

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КАТАЛИТИЧЕСКОЙ НЕЙТРАЛИЗАЦИИ ДЛЯ ОЧИСТКИ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ СУДОВЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК В УСЛОВИЯХ АГРЕССИВНОЙ СРЕДЫ

**Н.Н. Горлова**

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

*Аннотация: среди используемых методов наиболее эффективным, с точки зрения качества очистки от основных вредных веществ, является каталитическая нейтрализация. Результативность использования данного метода во многом определяется свойствами и характеристиками используемого каталитического материала. Подбор соответствующего состава предопределяет обеспечение физических, физико-механических и коррозионных свойств используемых каталитических материалов. В связи с этим были изучены возможности использования окалины стали и формовочной глины в качестве базовых компонентов в шихте материала. С целью снижения стоимости системы очистки рассмотрена возможность замещения ценных дорогих компонентов размолами руд соответствующего состава. В результате проведенных исследований был определен оптимальный качественный и количественный состав шихты каталитического материала.*

*Ключевые слова: суда, энергетические установки, оксиды серы, оксиды азота, каталитическая нейтрализация, пористые материалы.*

## Введение

Эксплуатация судовых энергетических установок (СЭУ) в настоящее время связана с интенсивным воздействием их на атмосферу, водные объекты и сушу, т.к. выбрасываемые отработавшие газы судовых дизелей, содержащие более 100 веществ и соединений, обладают разной степенью агрессивности.

Все используемые методы очистки отработавших газов можно разделить на группы, характеризующиеся различной степенью очистки от вредных веществ отработавших газов СЭУ: абсорбция, жидкостная нейтрализация, пламенная нейтрализация (термическая), эжекционно-пламенное дожигание, каталитическая нейтрализация, термокаталитическая нейтрализация (кипящий слой), подача воздуха в выпускной трубопровод, антидымные электрофильтры, антидымные фильтры из синтетических материалов, фильтрующие элементы из керамики с пропиткой или нанесением катализатора, дожигание в выпускном коллекторе [1, 2, 3, 4, 5, 6].

Среди перечисленных выше методов, одним из перспективных и наиболее эффективных, является метод каталитической нейтрализации с использованием пористых проницаемых каталитических материалов. Он позволяет осуществлять комплексную очистку от твердых частиц, углеводородов, оксидов углерода, азота, серы в пределах 20...90% в зависимости от исходной концентрации вредных веществ. Такой результат во многом достигается за счет особых свойств используемых каталитических материалов, таких как пористость, извилистость, проницаемость и др. Получение таких материалов стало возможным в результате открытия процесса самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) [7, 8, 9].

Особенность процесса СВС заключается в том, что для его реализации необходимы минимальные энергозатраты; возможность получения более чистых конечных продуктов в результате высокой температуры протекания процесса и выгорания при этом летучих примесей; использование простого технологического оборудования; затрачиваемое время на процесс значительно меньше по сравнению с другими методами; возможность получения современных материалов с заданными свойствами с использованием более дешевого сырья и в меньших количествах.

Кроме того, следует отметить экологический аспект использования СВС, заключающийся в снижении выбросов загрязняющих веществ в атмосферу и простоте переработки твердых отходов вследствие особенностей самого процесса.

Получение пористых проницаемых СВС-каталитических материалов с определенным набором физических характеристик, физико-механических и функциональных свойств, связано с подбором покомпонентного состава шихты каталитического материала [10].

При этом важным является вопрос получения экономически эффективного и технологически приемлемого каталитического материала, позволяющего сократить затраты на его производство и эксплуатацию.

## Материалы и методы

В качестве основного компонента была изучена возможность использования окалины стали для получения пористых проницаемых СВС-каталитических материалов. С целью обеспечения необходимых

свойств в состав шихты добавляется родий, иридий, медь в виде очищенных от примесей компонентов, но это приводит к значительному удорожанию получаемого каталитического материала [11].

В качестве варианта сокращения использования дорогих чистых компонентов рассмотрена возможность их замещения формовочной глиной. В своем составе она содержит комплекс элементов, позволяющих не только обеспечить эффективность протекания процесса СВС, но и обеспечить соответствующие для системы очистки отработавших газов характеристики

С целью оценки целесообразности использования в составе шихты окалины легированной стали и формовочной глины был проведен ряд исследований по изучению динамики изменения свойств каталитического материала от изменения покомпонентного состава шихты [12,13].

Поскольку основной целью использования изучаемых каталитических материалов является очистка отработавших газов судовых энергетических установок от твердых частиц и оксидов углерода, азота и серы, в качестве приоритетных были определены следующие свойства и характеристики материала: средний приведенный диаметр пор, пористость, извилистость, механическая прочность при сжатии и на изгиб, ударная вязкость.

## Результаты

В результате проведенного комплекса экспериментальных исследований были выявлены следующие закономерности. Исследуемые составы материалов в пределах изучаемых концентраций основных компонентов шихты (на основе окалины стали и формовочной глины), с увеличением концентрации базовых компонентов позволяют обеспечить:

- средний приведенный диаметр пор в интервале 177...112 мкм и 172...119 мкм для составов на основе окалины стали и формовочной глины соответственно;
- извилистость: 1,12...1,35 для состава с окалиной стали и 1,22...1,45 для состава на основе формовочной глины;
- пористость: 0,47...0,29 для состава с окалиной стали и 0,45...0,27 для состава на основе формовочной глины;
- механическая прочность при сжатии (МПа): 13,8...6,7 для состава с окалиной стали и 8,5...5,6 для состава на основе формовочной глины;
- механическая прочность при изгибе (МПа): 3,7...2,9 для состава с окалиной стали и 2,9...2,3 для состава на основе формовочной глины;
- ударная вязкость (Дж/м<sup>2</sup>): 0,31...0,151 для состава с окалиной стали и 0,24...0,105 для состава на основе формовочной глины.

Выбор используемых материалов должен быть основан на оптимальном соотношении физических характеристик и физико-механических свойств.

Особенностью эксплуатации СЭУ является использование дизельного топлива с содержанием серы в интервале 0,5...0,001% в условиях повышенной влажности воздуха, что в свою очередь ведет к образованию смеси кислот (азотной и серной).

В реальных условиях эксплуатации при очистке отработавших газов судовых дизелей на используемые каталитические материалы оказывают воздействие: изменение температуры окружающей среды, обводненная смесь азотной и серной кислот, а также скорость потока отработавшего газа до 9 м/с и температуры (порядка 700 К).

В результате этого создаются условия для возникновения процесса коррозии, влекущего за собой ухудшение физических характеристик, физико-механических и функциональных свойств используемых каталитических материалов и всей системы очистки.

С целью оценки степени воздействия агрессивных факторов внешней среды и условий эксплуатации были проведены исследования по подбору компонентов шихты и их соотношения для получения пористых проницаемых СВС-каталитических материалов.

В реальных условиях эксплуатации СЭУ актуальным является использование такого каталитического нейтрализатора, материал которого обеспечивает не только оптимальную очистку отработавших газов от вредных веществ, но является устойчивым к воздействию агрессивных условий среды их эксплуатации.

В связи с этим возникла необходимость подбора состава, соответствующего всем вышеприведенным параметрам, свойствам и характеристикам, а также обладающего устойчивостью к воздействию агрессивных факторов внешней среды и условий эксплуатации [14].

Были проведены исследования по оценке целесообразности замещения ценных чистых компонентов размолами соответствующих руд.

Привлекательность получаемого состава заключается в следующем: руда в своем составе содержит необходимые по качественному и количественному составу элементы для получения пористого проницаемого СВС-каталитического материала, что позволяет значительно сократить затраты на получения целевого материала.

В связи с этим предварительно были проведены исследования по изучению возможности использования руды бастнезит, монацит, лопарит, кордиерит, эвксенит, цеолит, ильменит в качестве базовых компонентов в шихте каталитического материала.

Основные физические характеристики и физико-механические свойства изученных составов на основе размола руд приведены в табл. 1.

В качестве альтернативного был выбран состав материала на основе руды ильменит, привлекательность применения которого при получении пористых проницаемых каталитических материалах состоит в том, что отпадает необходимость во введении ряда чистых компонентов в шихту отдельно. Ильменит представляет собой титанистый железняк, уже содержащий  $\text{FeTiO}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}$  и другие компоненты, на базе которых возможно получение скелетной структуры пористого проницаемого каталитического материала.

В рассматриваемой системе железо вступает в СВС-процессах как скелетообразующий материал, содержание в шихте по массе доходит до 47,5 % [15], что является достаточным для протекания процесса СВС.

С целью выявления устойчивости каталитических материалов, используемых в системе очистки отработавших газов СЭУ (на примере 6Ч15/18 на номинальном режиме), к воздействию агрессивных факторов внешних агрессивных условий эксплуатации, проведены дополнительные исследования.

Таблица 1

**Основные физические характеристики и физико-механические свойства изученных составов на основе размола руд**

Материалы с размолами руд	Физические характеристики			Физико-механические свойства		
	Средний приведенный диаметр пор, мкм	Пористость	Извилистость	Механическая прочность при сжатии, МПа	Механическая прочность при изгибе, МПа	Ударная вязкость, Дж/м <sup>2</sup>
Бастнезит	152	0,580	1,27	5,70	4,20	0,234
Монацит	168	0,550	1,32	4,50	3,50	0,235
Лопарит	178	0,650	1,37	5,20	5,00	0,243
Кордиерит	160	0,460	1,24	8,60	2,50	0,270
Эвксенит	179	0,594	1,33	3,79	2,84	0,219
Цеолит	147	0,580	1,30	4,90	4,20	0,231
Ильменит	158	0,475	1,21	11,30	3,00	0,275

Результаты исследования потери массы каталитического материала в смеси кислот (азотной и серной) по исследуемым материалам, приведены в табл. 2.

Таблица 2

**Потеря массы в смеси кислот (азотной и серной), %**

Состав материала	Потеря массы в смеси кислот (Кск), %
На основе окалины легированной стали	11,74–17,26
На основе формовочной глины	11,75–19,24
На основе руды ильменит	14,32–10,05

Дополнительно был проведен комплекс экспериментальных исследований по определению зависимости степени очистки отработавших газов (от оксидов азота и серы) от содержания базового компонента в составе шихты каталитического материала и потери массы в смеси кислот.

Результаты проведенных исследований представлены графически на рис. 1–6.

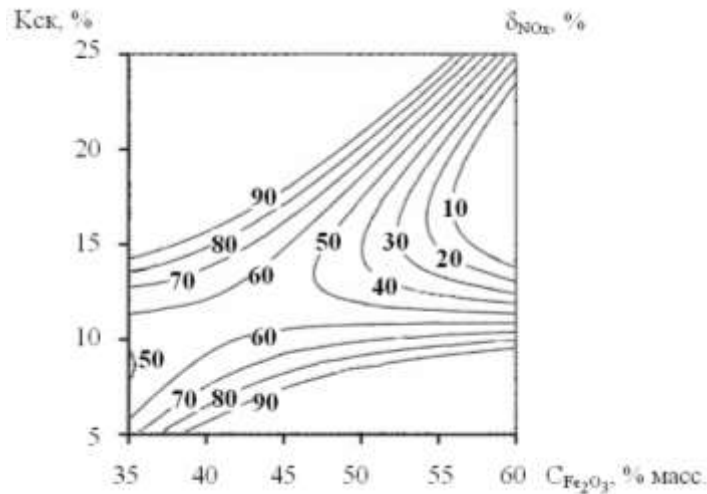


Рис. 1. Зависимость степени очистки от оксида азота ( $\delta_{NOx}$ ) от состава каталитического материала (ОС) и потери массы в смеси кислот (Кск)

### Обсуждение

Ранее в научно-технической литературе не были описаны зависимости степени очистки от оксида азота, от состава каталитического материала на основе окалины стали ( $C_{Fe_2O_3}$ ) и потери массы в смеси кислот.

Выявленные зависимости были описаны следующим выражением:

$$\delta_{NOx} = -279,908 + 12,486903C_{Fe_2O_3} + 14,643701K_{CK} - 0,005550C_{Fe_2O_3}^2 + 1,353191K_{CK}^2 - 1,086307C_{Fe_2O_3}K_{CK}, \% \quad (1)$$

Увеличение базового компонента в составе шихты на основе окалины стали (от 11,74 до 17,26% по массе) значительным образом сказывается на потере массы материала в смеси кислот. При этом степень очистки от оксидов азота изменяется от 60 до 16%. Оптимальное обеспечение всех свойств достигается при содержании окалины стали 47,82% по массе. Такой состав позволяет обеспечить степень очистки от оксидов азота на уровне 50%, при этом потеря массы в смеси кислот составляет 13,30%.

Ранее в научно-технической литературе не были описаны зависимости степени очистки от оксида азота от состава каталитического материала на основе формовочной глины ( $C_{ФГ}$ ) и потери массы в смеси кислот. Выявленные зависимости были описаны следующим выражением и являются принципиально новыми:

$$\delta_{NOx} = 359,704 - 12,330804C_{ФГ} + 14,188037K_{CK} + 0,142194C_{ФГ}^2 + 0,308851K_{CK}^2 - 0,432239C_{ФГ}K_{CK}, \% \quad (2)$$

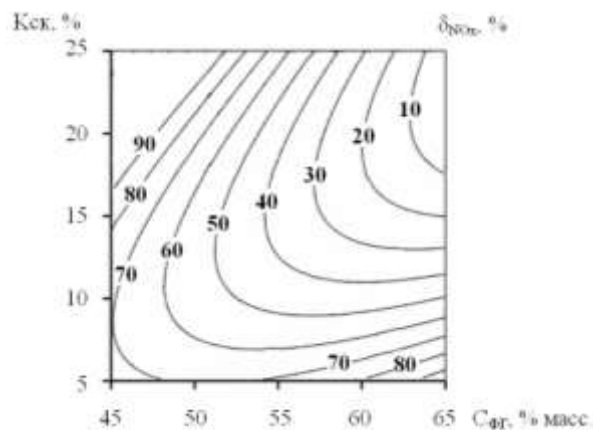


Рис. 2. Зависимость степени очистки от оксида азота ( $\delta_{NOx}$ ) от состава каталитического материала (ФГ) и потери массы в смеси кислот (Кск)

Аналогичная тенденция наблюдается при содержании формовочной глины в составе шихты каталитического материала и изменению потери массы материала в смеси кислот и степени очистки от оксидов азота. Однако, при оптимальном содержании базового компонента (формовочной глины) на уровне 56,30% по массе потеря массы в смеси кислот составит 14,12 %, а степень очистки – 37%.

Ранее в научно-технической литературе не были описаны зависимости степени очистки от оксида азота от состава каталитического материала на основе руды ильменит ( $C_{ИЛ}$ ) и потери массы в смеси кислот. Выявленные зависимости были описаны следующим выражением и являются принципиально новыми:

$$\delta_{NO_x} = -551,443 + 10,943292 C_{ИЛ} + 36,100956 K_{СК} - 0,044638 C_{ИЛ}^2 - 0,640188 K_{СК}^2 - 0,341625 C_{ИЛ} K_{СК}, \% \quad (3)$$

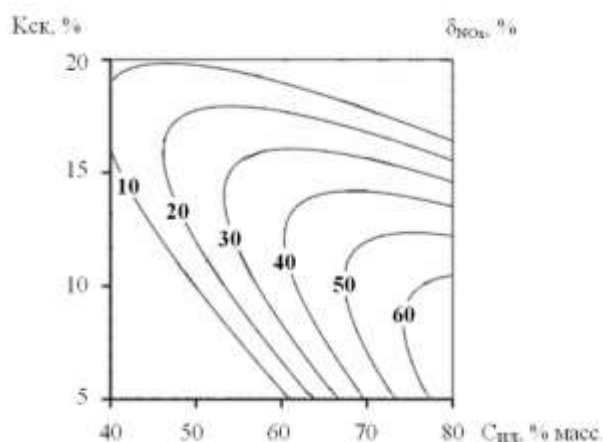


Рис. 3. Зависимость степени очистки от оксида азота ( $\delta_{NO_x}$ ) от состава каталитического материала (ИЛ) и потери массы в смеси кислот (КСК)

Значительным образом отличаются зависимости при изучении свойств материала на основе руды ильменит. Со снижением содержания базового компонента в составе шихты в интервале 77,49...48,15% по массе устойчивость к воздействию кислот уменьшается в интервале 10,05...14,32%. Степень очистки от оксидов азота изменяется от 65 до 20%.

Оптимальным принят состав шихты, в составе которого содержание руды ильменит составляет 66,86% по массе, что обеспечивает потерю массы в смеси кислот на уровне 11,1% и степень очистки от оксидов азота – 49%.

На основании вышеприведенного можно говорить о преимуществе пористого проницаемого СВС-каталитического материала на основе руды ильменит перед материалами на основе окалины стали и формовочной глины.

Окончательный вывод о приоритетности использования базового компонента можно сделать только после оценки эффективности каталитического материала относительно очистки отработавших газов от оксидов серы.

В связи с этим был проведен комплекс дополнительных исследований, результаты которых представлены на рисунках 4–6.

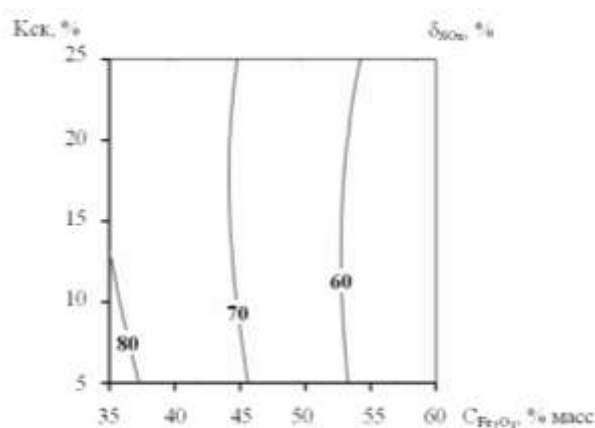


Рис. 4. Зависимость степени очистки от оксида азота ( $\delta_{SO_x}$ ) от состава каталитического материала (ОС) и потери массы в смеси кислот (КСК)

Ранее в научно-технической литературе не были описаны зависимости степени очистки от оксида серы от состава каталитического материала на основе окалины стали и потери массы в смеси кислот и являются принципиально новыми. Выявленные зависимости были описаны следующим выражением:

$$\delta_{SO_x} = 117,394 - 0,684232 C_{Fe_2O_3} - 0,959303 K_{СК} - 0,006955 C_{Fe_2O_3}^2 +$$

$$+0,011595K_{CK}^2 + 0,012458C_{Fe_2O_3}K_{CK}, \%. \quad (4)$$

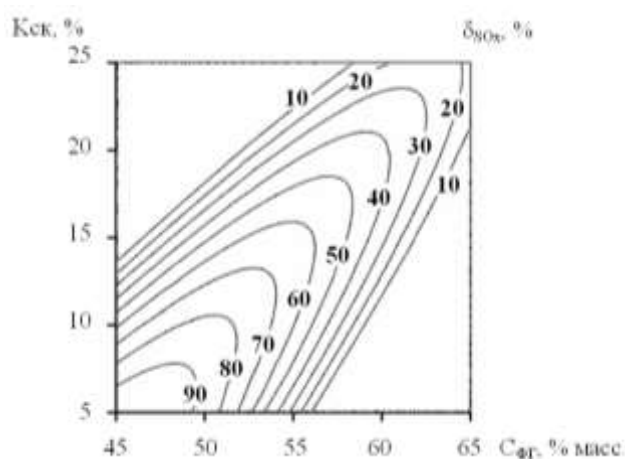


Рис. 5. Зависимость степени очистки от оксида азота ( $\delta_{SOx}$ ) от состава каталитического материала (ФГ) и потери массы в смеси кислот (Кск)

Ранее в научно-технической литературе не были описаны зависимости степени очистки от оксида серы от состава каталитического материала на основе формовочной глины и потери массы в смеси кислот и являются принципиально новыми. Выявленные зависимости были описаны следующим выражением:

$$\delta_{SOx} = -1387,944 + 71,582685C_{ФГ} - 61,566415K_{CK} - 0,853107C_{ФГ}^2 - 0,580864K_{CK}^2 + 1,392009C_{ФГ}K_{CK}, \%. \quad (5)$$

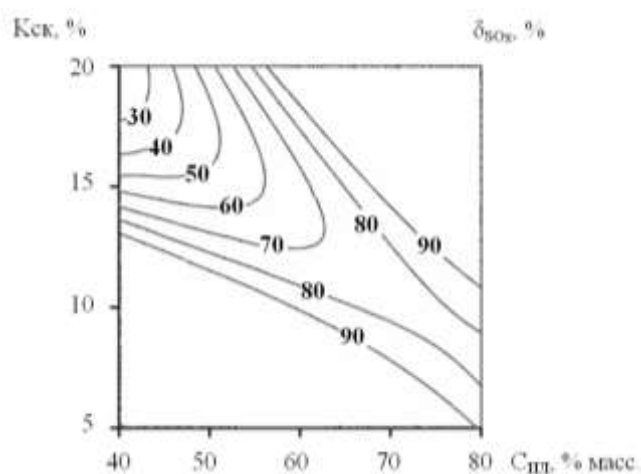


Рис. 6. Зависимость степени очистки от оксида азота ( $\delta_{SOx}$ ) от состава каталитического материала (ИЛ) и потери массы в смеси кислот (Кск)

Ранее в научно-технической литературе не были описаны зависимости степени очистки от оксида серы от состава каталитического материала на основе руды ильменит и потери массы в смеси кислот и являются принципиально новыми. Выявленные зависимости были описаны следующим выражением:

$$\delta_{SOx} = 1392,310 - 23,009687C_{ИЛ} - 97,281648K_{CK} + 0,096543C_{ИЛ}^2 + 1,477143K_{CK}^2 + 0,926268C_{ИЛ}K_{CK}, \%. \quad (6)$$

### Заключение, выводы

В результате анализа полученных результатов можно сделать следующие выводы:

– для материала на основе окалины стали: при увеличении содержания базового компонента в шихте степень очистки от оксидов серы изменяется в интервале 74,1...57,9%; оптимальный состав (47,82% по массе) обеспечивает степень очистки от оксидов серы на уровне 66% при  $K_{CK}=13,3\%$ ;

– для материала на основе формовочной глины: при увеличении содержания базового компонента в шихте степень очистки от оксидов серы изменяется в интервале 75,0...44,0%; оптимальный состав (56,30% по массе) обеспечивает степень очистки от оксидов серы на уровне 60% при  $K_{ск}=14,12\%$ ;

– для материала на основе руды ильменит: при увеличении содержания базового компонента в шихте степень очистки от оксидов серы изменяется в интервале 59,8...82,2%; оптимальный состав (66,86% по массе) обеспечивает степень очистки от оксидов серы на уровне 74% при  $K_{ск}=11,1\%$ .

В результате проведенного комплекса экспериментальных исследований был определен не только качественный состав пористого проницаемого СВС-каталитического материала системы очистки отработавших газов судовых дизелей, но и оптимальное количество базового компонента в составе шихты, обеспечивающий необходимые для очистки отработавших газов свойства и характеристики, а также обеспечить высокую степень коррозионной стойкости.

#### Список литературы:

1. Heuberger C.F., Staffell I., Shah N. and Mac Dowell N. Energy Environ. Sci., 2016, 9, 2497 -2510 RSC .
2. 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 .
3. 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 .
4. M. Pena-Lopez, H. Neumann and M. Beller, ChemCatChem, 2015, 7, 865–871 CrossRef CAS .
5. E.A. Bielinski, M. Forster, Y. Zhang, W.H. Bernskoetter, N. Hazari and M.C. Holthausen, ACS Catal., 2015, 5, 2404 -2415 CrossRef CAS .
6. Новиков, Л.А. Оценка дополнительных затрат судовладельцев при использовании SCR-технологии на судах/ Л.А. Новиков, В.С. Корчинский// Двигателестроение. – 2016. – № 3. – С. 23–31.
7. 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
8. Медведев, Г. Снижение вредных выбросов дизелей путем их селективной очистки. Очистка отработавших газов дизелей, в каталитических блоках нейтрализаторов, изготовленных по технологии СВС/ Г. Медведев, А. Новоселов. – Saarbrücken : LAP LAMBERT Academic Publishing, 2016. – 205 с.
9. 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.
10. Коломеец, М.А. Влияние технологии изготовления пористого композиционного материала каталитического нейтрализатора отработавших газов дизелей на его микроструктуру / М.А. Коломеец, А.А.Ситников, Г.В. Медведев, Н.П. Тубалов, Н.Н. Горлова//Ползуновский вестник.– 2014. – № 4. – Т.2. – С. 200–203.
11. Новоселов А.А. Использование композитных материалов на основе окалина стали в системах очистки отработавших газов дизелей / А.А. Новоселов, А.Л. Новоселов, А.Е. Бакланов, Н.Н. Горлова// Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2013. – № 1. – С. 197–200.
12. Пат. 2530184 Россия, МПК В22F 3/23 (2006.01), С22С 1/05 (2006.01), С22С 29/12 (2006.01), С04В 38/00 (2006.01). АлтГТУ. Шихта для получения пористого проницаемого каталитического материала [Текст]/ Н.Н. Горлова, А.Л. Новоселов, Г.В. Медведев, Д.С. Печеникова, А.А. Новоселов (656038, Алтайский край, г. Барнаул, пр. Ленина, 46, ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова» (АлтГТУ), ОИПС). – № 2013139722/02; заявл. 27.08.2013; опубл. 10.10.2014. Рус.
13. Пат. 2615674 Россия, МПК В22F 3/23 (2006.01), С22С 1/05 (2006.01), С22С 29/12 (2006.01), С04В 38/00 (2006.01). АлтГТУ. Шихта с палладием для получения пористого проницаемого каталитического материала [Текст]/ М.С. Канапинов, Н.Н. Горлова, Г.В. Медведев, Н.П. Тубалов (656038, Алтайский край, г. Барнаул, пр. Ленина, 46, ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова» (АлтГТУ), ОИПС). - №2015150613; заявл. 25.11.2015; опубл. 06.04.2017. Рус.
14. 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.
15. Савицкий Е.М. Металловедение редкоземельных металлов / Е.М. Савицкий, В.Ф. Терехова. – М.: Наука, 1975. – 272 с.

## THE USE OF CATALYTIC NEUTRALIZATION FOR THE PURIFICATION OF EXHAUST GASES FROM MARINE POWER PLANTS IN AN AGGRESSIVE ENVIRONMENT

**Nina N. Gorlova,**

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

*Annotation. Among the methods used, the most effective, from the point of view of the quality of cleaning from the main harmful substances, is catalytic neutralization. The effectiveness of using this method is largely determined by the properties and characteristics of the used catalytic material. Selection of the appropriate composition determines the provision of physical, physico-mechanical and corrosive properties of the used catalytic materials. In this regard, the possibilities of using steel oxide and molding clay as basic components in the charge of the material were studied. In*

*order to reduce the cost of the treatment system, the possibility of replacing valuable expensive components with ore mills of the appropriate composition was considered.*

*As a result of the studies, the optimal qualitative and quantitative composition of the charge of the catalytic material was determined.*

Keywords: *ships, power plants, sulfur oxides, nitrogen oxides, catalytic neutralization, porous materials.*

#### References:

1. C.F. Heuberger, I. Staffell, N. Shah and N. Mac Dowell, Energy Environ. Sci., 2016, 9, 2497-2510 RSC.
2. 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 .
3. P.J. Bonitatibus Jr., S. Chakraborty, M.D. Doherty, O. Siclovan, W.D. Jones and G.L. Soloveichik, Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A., 2015, 112, 1687 -1692 CrossRef PubMed .
4. M. Pena-Lopez, H. Neumann and M. Beller, ChemCatChem, 2015, 7, 865 -871 CrossRef CAS .
5. E.A. Bielinski, M. Forster, Y. Zhang, W.H. Bernskoetter, N. Hazari and M.C. Holthausen, ACS Catal., 2015, 5, 2404 -2415 CrossRef CAS .
6. Novikov, L.A. Ocenka dopolnitel'ny'x zatrat sudovladel'cev pri ispol'zovanii SCR-texnologii na sudax/ L.A. Novikov, V.S. Korchinskij// Dvigatelistroenie. – 2016. – № 3. – S. 23–31.
7. 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
8. Medvedev, G. Snizhenie vredny'x vy'brosov dizelej putem ix selektivnoj ochistki. Ochistka otrabotavshix gazov dizelej, v kataliticheskix blokax nejtralizatorov, izgotovlenny'x po texnologii SVS/ G. Medvedev, A. Novoselov. – Saarbrücken : LAP LAMBERT Academic Publishing, 2016. – 205 s.
9. 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.
10. Kolomeecz, M.A. Vliyanie texnologii izgotovleniya poristogo kompozicionnogo materiala kataliticheskogo nejtralizatora otrabotavshix gazov dizelej na ego mikrostrukturu / M.A. Kolomeecz, A.A. Sitnikov, G.V. Medvedev, N.P. Tubalov, N.N. Gorlova//Polzunovskij vestnik.– 2014. – № 4. – T.2. – S. 200–203.
11. Novoselov, A.A. Ispol'zovanie kompozitny'x materialov na osnove okaliny' stali v sistemax ochistki otrabotavshix gazov dizelej / A.A. Novoselov, A.L. Novoselov, A.E. Baklanov, N.N. Gorlova// Nauchny'e problemy' transporta Sibiri i Dal'nego Vostoka. – 2013. – № 1. – S. 197–200.
12. Pat. 2530184 Rossiya, MPK B22F 3/23 (2006.01), C22C 1/05 (2006.01), C22C 29/12 (2006.01), C04B 38/00 (2006.01). AltGTU. Shixta dlya polucheniya poristogo proniczaemogo kataliticheskogo materiala [Tekst]/ N.N. Gorlova, A.L. Novoselov, G. V. Medvedev, D. S. Pechennikova, A.A. Novoselov (656038, Altajskij kraj, g. Barnaul, pr. Lenina, 46, FGBOU VPO «Altajskij gosudarstvenny'j texnicheskij universitet im. I.I. Polzunova» (AltGTU), OIPS). – № 2013139722/02; zayavl. 27.08.2013 ; opubl. 10.10.2014. Rus.
13. Pat. 2615674 Rossiya, MPK B22F 3/23 (2006.01), C22C 1/05 (2006.01), C22C 29/12 (2006.01), C04B 38/00 (2006.01). AltGTU. Shixta s palladiem dlya polucheniya poristogo proniczaemogo kataliticheskogo materiala [Tekst]/ M.S. Kanapinov, N.N. Gorlova, G.V. Medvedev, N.P. Tubalov (656038, Altajskij kraj, g. Barnaul, pr. Lenina, 46, FGBOU VO «Altajskij gosudarstvenny'j texnicheskij universitet im. I.I. Polzunova» (AltGTU), OIPS).- №2015150613; zayavl. 25.11.2015; opubl. 06.04.2017. Rus.
14. 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.
15. Saviczkiy, E.M. Metallovedenie redkozemel'ny'x metallov / E.M. Saviczkiy, V.F. Terexova. – M.: Nauka, 1975. – 272 s.

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Нина Николаевна Горлова**, доцент, к.т.н., доцент, кафедра Менеджмента, Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (ФГБОУ ВО «АлтГТУ»), 656038, Алтайский край, г. Барнаул, пр. Ленина, 46, e-mail: Gnn.09@mail.ru

**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, 656038, Russia

Статья поступила в редакцию 25.12.2019 г.