



ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭКОЛОГИЯ

INDUSTRIAL ECOLOGY

DOI: 10.22363/2313-2310-2023-31-4-583-592

EDN: TDFLEI

УДК 331.45:502.13

Научная статья / Research article

Авторские инновационные технические решения в области экологии и безопасности жизнедеятельности для применения в топливосжигающих и золоулавливающих устройствах

В.Д. Катин, А.А. Журавлев✉

*Дальневосточный государственный университет путей сообщения,
г. Хабаровск, Российская Федерация
✉goposor@yandex.ru*

Аннотация. Рассмотрены и рекомендованы к применению в транспортной отрасли, теплоэнергетике, нефтегазовой промышленности, металлургии принципиально новые технические решения в области экологии и безопасности в техносфере, подтвержденные патентами на изобретения и полезные модели и разработанные учеными и аспирантами кафедры техносферной безопасности Дальневосточного государственного университета путей сообщения. Из инновационных разработок представляют практический интерес и заслуживают внимания установки по подготовке к сжиганию водомазутных эмульсий, энергосберегающие устройства для экологичного сжигания жидкого топлива, рациональные конструкции малотоксичных газомазутных горелок, а также эффективные устройства фильтр-циклонов и группового циклона для очистки дымовых газов, выбрасываемых из угольных и мазутных котельных и печных агрегатов.

Ключевые слова: инновационные технические решения, энергосберегающие устройства, малоотходные и наилучшие доступные технологии, котельные и печные установки, сжигание топлива, экологическая и техносферная безопасность, охрана окружающей среды, водомазутные эмульсии, газомазутные горелки, циклоны-золоуловители

© Катин В.Д., Журавлев А.А., 2023



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

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

История статьи: поступила в редакцию 12.05.2023; доработана после рецензирования 24.08.2023; принята к публикации 11.09.2023.

Для цитирования: Катин В.Д., Журавлев А.А. Авторские инновационные технические решения в области экологии и безопасности жизнедеятельности для применения в топливосжигающих и золоулавливающих устройствах // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2023. Т. 31. № 4. С. 583–592. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2023-31-4-583-592>

Author's innovative technical solutions in the field of ecology and life safety for use in fuel-burning and ash-collecting devices

Victor D. Katin, Alexander A. Zhuravlev✉

Far Eastern State Transport University, Khabarovsk, Russian Federation

✉goposor@yandex.ru

Abstract. The study reviews and recommends fundamentally new technical solutions in the field of ecology and safety in the technosphere, confirmed by patents for inventions and utility models developed by scientists and graduate students of the Department of Technosphere Safety of the Far Eastern State Transport University. Innovative developments that are of practical interest and deserve attention include installations for preparing water-oil emulsions for combustion, energy-saving devices for environmentally friendly combustion of liquid fuels, rational designs of low-toxic gas and oil burners, as well as effective filter-cyclone and group cyclone devices for purification of flue gases from coal and fuel oil boiler and furnace units.

Keywords: innovative technical solutions, energy-saving devices, low-waste and best available technologies, boiler and furnace installations, fuel combustion, environmental and technospheric safety, environmental protection, water-oil emulsions, gas-oil burners, cyclones-ash collectors

Authors' contributions: V.D. Katin is the author of inventions and utility models, writing the text of the article; A.A. Zhuravlev – author of utility models, preparation of publication text;

Article history: received 12.05.2023; revised 24.08.2023; accepted 11.09.2023.

For citation: Katin VD, Zhuravlev AA. Author's innovative technical solutions in the field of ecology and life safety for use in fuel-burning and ash-collecting devices. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2023;31(4):583–592. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2023-31-4-583-592>

Введение

Несомненно, что современные технологии создают техногенный и экологический риск. В этой связи в настоящее время становится актуальной проблема повышения экологической и техносферной безопасности различных производств: теплоэнергетики, транспортной отрасли, нефтепереработки и

др. Эксплуатируемые на теплоэнергетических, транспортных и нефтеперерабатывающих предприятиях котельные и печные установки являются главными источниками загрязнения окружающей среды, прежде всего атмосферного воздуха. Это можно объяснить тем, что уровень проектных решений и техническое состояние котельно-печного парка, по экологическим аспектам, не в полной мере соответствует современным требованиям охраны окружающей среды.

При рассмотрении этой проблемы в направлении Экологической стратегии железнодорожного транспорта на период до 2030 г. [1] становится важным снижение негативного воздействия на окружающую природную среду к 2030 г. на 70 % за счет внедрения энергосберегающих установок и наилучших доступных технологий.

Очевидно, что разработку и практическое применение воздухоохраных и эффективных технических решений по сжиганию топлива следует производить уже в настоящее время, и это должно стать насущной и приоритетной задачей как экологических, так и энергетических служб промышленных предприятий [2; 3].

В связи с этим приоритетными задачами в условиях теплоэнергетических, нефтеперерабатывающих и других производств становятся поиск и разработка наиболее эффективных и рациональных технических решений, направленных на создание новых технологий и устройств в сфере экологии и безопасности жизнедеятельности.

Ниже даны описания инновационных технических разработок, защищенных патентами на изобретения и полезные модели, созданных авторами при выполнении научных исследований и представляющих практический интерес для предприятий транспорта, теплоэнергетики, нефтегазовой отрасли и других производств.

Эффективные установки новой конструкции для приготовления водомазутных эмульсий (ВМЭ) с целью их дальнейшего экологического сжигания в котельных, работающих на жидком топливе

Полезная модель (патент № 149636) относится к области теплоэнергетики и может быть использована для приготовления водотопливных эмульсий (ВТЭ) для котельных. Устройство для приготовления ВТЭ содержит топливную накопительную цистерну, снабженную патрубком спуска отстоянной воды, эмульгатор, снабженный напорным патрубком и двумя приемными патрубками, два приемных трубопровода для забора топлива из накопительной цистерны, соединенные с приемными патрубками эмульгатора, фильтры, установленные на линии приемных трубопроводов перед эмульгатором, трубопровод для подачи гомогенной водотопливной эмульсии в верхнюю часть топливной накопительной цистерны и трубопровод для подачи топлива в расходную цистерну, соединенные с напорным патрубком эмульгатора [4].

Технический результат новой разработки заключается в уменьшении не только времени для приготовления ВМЭ, но и энергозатрат за счет

сокращения цикла диспергирования топлива, а также в снижении затрат на текущую эксплуатацию устройства путем исключения образования осадка в застойных зонах устройства. Для достижения цели авторами предлагается [4]:

а) соединить два приемных трубопровода между собой, образуя приемный трубопровод в виде замкнутого контура;

б) выполнить на приемном трубопроводе отверстия диаметром 6–8 мм, суммарная площадь которых составляет не менее двух площадей поперечного сечения приемного трубопровода;

в) расположить приемный трубопровод горизонтально и установить его внутри цистерны на $3/4$ ее длины и на высоте $h = 100–200$ мм от дна цистерны.

С целью дальнейшего сокращения времени приготовления ВМЭ и улучшения ее качества перед сжиганием в котельных транспортных предприятий авторами в работе [5] предлагается еще одно устройство, которое защищено патентом на изобретение № 2621332. Сущность технического решения заключается в том, что приемный трубопровод оборудован вибратором кулачкового типа, кулачок которого установлен внутри цистерны под консолью приемного трубопровода и связан через вал с приводом, установленным снаружи цистерны. Благодаря этому отличительному признаку сокращается время приготовления и улучшается качество ВМЭ. Это обусловлено созданием колебаний приемного трубопровода, что позволяет дробить дополнительно водяные линзы. Особенностью и отличием от аналогов является то, что в процессе эксплуатации устройства вибратор имеет периодический режим работы: отключается и включается автоматически после слива части отстоявшейся воды, а также после прекращения подготовки ВМЭ. Новое устройство позволяет сократить вредные выбросы в атмосферу при сжигании ВМЭ на 15–25 %, объем капитальных вложений и энергозатрат на 10–20 % [5].

Новые энергосберегающие устройства для сжигания жидкого топлива с малым выбросом загрязняющих веществ в атмосферу

Полезная модель (патент № 187320) предназначена для сжигания обводненных мазутов в виде ВМЭ с сопутствующей утилизацией теплоты уходящих продуктов сгорания котлов и печей и может быть использована в теплоэнергетической и нефтеперерабатывающей отрасли. Техническим результатом нового устройства является повышение экологической эффективности сжигания жидкого топлива путем снижения выбросов оксидов азота (NO_x) [6]. Устройство содержит последовательно соединенные трубопровод подачи жидкого топлива, фильтр, установленный на трубопроводе для удаления из жидкого топлива механических примесей, насос, диспергатор, котел или печь с форсункой и топкой, дымовую трубу, соединенную через дымоход с котлом или печью. Участок трубопровода подачи жидкого топлива, примыкающий к котельному или печному агрегату, проложен в канале дымохода. Для достижения поставленной цели авторы предлагают установить в топке котла или печи трубу с распылителем пара, подаваемого в зону горения, и за счет этого происходит снижение выброса NO_x на 5–10 % [6].

Следует отметить универсальность данного метода, которая заключается в возможности использования пара на НПЗ из существующей системы пожаротушения трубчатых печей в качестве впрыскиваемой среды. При этом важно выбрать рациональную конструкцию аппарата для подачи пара в корень факела, где происходит максимальное образование NO_x . Названный способ эффективен не только для подавления NO_x , но и снижения образования оксида углерода, сажи и углеводородов путем увеличения их скорости выгорания за счет радикалов Н и ОН [6].

Дальнейшая модернизация конструкции данного устройства, проведенная авторами в работе [7], позволила на 10–15 % сократить выбросы NO_x путем установки в топке котла (печи) водяного трубчатого змеевика. Экологический эффект достигается подачей холодной воды в трубчатый змеевик, которая подогревается от зоны горения ВМЭ и это приводит к уменьшению температуры горения за счет теплоотвода от факела. На данное техническое решение авторами получен патент № 197468 [7]. Отметим, что новая разработка может быть успешно применена как в котельных, так и в печных установках, работающих на жидком и газообразном топливе.

Ниже дано описание еще одной новой конструкции энергосберегающей установки для сжигания мазута в виде ВМЭ, созданной авторами и защищенной патентом № 207269 на полезную модель [8]. Существенное отличие предлагаемого устройства от аналогов заключается в дополнительной установке эмульгатора на подающем трубопроводе, а в топке котельного или печного агрегата оборудуют специальный инжектор с обратным клапаном для периодической подачи холодного воздуха. Благодаря указанному отличительному признаку значительно повышается экологическая эффективность сжигания ВМЭ. Это объясняется тем, что поступающее на сжигание жидкое топливо, предварительно проходит через эмульгатор, в котором готовится для сжигания ВМЭ, при сгорании которой снижаются выбросы вредных веществ. Через инжектор с обратным клапаном поступает холодный воздух в топку и тем самым уменьшает максимальную температуру горения и, следовательно, подавляет образование как NO_x , так и продуктов неполного горения [8].

Новые конструкции газомазутных горелок с малым выбросом вредных веществ из котлов и печей

В настоящее время перспективность применения в печах и котлах новых газомазутных горелок должна представляться с учетом негативных экологических последствий, и прежде всего сопутствующего загрязнения атмосферы токсичными продуктами сгорания.

Так, применительно к нефтезаводским трубчатым печам необходимо отметить, что в эксплуатируемых горелочных устройствах типа ГП, ГЭВК и др. имеется существенный конструктивный недостаток, который заключается в неправильном расположении в одной камере газовой части горелки и жидкостной мазутной форсунки. В результате при эксплуатации подобных

горелок наблюдается попадание мазутных капель в газовые сопла с дальнейшим закоксовыванием их отверстий и нарушением их работы и трубчатой печи в целом. Это приводит к остановке печи и полному демонтажу горелок для устранения нарушения.

Авторы разработали новую конструкцию горелки типа ГП-2, защищенную патентом № 139470 на полезную модель [9]. Предлагаемая горелка содержит корпус с патрубком для подачи воздуха, соединенный с амбразурой горелки, установленной в отверстие печи, смесительную камеру, трубу с патрубком для подачи воздуха при работе горелки на мазуте, расположенную по оси корпуса, мазутную форсунку, установленную внутри трубы, вставку, закрепленную на наружной поверхности трубы с возможностью поворота и предназначенную для образования пережима на воздушном тракте, периферийный кольцевой коллектор с патрубком и газораздающими отверстиями, расположенными в зоне пережима воздушного тракта. Технический результат заключается в повышении надежности и эффективности совместного сжигания газа и мазута в горелке без каких-либо сопутствующих нарушений в работе. С этой целью авторами предлагается распылительную часть мазутной форсунки горизонтально сдвинуть и расположить в амбразуре горелки [9]. 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 исключается близость расположения распылительной части форсунки от газораздающих отверстий.

Отметим, что новая конструкция комбинированной горелки ГП-2 была апробирована в заводских условиях на печи установки первичной переработки нефти Хабаровского НПЗ и показала надежную и эффективную работу при совместном сжигании газа и мазута: закоксовывания газораздающих отверстий нераспыленными частицами мазута не было выявлено.

Дальнейшее усовершенствование конструкции горелки ГП-2, проведенное авторами в работе [10], подтверждено патентом № 158820 на полезную модель как отвечающую требованиям новизны и получения высокого экологического эффекта. Целью авторской новой технической разработки являлось повышение экологической эффективности совместного сжигания газа и мазута в горелке за счет снижения выбросов NO_x .

Для достижения поставленной цели авторами предлагается:

- установить форсунку с возможностью осевого перемещения относительно амбразуры горелки к ее выходу;
- оборудовать горелку каналом с заслонкой, который располагают у основания амбразуры, и специальным отверстием в основании амбразуры для подачи рециркулирующих дымовых газов.

Данные практические рекомендации позволяют эксплуатационникам на Хабаровском и других НПЗ сократить выбросы NO_x на 20–30 % без значительных материальных затрат.

Полезная модель (патент № 187181) также связана с еще одной реконструкцией горелки ГП-2, при создании которой авторы поставили цель достижения сокращения выбросов NO_x при совместном сжигании газа и мазута [11]. Признаком, отличающим новую горелку типа ГП от аналогов, является то, что в ней в канале у основания амбразуры дополнительно устанавливается труба с распылителем пара в зону горения топлива. При этом подаваемый пар снижает максимальную температуру горения и приводит к сокращению выбросов NO_x на 10–15 %. Таким образом, учитывая, что горелки типа ГП-2 нашли на отечественных НПЗ наиболее широкое применение, для решения насущных экологических задач следует рекомендовать новые малотоксичные горелочные устройства, защищенные патентами [9–11] для замены несовершенных горелок по экологическим аспектам.

Следует также отметить, что полезная модель (патент № 208146) устраняет эксплуатационные и конструктивные недостатки горелки ГП-2, подробно описанной в патенте [11], взятой за прототип. Одним из основных недостатков прототипа является неполнота сгорания газообразного топлива вследствие неравномерного распределения воздушного потока в смесительной камере и неудовлетворительного перемешивания газа с воздухом [12]. Технической задачей является создание принципиально новой конструкции газомазутной горелки с малым выбросом NO_x при обеспечении полноты сжигания газа и снижении шума при ее работе. Для достижения цели авторы предлагают дополнительно оборудовать горелку разделителем воздушного потока с овальными отверстиями в смесительной камере, а также установить впрыски сжатого воздуха периодического действия.

Благодаря указанному отличительному признаку существенно повышается экологическая эффективность горелочного устройства, что обусловлено тем, что разделитель воздушного потока выполнен с овальными отверстиями, выполняющими задачу распределения воздушного потока по высоте смесительной камеры, а впрыски сжатого воздуха, установленные в смесительной камере под углом 20–30°, интенсифицируют процесс перемешивания газа с воздухом.

Впрыски сжатого воздуха в горелку и интенсификация смешения газа с воздухом позволяют реально сократить выбросы NO_x и обеспечить полноту сгорания газообразного топлива. Данная горелка рекомендуется для применения в печных и котельных агрегатах как отличающаяся от аналогов новизной устройства и экологической эффективностью [12].

Разработка эффективных циклонов-золоуловителей новой конструкции для очистки дымовых газов от твердых частиц

Проблема, существующая в области очистки запыленного газового потока, заключается в том, что все известные циклоны в основном позволяют производить очистку крупных частиц дисперсной фазы от дисперсионной

среды (газа) с последующим их удалением, а мелкие частицы из-за своих небольших размеров поступают в атмосферу, в результате чего происходит загрязнение воздушного бассейна.

Конструкция нового фильтра-циклона, защищенная патентом № 2638969 на изобретение, подробно описана ниже. Целью предлагаемого авторского технического решения является повышение производительности и снижение затрат на эксплуатацию фильтра-циклона. Для её достижения авторы согласно изобретению установили набор фильтров внутри выхлопной трубы подвижно на фланце, который связан с верхней частью выхлопной трубы упругими элементами и оборудован вибратором кулачкового типа. Кроме того, упругие элементы выполнены в виде пружин, которые расположены по окружности фланца. Итак, признаками, отличающими фильтр-циклон от прототипа, являются установка набора фильтров внутри выхлопной трубы подвижно на фланце, который связан с верхней частью выхлопной трубы упругими элементами и оборудован вибратором, и выполнение упругих элементов в виде пружин, расположенных по окружности фланца. Это позволяет производить очистку набора фильтров без демонтажа в процессе эксплуатации за счет вибрации сеток и их самоочистки. Благодаря отличительным признакам предлагаемый фильтр-циклон повышает производительность и снижает затраты на эксплуатацию устройства. Причем вибратор включают периодически, в зависимости от уровня загрязнения сеток фильтра. Выполнение упругих элементов в виде пружин повышает надежность процесса очистки фильтра.

Полезная модель (патент № 202973) «Групповой циклон» предназначена для очистки больших объемов запыленных дымовых газов (до 150 000 м³/ч) в угольных котельных. Групповой циклон содержит коллектор, общую камеру для очищенного газа с газоходом, общий бункер для сбора уловленной пыли, циклонные элементы, содержащие вертикальный цилиндрический корпус с коническим днищем, снабженным штуцером для удаления золы, выхлопную трубу, штуцер для подачи в аппарат зологазового потока, расположенный тангенциально к корпусу, крышку, коллектор, расположенный в верхней части одного из циклонных элементов, выполнен в виде цилиндра ступенчато уменьшающимся в диаметре по высоте, с тангенциальным подводом газов. При этом каждая ступень снабжена патрубками для отвода части газов в циклонные элементы, расположенные тангенциально. Технической задачей являлось повышение степени очистки зологазового потока путем улавливания мелкодисперсных частиц золы. Для решения поставленной задачи предлагается внутри газохода перед выбросом в атмосферу дополнительно установить фильтр для улавливания мелкодисперсных золовых частиц.

Таким образом, в отличие от аналогов данное устройство позволяет повысить его экологическую эффективность и увеличить степень очистки от твердых частиц до 90 %. На данную конструкцию группового циклона авторами получен патент на полезную модель [14].

Заключение

На основании изложенного материала можно рекомендовать для практического применения следующие новые технические решения в сфере экологии и безопасности жизнедеятельности:

- рациональные установки по приготовлению ВМЭ с целью дальнейшего экологичного сжигания в котлах и печах;
- энергосберегающие устройства для сжигания жидкого топлива в печных и котельных установках с малым выбросом вредных веществ в атмосферу;
- комбинированные горелочные устройства с минимальным выбросом оксидов азота и других загрязняющих веществ;
- эффективные конструкции золоуловителей циклонного типа для очистки дымовых газов котельно-печного парка от твердых частиц.

Рекомендуемые для внедрения авторские инновационные технические разработки обладают простотой устройства, оригинальностью конструкции, достаточно высокой экологической эффективностью и сравнительно невысокими материальными затратами.

Список литературы

- [1] Экологическая стратегия ОАО «Российские железные дороги» на период до 2015 года и на перспективу 2030 года. URL: <https://company.rzd.ru/ru/9353/page/105104?id=958> (дата обращения: 28.10.2023).
- [2] Катин В.Д., Шевцов М.Н., Журавлев А.А. Энергосберегающие и экологичные технологии в нефтегазовой и других отраслях промышленности. Хабаровск: ТОГУ, 2022. 128 с.
- [3] Катин В.Д., Катин А.В., Журавлев А.А. Научно-технические подходы к проблеме повышения экологической безопасности и эффективности энергосбережения. Хабаровск: ТОГУ, 2022. 178 с.
- [4] Патент 149636 RU. Устройство для приготовления водотопливной эмульсии / В.Д. Катин, И.В. Вольхин. Опубл. 10.01.2015. Бюл. № 1.
- [5] Патент 2621332 RU. Устройство для приготовления водотопливной эмульсии / В.Д. Катин, А.П. Богачев, И.В. Вольхин. Опубл. 02.06.2017. Бюл. № 16.
- [6] Патент 187320 RU. Устройство для сжигания жидкого топлива / В.Д. Катин, В.И. Нестеров, М.Н. Шевцов. Опубл. 01.03.2019. Бюл. № 7.
- [7] Патент 197468 RU. Устройство для сжигания жидкого топлива / В.Д. Катин, И.В. Вольхин. Опубл. 29.04.2020. Бюл. № 13.
- [8] Патент 207269 RU. Устройство для сжигания жидкого топлива / А.А. Журавлев, В.Д. Катин. Опубл. 21.10.2021. Бюл. № 30.
- [9] Патент 139470 RU. Газомазутная горелка / В.Д. Катин, А.Ю. Березуцкий. Опубл. 20.04.2014. Бюл. № 11.
- [10] Патент 158820 RU. Газомазутная горелка / А.Ю. Березуцкий, В.Д. Катин. Опубл. 20.01.2016. Бюл. № 2.
- [11] Патент 187171 RU. Газомазутная горелка / В.Д. Катин, В.И. Нестеров. Опубл. 22.02.2019. Бюл. № 6.
- [12] Патент 208146 RU. Газомазутная горелка / А.А. Журавлев, В.Д. Катин. Опубл. 06.12.2021. Бюл. № 34.
- [13] Патент 2638969 RU. Фильтр-циклон для очистки газов / В.Д. Катин, А.П. Богачев. Опубл. 19.12.2017. Бюл. № 35.

- [14] Патент 202973 RU. Групповой циклон для очистки газов / В.Д. Катин, В.И. Нестеров. Опубл. 17.03.2021. Бюл. № 8.

References

- [1] *Ecological strategy of Russian Railways OJSC for the period up to 2015 and for the prospect of 2030*. (In Russ.) Available from: <https://company.rzd.ru/ru/9353/page/105104?id=958> (accessed: 28.10.2023).
- [2] Katin VD, Shevtsov MN, Zhuravlev AA. *Energy-saving and environmentally friendly technologies in oil and gas and other industries*. Khabarovsk: TOGU; 2022. 128 p.
- [3] Katin VD, Katin AV, Zhuravlev AA. *Scientific and technical approaches to the problem of improving environmental safety and energy saving efficiency*. Khabarovsk: TOGU; 2022. 178 p.
- [4] Patent 149636 RU. *Device for preparation of water-fuel emulsion*. VD Katin, IV Volkhin. Publ. 01/10/2015. Bul. No. 1.
- [5] Patent 2621232 RU. *Device for preparation of water-fuel emulsion*. VD Katin, AP Bogachev, IV Volkhin. Publ. 06/02/2017. Bul. No. 16.
- [6] Patent 187320 RU. *Device for burning liquid fuel*. VD Katin, VI Nesterov, MN Shevtsov. Publ. 03/01/2019. Bul. No. 7.
- [7] Patent 197468 RU. *Device for burning liquid fuel*. VD Katin, IV Volkhin. Publ. 04/29/2020. Bul. No. 13.
- [8] Patent 207269 RU. *Device for burning liquid fuel*. AA Zhuravlev, VD Katin. Publ. 10/21/2021. Bul. No. 30.
- [9] Patent 139470 RU. *Oil-gas burner*. VD Katin, AYu Berezutsky. Publ. 04/20/2014. Bul. No. 11.
- [10] Patent 158820 RU. *Oil-gas burner*. AYu Berezutsky, VD Katin. Publ. 01/20/2016. Bul. No. 2.
- [11] Patent 187171 RU. *Oil-gas burner*. VD Katin, VI Nesterov. Publ. 02/22/2019. Bul. No. 6.
- [12] Patent 208146 RU. *Oil-gas burner*. AA Zhuravlev, VD Katin. Publ. 06.12.2021. Bul. No. 34.
- [13] Patent 2638969 RU. *Filter cyclone for gas purification*. VD Katin, AP Bogachev. Publ. 12/19/2017. Bul. No. 35.
- [14] Patent 202973 RU. *Group cyclone for gas purification*. VD Katin, VI Nesterov. Publ. 03/17/2021. Bul. No. 8.

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