Судовые энергетические установки

DOI: <http://www.dx.doi.org/10.24866/2227-6858/2020-4-6>
УДК 621.791.14:62-97

В.Н. Стаценко, Д.А. Волегов, М.В. Бернавская

СТАЦЕНКО ВЛАДИМИР НИКОЛАЕВИЧ – д.т.н., профессор, Политехнического института (Школы), (автор, ответственный за переписку), SPIN: 8321-3805, vladsta@mail.ru

Дальневосточный федеральный университет

Владивосток, Россия

ВОЛЕГОВ ДМИТРИЙ АНАТОЛЬЕВИЧ – инженер-технолог, volegoff.dmitry@yandex.ru

Северо-Восточный ремонтный центр

Петропавловск-Камчатский, Россия

БЕРНАВСКАЯ МАЙЯ ВЛАДИМИРОВНА – доцент, bernavskaya@mail.ru

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

Санкт-Петербург, Россия

Снижение концентрации аэрозольных выбросов методом жидкостной пленочной нейтрализации

Аннотация: Метод жидкостной пленочной нейтрализации используется для очистки воздуха от аэрозолей в газовых технологических выбросах, а также в выхлопных газах энергетических установок (в том числе судовых). При движении загрязненного газа между вертикальными пластинами с текущей по ним пленкой жидкости происходит эффективное осаждение аэрозолей на ее поверхности. Для уменьшения концентрации частиц авторами настоящей статьи спроектирован и изготовлен экспериментальный стенд, в котором на вертикальной латунной пластине задается пленочное течение воды, вдоль пленки вверх движется воздух, содержащий аэрозоли, моделируемые порошками для газотермического напыления с разными насыпными плотностями. В экспериментах изменялись скорость воздуха, начальная концентрация и плотность аэрозолей.

Анализ результатов показал, что осаждение твердых частиц происходит на относительно небольшом участке длины контакта 0,3–0,4 м. При этом их содержание в потоке резко снижается с повышением плотности аэрозолей, их начальной концентрации и скорости воздушного потока. На всех режимах снижение концентрации достигает 60–100%.

Ключевые слова: очистка от аэрозолей, газовые технологические выбросы, энергетические установки, пленочная жидкостная нейтрализация

Введение

В процессе сварки наибольшую угрозу для здоровья сварщиков представляет выбросы, которые имеют газовую, а также твердую (аэрозоль) составляющие. Газовая составляющая сварочного выброса (ГССВ) представляет собой смесь газов, образующихся при термической диссоциации (распад молекул на несколько более простых частиц) газошлакообразующих компонентов этих материалов (CO , CO_2 , HF и др.) или же за счет фотохимического действия ультрафиолетового излучения дугового разряда (плазмы) на молекулы газов воздуха (NO , NO_2 , O_3) [4, 5].

Дисперсная фаза сварочных аэрозолей представляет собой мельчайшие частицы паров металлов и других веществ, которые входят в состав сварочных, присадочных материалов и основного металла: они конденсируются в виде аэрозолей за пределами зоны высо-

© Стаценко В.Н., Волегов Д.А., Бернавская М.В., 2020

Статья: поступила: 25.06.2020; рецензия: 04.09.2020; принята: 06.10.2020; финансирование: Дальневосточный федеральный университет и Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого.

котемпературного нагрева. Химический состав аэрозолей определен в [4, 5]: MnO_2 , CrO_3 , Cr_2O_3 , фториды, оксиды никеля, медь, оксиды железа и др.

В настоящее время для очистки воздуха от аэрозолей и сухих невзрывоопасных пылей, образующихся в процессе сварки, газовой резки, механической металлообработки или других пылевыведяющих процессов в цехах промышленных предприятий используются фильтровентиляционные агрегаты (ФВА) типа «Темп 2000», «Бриз-2», «Киев-2», «Мрия», «ПМСФ-1» фирмы «Совплм». Очистка воздуха от аэрозолей в этих установках основана на механической фильтрации через слой противоаэрозольного материала, а газообразных составляющих – через второй слой из сорбционно-фильтрующего ионообменного материала.

Максимальная производительность удаления воздуха составляет 100–4000 м³/ч, степень очистки 95–99%, мощность электродвигателя вентилятора 0,6–2,2 кВт, масса 16–140 кг. Передвижной ФВА типа «Мрия-2» с минимальными габаритами имеет довольно большие размеры 900×550×300 мм. Установки с такими параметрами сложны в эксплуатации в стесненных условиях и закрытых помещениях при ремонте и строительстве судов.

Цель настоящей статьи – на основе экспериментального исследования снизить концентрацию аэрозольных выбросов с помощью разработанной авторами компактной установки жидкостной пленочной нейтрализации.

Оценка концентрации и размеров аэрозолей: эксперимент

Прежде всего для оценки концентрации и размеров аэрозолей, образующихся при сварочных процессах, мы провели эксперименты по отбору проб продуктов сгорания с отечественных электродов УОНИ13/55 и МР-3С, а также с импортных электродов J38, J421 (производство КНР), KST-309L, КК-50N, CR-13, E6103/S LF (Республика Корея), ОК46 (Швеция), OMNI-46 (США). Эксперимент проходил в лаборатории сварочного производства Инженерной школы ДВФУ в 2018 г. Измерения концентраций аэрозолей проводились с помощью фильтров типа АФА-ХП-20 и аспиратора АМ-5 в зоне дыхания сварщика при его интенсивной работе. Масса отбора проб определялась на аналитических весах с точностью 1 мг [1]. Результаты измерений и расчетов концентраций, средних размеров $\bar{X}$ и среднего квадратичного отклонения σ аэрозолей представлены в таблице.

Результаты измерений и расчетов

Параметр	Марка электрода										
	МР-3С	KST-309L	КК-50N	J421	OMNI-46	ОК46	CR-13	E6103/S LF	J38	УОНИ 13/55	КК-50N
Концентрация, мг/м ³	140	80	640	240	380	800	260	320	–	120	60
Размеры неметаллических аэрозолей, мкм											
$\bar{X}$	11.7	8.5	7.2	10.2	7.6	10.4	10.6	11.1	9.0	14.1	11.7
σ	3.2	4.7	2.8	5.2	2.5	4.5	3.1	5.5	4.8	4.3	4.3
Размеры металлических аэрозолей, мкм											
$\bar{X}$	201.3	170.7	203.0	207.7	214.3	181.0	165.7	163.3	161.3	126.7	–
σ	50.8	52.3	70.2	65.9	56.5	32.2	47.9	53.2	47.6	39.0	–

Анализ данных эксперимента

Анализ данных эксперимента (см. таблицу) показывает следующее.

1. Наибольшие выделения аэрозолей происходят у электродов марки ОК46 (800 мг/м³) и КК-50N (640 мг/м³).
2. Наименьшие выделения – у электродов марки КК-50N (60 мг/м³) и KST (80 мг/м³).
3. У остальных электродов значение концентрации аэрозолей в диапазоне 120–420 мг/м³.

4. Сравнение этих данных с предельно допустимыми значениями в рабочей зоне (ПДК_{рз}) показывает, что по нетоксичной пыли выбросы сварочных аэрозолей превышают ПДК_{рз} в 10–13 раз для электродов с наименьшими выделениями и в 100–130 раз – с наибольшими выделениями.

5. По наиболее токсичным составляющим аэрозолей (по *Mn* и *MnO*₂ ПДК_{рз}= 0,3 мг/м³, по *Ni* и окиси *Ni* ПДК_{рз}=0,5 мг/м³, по *Mo* ПДК_{рз}=2,0 мг/м³ и т.д.) превышение ПДК_{рз} при сварочных электродуговых работах резко увеличивается.

В результате оптических исследований фильтров с осажденными аэрозолями выявлено содержание металлических частиц 100–350 мкм (они имеют характерный металлический отблеск) и неметаллических частиц (7–25 мкм) темно-коричневого цвета в основном правильной сферической формы.

Анализ этих данные показывает следующее.

1. Металлические частицы (в таблице приведены средние значения их размеров) могут приобретать форму чисто сферическую, а также неправильных эллипсоидов.

2. У электродов марок МР-3С, KST, КК-50N, J421 и OMNI-46 средние размеры металлических частиц составляют 170–214 мкм, для остальных электродов – 126–165 мкм. При этом разброс результатов (среднее квадратичное отклонение) относительно среднего арифметического для этих данных – 25–30%.

3. Для всех электродов средние размеры неметаллических частиц равны 7,5–14 мкм, при этом среднее квадратичное отклонение для этих данных составляет 30–40%.

4. В одном опыте с электродом марки КК-50N произведены измерения выброса аэрозолей на расстоянии 0,5 м по горизонтали и на той же высоте от центра места сварки. Результаты этих измерений показали, что металлических частиц в этом месте нет, а размеры неметаллических сопоставимы с размерами частиц около места сварки, концентрация их ниже точности измерений.

5. Представленные в литературе (см., например, [6]) данные показывают, что при ручной дуговой сварке электродами УОНИ13/55 и S-309L.16 Ø3,2 мм образуются также частицы нанодиапазона размером 2,5–10 мкм. Эти частицы наиболее опасны для организма человека, так как способны проникать и накапливаться в различных его органах.

Аналогичные по размерам и свойствам аэрозоли содержатся в газовых технологических выбросах, а также в выхлопных газах от энергетических установок (в том числе судовых) [2, 3].

Как мы указывали в предыдущей работе (см. <http://www.dx.doi.org/10.24866/2227-6858/2020-2-9>), нейтрализаторы различных типов (поверхностные насадочные, барботажные, циклоннопенные, скрубберы Вентури и др.), которые в настоящее время наиболее часто применяются для очистки загрязненных газов [2, 3, 7], обладают небольшой стоимостью, высокой эффективностью улавливания взвешенных частиц (одновременно – парообразных, газообразных и твердых компонентов), могут очищать газы при высоких температурах, повышенной влажности, при опасности возгораний и взрывов. Но при этом у них высокие массогабаритные показатели.

Для снижения габаритов и массы аппарата для очистки воздуха от газовых выбросов и аэрозолей и повышения его эффективности мы предлагаем метод жидкостного пленочного массообменного процесса (см. <http://www.dx.doi.org/10.24866/2227-6858/2020-2-9>), применяемого в химических технологиях. В нашем случае этот процесс является нейтрализацией токсичных аэрозольных выбросов.

Описание технического решения

Предлагаемая установка жидкостной пленочной нейтрализации представляет собой закрытый корпус с вертикально размещенными пластинами, в верхней части которых установлены пленкообразующие устройства: с их помощью жидкость растекается по обеим сторонам пластин в виде пленки. Загрязненный газ с аэрозолями поступает в корпус снизу через входной патрубок и движется вверх между пластинами. Благодаря большой площади

контакта на пленке жидкости интенсивно осаждаются аэрозоли, затем эта жидкость удаляется из корпуса, стекая вниз по пластинам. Жидкость после очистки может подаваться на пленкообразующие устройства для повторного использования. Конструкции нейтрализаторов такого типа обладают существенным достоинством – низким гидравлическим сопротивлением, что очень важно для очистки выхлопных газов двигателей, а также снижает мощность вентилятора при очистке технологических газов.

Методика измерения параметров и обработки результатов

Для изучения рабочих процессов, происходящих в жидкостном нейтрализаторе данной конструкции, нами спроектирован и изготовлен экспериментальный стенд, основной его элемент – латунная пластина 1 длиной 600 мм и шириной 60 мм (рис. 1,а). Пластина жестко закреплена в пластмассовом корпусе 2 со съемной крышкой 3, патрубками входа 4 загрязненного воздуха и 5 выхода очищенного воздуха [7].

Подача воды осуществляется через пленкообразующее устройство 6, ее слив производится через патрубок 8. Воздушный зазор для прохода воздуха вдоль рабочей пластины составляет 15 мм. Вода в виде пленки движется вниз по поверхности рабочей пластины, а очищаемый воздух – вверх, при их контакте происходят процессы осаждения аэрозолей на поверхности пленки жидкости. Воздух в рабочий канал подается компрессором, для измерения его скорости используется трубка Прандтля с U-образным жидкостным манометром, расход жидкости определяется объемным способом и контролируется по жидкостному манометру (рис. 1,б).

Основная наша задача – определение зависимости изменения концентрации аэрозольных загрязнений по длине рабочей пластины. Эти загрязнения моделируются порошками для газотермического напыления с разными насыпными плотностями: АО6 ($\rho=1830 \text{ кг/м}^3$), ПХ1М ($\rho=3320 \text{ кг/м}^3$), ПТЮ5Н ($\rho=3830 \text{ кг/м}^3$), керамика ($\rho=3980 \text{ кг/м}^3$).

а

б

Рис. 1. Схема (а) и внешний вид (б) лабораторного стенда:

1 – пластина; 2 – корпус; 3 – крышка; 4 – патрубок подачи загрязненного воздуха; 5 – патрубок чистого воздуха; 6 – пленкообразователь; 7 – аллонжи; 8 – патрубок слива загрязненной воды
Здесь и далее рисунки авторов.

Порошки перед экспериментом просушивались, просеивались, в результате оптических измерений оценивались размеры гранул, которые не превышали 140–170 мкм со средним квадратичным отклонением 20–25%.

Дозированная подача порошков в воздушный поток рабочего канала производилась через входной патрубок компрессора.

Отборы проб на концентрацию твердых аэрозолей производятся с помощью фильтров типа АФА-ХП-20 (фильтр Петрянова), закрепленных в 4 аллонжах. Они представляют собой воронку, в широкой части которой размещается и крепится фильтр. Аллонжи равномерно с шагом 110 мм закреплены в крышке рабочего канала (рис. 1,б). Отбор воздуха через фильтр обеспечивался двумя аспираторами 822 серии. Расход воздуха через каждый отбор не превышал 10–12% от его расхода в рабочем канале.

Концентрация определялась по разнице измеренных масс загрязненных и чистых фильтров и по объему воздуха, проходящего через фильтры. Этот объем рассчитывался по расходу воздуха, который задавался аспираторами одинаковым для всех отборов и времени подачи порошка в рабочий канал. Фильтры перед измерениями просушивались в термостате до постоянного значения массы (точность измерения массы составляла 1 мг). При расчете концентрации аэрозолей в каждом отборе производилась поправка на величину пробы в предыдущем отборе.

При измерении толщины жидкостной пленки использовался штангенциркуль с точностью измерения 0,1 мм. Все измерения производились при температуре воздуха и воды 20 ± 2 °С.

Результаты эксперимента

При проведении экспериментов расход жидкости оставался постоянным – $G_{\text{вод}} = 1$ л/мин, изменялись следующие параметры: скорость воздушного потока, начальная концентрация аэрозолей в воздухе и их вид. В качестве адсорбирующей жидкости использовалась отстоянная пресная вода.

При определении важного параметра пленочного течения жидкости – среднерасходной скорости движения пленки производилось измерение ее толщины при разных расходах и на разных расстояниях от начала рабочей пластины. Эта скорость определялась через расход воды и площадь сечения $S = b \cdot \delta$, которая рассчитывается через ширину рабочего канала b и толщину пленки δ .

Результаты измерений толщины и среднерасходной скорости движения пленки по рабочей пластине представлены на рис. 2. Эти данные показывают, что по длине пластины толщина пленки увеличивается с 0,5–0,8 до 1 мм, а среднерасходная скорость уменьшается с 0,5–0,7 до 0,25–0,55 м/с по длине пластины при разных расходах. Наибольшее изменение скорости происходит при минимальном расходе 0,9 л/мин.

Рис. 2. Толщина (а) и среднерасходная скорость движения пленки (б) по длине контакта: 1 – $G_{\text{вод}} = 0,9$ л/мин; 2 – $G_{\text{вод}} = 1,4$ л/мин; 3 – $G_{\text{вод}} = 2,0$ л/мин.

На рис. 3,а представлены данные по изменению концентрации аэрозолей разных плотностей и начальных концентраций по длине контакта при скорости воздуха 0,5 м/с. На этом

же рисунке показано относительное изменение концентрации аэрозолей, приведенное к начальной концентрации.

Рис. 3. Изменение концентрации аэрозолей по длине контакта:
а – измеренное, б – относительное, при скорости воздуха $V_{\text{воз}}=0,5$ м/с:
1 – АО6; 2 – ПХ1М; 3 – ПТЮ5Н; 4 – керамика.

Анализ полученных результатов позволяет отметить следующее. Во всех проведенных опытах концентрация аэрозолей снижалась на 50–100%. При этом падение концентрации до нулевого значения происходило на относительно небольшом участке – от 0,3 до 0,4 м от начала пластины. Также отмечено, что наибольшее снижение концентрации происходило для порошков с большей плотностью, таких как керамика и ПТЮ5Н.

Для исследования влияния скорости воздушного потока на изменение концентрации по длине контакта проведены эксперименты на аэрозоли с низкой плотностью – АО6. Результаты измерений при скоростях движения воздуха $V_{\text{воз}}=0,5$ –2 м/с представлены на рис. 4. При анализе этих данных получено, что с увеличением скорости воздуха концентрация аэрозоли снижается более интенсивно: на 60% при скорости 0,5 м/с и на 100% – при 2 м/с на длине контакта 0,3 м.

Рис. 4. Изменение концентрации аэрозоли АО6 по длине контакта:
1 – $V_{\text{воз}}=0,5$ м/с; 2 – 1 м/с; 3 – 2 м/с.

Результаты изменения концентрации аэрозолей с увеличением скорости воздуха до 2 м/с представлены на рис. 5.

Рис. 5. Изменение концентрации аэрозолей по длине контакта при скорости воздуха $V_{\text{воз}}=2$ м/с:
1 – АО6; 2 – ПХ1М; 3 – ПТЮ5Н; 4 – керамика.

Представленные данные показывают, что аналогичное снижение концентрации до нулевого значения при скорости воздуха $V_{\text{воз}}=0,5$ м/с происходило на относительно небольшом участке от 0,2 до 0,4 м от начала пластины в зависимости от начальной концентрации и плотности аэрозолей. Интенсивность снижения концентрации при этой скорости воздуха значительно выше, чем при скорости 0,5 м/с, наибольшее снижение концентрации происходит для аэрозолей с большей плотностью, таких как керамика и ПТЮ5Н.

Заключение

Анализ снижения концентраций аэрозолей в пленочном жидкостном аппарате позволяет сделать следующие выводы: осаждение твердых частиц происходит на относительно небольшом участке длины контакта 0,3–0,4 м. При этом их содержание в потоке резко снижается с повышением плотности аэрозолей, их начальной концентрации и скорости воздушного потока. Так, при скорости воздуха 0,5 м/с на длине контакта 0,4 м для аэрозолей с разной плотностью концентрация снижается на 60–100%. С увеличением скорости потока с 0,5 до 2 м/с для аэрозолей с низкой плотностью АО6 на той же длине контакта концентрация снижается на 50–100%. Аналогичные данные получены для остальных аэрозолей с более высокой плотностью. Все результаты измерены и рассчитаны для расхода жидкости $G_{\text{жид}}$ в виде пленки со значением орошения рабочей пластины $\Gamma_v = G_{\text{жид}}/b = 2,75 \cdot 10^{-4}$ м²/с, где b – ширина орошаемой поверхности.

Результаты проведенных исследований могут быть использованы для разработки устройств очистки технологических выбросов (сварочное производство и др.), а также выхлопных газов от различных энергетических установок, в которых обычно содержатся аэрозоли с такими же характеристиками. Жидкостные нейтрализаторы являются обязательной составляющей систем очистки отработанных газов для специальных подземных установок с дизелями, для дизельных погрузочно-транспортных машин и специального самоходного оборудования, которые работают во взрывоопасной среде (шахтах, рудниках и т.д.). Системы жидкостной нейтрализации могут применяться также для судовых дизельных установок, где рабочей жидкостью служит забортная вода.

Основная задача наших последующих исследований – критериальное обобщение результатов исследований по снижению концентрации токсичных газовых и аэрозольных выбросов в пленочных жидкостных нейтрализаторах, при этом будут учитываться влияние

начального содержания газов и частиц, их состава, скорости и расхода газов и пленки жидкости.

Вклад авторов в статью: М.В. Бернавская – поиск и анализ литературных источников, оформление статьи; Д.А. Волегов – изготовление стенда, проведение экспериментов, обработка результатов; В.Н. Стаценко – проектирование стенда, проведение экспериментов, обработка результатов, оформление статьи. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ван Пэнфэй, Стаценко В.Н. Анализ концентрации и морфологии аэрозолей, получаемых при электродуговой сварке // Инновационные технологии: сб. Междунар. науч.-практ. конф., 24 мая 2017. Владивосток: ДВЦИТ, 2017. С. 33–41.
2. Вольнов А.С., Третьяк Л.Н., Герасимов Е.М. Новые подходы к очистке отработавших газов двигателей внутреннего сгорания // Вестник Оренбургского гос. ун-та. 2014. № 10(171). С. 36–43.
3. Вострикова М.А. Анализ эффективности работы систем очистки дымовых газов морских судов от примесей при использовании абсорберов и скрубберов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2015. № 4. С. 66–69.
4. Гришагин В.М. Сварочный аэрозоль: образование, исследование, локализация, применение: монография. Томск: Изд-во Томского политехн. ун-та, 2011. 213 с.
5. Гришагин В.М., Ерёмин Л.П., Деменкова Л.Г. Образование газообразной составляющей сварочного аэрозоля при сварке горношахтного оборудования и её воздействие на организм // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2010. Т. 3, № 12. С. 400–407.
6. Кириченко К.Ю., Дрозд В.А., Чайка В.В., Гридасов А.В., Карабцов А.А., Голохваст К.С. Сварочный аэрозоль как источник опасных для здоровья техногенных нано- и микрочастиц: электронно-микроскопический анализ // Известия Самарского научного центра РАН. 2015. Т. 17, № 5(2). С. 666–672.
7. Курников А.С., Мизгирев Д.С. Вопросы проектирования систем газоочистки для судов комплексной переработки отходов // Вестник гос. ун-та морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. 2011. Вып. 1. С. 131–135.

FEFU: SCHOOL of ENGINEERING BULLETIN. 2020. N 4/45

Marine Engines and Auxiliary Machinery

www.dvfu.ru/en/vestnikis

DOI: <http://www.dx.doi.org/10.24866/2227-6858/2020-4-6>

Statsenko V., Volegov D., Bernvskaya M.

VLADIMIR STATSENKO, Doctor Engineering Science, Professor,
(corresponding author), vladsta@mail.ru

Polytechnic Institute, *Far Eastern Federal University*
Vladivostok, Russia

DMITRY VOLEGOV, Process engineer, volegoff.dmitry@yandex.ru
North-Eastern Repair Center

Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia

MAYA BERNAVSKAYA, Associate professor, bernavskaya@mail.ru
Peter the Great Polytechnic University

St. Petersburg, Russia

The decreasing of aerosol emission concentration by a liquid film neutralization

Abstract: The method of liquid film neutralization is used for air purification from aerosols in gaseous technological emissions, as well as in exhaust gases of power plants (including ship ones). When contaminated gas moves between vertical plates with a liquid film flowing through them, aerosols are efficiently deposited on its surface. To reduce the concentration of particles, the authors of this article have designed and manufactured an experimental stand in which a film flow of water is set on a vertical brass plate, air containing aerosols

simulated by powders for thermal spraying with different bulk densities moves upward along the film. In the experiments, the air velocity, the initial concentration and density of aerosols were changed.

Analysis of the results showed that the deposition of solid particles occurs over a relatively small section of the contact length of 0.3–0.4 m. At the same time, their content in the flow decreases sharply with an increase in the density of aerosols, their initial concentration and air flow velocity. In all modes, the concentration decrease reaches 60–100%.

Keywords: aerosol removal, gas technological emissions, power plants, liquid film neutralization

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

The authors declare no conflicts of interests.

Article: received: 25.06.2020; reviewed: 04.09.2020; accepted: 06.10.2020; financing: Far Eastern Federal University, Peter the Great Polytechnic University.

REFERENCES

1. Wang Pengfei, Statsenko V.N. Analysis of the concentration and morphology of aerosols, obtained by electric welding. Innovative technologies: a collection of articles of the International scientific and practical conference (May 24, 2017). Vladivostok, DVCIT, 2017:33–41.
2. Volnov A.S., Tretyak L.N., Gerasimov E.M. New approaches to the purification of exhaust gases of internal combustion engines. Bulletin of the Orenburg State Univ. 2014(171):36–43.
3. Vostrikova M.A. Analysis of the efficiency of flue gas cleaning systems for marine vessels from impurities when using absorbers and scrubbers. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2015(4):66–69.
4. Grishagin V.M. Welding aerosol: education, research, localization, application: monograph. Tomsk, Publishing House of Tomsk Polytechnic Univ. 2011, 213 p.
5. Grishagin V.M., Eremin L.P., Demenkova L.G. The formation of the gaseous component of the welding aerosol during welding of mining equipment and its effect on the body. Mountain Information and Analytical Bulletin. 2010:3(12):400–407.
6. Kirichenko K.Yu., Drozd V.A., Chaika V.V., Gridasov A.V., Karabtsov A.A., Golokhvast K.S. Welding aerosol as a source of technogenic nano- and microparticles hazardous to health: electron-microscopic analysis. Bulletin of the Samara Scientific Center of the RAS. 2015:17(5):666–672.
7. Kournikov A.S., Mizgirev D. S. Issues of designing gas treatment systems for integrated waste processing vessels. Bulletin of the State Univ. of the Sea and River Fleet named after Admiral S.O. Makarov. 2011;1:131–135.