Судовые энергетические установки

DOI: <http://www.dx.doi.org/10.24866/2227-6858/2020-2-9>
УДК 621.791.14:62-97

В.Н. Стаценко, М.А. Еременко, М.В. Бернавская

СТАЦЕНКО ВЛАДИМИР НИКОЛАЕВИЧ – д.т.н., профессор, e-mail: vladsta@mail.ru

ЕРЕМЕНКО МИХАИЛ АНДРЕЕВИЧ – магистр, e-mail: erem222@yandex.ru

Кафедра сварочного производства Инженерной школы

Дальневосточный федеральный университет

Владивосток, Россия

БЕРНАВСКАЯ МАЙЯ ВЛАДИМИРОВНА – доцент, e-mail: bernavskaya@mail.ru

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

Санкт-Петербург, Россия

Метод жидкостной пленочной нейтрализации токсичных газовых выбросов

Аннотация: Для очистки воздуха от газовых технологических выбросов и аэрозолей, а также выхлопных газов от энергетических установок (в том числе судовых) предлагается использование метода пленочной жидкостной нейтрализации, что применяется в химических технологиях. Установка представляет собой закрытый корпус, в котором организовано пленочное течение жидкости по вертикальным пластинам. При движении загрязненного воздуха между пластинами пленка жидкости как абсорбент интенсивно поглощает газообразные и твердые загрязняющие вещества. Для исследования интенсивности абсорбции газов авторами настоящей статьи спроектирован и изготовлен экспериментальный стенд, в котором на вертикальной латунной пластине задается пленочное течение воды и раствора соды, вдоль пленки вверх движется воздух, содержащий газы: двуокись углерода, окись углерода, окись азота различной концентрации. В экспериментах изменялись скорость воздуха, расход жидкости, концентрация газов.

Анализ результатов показал: при использовании воды в качестве абсорбирующего элемента оптимальная скорость воздуха составляет 0,8–1 м/с, оптимальный расход – 1,2–1,37 л/мин. Это позволяет снизить концентрацию газа двуокиси углерода на 30–45%, окиси углерода – на 20–30% и окиси азота – на 18–23%. При использовании в качестве абсорбирующего элемента раствора соды для двуокиси углерода возможно снижение концентрации на 30–40%, для окиси углерода – на 50–55%.

Ключевые слова: газовые выбросы, жидкостная нейтрализация, пленка, вода, раствор соды, абсорбция, экспериментальный стенд, двуокись углерода, окись углерода, окись азота, оптимальные режимы, снижение концентрации.

Введение

В процессе сварки существует несколько вредных для здоровья людей физико-химических факторов: пыль, газы, сильное излучение и тепло [8]. Среди профессиональных заболеваний сварщиков высока доля бронхолегочных, вызванных воздействием сварочных газов и аэрозоля: так, пневмокониоз выявляется у сварщиков, проработавших в сварочных цехах более 15 лет, а хронический бронхит – через 5 лет [5, 8].

© Стаценко В.Н., Еременко М.А., Бернавская М.В., 2020

О статье: поступила: 07.02.2020; финансирование: бюджет ДВФУ.

В группу риска возникновения профессиональных заболеваний попадает каждый сварщик со стажем более 10 лет – даже при допустимых концентрациях вредных веществ. Кроме того, у них высок риск сердечно-сосудистых заболеваний.

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].

Возникновение газообразных и твердых частиц при сварочных работах и смежных процессах зависит от используемой технологии и типа основного материала (газообразные вредные вещества возникают прежде всего как продукт реакции технологических газов и газов из окружающей атмосферы).

Наибольшие выделения вредных веществ характерны для процесса ручной дуговой сварки покрытыми электродами. При расходе 1 кг электродов типа УОНИ, АНО, ЭА в процессе сварки стали образуется до 25 г пыли, до 2 г фтористого водорода, 1,5–2 г оксида углерода и 2–3 г оксида азота [7]. При полуавтоматической и автоматической сварке общая масса выделяемых вредных веществ меньше в 1,5–2 раза, но возрастает количество выделяемых вредных газов.

Цель настоящей статьи – представить результаты экспериментального анализа интенсивности снижения концентрации газовых выбросов в установке жидкостной пленочной нейтрализации.

Описание технического решения

В нашей работе для очистки воздуха от газовых выбросов и аэрозолей предлагается метод жидкостной нейтрализации. Поясним: из всего многообразия конструкций нейтрализаторов для очистки загрязненных газов наиболее часто применяются аппараты поверхностные насадочные [3], барботажные [2, 3] (в том числе с подвижной насадкой), циклоннопенные [6] и скрубберы Вентури [3].

Сравнение с другими типами аппаратов. Аппараты жидкостной нейтрализации обладают:

- небольшой стоимостью (так как в них используется жидкость – вода или водные растворы);
- высокой эффективностью улавливания взвешенных частиц;
- улавливание одновременно парообразных, газообразных и твердых компонентов;
- возможность очистки газов при высоких температурах, повышенной влажности, при опасности возгораний и взрывов.

В нашей работе предлагается использование установки жидкостной пленочной нейтрализации [1], применяемой в химических технологиях. Она представляет собой закрытый корпус с вертикально установленными пластинами, в верхней части которых закреплены пленкообразующие устройства, с их помощью жидкость растекается по обеим сторонам пластин в виде пленки. Загрязненный газ поступает в корпус снизу, через входной патрубок, и движется вверх между пластинами. Благодаря большой площади контакта пленка жидкости как абсорбент интенсивно поглощает газообразные и твердые загрязняющие вещества и, стекая вниз по пластинам, удаляется из корпуса фильтра. Жидкость после очистки и нейтрализации может подаваться на пленкообразующие устройства для повторного использования. Конструкции нейтрализаторов такого типа обладают существенным достоинством – низким гидравлическим сопротивлением, что является важным фактором 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 пленочном нейтрализаторе, нами спроектирован и изготовлен экспериментальный стенд, основным элементом которого является рабочая 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 и выхода 5 очищенного воздуха.

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 – пробоотборные патрубки; 8 – патрубок слива загрязненной воды. Здесь и далее рисунки авторов.

Подача воды на латунную пластину 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 абсорбции газов в пленку жидкости и осаждение твердых частиц на поверхности пленки. Для измерения скорости воздуха используется трубка Прандтля с U-образным жидкостным манометром, расход жидкости определяется объемным способом и контролируется по жидкостному манометру (рис. 1,б).

В данном случае основной задачей исследования является определение зависимости изменения концентрации газовых загрязнений по длине рабочей пластины. В качестве газовых загрязнений используются двуокись углерода CO_2 , окись углерода CO , а также окислы азота NO_x .

Воздух из корпуса стенда на газовый анализ поступает через патрубки 7 в пробоотборные камеры, в которых концентрация двуокиси углерода CO_2 определяется с помощью прибора интерферометра ШИ-10, концентрация окислов углерода CO и азота NO_x находится с помощью газоопределителей типа ГХ-М и аспиратора НП-3М. Основная абсолютная погрешность измерения двуокиси углерода составляет $\pm 0,2\%$ (по объему при $20\text{ }^{\circ}\text{C}$), измерения окислов углерода и азота $\pm 25\%$ (при температуре от $+10$ до $+30\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Для подготовки смеси газа двуокиси углерода CO_2 в воздухе была изготовлена полиэтиленовая герметичная камера объемом около 60 л. Она наполняется воздухом и с помощью сифона для приготовления газированной воды в нее добавляется газ CO_2 (с чистотой 99,9%).

Затем делается контрольный анализ концентрации газа и камера плотно закрепляется на впускном патрубке компрессора лабораторного стенда. Аналогично производилась подготовка смесей газов окисей углерода CO и азота NO_x в воздухе. При экспериментах на двуокиси углерода CO_2 начальная концентрация задавалась в диапазоне $C_0 = 1,2\text{--}4,5\%$, на окиси углерода CO – в диапазоне $C_0 = 0,03\text{--}0,035\%$, на окиси азота NO_x – $C_0 = 0,004\text{--}0,009\%$. При этом предельно допустимая концентрация в рабочей зоне для окиси углерода составляет $ПДК_{рз} = 5\text{ мг/м}^3 = 0,002\%$, для окиси азота – $ПДК_{рз} = 20\text{ мг/м}^3 = 0,00160\%$.

Результаты эксперимента

При проведении экспериментов основные изменяемые параметры – расход жидкости, скорость воздушного потока, вид жидкости, применяемой в качестве адсорбционного материала. Расход жидкости изменялся в диапазоне от 1 до 1,5 л/мин, эти данные позволяют выбрать оптимальный расход жидкости, подаваемой на пленкообразующее устройство жидкостного нейтрализатора. Скорость воздушного потока в рабочем канале лабораторной установки изменялась в диапазоне от 0,5 до 1 м/с. В качестве адсорбирующей жидкости использовалась отстоянная вода, а также водный раствор соды с концентрацией 10 г/л.

Результаты измерений изменения концентрации двуокиси углерода CO_2 по длине контакта при начальной концентрации $C_0 = 1,2\text{--}1,8\%$ в воде при скорости воздуха $V_{\text{воз}} = 0,5\text{--}1$ м/с представлены на рис. 2. На этом же рисунке показано относительное изменение концентрации CO_2 , приведенное к начальной концентрации. Аналогичные данные по изменению относительной концентрации CO_2 при начальной концентрации $C_0 = 4,5\text{--}5,6\%$ в воде представлены на рис. 3, а в растворе соды – на рис. 4.

Анализ этих данных показывает следующее. При одинаковом расходе воды $G_{\text{вод}} = 1$ л/мин при малых начальных концентрациях CO_2 $C_0 = 1,2\%$ – $1,8\%$ наибольший эффект получен при скорости воздушного потока $V_{\text{воз}} = 0,8\text{--}1$ м/с. При этом значении концентрация газа снижается на 45–50%, а при скорости воздушного потока 0,5 м/с – на 30–35%. При больших начальных концентрациях CO_2 : $C_0 = 4,6\text{--}5,6\%$ наибольший эффект получен при скорости

$V_{\text{воз}} = 0,8$ м/с. При этом значении скорости концентрация газа снижается на 30–35%. Для дальнейших экспериментов выбрана оптимальная скорость воздуха $V_{\text{воз}} = 1,0$ м/с.

Рис. 2. Изменение концентрации CO_2 :
а – измеренное, б – относительное, при начальной концентрации $C_0 = 1,2\text{--}1,8\%$,
в воде, $V_{\text{воз}} = 1$ м/с: 1 – $G_{\text{вод}} = 1$ л/мин; 2 – $G_{\text{вод}} = 1,2$; 3 – $G_{\text{вод}} = 1,37$;
 $G_{\text{вод}} = 1$ л/мин: 4 – $V_{\text{воз}} = 0,8$ м/с; 5 – $V_{\text{воз}} = 0,5$ м/с.

При малых начальных концентрациях CO_2 расход воды с 1 до 1,37 л/мин слабо влияет на снижение концентрации, он составляет 35–45%. При больших начальных концентрациях CO_2 с увеличением расхода воды с 1 до 1,37 л/мин понижение концентрации изменилось: с 22 до 33%.

Результаты измерений концентрации окиси углерода CO в воде и растворе соды представлены на рис. 5, а концентрации окиси азота NO_x в воде – на рис. 6.

Рис. 3. Относительное изменение концентрации CO_2 в воде при начальном ее значении $C_0 = 4,5\text{--}5,6\%$, $V_{\text{воз}} = 1$ м/с:
1 – $G_{\text{вод}} = 1$ л/мин; 2 – $G_{\text{вод}} = 1,2$;
3 – $G_{\text{вод}} = 1,37$ л/мин; $G_{\text{вод}} = 1$ л/мин;
4 – $V_{\text{воз}} = 0,8$ м/с; 5 – $V_{\text{воз}} = 0,5$ м/с.

Рис. 4. Относительное изменение концентрации CO_2 в растворе соды при начальном ее значении $C_0 = 4,5\text{--}5,5\%$, $V_{\text{воз}} = 1$ м/с: 1 – $G_{\text{вод}} = 1$ л/мин;
2 – $G_{\text{вод}} = 1,1$ л/мин; 3 – $G_{\text{вод}} = 1,37$ л/мин;
4 – $G_{\text{вод}} = 1,5$ л/мин.

Рис. 5. Относительное изменение концентрации CO в воде и растворе соды при начальном значении $C_0 = 0,03\text{--}0,035\%$, $V_{\text{воз}} = 1$ м/с;
в воде: 1 – $G_{\text{вод}} = 1$ л/мин; 2 – $G_{\text{вод}} = 1,1$;
3 – $G_{\text{вод}} = 1,2$; 4 – $G_{\text{вод}} = 1,3$ л/мин;
в соде: 5 – $G_{\text{вод}} = 1,1$ л/мин; 6 – $G_{\text{вод}} = 1,37$ л/мин.

Рис. 6. Относительное изменение концентрации NO_x в воде при начальной концентрации $C_0 = 0,004\text{--}0,009\%$, $V_{\text{воз}} = 1$ м/с;
1 – $G_{\text{вод}} = 1$ л/мин; 2 – $G_{\text{вод}} = 1,37$ л/мин;
3 – $G_{\text{вод}} = 1,5$ л/мин.

Анализ этих данных показывает следующее. Для окиси углерода CO наибольшее снижение концентрации в воде на 20–30% происходит при расходе $G_{\text{вод}} = 1,2$ л/мин. Для окиси азота NO_x оптимальный расход воды составил $G_{\text{вод}} = 1,37$ л/мин со снижением концентрации на 18–23%.

Анализ результатов нейтрализации газов CO_2 и CO в растворе соды с концентрацией 10 г/л показал следующее. Максимальное снижение концентрации CO_2 происходит при расходе жидкости равной 1,2–1,37 л/мин и составляет 33%. Дальнейшее увеличение или уменьшение расхода жидкости не способствует уменьшению концентрации. Из этого можно сделать вывод: при использовании раствора соды можно снизить расход подаваемой жидкости без существенной потери степени очистки от газа CO_2 .

При использовании воды концентрация CO снижается на 15–30%. Применение раствора соды приводит к снижению концентрации CO на 35–55%. Максимальное снижение концентрации газа CO происходит при расходе жидкости равном 1,37 л/мин и конечная концентрация на выходе составляет 45% от начальной.

Заключение

При анализе снижения концентраций по трем газам: CO_2 , CO , NO_x в пленочном жидкостном аппарате можно сделать вывод: при использовании воды в качестве абсорбирующей среды оптимальная скорость воздуха составляет $V_{воз} = 0,8–1$ м/с, оптимальный расход воды – $G_{вод} = 1,2–1,37$ л/мин. При этом концентрация газа CO_2 снижается на 30–45%, газа CO – на 20–30% и газа NO_x – на 18–23%. При использовании в качестве абсорбирующей среды раствора соды для двуокиси углерода возможно снижение концентрации на 30–40%, для окиси углерода – на 50–55%.

Универсальной характеристикой расхода жидкости в виде пленки принято значение орошения $\Gamma_v = G_{жид}/b$, которое задает распределение расхода на единицу ширины орошаемой поверхности b . Для рекомендуемого по нашим экспериментам расхода воды $G_{вод} = 1,2–1,37$ л/мин и ширины орошаемой поверхности $b = 0,06$ м значение орошения составит $\Gamma_v = (3,3–3,8) \cdot 10^{-4}$ м²/с.

Результаты проведенных исследований могут использоваться для разработки устройств очистки технологических выбросов (сварочное производство и др.), а также выхлопных газов от различных энергетических установок, в которых обычно содержатся те же токсичные газообразные компоненты и твердые частицы. 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 в качестве рабочей жидкости используется забортная вода.

Основная задача наших последующих исследований – определение зависимости изменения концентрации аэрозольных загрязнений в газе от длины рабочей пластины при жидкостной пленочной нейтрализации.

Вклад авторов в статью: М.В. Бернавская – поиск и анализ литературных источников, оформление статьи; М.А. Еременко – изготовление стенда, проведение экспериментов; В.Н. Стаценко – проектирование стенда, проведение экспериментов, обработка результатов, оформление статьи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бернавская М.В., Стаценко В.Н. Комплексное решение проблемы экологической безопасности автономных гидротехнических сооружений // Горный информационно-аналитический журнал. 2014. № S12-3. С. 3–12.
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. 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.
7. Методика расчета выделений (выбросов) загрязняющих веществ в атмосферу при сварочных работах / НИИ охраны атмосферного воздуха (НИИ атмосфера). СПб., 2000. 40 с.
8. Павлов Н.В., Крюков А.В., Кузнецов Н.Е. Сравнительные санитарно-гигиенические характеристики способов сварки плавящимся электродом в защитных газах // Технологии и материалы. 2016. № 3. С. 22–25.

FEFU: SCHOOL of ENGINEERING BULLETIN. 2020. N 2/43
Ship Power Plants

www.dvfu.ru/en/vestnikis

DOI: <http://www.dx.doi.org/10.24866/2227-6858/2020-2-9>

Statsenko V., Eremenko M., Bernavskaya M.

VLADIMIR STATSENKO, Doctor Engineering Science, Professor, e-mail: vladsta@mail.ru

MIKHAIL EREMEKO, MS Student, e-mail: erem222@yandex.ru

Department of Welding, School of Engineering

Far Eastern Federal University

Vladivostok, Russia

MAYA BERNAVSKAYA, Assistant Professor, e-mail: bernavskaya@mail.ru

Peter the Great Polytechnic University,

St. Petersburg, Russia

The method of neutralization of liquid film from toxic gas emissions

Abstract: For the purification of air from gas emissions and aerosols, a liquid neutralization unit is proposed. It is a closed case, in which the film flow of liquid along vertical plates is organized. When polluted air moves between the plates, the liquid film as an absorbent intensively absorbs gaseous and solid pollutants. To study the intensity of gas absorption, an experimental stand was designed and manufactured in which a film flow of water and a soda solution is set on a vertical brass plate, air, which contains gases: carbon dioxide, carbon monoxide, nitric oxide of various concentrations, moves upward along the film. In the experiments, the air velocity, fluid flow rate, and gas concentration changed.

As a result of the analysis of the obtained results, it was revealed that when using water as an absorbing element, the optimal air velocity is 0.8–1 m/s, the optimal water flow rate is 1.2–1.37 l/min. This allows you to reduce the concentration of carbon dioxide as by 30–45%, carbon monoxide as by 20–30% and nitric oxide gas by 18–23%. When using a solution of soda for carbon dioxide as an absorbing element, it is possible to reduce the concentration by 30–40%, for carbon monoxide by 50–55%. When calculating the universal characteristics of the fluid flow in the form of a film, the irrigation value is obtained.

Keywords: gas emissions, liquid neutralization, film, water, soda solution, absorption, experimental stand, carbon dioxide, carbon monoxide, nitric oxide, optimal conditions, reduction in concentration.

REFERENCES

1. Bernavskaya M.V., Statsenko V.N. A comprehensive solution to the environmental safety problem of autonomous hydraulic structures. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2014(12):3–12.
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 effectiveness of the flue gas cleaning systems of 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. 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.
7. Methodology for calculating the emissions of pollutants into the atmosphere during welding. Research Institute for Atmospheric Air Protection (NII Atmosphere). St. Petersburg, 2000, 40 p.
8. Pavlov N.V., Kryukov A.V., Kuznetsov N.E. Comparative sanitary and hygienic characteristics of methods of welding with a consumable electrode in shielding gases. Technologies and Materials. 2016(3):22–25.