

ИССЛЕДОВАНИЕ ЖИДКОСТНОЙ ПЛЕНОЧНОЙ НЕЙТРАЛИЗАЦИИ СВАРОЧНЫХ ГАЗОВЫХ ВЫБРОСОВ

В. Н. Стаценко, А. В. Гридасов, Р. Х. Садыков

*ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет»,
Владивосток, Россия*

Ключевые слова: абсорбция; вода; газовые выбросы; жидкостная нейтрализация; критериальное обобщение; окись и двуокись углерода; окись серы; пленка; экспериментальный стенд.

Аннотация: Для снижения концентрации вредных газовых выбросов и аэрозолей в сварочных процессах предложено использование жидкостной нейтрализации, при которой организовано пленочное течение жидкости по вертикальным пластинам. При движении газов или загрязненного воздуха между пластинами пленка жидкости интенсивно абсорбирует газообразные и твердые загрязняющие вещества. На экспериментальном стенде проведено исследование интенсивности абсорбции в пленку воды окиси и двуокиси углерода, а также окиси серы. В экспериментах изменялись скорость газа, расход жидкости, концентрация вредных веществ в газе. В результате анализа полученных результатов выявлены оптимальные скорость газа и значение орошения. При этом концентрацию окиси и двуокиси углерода возможно снизить на 30 – 45 %, а концентрацию окиси серы – в 1,5 – 2 раза на длине контакта 0,6...1,0 м. Обобщение полученных результатов в широком диапазоне изменения концентраций газа, расходов жидкости и скорости движения загрязненного газа получено в виде зависимостей между числами Шервуда, Рейнольдса и Шмидта, по которым возможно рассчитать коэффициенты массоотдачи при различных длинах контакта пленки воды и газа и габаритные характеристики нейтрализатора вредных газовых выбросов.

Введение

Интенсификация сварочных процессов, применение новых легированных материалов в сварных конструкциях, новых методов сварки и термической резки приводят к появлению в зоне дыхания сварщиков большого

Стаценко Владимир Николаевич – доктор технических наук, профессор департамента промышленной безопасности, e-mail: vladsta@mail.ru; Гридасов Александр Валентинович – кандидат технических наук, директор департамента промышленной безопасности; Садыков Руслан Ханафьевич – аспирант департамента промышленной безопасности, ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», Владивосток, Россия.

количества вредных веществ. В связи с этим необходима разработка и внедрение эффективных методов борьбы с выделяющимися вредными веществами, их надежной локализации путем создания местных портативных нейтрализующих устройств, встроенных в технологическое оборудование.

Вредные газообразные вещества, попадая в организм, вызывают тяжелые поражения всего организма. К наиболее вредным газам, выделяющимся при сварочных технологиях, относятся:

- окислы азота (особенно двуокись азота), вызывающие заболевания легких и органов кровообращения;
- окись углерода (угарный газ) – бесцветный газ, при концентрации свыше 1 % приводит к раздражению дыхательных путей, вызывает потерю сознания, одышку, судороги и поражение нервной системы;
- двуокись углерода (углекислый газ) – обладает удушающим действием, особо опасен в закрытых и плохо вентилируемых помещениях;
- озон образуется при сварке в инертных газах, вызывает раздражение глаз, сухость во рту и боли в груди.

Выпускные газы транспортных энергетических установок также содержат, кроме твердых частиц несгоревшего топлива, аналогичные вредные газообразные продукты сгорания. Из применяемых методов жидкостной нейтрализации наибольшую степень извлечения токсичных газов имеет химическая абсорбция, а наибольшее распространение, как наиболее простой, дешевый и доступный метод, получила физическая абсорбция, абсорбентом в которой используется обычная пресная вода [1 – 6].

Жидкостные пленочные массообменные аппараты широко используются в химической технологии в качестве абсорберов газообразных сред в жидкость, нисходящее движение которой организуется внутри вертикальных труб или на плоской вертикальной поверхности [7 – 9]. Такие аппараты возможно использовать и для очистки уходящих газов, выделяемых, например, при сжигании органического топлива или проведении различных технологических операций, связанных с выбросами значительного количества токсичных газов и аэрозолей [10 – 12].

Для выполнения расчетов процессов абсорбции необходимо определять величины коэффициентов массоотдачи между газом и пленкой жидкости. При массопередаче между газом и жидкостью существуют сопротивления газовой и жидкой фаз. Доля каждого из фазовых сопротивлений определяется растворимостью газов. Для хорошо растворимых газов доля сопротивления жидкой фазы невелика, этим сопротивлением пренебрегают. К таким газам можно отнести NH_3 , HCl , SO_2 .

Для плохо растворимых газов (CO_2 , CO , NO) основное сопротивление массопередаче сосредоточено в жидкой фазе. Тогда сопротивлением газовой фазы можно пренебречь [1]. Для умеренно растворимых газов сопротивления каждой из фаз соизмеримы и пренебрегать ими нельзя.

Для описания процессов тепло- и массообмена обычно используются критериальные уравнения [13]. Каждое из них применимо для определенных условий организации рабочего процесса, конструктивных особенностей аппаратов и т.д. Численные значения коэффициентов при критериях имеют значительные расхождения. Это объясняется тем, что исследования

проводятся в узких диапазонах изменения параметров газа и пленки жидкости и применяются различные условия эксперимента.

Цель статьи – исследовать и обобщить в критериальной форме интенсивность снижения концентрации окиси и двуокиси углерода, а также окиси серы в установке жидкостной пленочной нейтрализации (абсорбирующей средой является вода). Для реализации данной цели разработаны методики экспериментов и методология их проведения, а на основе экспериментальных результатов – методика их критериальной обработки и получены численные значения критериальных зависимостей.

Материалы и методы

В работе для очистки воздуха от газовых выбросов и аэрозолей предлагается использование жидкостного пленочного нейтрализатора [7, 10, 14]. Данная установка 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 нейтрализатора. Жидкость после очистки и нейтрализации может подаваться на пленкообразующие устройства для повторного использования. Нейтрализаторы такого типа обладают существенным достоинством – низким гидравлическим сопротивлением, малым брызго- и влагоуносом, что является важным фактором для создания портативных устройств очистки газов.

Для изучения рабочих процессов, происходящих в жидкостном пленочном нейтрализаторе, проведены исследования на экспериментальном стенде, основными элементами которого являлись латунные пластины длиной 1100 и 600 мм [14]. Они жестко закреплены в корпусе с патрубками входа загрязненного и выхода очищенного воздуха. Подача воды на латунную пластину осуществляется через пленкообразующее устройство, пленка воды движется вниз по поверхности рабочей пластины, а очищаемый воздух – вверх, при их контакте происходят процессы абсорбции газов в пленку жидкости. Для измерения скорости воздуха используется трубка Прандтля с U-образным жидкостным манометром, расход жидкости определяется объемным способом и контролируется по жидкостному манометру. Концентрация двуокиси углерода CO_2 определяется с помощью интерферометра ШИ-10, оксидов углерода CO и серы SO_2 – с помощью переносного многокомпонентного газоанализатора МАГ-6П.

Основной задачей исследований является определение зависимости изменения концентрации различных газовых загрязнений по длине рабочей пластины. В настоящей работе в качестве газового загрязнения воздуха использовались окись углерода CO с начальной концентрацией $40 \dots 80 \text{ мг/м}^3$, двуокись углерода CO_2 ($30 \dots 90 \text{ г/м}^3$) и окись серы ($0,2 \dots 0,33 \text{ г/м}^3$). Результаты измерений изменения концентраций в воздухе двуокиси углерода CO_2 и окиси углерода CO по длине контакта при скорости воздуха $V_{\text{воз}} = 1 \dots 4 \text{ м/с}$ представлены на рис. 1.

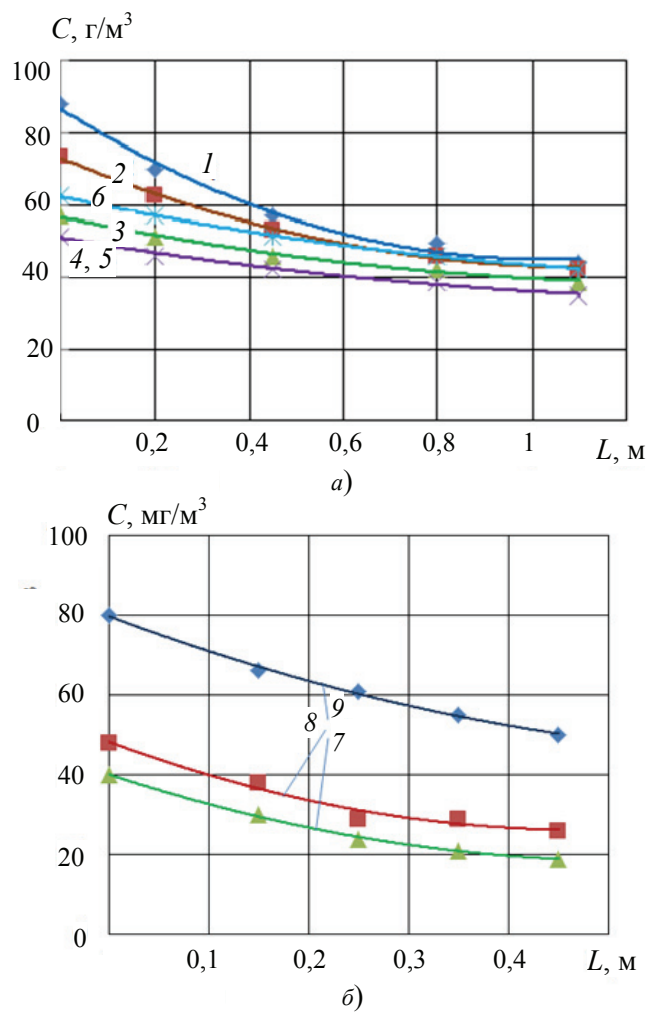


Рис. 1. Изменение концентрации CO_2 (а) и CO (б) по длине контакта L :
 $Re_{\Gamma} = 20 \cdot 10^3$: 1 – $Re_{пл} = 110$; 2 – 230; $Re_{\Gamma} = 31 \cdot 10^3$: 3 – $Re_{пл} = 76$; 4 – 45; 5 – 28;
 $Re_{\Gamma} = 19 \cdot 10^3$: 6 – $Re_{пл} = 76$; $Re_{\Gamma} = 2,2 \cdot 10^3$, $Re_{пл} = 278$: 7, 8, 9 – с начальными
концентрациями C_0 соответственно 40, 50, 80 мг/м³

В качестве характеристик процесса абсорбции используются критерии Re_{Γ} (газовый) и $Re_{пл}$ (пленочный):

$$Re_{\Gamma} = V_{\text{воз}} (d_{\text{экв}} / \nu_{\Gamma}); \quad (1)$$

$$Re_{пл} = \Gamma_v / \nu_{пл}, \quad (2)$$

где $d_{\text{экв}} = \sqrt{4S/\pi}$ – эквивалентный диаметр, м; S – площадь сечения рабочего канала, м²; $\Gamma_v = G_v / \Pi$ – орошение пластины, м²/с; G_v – объемный расход пленки, м³/с; Π – смоченный периметр, м; ν_{Γ} , $\nu_{пл}$ – кинематические вязкости воздуха и пленки соответственно, м²/с.

Результаты исследования

При исследованиях абсорбции получены следующие результаты.

1. Зависимость снижения концентрации газа по длине рабочей пластины имеет экспоненциальный характер. Наиболее значительное изменение концентрации происходит на начальном рабочем участке.

2. Интенсивность изменения концентрации газа по длине значительно зависит от его начальной концентрации: чем выше начальная концентрация, тем значительней ее изменение.

3. При использовании воды в качестве абсорбирующей среды оптимальная скорость воздуха составляет $V_{\text{воз}} = 0,8 \dots 1$ м/с, оптимальное значение орошения составляет $\Gamma_v = (3,3 \dots 3,8) \times 10^{-4}$ м²/с.

4. Концентрации окиси и двуокиси углерода возможно снизить на 30 – 45 %, а окиси серы – в 1,5 – 2 раза на длине контакта 0,6...1 м.

5. Расход жидкости слабо влияет на интенсивность абсорбции. Так, в диапазоне изменения критерия $Re_{\text{пл}} = 28 - 76$ изменение концентраций отличается незначительно (см. рис. 1, а, кривые 3 – 5).

Обобщение результатов исследований абсорбции газов в пленку жидкости проведено в системе безразмерных критериев с учетом размерных параметров пленочного течения жидкости, предложенного в [15],

$$Sh = A Re_{\Gamma}^m Re_{\text{пл}}^n Sc^p (\delta/L)^k, \quad (3)$$

где $Sh = \beta \delta / \rho D$ – число Шервуда; $\beta = g_{\Gamma} / \Delta C$ – коэффициент массоотдачи, кг/(м²·с); $g_{\Gamma} = G_{\text{аб}} / S_{\text{аб}}$ – удельный поток абсорбированного газа, кг/(м²·с); $G_{\text{аб}}$ – поток абсорбированного газа, кг/с; $S_{\text{аб}} = \Pi \Delta L$ – площадь абсорбции, м²; Π – смоченный периметр, м; ΔL – участок канала, м; ΔC – концентрационный напор (движущая сила абсорбции), кг/кг; ρ – плотность среды, кг/м³; δ – толщина пленки, м; L – длина контакта, м; $Sc = \nu_{\text{пл}} / D$ – число Шмидта; D – коэффициент диффузии, м²/с.

Составляющие критериев Re_{Γ} и $Re_{\text{пл}}$ представлены в уравнениях (1), (2). В расчетах критериев Re_{Γ} , $Re_{\text{пл}}$ и Sc использованы экспериментальные и справочные данные.

Для окиси и двуокиси углерода коэффициенты кинематической вязкости и диффузии выбирались для пленки воды, окиси серы – воздушной среды.

Поток абсорбированного газа $G_{\text{аб}}$ на каждом участке рабочего канала ΔL находится по измеренным значениям его концентрации в потоке воздуха перед C_{i-1}^{Γ} и за участком C_i^{Γ} , кг/м³,

$$G_{\text{аб}} = G_{\text{воз}} (C_{i-1}^{\Gamma} - C_i^{\Gamma}), \quad (4)$$

где $G_{\text{воз}}$ – расход воздуха в рабочем канале, м³/с.

Концентрация абсорбированного газа в пленке воды в конце участка $C_i^{\text{пл}}$, кг/кг, и концентрационный напор ΔC , кг/кг, рассчитываются по следующим зависимостям:

$$C_i^{\text{пл}} = C_{i-1}^{\text{пл}} + \frac{G_{\text{аб}}}{G_{\text{пл}}} ; \quad (5)$$

$$\Delta C_i^{\text{пл}} = C_i^{\text{г}} - C_i^{\text{пл}} , \quad (6)$$

где $C_{i-1}^{\text{пл}}$ – концентрация абсорбированного газа в пленке перед участком рабочего канала, кг/кг; $G_{\text{пл}}$ – массовый расход пленки воды, кг/с.

При расчете средних значений коэффициента массоотдачи на участках разной длины контактный концентрационный напор ΔC рассчитывается по средним значениям концентраций в воздухе и пленке.

При противоточном движении воздуха и пленки воды расчет начальной (по ходу воздуха) концентрации абсорбированного газа в пленке воды (в нижней части рабочей пластины), кг/кг, проводился по массовому балансу по зависимости

$$C_0^{\text{пл}} = \frac{G_{\text{воз}} (C_0^{\text{г}} - C_L^{\text{г}})}{G_{\text{пл}}} , \quad (7)$$

где $C_0^{\text{г}}$, $C_L^{\text{г}}$ – концентрации газа в воздухе в начале и конце рабочего канала соответственно, кг/м³.

Конечная концентрация абсорбированного газа в пленке воды $C_L^{\text{пл}} = 0$.

Результаты обработки данных по локальным значениям абсорбции двуокиси углерода CO_2 в пленке пресной воды в широком диапазоне изменения критериев $\text{Re}_{\text{г}}$, $\text{Re}_{\text{пл}}$ показаны на рис. 2, а; по средним значениям абсорбции – рис. 2, б. Критерий K_D представляет собой комплекс критериев

$$K_D = \text{Re}_{\text{г}}^{0,6} \text{Re}_{\text{пл}}^{0,15} \text{Sc}^{0,33} (\delta/L) . \quad (8)$$

Критериальные уравнения, описывающие результаты этих данных, имеют вид:

– для локальных значений на каждом участке рабочего канала

$$\text{Sh} = 2,6 \text{Re}_{\text{г}}^{0,5} \text{Re}_{\text{пл}}^{0,13} \text{Sc}^{0,28} (\delta/L)^{0,86} ; \quad (9)$$

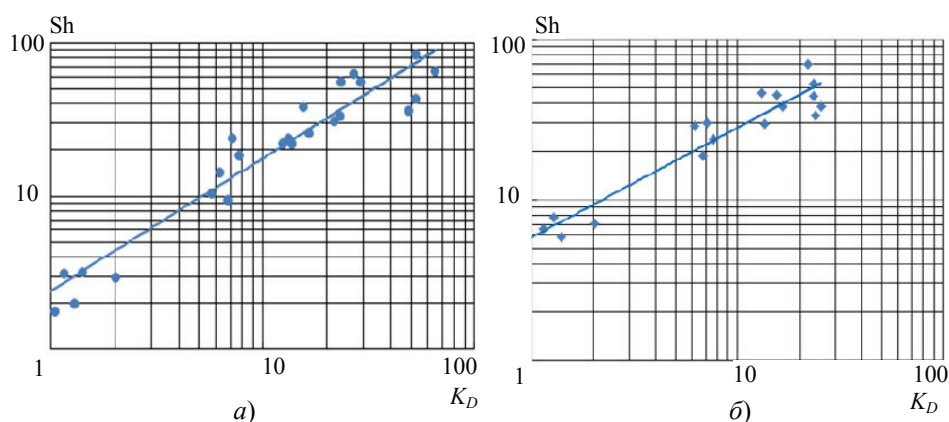


Рис. 2. Обработка экспериментальных данных по локальным (а) и средним (б) значениям абсорбции CO_2 в безразмерных координатах

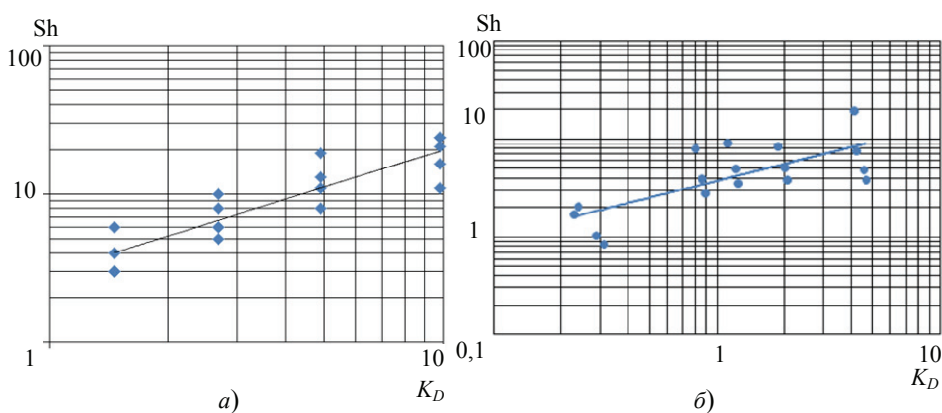


Рис. 3. Обработка экспериментальных данных по локальным значениям абсорбции CO (а) и SO_2 (б) в безразмерных координатах

– для средних значений массоотдачи на участках рабочего канала разной длины

$$Sh = 5,1 Re_{\Gamma}^{0,45} Re_{пл}^{0,11} Sc^{0,25} (\delta/L)^{0,76}. \quad (10)$$

Экспериментальные данные обобщаются уравнениями (9), (10) с погрешностью $\pm 15\%$.

Результаты обработки данных по абсорбции окиси углерода CO и окиси серы SO_2 в пленке пресной воды для локальных значений на каждом участке рабочего канала представлены на рис. 3.

Критериальные уравнения, описывающие результаты данных исследований, имеют вид:

– для окиси углерода CO (с погрешностью $\pm 20\%$)

$$Sh = 2,9 Re_{\Gamma}^{0,5} Re_{пл}^{0,12} Sc^{0,27} (\delta/L)^{0,83}; \quad (11)$$

– для окиси серы SO_2 (с погрешностью $\pm 25\%$)

$$Sh = 3,7 Re_{\Gamma}^{0,34} Re_{пл}^{0,1} Sc^{0,2} (\delta/L)^{0,57}. \quad (12)$$

Заключение

Полученные критериальные зависимости позволяют рассчитать значения коэффициентов массоотдачи и поток абсорбции газа в пленку жидкости по длине контакта и, соответственно, габаритные характеристики жидкостных пленочных массообменных аппаратов в широком диапазоне изменения концентраций газа, расходов жидкости и скорости движения загрязненного воздуха или газа.

В результате анализа процесса абсорбции окиси- и двуокиси углерода в пленочном жидкостном аппарате можно сделать вывод, что при использовании воды в качестве абсорбирующей среды оптимальная скорость движения газов $V_{\text{воз}} = 0,8 \dots 1,0$ м/с, оптимальное значение орошения

$G_v = (3,3 \dots 3,8) \times 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$, при этом концентрация газов CO и CO₂ снижается на 30 – 45 %, SO₂ – в 1,5 – 2 раза.

Данный метод может использоваться для очистки технологических выбросов, а также выпускных газов от различных энергетических установок, в которых обычно содержатся токсичные газообразные компоненты.

Основная задача следующих исследований – определение изменения концентрации таких токсичных технологических выбросов, как NO и NO₂, а также аэрозольных загрязнений от длины контакта при жидкостной пленочной нейтрализации. Результаты исследований будут обобщаться в виде критериальных зависимостей.

Список литературы

1. Седнин, В. А. Анализ эффективности технологий извлечения диоксида углерода из продуктов сгорания / Р. С. Игнатович, В. А. Седнин // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. – 2022. – № 65 (6). – С. 524 – 538. doi: 10.21122/1029-7448-2022-65-6-524-538
2. Рамм, В. М. Абсорбция газов / В. М. Рамм. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М. : Химия, 1976. – 655 с.
3. Пименова, Т. Ф. Производство и применение сухого льда, жидкого и газообразного диоксида углерода / Т. Ф. Пименова. – М. : Легкая и пищевая промышленность, 1982. – 208 с.
4. Очистка технологических газов / под ред. Т. А. Семеновой. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М. : Химия, 1977. – 488 с.
5. Механизм и кинетика хемосорбции углекислого газа водным раствором карбоната натрия / А. В. Старкова, А. Ф. Махоткин, А. С. Балыбердин, И. А. Махоткин // Вестник Казанского технологического университета. – 2011. – № 15. – С. 76 – 81.
6. Yu, C. -H. A Review of CO₂ Capture by Absorption and Adsorption / C. -H. Yu, C. -H. Huang, C. -S. Tan // Aerosol Air Qual. Research. – 2012. – Vol. 12, Issue 5. – P. 745 – 769. doi: 10.4209/aaqr.2012.05.0132
7. Бабак, В. Н. Массообмен в орошаемых плоскопараллельных каналах при прямоточном ламинарном движении жидкости и газа / В. Н. Бабак // Теоретические основы химической технологии. – 2019. – Т. 53, № 6. – С. 634 – 646. doi: 10.1134/S0040357119050014
8. Babak, V. N. Two-Phase Mass Exchange in Irrigated Tubular Packing for the Concurrent Laminar Phase Flow/ V. N. Babak // Theor. Found. Chem. Eng. – 2015. – Vol. 49, No. 5. – P. 636.
9. Генералов, М. Б. Машины и аппараты химических и нефтехимических производств / М. Б. Генералов, В. П. Александров, В. В. Алексеев. – 2004. – 832 с.
10. Бернавская, М. В. Комплексное решение проблемы экологической безопасности автономных гидротехнических сооружений / М. В. Бернавская, В. Н. Стаценко // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2014. – № 12. – С. 3 – 12.
11. Вострикова, М. А. Анализ эффективности работы систем очистки дымовых газов морских судов от примесей при использовании абсорберов и скрубберов / М. А. Вострикова // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2015. – № 4. – С. 66 – 69.
12. Гришагин, В. М. Сварочный аэрозоль : образование, исследование, локализация, применение : монография / В. М. Гришагин. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 213 с.
13. Кутателадзе, С. С. Основы теории теплообмена. / С. С. Кутателадзе. – М. : Атомиздат, 1979. – 416 с.

14. Стаценко, В. Н. Метод жидкостной пленочной нейтрализации токсичных газовых выбросов / В. Н. Стаценко, М. А., Еременко, М. В. Бернавская // Вестник инженерной школы ДВФУ. – 2020. – № 2 (43). – С. 88 – 95. doi: 10.24866/2227-6858/2020-2-9

15. Накоряков, В. Е. О совместном тепломассопереносе при пленочной абсорбции / В. Е. Накоряков, Н. И. Григорьева // Теплообмен и гидродинамика при кипении и конденсации. – 1979. – С. 278 – 284.

References

1. Sednin V.A., Ignatovich R.S., Sednin V.A. [Analysis of the effectiveness of technologies for extracting carbon dioxide from combustion products], *Energetika. Iz-vestiya vysshihkh uchebnykh zavedeniy i energeticheskikh ob'yedineniy SNG* [News from higher educational institutions and energy associations of the CIS], 2022, no. 65 (6), pp. 524-538, doi: 10.21122/1029-7448-2022-65-6-524-538 (In Russ., abstract in Eng.)

2. Ramm V.M. *Absorbtsiya gazov* [Absorption of gases], Moscow: Khimiya, 1976, 655 p. (In Russ.)

3. Pimenova T.F. *Proizvodstvo i primeneniye sukhogo l'da, zhidkogo i gazo-obraznogo dioksida ugleroda* [Production and application of dry ice, liquid and gaseous carbon dioxide], Moscow: Legkaya i pishchevaya promyshlennost', 1982, 208 p. (In Russ.)

4. Semenovoy T.A. (ed.) *Ochistka tekhnologicheskikh gazov* [Purification of process gases], Moscow: Khimiya, 1977, 488 p. (In Russ.)

5. Starkova A.V., Makhotkin A.F., Balyberdin A.S., Makhotkin I.A. [Mechanism and kinetics of chemisorption of carbon dioxide by an aqueous solution of sodium carbonate], *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta* [Bulletin of the Kazan Technological University], 2011, no. 15, pp. 76-81. (In Russ., abstract in Eng.)

6. Yu C.-H., Huang C.-H., Tan C.-S. A Review of CO₂ Capture by Absorption and Adsorption, *Aerosol Air Qual. Research*, 2012, vol. 12, issue 5, pp. 745-769, doi: 10.4209/aaqr.2012.05.0132

7. Babak V.N. [Mass transfer in irrigated plane-parallel channels during direct-flow laminar movement of liquid and gas], *Teoreticheskiye osnovy khimicheskoy tekhnologii* [Theoretical foundations of chemical technology], 2019, vol. 53, no. 6, pp. 634-646, doi: 10.1134/S0040357119050014 (In Russ., abstract in Eng.)

8. Babak V.N. Two-Phase Mass Exchange in Irrigated Tubular Packing for the Concurrent Laminar Phase Flow, *Theor. Found. Chem. Eng.*, 2015, vol. 49, no. 5, 636 p.

9. Generalov M.B., Aleksandrov V.P., Alekseyev V.V. *Mashiny i apparaty khimicheskikh i neftekhimicheskikh proizvodstv* [Machines and apparatus for chemical and petrochemical production], 2004, 832 p. (In Russ.)

10. Bernavskaya M.V., Statsenko V.N. [Integrated solution to the problem of environmental safety of autonomous hydraulic structures], *Mining information and analytical bulletin (scientific and technical journal)* [Mining information and analytical bulletin (scientific and technical journal)], 2014, no. 12, pp. 3-12. (In Russ., abstract in Eng.)

11. Vostrikova M.A. [Analysis of the efficiency of systems for purifying smoke gases of sea ships from impurities when using absorbers and scrubbers], *Vestnik BGТУ im. V.G. Shukhova* [Vestnik BSTU im. V.G. Shukhova], 2015, no. 4, pp. 66-69. (In Russ., abstract in Eng.)

12. Grishagin V.M. *Svarochnyy aerosol': obrazovaniye, issledovaniye, lokalizatsiya, primeneniye : monografiya* [Welding aerosol: formation, research, localization, application: monograph], Tomsk: Izdatel'stvo Tomskogo politekhnicheskogo universiteta, 2011, 213 p. (In Russ.)

13. Kutateladze S.S. *Osnovy teorii teploobmena* [Fundamentals of the theory of heat transfer], Moscow: Atomizdat, 1979, 416 p. (In Russ.)

14. Statsenko V.N., Yeremenko M.A., Bernavskaya M.V. [Method of liquid film neutralization of toxic gas emissions], *Vestnik inzhenernoy shkoly DVFU* [Bulletin of the FEFU engineering school], 2020, no. 2 (43), pp. 88-95, doi: 10.24866/2227-6858/2020-2-9 (In Russ., abstract in Eng.)

15. Nakoryakov V.Ye., Grigor'yeva N.I. [On joint heat and mass transfer during film absorption], *Teploobmen i gidrodinamika pri kipenii i kondensatsii* [Heat transfer and hydrodynamics during boiling and condensation], 1979, pp. 278-284. (In Russ., abstract in Eng.)

Research on Liquid Film Neutralization of Welding Gas Emissions

V. N. Statsenko, A. V. Gridasov, R. H. Sadykov

Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia

Keywords: absorption; water; gas emissions; liquid neutralization; criterion generalization; carbon monoxide and dioxide; sulfur oxide; film; experimental stand.

Abstract: To reduce the concentration of harmful gas emissions and aerosols in welding processes, it is proposed to use liquid neutralization, in which a film flow of liquid is organized along vertical plates. When gases or contaminated air move between the plates, the liquid film intensively absorbs gaseous and particulate pollutants. Absorption intensity into the film of water carbon monoxide and dioxide, as well as sulfur oxide, was studied at the experimental stand. In the experiments, the gas rate, liquid flow rate, and the concentration of harmful substances in the gas were changed. As a result of the analysis of the results obtained, the optimal gas speeds were identified and the importance of irrigation. In this case, the concentration of carbon monoxide and carbon dioxide can be reduced by 30 – 45 %, and the concentration of sulfur oxide – by 1.5 – 2 times over a contact length of 0.6 – 1.0 m. Generalization of the results obtained in a wide range of changes in gas concentrations, liquid flow rates and the speed of movement of the contaminated gas was obtained in the form of dependencies between the Sherwood, Reynolds and Schmidt numbers, from which it is possible to calculate the mass transfer coefficients at different contact lengths of the water and gas film and the overall characteristics of the neutralizer of harmful gas emissions.

© В. Н. Стаценко, А. В. Гридасов, Р. Х. Садыков 2024