

УДК 629.5.03:621.43.068-021.465
DOI: <https://doi.org/10.37890/jwt.vi63.88>

ОЦЕНКА ЗАВИСИМОСТИ СТЕПЕНИ ОЧИСТКИ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ СУДОВЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК ОТ КОРРОЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ И КОЛИЧЕСТВА СОСТАВА КАТАЛИТИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА

Н.Н. Горлова

*Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунов»,
г. Барнаул, Алтайский край, Россия*

Г.В. Медведев

*Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова,
г. Барнаул, Алтайский край, Россия*

Аннотация: Значительное негативное влияние на составляющие окружающей среды (атмосферу и гидросферу) оказывает водный транспорт в результате использования «тяжелых» топлив и отсутствия эффективных систем очистки отработавших газов. Одним из технологически и экономически эффективным способом является очистка отработавших судовых энергетических установок с использованием каталитических нейтрализаторов. Обеспечение оптимальной степени очистки отработавших газов от соединений серы и азота обеспечивается за счет использования в системах очистки пористых проницаемых СВС-каталитических материалов.

В результате проведенных исследований был определен оптимальный количественный состав каталитического материала, позволяющий обеспечить максимальное снижение вредных веществ в отработавших газах судовых энергетических установок.

Ключевые слова: суда, энергетические установки, каталитическая нейтрализация, коррозионная стойкость.

Введение

Существенное негативное влияние на объекты окружающей среды оказывает транспорт за счет выбросов отработавших газов в атмосферу, сточных вод в водные объекты и др.

Разработка путей решения выявленных проблем основывается, прежде всего, на выявлении причины негативного воздействия.

Одной из актуальных проблем является особенность загрязнения водной среды ввиду быстрого распространения загрязнений на большие площади; большой инерцией реагирования на попадание в среду вредных веществ; высокой степенью накопления в живых организмах вредных веществ. Загрязнение водных объектов приводит к накоплению вредных веществ в составляющих морской биосреды. Попадая в качестве пищевых продуктов они оказывают отрицательное влияние на здоровье человека.

Существенный вклад в загрязнение водных объектов и, как следствие, прибрежных зон вносят суда, а именно – выбросы вредных веществ в атмосферу в результате сжигания дизельного топлива судовыми дизелями.

Ухудшающаяся экологическая ситуация заставляет по-новому относиться к существующим судовым энергетическим установкам (СЭУ) и перспективам их развития. Постепенно меняется влияние применения высокосернистых сортов топлива, поскольку наличие серы в отработавших газах сопоставимо содержанию ее в топливе [1, 2].

По своей сути судно представляет, в определенной степени, опасность для компонентов окружающей среды, вне зависимости от того, движется ли оно или простаивает.

Снижение нагрузки на окружающую среду возможно за счет сокращения количества эксплуатируемых судов, что в условиях современной экономики не представляется возможным. При сохранении существующего объема транспортных работ это осуществимо только при условии повышения производительности судов и их провозной способности. Однако это не позволит снизить отрицательное воздействие на атмосферу.

Негативное влияние на экологию в мире продолжает ухудшаться, что способствует поиску современной оценки направлений, новых перспектив в развитии СЭУ и выбора оптимальных режимов их эксплуатации [3].

Несмотря на то, что СЭУ морских судов не относятся к лидерам по воздействию на окружающую среду, стоит брать их во внимание ввиду того, что концентрация судов на ограниченных территориях шельфовых зон, бывает значительной. Так, в результате сгорания 1 тонны топлива происходит выброс в атмосферу примерно 60 кг NO_x, 8 кг CO, до 6 кг SO_x, 3 кг C_xH_y, а также твердых частиц.

В результате эксплуатации судовых дизелей происходит, прежде всего, загрязнение отработавшими газами атмосферы [4], откуда вредные вещества попадают с осадками в водоемы и почву.

Оксиды углерода и углеводороды в газообразном состоянии тяжелее воздуха и скапливаются на поверхности водного объекта. Оксиды углерода активно участвуют в окислительных реакциях с превращением в диоксид углерода, большая концентрация которого в атмосфере вызывает «парниковый эффект».

Образующиеся в результате сгорания дизельного топлива твердые частички сажи разных размеров могут долгое время находиться во взвешенном состоянии над поверхностью воды. Обладая высокой адсорбционной способностью, сажа может накапливать на пористой поверхности твердой частички газообразные и жидкие токсичные вещества (бенз(а)пирен, альдегиды, формальдегиды и др.). В связи с этим практически все токсичные вещества транспортируются по прилегающей к судну акватории. В результате намочения и под действием сил тяжести частицы сажи выпадают с осадками как в водный объект, так и на сушу, осуществляя тем самым негативное воздействие на всех живых представителей окружающей среды.

Оксиды азота образуются в результате сжигания дизельного топлива в цилиндрах двигателя внутреннего сгорания в результате взаимодействия с кислородом. При взаимодействии оксидов азота с парами воды образуются капельки азотной кислоты. В результате фотохимических реакций с углеводородами оксиды азота образуют смог.

В результате сжигания высокосернистого топлива, на долю которого приходится около 60% от всего количества топлива, в атмосферу попадает значительное количество диоксида серы. Под воздействием кислорода, на твердые частицы металлов, в присутствии паров воды и солнечного света SO_2 окисляется до SO_3 . Опасность SO_3 заключается в том, что при взаимодействии с парами воды образуется серная кислота.

Попадая в атмосферу, образуются серные и азотные кислоты. Их осадки могут выпадать как в виде кислотных дождей, так и с частицами пыли, т.е. без содержания воды. Сохранение объемов кислотных осадков приведет к возрастающему ущербу для человечества такому, как к потере водоемов, лесов, а также последствия усиления эрозии почвы.

По результатам сложившейся экологической ситуации в ходе эксплуатации судовых дизелей можно говорить о целесообразности принятия радикальных мер по снижению негативной нагрузки на компоненты окружающей среды [5–9].

Материалы и методы

К настоящему времени сформирован и продолжает ужесточаться международно-правовой режим защиты и сохранения морской среды. Принятая в 1973 г. Международная Конвенция по предотвращению загрязнения морей с судов (модифицированная Протоколом 1978 года – МАРПОЛ 73/78) на сегодняшний день является одной из основных международных договоров по предотвращению загрязнения моря [3].

Принимаемые меры направлены на снижение влияния выбросов с судов как при эксплуатации, так и в непредвиденных ситуациях.

Повышенный интерес международного сообщества и представителей бизнеса к использованию и освоению морского пространства заставляет серьезно задуматься о перспективах состояния окружающей среды вследствие воздействия осуществляемых видов деятельности: рыболовство, разведка, добыча и перевозка сырья, интенсивное судоходство и др.

В связи с этим продолжает развиваться международный правовой режим защиты и сохранения окружающей среды.

В рамках осуществляемой правовой деятельности на международном уровне устанавливаются ограничения по выбросам оксидов азота и содержанию серы в используемом топливе.

Высокая влажность, приводящая к образованию серной и азотной кислот, активизирует процесс коррозии системы очистки отработавших газов. Следствием этого является снижение каталитической активности материала нейтрализатора вплоть до полной его дезактивации. Одним из эффективных направлений решения обозначенной проблемы является подбор каталитического материала [10–13], максимально устойчивого к коррозии [14].

Особенностью коррозионных процессов системы каталитической очистки отработавших газов судовых дизелей является то, что практически одновременно происходит потеря массы каталитического материала в смеси кислот (серной и азотной) в результате воздействия горячего потока отработавшего газа (газотермическая коррозия) и при низких температурах во влажной кислой среде (низкотемпературная коррозия) [15].

Вышеобозначенные протекающие в условиях эксплуатации судовых дизелей процессы коррозии в неодинаковой степени влияют на характеристики применяемых каталитических материалов и степень очистки отработавших газов от вредных веществ.

Фактор влияния степени процессов коррозии в пористых проницаемых каталитических материалах, получаемых с использованием самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС), -происходит через периодичность и интенсивность влияния самого процесса, отражающегося через потерю массы пористого каталитического материала, а также влияние процесса на физические характеристики, физико-

механические и функциональные свойства пористых проницаемых СВС - каталитических материалов, с использованием взвешенных оценок.

Процесс окисления при низких температурах замедляется, но при этом происходит механическое разрушение внутреннего порового пространства пористого проницаемого материала. При прогреве системы отведения и очистки отработавших газов СЭУ с горячим потоком отработавших газов кристаллы воды тают и с потоком газа частички материала отрываются и уносятся в окружающую среду. В результате вышесказанного можно рассуждать об изменении диаметра пор, извилистости и пористости, что в свою очередь снижает степень очистки отработавших газов судовых дизелей от твердых частиц, соединений азота, серы, углерода.

Предварительно было определено, что наибольшее влияние оказывает газотермическая коррозия. Этот процесс имеет аккумулялирующие воздействие на материал. Он протекает при высоких температурах (порядка 700К) и движении потока отработавшего газа (со скоростью около 98 м³/час) в условиях влажной кислой среды.

С целью изучения процесса коррозии в системе каталитической очистки отработавших газов судовых дизелей был выбран пористый проницаемый СВС – каталитический материал на основе окалины стали, обладающий следующими преимуществами: доступность, экономичность, возможность обеспечения необходимых каталитических свойств.

Предварительные исследования были направлены на изучение основных характеристик и свойств исследуемого материала.

Результаты

Результаты проведенных исследований позволили определить наиболее приемлемые соотношения компонентов в шихте исследуемого материала, позволяющие обеспечить не только эффективное протекание каталитического процесса, но и получать материал с необходимыми физическими характеристиками, физико – механическими и функциональными свойствами.

С целью оценки степени влияния на пористые проницаемые СВС-каталитические материалы протекающих процессов коррозии в результате эксплуатации судовых дизелей, был проведен комплекс дополнительных исследований.

Степень воздействия в ходе комплексной эксплуатации и выявления факторов коррозионной стойкости пористого проницаемого СВС была оценена через компиляционный показатель (K_{ψ}).

В результате исследования было выявлено, что с изменением содержания основного компонента – окалины стали в пористом проницаемом СВС -каталитическом материале ($C_{Fe_2O_3}$) в интервале 42,82...52,78 % по массе снижение концентрации твердых частиц (ТЧ) изменяется от 90 до 92%, при этом наблюдается увеличение коррозионной стойкости материала, о чем свидетельствует изменение комплексного показателя от 15,86 до 12,40% потери массы. Поскольку определяющим свойством исследуемого материала является снижение концентрации твердых частиц, оптимальным является состав материала с содержанием окалины стали 47,82 % по массе.

Результаты проведенных исследований показаны на Рис. 1.

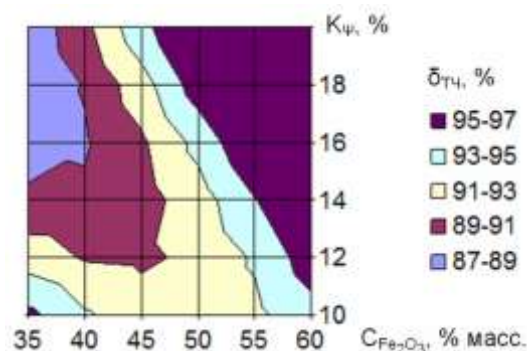


Рис. 1. Зависимость снижения концентрации твердых частиц ($\delta_{ТЧ}$) в отработавших газах от содержания окалины стали и коррозионной стойкости пористого проницаемого СВС – каталитического материала

Выявленные зависимости были описаны следующим выражением:

$$\delta_{ТЧ} = 207,707 - 3,006714 C_{Fe_2O_3} - 8,008295 K_{\psi} + 0,020057 C_{Fe_2O_3}^2 +$$

$$+ 0,117383K_{\psi}^2 + 0,105198C_{Fe_2O_3}K_{\psi}, \% \quad (1)$$

Ранее в литературных источниках не были описаны зависимости, связывающие снижения концентрации твердых частиц в отработавших газах от содержания окалины стали и коррозионной стойкости пористого проникаемого СВС. Полученные значения являются принципиально новыми.

Исследования по изучению влияния состава и комплекса СВС материала на основе окалины стали на снижение концентрации монооксида углерода (СО) позволили получить зависимость, приведенную на Рис. 2.

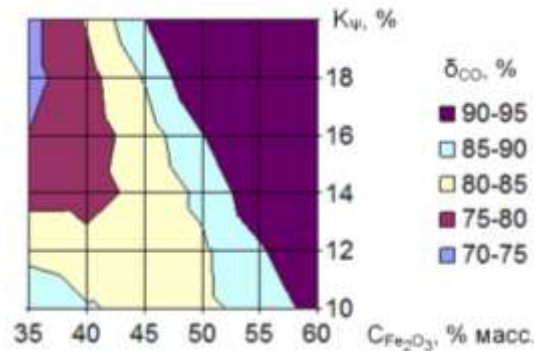


Рис. 2. Зависимость снижения концентрации монооксида углерода (δ_{CO}) в отработавших газах от содержания окалины стали и коррозионной стойкости пористого проникаемого СВС – каталитического материала

Выявленные зависимости были описаны следующим выражением:

$$\delta_{CO} = 327,272 - 6,826186 C_{Fe_2O_3} - 15,891621 K_{\psi} + 0,048436 C_{Fe_2O_3}^2 + 0,205754 K_{\psi}^2 + 0,230317 C_{Fe_2O_3} K_{\psi}, \% \quad (2)$$

Также в научно-технической литературе не было описания зависимости снижения концентрации монооксида углерода в отработавших газах от содержания окалины стали и коррозионной стойкости пористого проникаемого СВС – каталитического материала, что является принципиально новым.

Максимальное снижение концентрации СО с обеспечением оптимальных свойств каталитического материала достигается при содержании окалины стали 52,78% по массе в интервале исследуемых составов. При этом наблюдается минимальная суммарная потеря массы исследуемого материала в результате процесса коррозии ($K_{\psi}=12,4\%$). Было выявлено, что увеличение содержания основного компонента приводит к уменьшению среднего приведенного диаметра пор, проницаемости по воздуху, пористости, удельной поверхности и увеличению извилистости, что отрицательно сказывается на механической прочности при сжатии и изгибе, ударной вязкости, т.е. делает изделие менее эксплуатационно пригодным.

С точки зрения эксплуатации судовых дизелей актуальным является вопрос снижения концентрации оксидов азота (NO_x) и серы (SO_x), выбрасываемых в окружающую среду с отработавшими газами. В связи с этим проводились работы по изучению влияния основных свойств пористого проникаемого СВС – каталитического материала на снижение концентрации NO_x и SO_x .

Поверхность соприкосновения пористого проникаемого СВС - каталитического материала с компонентами отработавшего газа судовых дизелей предопределяет скорость прохождения окислительно-восстановительных реакций, в результате которых снижается агрессивность веществ отработавших газов (соединений азота и серы).

Помимо общей агрессивности соединений азота и серы, они характеризуются способностью к активизации процесса коррозии в реальных условиях эксплуатации систем очистки отработавших газов судовых дизелей.

Проводимые исследования были направлены на определение соотношения компонентов шихты, обеспечивающих не только оптимальные эксплуатационные свойства пористого проникаемого СВС – каталитического материала, но и устойчивость каталитического материала к воздействию агрессивных факторов в условиях эксплуатации.

Результаты исследований в виде зависимости снижения концентрации NO_x и SO_x от содержания окалины стали и коррозионной стойкости исследуемого материала приведены на Рис. 3 и Рис. 4 соответственно.

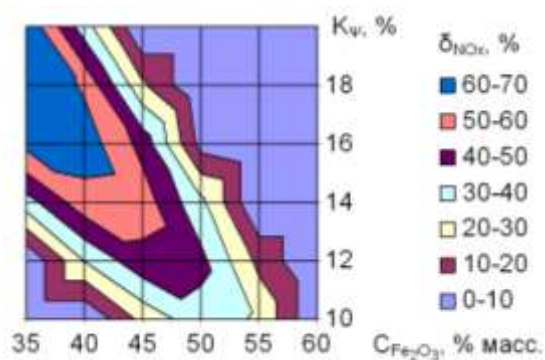


Рис. 3. Зависимость снижения концентрации оксидов азота (δ_{NO_x}) в отработавших газах от содержания окалины стали и коррозионной стойкости пористого проницаемого СВС -каталитического материала

Выявленные зависимости были описаны следующим выражением:

$$\delta_{NO_x} = \delta - 2236,183 + 61,194073 C_{Fe_2O_3} + 138,444500 K_{\psi} - 0,426670 C_{Fe_2O_3}^2 - 2,063257 K_{\psi}^2 - 1,7973231 C_{Fe_2O_3} K_{\psi}, \% \quad (3)$$

Обсуждение

Ранее в научно-технической литературе не были описаны зависимости снижения концентрации NO_x в отработавших газах от содержания окалины стали и коррозионной стойкости пористого проницаемого СВС -каталитического материала. Исследования являются принципиально новыми.

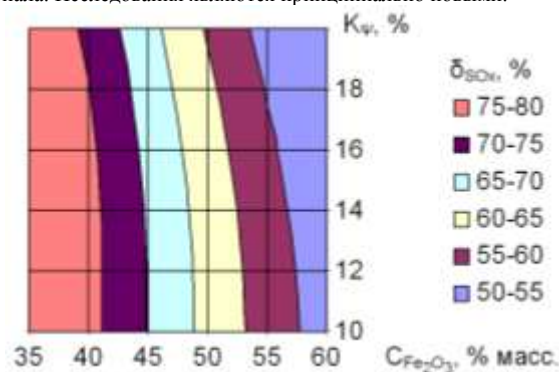


Рис. 4. Зависимость снижения концентрации оксидов серы (δ_{SO_x}) в отработавших газах от содержания окалины стали и коррозионной стойкости пористого проницаемого СВС -каталитического материала

Выявленные зависимости были описаны следующим выражением:

$$\delta_{SO_x} = 134,042 - 1,956434 C_{Fe_2O_3} + 1,659344 K_{\psi} + 0,009221 C_{Fe_2O_3}^2 - 0,042106 K_{\psi}^2 - 0,016095 C_{Fe_2O_3} K_{\psi}, \% \quad (4)$$

Заключение, выводы

Ранее в научно-технической литературе не были описаны зависимости снижения концентрации вредных веществ в отработавших газах от содержания окалины стали и коррозионной стойкости пористого проницаемого СВС -каталитического материала и являются принципиально новыми.

Сложность проводимых исследований заключалась в том, что определиться одним составом шихты для получения пористого проницаемого СВС -каталитического материала, который обеспечит необходимые

свойства и характеристики для системы очистки отработавших газов судовых дизелей, не представляется возможным ввиду особенностей протекания процесса СВС. В связи с этим рабочими интервалами принимаются:

- концентрации окислы стали в составе шихты пористого проницаемого СВС -каталитического материала: 42,84...52,78 % по масс. и соответствующие ему:
- средний приведенный диаметр пор: 177...112 мкм;
- извилистость пор: 1,12...1,35;
- пористость: 0,47...0,29, обеспечивающие:
- механическую прочность при сжатии: 13,8...6,7 МПа
- механическую прочность при изгибе: 3,7...2,9 МПа
- потерю массу в следствии протекании процессов коррозии: 15,86...12,4%, что в комплексе обеспечивают следующие функциональные свойства:
- снижение содержания твердых частиц – 90...92%;
- снижение содержания CO – 80...85%;
- снижение содержания NO_x – 56...28%;
- снижение содержания SO_x – 72...60%.

При этом содержание окислы стали в количестве 47,82 % по массе позволяет обеспечить оптимальные свойства пористого проницаемого СВС -каталитического материала и снижение концентрации твердых частиц в среднем на 91%, CO – 84%, NO_x – 50%, SO_x – 66%.

Полученный в результате проведенных исследований пористый проницаемый СВС -каталитический материал при его использовании в системе очистки отработавших газов судовых дизелей позволит обеспечить соблюдение международных норм и правил по выбросам вредных веществ в атмосферу.

Список литературы:

1. Живлюк Г.Е. Экологическая безопасность судовых ДВС. Выбор эффективного способа соответствия новым требованиям 2020 г. По выбросам серы / Г.Е. Живлюк, А.П. Петров // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова. – 2019. – №4(56). – С. 727–744. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-4-727-744
2. Петров А.П. Экологическая безопасность. Ограничение выбросов серы судовыми энергетическими установками / А.П. Петров, Г.Е. Живлюк // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова. – 2019. – №1(53). – С. 130–145. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-1-130-145
3. Международная Конвенция по предотвращению загрязнения с судов = International Convention for Prevention of Pollution from Ships: VFHGJK/ Кн. III. – пересмотр. изд. - Санкт-Петербург: ЦНИИМФ, 2012. -336 с.
4. Jerzy Herdzik. Emissions from marine engines versus imo certification and requirements of Tier 3/ Journal of KONES Powertrain and Transport, Vol. 18, No. 2, 2011. – p. 161–167.
5. C.F. Heuberger, I. Staffell, N. Shah and N. Mac Dowell, Energy Environ. Sci., 2016, 9, 2497 -2510 RSC .
6. M. Bui, C.S. Adjiman, A. Bardow, E.J. Anthony, A. Boston, S. Brown, P.S. Fennell, S. Fuss, A. Galindo, L.A. Hackett, J.P. Hallett, H.J. Herzog, G. Jackson, J. Kemper, S. Krevor, G.C. Maitland, M. Matuszewski, I.S. Metcalfe, C. Petit, G. Puxty, J. Reimer, D.M. Reiner, E.S. Rubin, S.A. Scott, N. Shah, B. Smit, J. P. M. Trusler, P. Webley, J. Wilcox and N. Mac Dowell, Energy Environ. Sci., 2018, 11, 1062 -1176 RSC .
7. P.J. Bonitatibus Jr., S. Chakraborty, M.D. Doherty, O. Siclován, W.D. Jones and G.L. Soloveichik, Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A., 2015, 112, 1687 -1692 CrossRef PubMed .
8. M. Pena-Lopez, H. Neumann and M. Beller, ChemCatChem, 2015, 7, 865–871 CrossRef CAS .
9. E.A. Bielski, M. Forster, Y. Zhang, W.H. Bernskoetter, N. Hazari and M.C. Holthausen, ACS Catal., 2015, 5, 2404 -2415 CrossRef CAS .
10. Kolomeets M.A. Porous SHS-materials based on iron oxide and aluminum with additions of alloying elements / M.A. Kolomeets, A.V. Maetskii, T.V. Novoselova [et al.] // Refractories and Industrial Ceramics. – 2017. – Vol. 58, № 3. – p. 293–298.
11. Porous Permeable SHS Cermets Based on Iron and Aluminum Oxides. T.V. Novoselova, L.V. Tolmacheva, Yu.G. Chernega, M.A. Kolomeets, A.V. Maetskii, N.P. Tubalov, O.V. Yakovleva., 2017, published in Vestnik Mashinostroeniya, 2017, No. 12, p. 64–69.
12. Shyan L.C., Chun H.L. Combustion Synthesis of Aluminum Nitride: a review // Key Eng. Mat. – 2012. – V. 521 – p. 101–111.
13. Untersuchung der Eigenschaften neuer Dieselpartikellifter. Boger Thorsten, Rose Domenik, Cutler Willard A., Heibel Achim K., Tennent David L. (Corning GmbH, Wiesbaden). MTZ: Motorfreim. Z. 2005, 66. № 9, p. 660–669.
14. Kamyshev Yu.N., Medvedev G.V., Gorlova N.N. Purification of marine diesel exhaust gases by means of porous permeable corrosion-resistant materials. Transactions of the Krylov State Research Center. 2019; Special Edition 2: 187–197
15. Горлова Н.Н. Обеспечение коррозионной стойкости пористых проницаемых каталитических СВС – материалов оптимальным составом и его заданными функциональными свойствами/ Н.Н. Горлова// Ползуновский альманах.– 2017.– № 3. – Т.1.– С. 134–137.

Код поля изменен

Код поля изменен

Код поля изменен

ASSESSMENT OF THE DEPENDENCE OF SHIP POWER PLANTS EXHAUST GASES PURIFICATION DEGREE

ON CORROSION RESISTANCE AND THE AMOUNT OF THE CATALYTIC MATERIAL COMPOSITION

Nina N. Gorlova,

Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Altai Territory, Russia

Gennady V. Medvedev,

Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Altai Territory, Russia

Annotation. A significant negative impact on the environmental components (atmosphere and hydrosphere) is provided by water transport as a result of the use of "heavy" fuels and the lack of effective exhaust gas purification systems. One of the technologically and cost-effective is the cleaning of spent marine power plants using catalytic converters. An optimal degree of purification of exhaust gases from sulfur and nitrogen compounds is ensured by using catalytic materials in porous permeable SHS purification systems.

As a result of the studies, the optimal quantitative composition of the catalytic material was determined, which allows maximum reduction of harmful substances in the exhaust gases of marine power plants.

Keywords: *ships, power plants, catalytic neutralization, corrosion resistance*

References:

1. Zhivlyuk G.E. *E`kologicheskaya bezopasnost` sudovy`x DVS. Vy`bor e`ffektivnogo sposoba sootvetstviya novy`m trebovaniyam 2020 g. PO VY`BROSAM SERY` / G.E. Zhivlyuk, A.P. Petrov // Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova. – 2019. – №4(56). – C. 727-744. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-4-727-744*
2. Petrov A.P. *E`kologicheskaya bezopasnost`. Ogranichenie vy`brosov sery` sudovy`mi e`nergeticheskimi ustanovkami / A.P. Petrov, G.E. Zhivlyuk // Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova. – 2019. – №1(53). – C. 130-145. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-1-130-145*
3. *Mezhdunarodnaya Konvenciya po predotvrashheniyu zagryazneniya s sudov = International Convention for Prevention of Pollution from Ships: VFHGJK/ Kn. III. – peresmotr. izd. – Sankt-Peterburg: CzNIMF, 2012. -336 s.*
4. Jerzy Herdzik. *Emissions from marine engines versus imo certification and requirements of Tier 3/ Journal of KONES Powertrain and Transport. Vol. 18, No. 2, 2011. – p. 161–167.*
5. C. F. Heuberger, I. Staffell, N. Shah and N. Mac Dowell, *Energy Environ. Sci.*, 2016, 9, 2497–2510 RSC .
6. M. Bui, C.S. Adjiman, A. Bardow, E.J. Anthony, A. Boston, S. Brown, P.S. Fennell, S. Fuss, A. Galindo, L.A. Hackett, J.P. Hallett, H.J. Herzog, G. Jackson, J. Kemper, S. Krevor, G. C. Maitland, M. Matuszewski, I. S. Metcalfe, C. Petit, G. Puxty, J. Reimer, D. M. Reiner, E. S. Rubin, S.A. Scott, N. Shah, B. Smit, J. P. M. Trusler, P. Webley, J. Wilcox and N. Mac Dowell, *Energy Environ. Sci.*, 2018, **11**, 1062–1176 RSC .
7. P.J. Bonitatibus Jr., S. Chakraborty, M.D. Doherty, O. Siclován, W. D. Jones and G. L. Soloveichik, *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.*, 2015, **112**, 1687–1692 CrossRef PubMed .
8. M. Pena-Lopez, H. Neumann and M. Beller, *ChemCatChem*, 2015, 7, 865–871 CrossRef CAS.
9. E.A. Bielinski, M. Forster, Y. Zhang, W.H. Bernskoetter, N. Hazari and M.C. Holthausen, *ACS Catal.*, 2015, 5, 2404–2415 CrossRef CAS .
10. Kolomeets, M.A. *Porous SHS-materials based on iron oxide and aluminum with additions of alloying elements / M.A. Kolomeets, A.V. Maetskii, T.V. Novoselova [et al.] // Refractories and Industrial Ceramics. – 2017. – Vol. 58, № 3. – p. 293–298.*
11. *Porous Permeable SHS Cermets Based on Iron and Aluminum Oxides. T.V. Novoselova, L.V. Tolmacheva, Yu.G. Chernega, M.A. Kolomeets, A.V. Maetskii, N.P. Tubalov, O.V. Yakovleva., 2017, published in Vestnik Mashinostroeniya, 2017, No. 12, p. 64–69.*
12. Shyan? L.C., Chun H.L. *Combustion Synthesis of Aluminum Nitride: a review // Key Eng. Mat. – 2012. – V. 521 – p. 101–111.*
13. *Untersuchung der Eigenschaften neuer Dieselpartikelfilter. Boger Thorsten, Rose Domenik, Cutler Willard A., Heibel Achim K., Tennent David L. (Corning GmbH, Wiesbaden). MTZ: Motorfreim. Z. 2005, 66. № 9, p. 660–669.*
14. Kamyshov Yu.N., Medvedev G.V., Gorlova N.N. *Purification of marine diesel exhaust gases by means of porous permeable corrosion-resistant materials. Transactions of the Krylov State Research Center. 2019; Special Edition 2: 187–197*
15. Gorlova, N.N. *Obespechenie korrozionnoj stojkosti poristy`x proniczaemy`x kataliticheskix SVS – materialov optimal`ny`m sostavom i ego zadanny`mi funkcional`ny`mi svojstvami/ N.N. Gorlova// Polzunovskij al`manax.– 2017.– № 3. – T.1.– S. 134–137.*

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Горлова Нина Николаевна, доцент, к.т.н., доцент, кафедра Менеджмента Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова» (ФГБОУ ВО «АлГТУ») 656038, Алтайский край, г. Барнаул, пр. Ленина, 46,

e-mail: Gnn.09@mail.ru

Медведев Геннадий Валериевич, доцент,

Nina N. Gorlova, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor Department of ground transportation and technological systems Polzunov Altai State Technical University 46, Lenin Av., Barnaul, Altai Territory, Russia, 656038

Gennady V. Medvedev, Candidate of

Код поля изменен

Код поля изменен

Код поля изменен

к.т.н., кафедра Наземных транспортно-технологических систем, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова» (ФГБОУ ВО «АлтГТУ») 656038, Алтайский край, г. Барнаул, пр. Ленина, 46,
e-mail: Genatswaly@mail.ru

Engineering Sciences, Associate Professor
Department of ground transportation and technological systems
Polzunov Altai State Technical University
46, Lenin Av., Barnaul, Altai Territory,
656038, Russia,

Статья поступила в редакцию 25.12.2019 г.