DOI: 10.24937/2542-2324-2021-1-395-141-148
УДК 665.658.6+ 621.43.068

Н.Н. Горлова
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, Барнаул, Россия

ХИМИЧЕСКАЯ КОРРОЗИЯ КАТАЛИТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ В СИСТЕМЕ ОЧИСТКИ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ СУДОВЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

Объект и цель научной работы. Объектом работы являются отработавшие газы судовых энергетических установок. Цель исследования – изучение влияния коррозии смесью кислот пористых проницаемых каталитических материалов в системе каталитической нейтрализации отработавших газов.
Материалы и методы. Разработаны программа проведения экспериментальных исследований по изучению влияния смеси кислот на каталитический материал в системе очистки отработавших газов судовых энергетических установок, а также установка для изучения влияния смеси азотной и серной кислот на коррозионные свойства пористых проницаемых каталитических материалов.
Основные результаты. В результате проведенных исследований получены данные о влиянии смеси кислот на пористые проницаемые каталитические материалы, используемые в системах очистки отработавших газов судовых энергетических установок.
Заключение. Результаты экспериментальных исследований позволяют оценить степень влияния агрессивной среды эксплуатации систем очистки на каталитические материалы в системах очистки, используемые на судах, а также выбрать в случае необходимости состав определенного каталитического материала в соответствии с заданными требованиями к качеству очистки отработавших газов.
Ключевые слова: дизель, химическая коррозия, отработавшие газы, катализаторы, очистка, методика исследований, коррозионная стойкость.
Автор заявляет об отсутствии возможных конфликтов интересов.

DOI: 10.24937/2542-2324-2021-1-395-141-148
UDC 665.658.6+ 621.43.068

N. Gorlova
Polzunov Altay State Technical University, Barnaul, Russia

CHEMICAL CORROSION OF CATALYSTS IN EXHAUST SCRUBBERS OF MARINE POWER PLANTS

Object and purpose of research. This paper discusses exhaust gases of marine power plants. The purpose of this study was to investigate acid-mix corrosion of porous permeable catalysts in exhaust scrubbers.
Materials and methods. Specially developed program of tests intended to analyse the effect of acid mix upon catalyst in marine exhaust scrubber, as well as the studies on sulfur-nitrogen acid mix upon corrosion behavior of porous permeable catalysts.
Main results. The study yielded the data on acid-mix effect upon porous permeable catalysts used in marine exhaust scrubbers.

Для цитирования: Горлова Н.Н. Химическая коррозия каталитических материалов в системе очистки отработавших газов судовых энергетических установок. Труды Крыловского государственного научного центра. 2021; 1(395): 141–148.
For citations: Gorlova N. Chemical corrosion of catalysts in exhaust scrubbers of marine power plants. Transactions of the Krylov State Research Centre. 2021; 1(395): 141–148 (in Russian).

Conclusion. The results of these tests made it possible to estimate how much the catalysts used in marine scrubbing systems are affected by their aggressive environments, as well as to suggest tailor-made compositions of catalytic materials so as to meet the requirements to exhaust cleaning quality.
Keywords: diesel, chemical corrosion, exhausts, catalysts, scrubbing, research procedure, corrosion resistance.
The author declares no conflicts of interest.

Введение
Introduction

С позиции термодинамического подхода причиной возникновения процесса коррозии является его термодинамическая неустойчивость в условиях эксплуатации материала, в результате чего металл переходит в окисленное состояние. Все коррозионные процессы протекают самопроизвольно с уменьшением энергии Гиббса и ускорением скорости химической реакции при изменении факторов внешней среды. В связи с этим особый интерес представляет влияние изменения кислотности, влажности и других факторов среды эксплуатации на функциональные свойства используемых материалов.

Ужесточение международных требований к концентрации вредных веществ в отработавших газах судовых энергетических установок влечет за собой принятие соответствующих мер. Высокую эффективность относительно снижения концентрации вредных веществ в отработавших газах имеет система очистки на основе процесса каталитической нейтрализации, результативность которого обеспечивается использованием пористых проницаемых каталитических материалов с определенным набором свойств и характеристик [1].

Описание решения задачи
Description of solution

Эксплуатация системы очистки отработавших газов судовых дизелей осуществляется в условиях агрессивной среды: повышенная влажность, образующаяся смесь серной и азотной кислот, высокая температура отработавших газов и другие факторы.

Проблеме влияния внешних факторов на свойства плотных материалов коррозионных процессов уделяется много внимания [2–8]. Однако практически отсутствует информация об изучении влияния процесса коррозии на свойства и характеристики пористых проницаемых каталитических материалов, используемых в системах очистки отработавших газов. Это связано, прежде всего, со специфическими физическими характеристиками таких материалов: пористость, извилистость, проницаемость.

Применительно к условиям эксплуатации систем очистки отработавших газов на судах можно выделить химическую коррозию, возникающую в результате воздействия на каталитический материал смеси серной и азотной кислот с большой долей воды. Протекающая в пористом проницаемом материале коррозия влечет за собой несколько процессов. Первым является окислительно-восстановительный процесс между компонентами пористого каталитического материала и жидкой средой. Второй – разрушение материала, вызванное одновременным воздействием агрессивной водной среды и трением о поверхность материала взвешенных частиц в движущемся потоке отработавшего газа. В результате влияния всей совокупности приведенных выше факторов можно говорить о сплошной, неравномерной коррозии, охватывающей всю поверхность металла и протекающей с неодинаковой скоростью на различных участках пористого проницаемого материала – как на его поверхности, так и в поровом пространстве.

Все перечисленные процессы значительным образом снижают качество очистки отработавших газов от вредных веществ вследствие изменения свойств материала и потери его массы в результате происходящих процессов. В связи с этим вопрос повышения коррозионной стойкости пористых проницаемых каталитических материалов требует детального изучения.

В результате сжигания дизельного топлива судовыми дизелями образуются оксиды азота и серы, которые при взаимодействии с парами воды образуют смеси азотной и серной кислот с концентрацией в интервале 2–4 % в зависимости от исходного состава топлива. Особый интерес представляет изучение влияния температуры и смеси кислот на свойства исследуемого материала.

Исследования проводились на образцах пористых проницаемых каталитических материалов, базовыми компонентами которых являлись окалина легированной стали и формовочная глина. Основной компонент материала представляет собой отход металлообработки и литейного производства, что делает пористый проницаемый каталитический материал более привлекательным с экономической точки зрения.

Качественный состав шихты подбирался на основании требований к конечному продукту (пористому проницаемому каталитическому материалу) и возможности эффективного прохождения технологического процесса получения каталитического материала.

Одним из результативных методов получения пористых проницаемых материалов является энергосберегающий процесс твердофазного горения, а именно самораспространяющийся высокотемпературный синтез (СВС). Особенность такого процесса заключается в использовании самоподдерживающих экзотермических реакций в порошковых системах, реализуемых в виде волны горения. Изменяя температуру и режим горения, можно синтезировать материалы как с изотропной, так и с анизотропной структурой, имеющие однородную или переменную пористость, а также использовать не только чистые материалы и соединения, но и рудные материалы [9, 10].

СВС характеризуют:

- высокая производительность;
- возможность регулировать состав, структуру и свойства материалов;
- низкие затраты электроэнергии;
- экологическая чистота процесса;
- возможность получения нужного материала с малым содержанием посторонних примесей;
- высокие технические и экономические показатели по целому ряду ценных материалов и изделий для современной техники;
- простота управления процессом [3].

Пористая структура СВС-продуктов зависит от состава и структуры шихты, объемной скорости выделения газов и наличия жидкой фазы в волне горения.

Получаемые с помощью СВС пористые проницаемые материалы отличаются высокой газожидкостной проницаемостью, возможностью 100 % регенерации, повышенной химической и температурной стойкостью, механической прочностью. В то же время из-за простоты технологии изготовления, низких затрат электроэнергии и возможности использования отходов производства они обладают низкой стоимостью.

С целью воспроизводства результатов исследования проводились на образцах пяти составов с окалиной легированной стали (ОС-1, ОС-2, ОС-3, ОС-4, ОС-5) и формовочной глины (ФГ-1, ФГ-2, ФГ-3, ФГ-4, ФГ-5). Их качественный и количественный составы приведены в табл. 1 и 2.

Таблица 1. Данные об исследуемых составах шихты каталитического материала на основе окалины легированной стали

Table 1. Investigated compositions of catalytic material based on alloyed-steel scale

Отдельные свойства и характеристики	Составы шихты исследуемых образцов				
	ОС-1	ОС-2	ОС-3	ОС-4	ОС-5
Содержание компонентов в шихте, в процентах по массе					
Окалина легированной стали (18ХНВА, 18·ХНМА, 40ХНМА и др.)	42,84	45,34	47,82	50,30	52,78
Оксид хрома	17,87	17,90	17,95	18,00	18,05
Хром	6,90	6,85	6,80	6,75	6,70
Никель	12,40	12,30	12,20	12,10	12,00
Алюминий	17,90	15,45	13,00	10,55	8,10
Иридий	0,17	0,18	0,19	0,20	0,21
Родий	0,07	0,08	0,09	0,10	0,11
Медь	1,85	1,90	1,95	2,00	2,05
Соотношение компонентов в шихте, в % по массе					
Компоненты, обеспечивающие СВС	97,91	97,84	97,77	97,70	97,63
Компоненты, обеспечивающие коррозионную стойкость материала	39,26	39,21	39,18	39,15	39,12

Таблица 2. Данные об исследуемых составах шихты на основе формовочной глины

Table 2. Investigated compositions of catalytic material based on casting loam

Показатели	Варианты состава шихты				
	ФГ-1	ФГ-2	ФГ-3	ФГ-4	ФГ-5
Содержание компонентов шихты, в процентах по массе					
Формовочная глина	54,1	55,2	56,3	57,4	58,5
Окалина легированной стали (18ХНВА, 18ХНМА, 40ХНМА и др.)	12,3	12,3	12,3	12,3	12,3
Медь (отходы машиностроения)	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
Хром	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9
Никель	12,4	12,4	12,4	12,4	12,4
Алюминий	12,3	11,7	10,6	9,4	8,6
Соотношение компонентов в шихте, в % по массе					
Компоненты, обеспечивающие СВС	98,31	98,30	98,29	98,28	98,26
Компоненты, обеспечивающие коррозионную стойкость материала	49,18	49,50	50,08	50,71	51,14

Рис. 1. Программа проведения экспериментальных исследований по изучению влияния смеси кислот (азотной и серной) на каталитический материал в системе очистки отработавших газов судовых энергетических установок

Fig. 1. Program of tests intended to investigate the effect of nitrogen-sulfur acid mix upon marine scrubbing catalyst

Экспериментальные исследования влияния химической коррозии на образцы исследуемого материала проводились в соответствии с программой, представленной на рис. 1.

Постановка задачи
Formulation of task

Стандартная методика исследования устойчивости материала к воздействию кислот ГОСТ 9.908-85 [11] предполагает выдерживание образцов в смеси азотной и соляной (1:3) кислот и определение потери массы материала при этом. Однако использование данной методики применительно к цели исследований на образцах пористого материала не представляется возможным, т.к. в результате эксплуатации системы очистки на материал воздействует обводненная смесь серной и азотной кислот в сочетании с горячим отработавшим газом судовых дизелей. В связи с этим для изучения изменения свойств и характеристик пористого проницаемого каталитического материала в условиях, максимально приближенных к реальным условиям работы системы очистки отработавших газов, были разработаны специальная программа и методика проведения эксперимента.

В научной литературе отсутствует информация о влиянии смеси азотной и серной кислот, их концентрации и температуры на свойства и характеристики пористого проницаемого каталитического материала. Эти данные представляют большой интерес применительно к неплотным материалам, которые используются в жидких агрессивных средах.

Экспериментальные исследования проводились на специально изготовленных образцах пористого проницаемого материала на основе окалины стали в виде втулок длиной 100 мм, с внешним диаметром 40 мм и внутренним диаметром 30 мм.

С целью проведения исследований, максимально приближенных к реальным условиям эксплуатации систем очистки, были приготовлены растворы серной и азотной кислот с концентрацией 2 и 4 %. Концентрация используемых растворов кислот была определена на основании данных о содержании серы в используемом топливе и влажности воздуха окружающей среды.

В качестве раствора для отмывки образцов каталитического материала использовалась смесь концентрированных азотной и соляной кислот в соотношении 1:3 по объему («царская водка»), позволяющая удалить с поверхности и из порового пространства продукты коррозии и максимально достоверно оценить потери массы исследуемого материала.

Обязательной составляющей экспериментальных исследований являлась промывка образцов материала щелочью (гидроксид натрия), которая позволяет остановить процесс коррозии, а также интенсивная и многократная промывка образцов дистиллированной водой и продувка для удаления остатков жидкой фазы.

Результаты исследования
Results

Исследования на пористых проницаемых материалах проводились впервые, и особый интерес представляла информация о степени воздействия агрессивных факторов на материал. Особенность изучаемых материалов заключается в неоднородности не только количественного, но и качественного состава материала, что объясняется спецификой процесса СВС.

Наличие тупиковых пор в материале приводит к тому, что «задержавшаяся» в них смесь кислот значительное время поддерживает процесс коррозии с разрушением структуры материала. При промывке щелочью и водой достаточно сложно удалить продукты окисления материала из таких пор, что не позволяет максимально достоверно говорить о реальных потерях материала. С точки зрения реальных условий эксплуатации пористых проницаемых каталитических материалов, продукты коррозии в тупиковых порах окажут влияние на степени очистки отработавших газов вследствие изменения пористости, проницаемости и других свойств и характеристик каталитических материалов.

Основные свойства и характеристики пористого проницаемого каталитического материала на основе окалины стали и формовочной глины, а также результаты проведенных исследований (потери массы в смеси кислот) представлены в табл. 3 и 4.

В результате эксплуатации систем каталитической нейтрализации в реальных условиях судовых энергетических установок на пористый проницаемый материал воздействуют и другие агрессивные факторы, к которым можно отнести высокую скорость отработавших газов, колебание температур (в холодные периоды), соленость воздуха и др. В связи с этим можно говорить об увеличении скорости реакции протекания процесса коррозии,

что в конечном итоге приведет к снижению активности материала в отношении очистки отработавших газов от вредных веществ, а также к ухудшению эксплуатационных характеристик материала вплоть до разрушения.

В связи с этим выбор оптимального состава должен быть основан на результатах изучения влияния комплекса факторов и учета степени важности условий на свойства и характеристики исследуемого пористого проницаемого каталитического материала.

Таблица 3. Основные показатели пористого проницаемого каталитического материала на основе окалины стали

Table 3. Main data on porous permeable catalyst based on alloyed-steel scale

Показатели	Варианты состава шихты				
	ОС-1	ОС-2	ОС-3	ОС-4	ОС-5
Содержание окалины легированной стали в составе шихты, в % по массе	42,84	45,34	47,82	50,30	52,78
Средний приведенный диаметр пор, мкм	177	167	155	135	112
Извилистость пор при $\delta_{ст}$ = 10 мм	1,12	1,15	1,19	1,24	1,35
Удельная поверхность, $м^2/г$	133	118	105	94	85
Пористость	0,47	0,45	0,42	0,36	0,29
Проницаемость по воздуху $\times 10^{-12}$, $м^2$	2,55	2,46	2,17	1,80	1,20
Механическая прочность при сжатии, МПа	13,8	11,9	10,1	8,7	6,7
Механическая прочность при изгибе, МПа	3,7	3,5	3,2	3,1	2,9
Ударная вязкость, $Дж/м^2$	0,31	0,29	0,249	0,225	0,151
Модуль упругости, $E \cdot 10^3$, МПа	101	106	111	115	118
Потеря массы пористого каталитического материала в смеси кислот, %	11,8	12,2	13,3	14,0	15,9

Таблица 4. Основные показатели пористого проницаемого каталитического материала на основе формовочной глины

Table 4. Main data on porous permeable catalyst based on casting loam

Показатели	Варианты состава шихты				
	ФГ-1	ФГ-2	ФГ-3	ФГ-4	ФГ-5
Содержание формовочной глины в составе шихты, в % по массе	54,1	55,2	56,3	57,4	58,5
Средний приведенный диаметр пор, мкм	159	152	143	129	110
Извилистость пор при $\delta_{см}$ = 10 мм	1,11	1,13	1,17	1,24	1,32
Удельная поверхность материала, $м^2/г$	121	109	97	88	80
Пористость материала	0,44	0,42	0,37	0,32	0,26
Проницаемость по воздуху $\times 10^{-12}$, $м^2$	2,20	2,09	1,82	1,59	1,21
Механическая прочность при сжатии, МПа	8,9	8,0	7,2	6,5	5,7
Механическая прочность при изгибе, МПа	2,8	2,6	2,5	2,4	2,2
Ударная вязкость, $Дж/м^2$	0,245	0,235	0,226	0,180	0,107
Модуль упругости, $E \cdot 10^3$, МПа	65,8	65,1	64,5	64,0	63,4
Потеря массы пористого каталитического материала в смеси кислот, %	12,5	13,5	14,1	15,5	17,5

Описание установки

Test rig description

Для проведения исследований была создана специальная установка, принципиальная схема которой приведена на рис. 2. Она представляет собой ванну прямоугольной формы (*1*), изготовленную из стали и покрытую кислотостойким составом. Уровень жидкости (*2*) заливался в ванную по уровню (*3*). Ванна закрывалась крышкой (*4*) с отверстием (*5*), через которое заливалась жидкость (*2*) и извлекались образцы исследуемых материалов (*4*). Полное погружение образцов исследуемого материала (*6*) обеспечивалось за счет их размещения на поддерживающей сетке (*7*). Извлечение образцов осуществлялось с помощью монтажного крюка (*8*). Авторами подана заявка на патентование установки.

Исследования проводились в смеси заданного состава (азотная кислота, серная кислота, вода), при различных температурах, что обеспечивалось нагревательным элементом – трубчатым электронагревателем (*9*). По завершении исследования жидкость (*2*) из ванны (*1*) сливалась через кран (*10*).

Образцы исследуемого материала погружались в ванну, и затем с интервалом в 4 ч. вынимались по 3 образца исследуемого материала. Последние образцы выдерживались в смеси 24 ч. Для прекращения протекающей химической реакции после извлечения из ванны все образцы отмывались проточной водой, щелочным раствором и снова проточной водой, продувались сжатым воздухом и просушивались в сушильном шкафу в течение 1 ч. при температуре 140 °С. Исследования проводились циклами по времени при нормальных условиях (p_0 = 0,1 МПа; T_0 = 298 К; W = 50 %).

С целью определения реальной потери массы в результате проходящих химических процессов между материалом и агрессивной жидкой средой, для удаления продуктов коррозии образцы кратковременно выдерживались в смеси одного объема концентрированной азотной кислоты и четырех объемов концентрированной соляной кислоты. Затем образцы вновь отмывались, продувались, высушивались и взвешивались, после чего изучались основные свойства материала по приведенной выше программе.

Заключение

Conclusion

Разработанные программа, методика исследований и установка позволили впервые провести исследование влияния агрессивной среды на эксплуатацию систем очистки отработавших газов судовых энергетических установок.

Результаты экспериментальных исследований дали возможность оценить степень воздействия агрессивных факторов эксплуатации пористых проницаемых каталитических материалов в системе очистки отработавших газов судовых энергетических установок.

Было выявлено, что в наименьшей степени подвержены воздействию смеси кислот (азотной и серной) каталитические материалы на основе окалины легированной стали с содержанием основного компонента 42,84 % по массе. Однако окончательное решение о выборе каталитического материала для нейтрализации вредных веществ отработавших газов должно быть основано на комплексном изучении и оценке влияния всех факторов эксплуатации системы очистки – как внешних, так и внутренних.

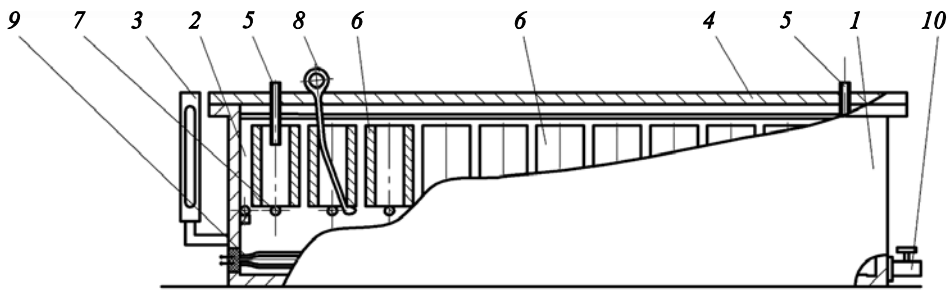

Fig. 2. Test rig for analysis of acid-mix effect upon porous permeable materials:
1 – rectangular tub;
2 – fluid; *3* – level; *4* – lid;
5 – opening; *6* – test samples;
7 – supporting grid;
8 – mounting hook;
9 – tubular electric heater;
10 – valve

Рис. 2. Установка для изучения влияния смеси кислот на пористые проницаемые материалы: *1* – ванна прямоугольной формы; *2* – жидкость; *3* – уровень; *4* –крышка; *5* – отверстие; *6* – образцы исследуемого материала; *7* – поддерживающая сетка; *8* – монтажный крюк; *9* – трубчатый электронагреватель; *10* – кран

Список использованной литературы

1. *Камышов Ю.Н., Медведев Г.В., Горлова Н.Н.* Система очистки отработавших газов дизелей судовых энергетических установок на основе пористых проницаемых коррозионностойких материалов // Научно-технологическое развитие судостроения – 2019: тезисы докладов Всероссийской молодежной конференции. Санкт-Петербург: Крыловский государственный научный центр, 2019. С. 187−198.
2. Коррозия металлов и сплавов: межвуз. сборник науч. трудов. Алма-Ата: КазПТИ, 1985. 138 с.
3. *Кеше Г.* Коррозия металлов: физико-химические принципы и актуальные проблемы. Москва: Металлургия, 1984. 400 с.
4. Коррозия металлов (в жидких и газообразных средах): [сборник статей] / Пер. с франц. *И.Д. Сагалович* [и др.]; под ред. А.П. Зефирова. Москва: Металлургия, 1964. 344 с.
5. Коррозия металлов и сплавов: сборник [статей]: [в 2 т.]. Т.1. Москва: Металлургиздат, 1963. 382 с.
6. *Пахомов В.С.* Коррозия металлов и сплавов: в 2 кн. Кн. 1. Москва: Наука и технологии, 2013. 446, [1] с.
7. *Воробьева Г.Я.* Коррозионная стойкость материалов в агрессивных средах химических производств. 2-е изд., перераб. и доп. Москва: Химия, 1975. 816 с.
8. Коррозия: справочник / [*К.А. Чендлер* и др.]; под ред. *Л.Л. Шрайера*. Москва: Металлургия, 1981. 632 с.
9. *Мержанов А.Г., Мукасьян А.С.* Твердопламенное горение. Москва: Торус Пресс, 2007. 336 с.
10. Пористые проницаемые материалы: справочник / [*С.В. Белов* и др.]. Москва: Металлургия, 1987. 332, [1] с.
11. ГОСТ 9.908-85. Единая система защиты от коррозии и старения. Металлы и сплавы. Методы определения показателей коррозии и коррозионной стойкости // Защита от коррозии. Ч. 4: Методы натурных испытаний. Москва: Изд-во стандартов, 1999. С. 63−79.

References

1. *Yu. Kamyshov, G. Medvedev, N. Gorlova.* Purification of marine diesel exhaust gases by means of porous permeable corrosion-resistant materials // Transactions of the Krylov State Research Centre, 2019. Special Issue 2. P. 187–197 (*in Russian*).
2. Corrosion of metals and alloys: inter-university compendium of papers. Alma-Ata, Kazakhstan Polytechnical Institute, 1985. 138 p. (*in Russian*).
3. *H. Kaesche*. Corrosion of metals. Physicochemical principles and current problems. Moscow: Metallurgiya, 1984. 400 p. (*Russian translation*).
4. Corrosion of metals in fluid and gaseous media. Compendium of papers. Translated from French by *I. Sagalovich* et al. Under editorship of *A. Zefirov*. Moscow: Metallurgiya, 1964. 344 p. (*in Russian*).
5. Corrosion of metals and alloys. Compendium of papers. In 2 vol. Vol. 1. Moscow: Metallurgizdat, 1963. 382 p. (*in Russian*).
6. *V. Pakhomov*. Corrosion of metals and alloys. In 2 Books. Book 1. Moscow: Nauka i tekhnologii, 2013. 446 p. (*in Russian*).
7. *G. Vorobyeva.* Corrosion resistance of materials in aggressive media of chemical industry. 2nd edition, revised and extended. Moscow: Khimiya, 1975. 816 p. (*in Russian*).
8. *K. Chendler et al.* Corrosion. Reference book. Under editorship of L. Shrayer. Moscow: Metallurgiya, 1981. 632 p. (*in Russian*).
9. *A. Merzhanov, A. Mukasyan*. Solid-state combustion. Moscow: Torus Press, 2007. 336 p. (*in Russian*).
10. *S. Belov* et al. Porous permeable materials. Reference book. Moscow: Metallurgiya, 1987. 332 p. (*in Russian*).
11. Unified system of corrosion and aging protection. Metals and alloys. Determination methods for corrosion and corrosion resistance parameters // Corrosion protection. Part 4. Methods of full-scale testing. Moscow: Publishing House of Standards, 1999. P. 63–79 (*in Russian*).

Сведения об авторе

Горлова Нина Николаевна, к.т.н., доцент кафедры «Менеджмент» Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова. Адрес: 656038, Россия, Алтайский край, Барнаул, пр. Ленина, д. 46. Тел.: +7 (913) 250-85-55. E-mail: Gnn.09@mail.ru.

About the author

Nina N. Gorlova, Cand. Sci. (Eng.), Associated Professor, Management Department, Polzunov Altay State Technical University. Address: 46, Lenina Prospekt, Barnaul, Altay Kray, Russia, post code 656038. Tel.: +7 (913) 250-85-55. E-mail: Gnn.09@mail.ru.

Поступила / Received: 14.12.20
Принята в печать / Accepted: 03.03.21
© Горлова Н.Н., 2021