического управления тепловым процессом печи;
- организация такого метода сжигания, при котором обеспечивалось бы соответствие габаритных и теплообменных параметров факела размерам топки, относительному расположению экранных поверхностей во избежание прямого контакта пламени с поверхностью труб и недопущения их опасного прогара;
- простота изготовления, монтажа на печи и возможность ремонта без остановки печи;
- обеспечение экологических показателей сжигания топлива с целью сохранения чистоты окружающей среды и предотвращения загрязнения атмосферы вредными выбросами с продуктами сгорания.

Отметим, что последнее требование, предъявляемое к ГУ, является приоритетным вследствие отсутствия каких-либо руководящих документов и нормативных указаний по проектированию малотоксичных горелок и их подбору для нефтезаводских печей.

Следует отметить, что применяемые на предприятиях отрасли горелки неполностью удовлетворяют перечисленным требованиям. Необходимы критический анализ эколого-технического уровня эксплуатации парка горелок на НПЗ и разработка их усовершенствованных конструкций, отвечающих современным экологическим требованиям.

Анализ технического состояния и условий работы горелок различных типов и разработка новых ГУ типа ГП

Авторами данной работы было проведено обследование технического состояния и условий эксплуатации парка ГУ на Хабаровском НПЗ. Одной из особенностей технологий сжигания газообразного и жидкого топлива в трубчатых печах является возможность одновременного сжигания газа и мазута в некоторых конструкциях ГУ. Однако для большинства комбинированных горелок конструкции ВНИИнефтемаша типов ГП, ГИК, ГЭВК и др. эти возможности весьма ограничены.

При эксплуатации горелок типа ГЭВК, спроектированных для оснащения трубчатых печей большой единичной мощности, наблюдается попадание капель мазута в газовые сопла, в результате чего закоксовываются отверстия и нарушается одновременное совместное сжигание газа и мазута. Причиной этого является неудачное расположение газовой части горелки в одной камере с жидкостной форсункой. Подобный конструктивный недостаток присущ инжекционным горелкам типа ГИК, эксплуатируемым на НПЗ. Здесь также основной причиной нарушения нормальной работы ГУ является близкое расположение зон воспламенения газа и мазута, когда выходящие струи газообразного топлива деформируют поток распыленного жидкого топлива, в результате чего ухудшаются условия для распыления капель мазута и перемешивания его паров с воздухом.

Кроме того, опыт эксплуатации горелок типа ГП с жидкостной форсункой, предназначенной для вертикальной и горизонтальной установки на

печах, показывает, что при наклонном расположении форсунки с поступлением в нее жидкого топлива в смесителе происходит расслоение фаз и пульсационный выброс нераспыленного мазута, что затрудняет их нормальную работу.

В связи с этим необходима модернизация действующих горелок и разработка их новых конструкций с точки зрения безопасности и экологичности работы. Авторами запатентовано новое ГУ типа ГП¹, применение которого позволяет повысить эффективность совместного сжигания газа и мазута в одном корпусе горелки. С этой целью предложено распылительную часть мазутной форсунки горизонтально сдвинуть и расположить в амбразуре горелки. Это обусловлено тем, что при совместном сжигании в горелке мазута и газа газ через патрубок поступает в коллектор и, распределяясь по газораздающим отверстиям, расположенным в смесительной камере, истекает в виде поперечных струй в высокоскоростной поток воздуха, а распылительная часть форсунки располагается в амбразуре горелки, тем самым исключая близость расположения распылительной части форсунки от газораздающих отверстий.

Однако, по данным исследований [4], существенным недостатком данного ГУ является повышенный выброс NO_x при горении газа и мазута вследствие расположения распылительной части мазутной форсунки у основания амбразуры. Известно, что выход термических оксидов азота при сжигании топлива определяется максимальной температурой факела. В образуемом ядре факела при сжигании мазута наблюдается наиболее высокая температура, что и приводит к повышенному выбросу NO_x .

В связи с этим авторами была разработана принципиально новая малотоксичная горелка ГП, в которой для снижения выхода NO_x предусмотрена подача пара через трубу с распылителем, установленную в специальном канале у основания амбразуры ГУ (см. рис. 1).

Газомазутная горелка содержит корпус 1 с патрубком для подачи воздуха 2, соединенный с амбразурой горелки 3, установленной в отверстие печи, смесительную камеру 4, трубу с патрубком 5 для подачи воздуха при работе горелки на мазуте, расположенную на оси корпуса 1, вставку 6, закрепленную на наружной поверхности трубы 5 с возможностью поворота и предназначенную для образования пережима на воздушном тракте, периферийный кольцевой коллектор 7 с патрубком 8 и газораздающими отверстиями 9, расположенными в зоне пережима воздушного тракта, мазутную форсунку 10, установленную внутри трубы 5, распылительная часть форсунки 10 расположена в амбразуре 3 горелки у ее основания. В амбразуре 3 горелки дополнительно проделан специальный канал 11, в котором установлена труба 12 с распылителем 13 подачи пара в высокотемпературную зону горения газа и мазута, что приводит к снижению на 10–15 % выбросов NO_x . На

¹ Патент 139470 RU. Газомазутная горелка / В.Д. Катин, А.Ю. Березуцкий. Оpubл. 20.04.2014. Бюл. № 11.

предлагаемую конструкцию ГУ авторами получен патент на полезную модель².

Существенным недостатком газомазутной горелки, описанной выше, на взгляд авторов, является неполнота сгорания газа, объясняемая неравномерностью распределения воздушного потока в смесительной камере и неоднородностью перемешивания газозвушной смеси. В связи с этим авторы поставили задачу создать такую конструкцию горелки типа ГП, которая позволила бы снизить не только выбросы NO_x , но и продуктов неполного сгорания топлива.

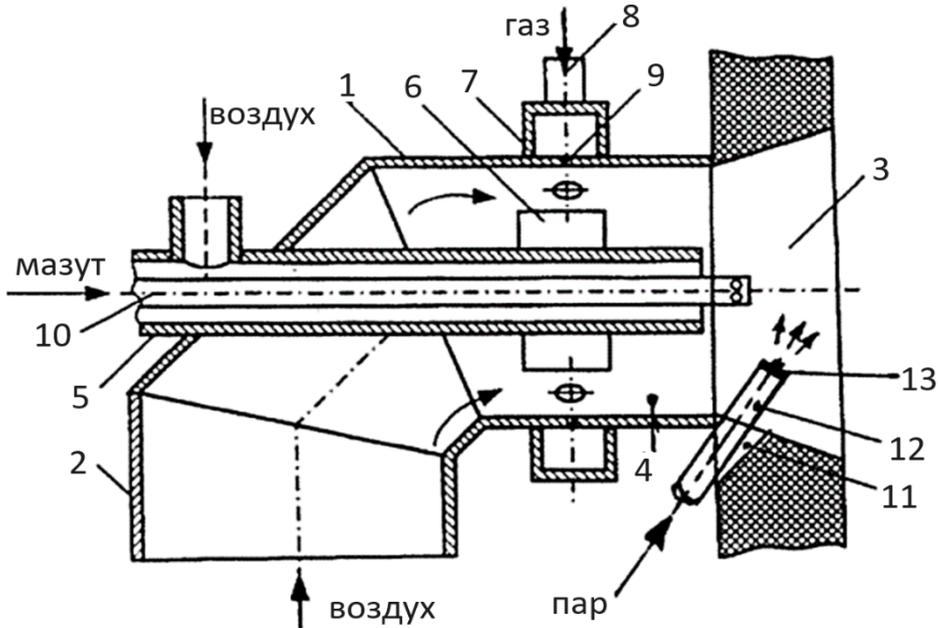


Рис. 1. Схема новой газомазутной горелки типа ГП с подачей пара в зону горения (Патент №187171)

Источник: составлено авторами /

Figure 1. Diagram of a new gas-oil burner of the GP type with steam supply to the combustion zone (Patent No. 187171) Gorenje

Source: compiled by the authors.

Разработка модернизированной конструкции горелки типа ГП с разделителем воздушного потока

Для решения поставленной задачи в известной газомазутной горелке дополнительно оборудуется разделитель воздушного потока с овальными отверстиями, установленный в смесительной камере и снабженный соплами для впрыска сжатого воздуха периодического действия.

Благодаря указанным конструктивным изменениям в ГУ повышается его экологическая эффективность. Разделитель воздушного потока имеет

² Патент 187171 RU. Газомазутная горелка / В.Д. Катин, В.И. Нестеров. Оpubл. 22.02.2019. Бюл. № 6.

изогнутую форму, которая способствует увеличению интенсивности воздушного потока вдоль поверхности разделителя, что позволяет равномерно распределять поток воздуха в смесительной камере. Разделитель воздушного потока дополнительно оснащен овальными отверстиями, которые выполняют функцию разделителя воздушного потока по этажам смесительной камеры, а сопла для впрыска сжатого воздуха, установленные в смесительной камере под углом $\alpha = 20\text{--}30^\circ$, интенсифицируют процессы перемешивания.

Новая конструкция горелки ГП показана на рис. 2–4. При этом на рис. 2 и 3 показаны разрезы (фронтальный и профильный) горелки. На рис. 4 горизонтальный разрез ГУ.

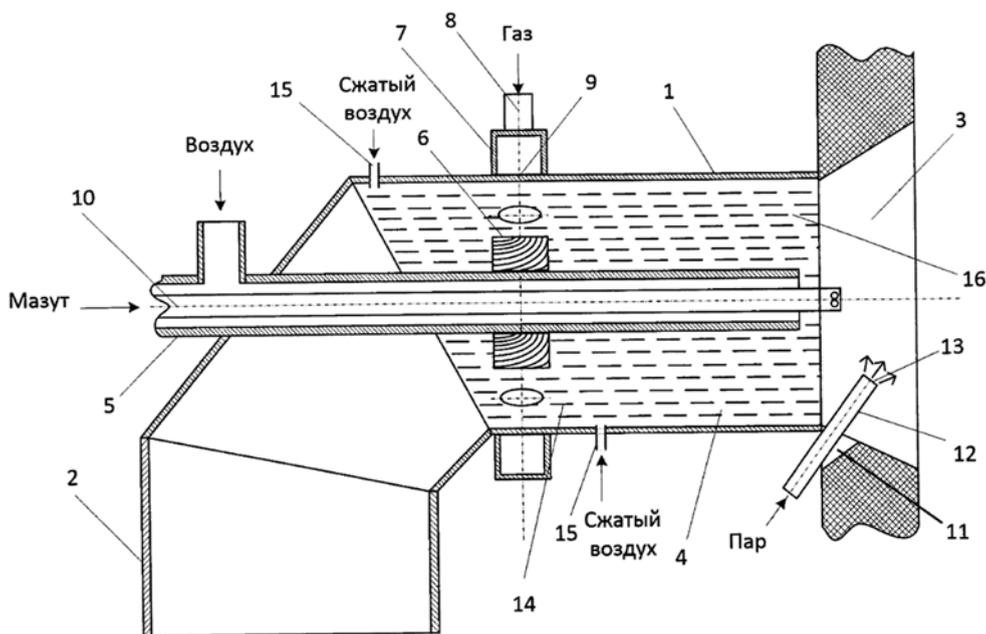


Рис. 2. Фронтальный разрез ГУ новой конструкции типа ГП (Патент 208146)

Источник: составлено авторами.

Figure 2. The frontal section of the GU of the new GP type design (Patent 208146)

Source: compiled by the authors.

Из рис. 2–4 видно, что новая газомазутная горелка содержит корпус 1 с патрубком для подачи воздуха 2, соединенный с амбразурой 3 горелки, установленной в отверстие печи, смесительную камеру 4, разделитель воздушного потока 14, овалы отверстия 16, сопла для впрыска сжатого воздуха 15, трубу 5 с патрубком для подачи воздуха при работе горелки на мазуте, расположенную на оси корпуса 1, вставку 6 (причем вставка выполнена гофрированной с образованием выступов), закрепленную на наружной поверхности трубы 5 с возможностью поворота и предназначенную для образования пережима на воздушном тракте, периферийный кольцевой коллектор 7 с патрубком 8 и газораздающими отверстиями 9, расположенными в зоне пережима воздушного тракта, мазутную форсунку 10, установленную внутри трубы 5, распылительная часть форсунки 10 расположена в амбразуре

3 горелки у ее основания. В амбразуре 3 горелки дополнительно проделан канал 11, в котором установлена труба 12 с распылителем 13 впрыска пара зоны горения газа и мазута.

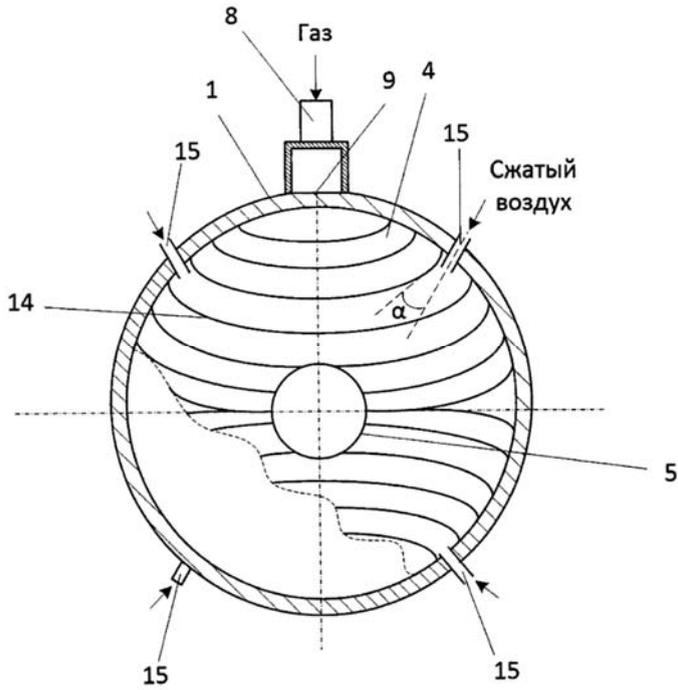


Рис. 3. Профильный разрез ГУ новой конструкции типа ГП
 Источник: составлено авторами.

Figure 3. Profile section of the GU of a new design of the GP type
 Source: compiled by the authors.

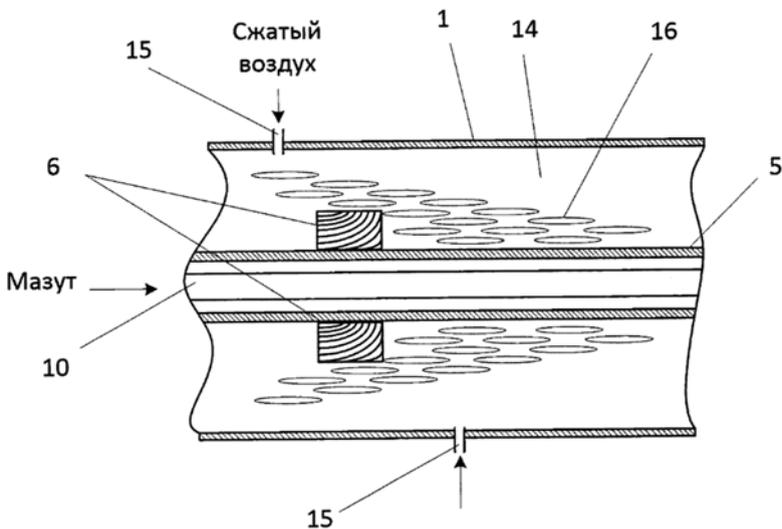


Рис. 4. Горизонтальный разрез ГУ новой конструкции типа ГП
 Источник: составлено авторами.

Figure 4. Horizontal section of the GU of the new GP type design
 Source: compiled by the authors.

Новое ГУ работает следующим образом. При работе горелки на газе и мазуте воздух из патрубка 2 поступает в виде кольцевого потока в корпус 1, затем проходит через разделитель воздушного потока 14. При достижении потоком воздуха вставки 6 осуществляется его поджатие, в результате чего возрастает скорость его подачи. Одновременно газ по патрубку 8 поступает в коллектор 7 и, распределяясь по газораздающим отверстиям 9, истекает из них в виде поперечных струй в высокоскоростной поток воздуха, после чего через сопла для впрыска сжатого воздуха периодического действия 15 подается сжатый воздух на короткий интервал времени, затем происходит интенсивный массообмен воздуха и газа через овальные отверстия 16. Затем смесь воздуха и газа поступает в амбразуру горелки. Одновременно в амбразуру 3 горелки через распылительную часть мазутной форсунки 10 поступает мазут, а через патрубок в трубе 5 поступает воздух для интенсивного распыления мазута. Для повышения экологической эффективности совместного сжигания газа и мазута предусмотрена подача пара через трубу 12 с распылителем 13, установленную в канале 11 у основания амбразур 3 горелки. Это приводит к уменьшению максимальной температуры горения и, как следствие, к снижению на 10–15 % образования NO_x . Кроме того, разделитель воздушного потока 14 обеспечивает полноту горения газа за счет его интенсивного перемешивания с воздухом. На данную конструкцию нового ГУ типа ГП получен патент на полезную модель³.

Таким образом, в предлагаемой авторами газомазутной горелке как обеспечивается полнота сгорания топлива, так и снижаются выбросы NO_x .

В свою очередь, это приводит к существенному повышению экологической эффективности эксплуатации модернизированной конструкции горелки типа ГП⁴.

Заключение

На основании изложенного материала можно рекомендовать для практического применения на НПЗ описанные выше авторские инновационные технические решения по созданию модернизированных малотоксичных ГУ типа ГП, которые в отличие от действующих аналогов обладают простотой устройства, оригинальностью конструкции, достаточно высокой экологической эффективностью и сравнительно малыми капитальными и эксплуатационными расходами и затратами.

Таким образом, предлагаемые авторами новые конструкции газомазутной горелки типа ГП позволят оздоровить экологическую обстановку на предприятиях нефтепереработки и повысить эффективность природозащитных мероприятий, связанных с охраной атмосферного воздуха от загрязнения.

³ Патент 208146 RU. Газомазутная горелка / А.А. Журавлев, В.Д. Катин. Опубл. 06.12.2021. Бюл. № 34.

⁴ Там же.

Список литературы

- [1] Жидков А.Б. Трубчатые нагревательные печи нефтепереработки и нефтехимии. СПб.: Артпроект, 2015. 104 с.
- [2] Колмогоров А.Н., Катин В.Д. Проектирование высокоэффективных печных агрегатов для НПЗ. М.: ЦНИИТЭнефтехим. 2005. 88 с.
- [3] Сигал И.Я. Защита воздушного бассейна при сжигании топлива. СПб.: Недра, 1998. – 312 с.
- [4] Катин В.Д., Булгаков С.В. Проблемы сокращения вредных выбросов в атмосферу из нефтезаводских печей. Хабаровск: ТОГУ, 2019. 192 с.

References

- [1] Zhidkov AB. *Tubular heating furnaces for oil refining and petrochemicals*. St. Petersburg: Artproekt, 2015. 104 p.
- [2] Kolmogorov AN, Katin VD. *Design of highly efficient furnace units for oil refineries*. М.: TsNIITEneftekhim. 2005. 88 p.
- [3] Seagal IYa. *Protection of the air basin during fuel combustion*. St. Petersburg: Nedra, 1998. – 312 p.
- [4] Katin VD, Bulgakov SV. *Problems of reducing harmful emissions into the atmosphere from oil refinery furnaces*. Khabarovsk: TOGU, 2019. 192 p.

Сведения об авторах:

Катин Виктор Дмитриевич, доктор технических наук, профессор, Дальневосточный государственный университет путей сообщения, Российская Федерация, 680021, г. Хабаровск, ул. Серышева, д. 47. E-mail: bgd@festu.khv.ru.

Журавлев Александр Александрович, аспирант, Дальневосточный государственный университет путей сообщения, Российская Федерация, 680021, г. Хабаровск, ул. Серышева, д. 47. eLIBRARY SPIN-код: 6959-7411. E-mail: goposor@yandex.ru

Bio notes:

Viktor D. Katin, Doctor of Technical Sciences, Professor, Federal State Budgetary Institution of Higher Education, Far Eastern State University of Railway Engineering, 47 Serysheva St, Khabarovsk, 680021, Russian Federation. E-mail: bgd@festu.khv.ru

Alexander A. Zhuravlev, postgraduate student, Federal State Budgetary Institution of Higher Education Far Eastern State University of Railway Engineering, 47 Serysheva St, Khabarovsk, 680021, Russian Federation. eLIBRARY SPIN-code: 6959-7411. E-mail: goposor@yandex.ru