

---

## Процессы и аппараты химических и других производств. Химия

---

УДК 66-936.42  
DOI: 10.17277/vestnik.2016.01.pp.058-067

### ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА АБСОРБЦИОННОЙ ОЧИСТКИ ГАЗОВ В АППАРАТАХ РАСПЫЛИТЕЛЬНОГО ТИПА

**М. Химвинга, С. Ю. Панов**

*Кафедра «Машины и аппараты химических производств»,  
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий»,  
kafedra-mahp@mail.ru*

**Ключевые слова:** абсорбция; диоксид углерода; интенсификация; очистка газов; скруббер Вентури; эжекторный скруббер.

**Аннотация:** Представлены результаты исследования гидродинамических и массообменных характеристик контактного устройства, представляющего собой цепную завесу, применяемую для интенсификации процесса абсорбционной очистки газов в аппаратах распылительного типа, в частности скрубберов Вентури и эжекторных скрубберов. Эксперименты проводились на системе «вода – воздух» и «вода – углекислый газ» на специально разработанной лабораторной установке с эжекторным скруббером. Получены эмпирические уравнения для определения коэффициентов массоотдачи и гидродинамики данного аппарата. Массообменные характеристики предложенного устройства сопоставимы с известными данными. Разработанный эжекторный скруббер прошел успешную промышленную апробацию.

---

В настоящее время для целей очистки газовых выбросов от твердых и газовых загрязняющих веществ широкое распространение получили аппараты распылительного типа, в которых реализуется принцип взаимодействия газового потока с каплями жидкости. Одними из представителей прямоточного исполнения аппаратов распылительного типа являются скрубберы Вентури. На сегодняшний день аппараты данного типа являются наиболее эффективными и востребованными для целей пылеулавливания [1 – 3]. Принцип действия аппаратов основан на интенсивном дроблении газовым потоком, движущимся с высокой скоростью (порядка 60...150 м/с), орошающей его жидкостью. Осаждению частиц пыли на каплях орошающей жидкости способствуют турбулентность газового потока и высокие относительные скорости между улавливаемыми частицами пыли и каплями. Обладая неоспоримыми преимуществами, такими как низкие капитальные затраты при строительстве (без систем очистки и возврата воды), высокая степень очистки газов от высокодисперсных частиц пыли (до 0,1 мкм), возможность очистки высокотемпературных газов и улавливания химических соединений, простота конструкции и эксплуатации, аппараты Вентури широко распространены в промышленности, и по оценке отечественных и зарубежных исследователей [1 – 4] этот уровень должен сохраниться и в прогнозируемом будущем. Отдельный интерес представляет разновидность скрубберов Вентури – эжекторные скрубберы.

Однако несмотря на существенные преимущества, применение данных аппаратов для абсорбционной очистки газов связано с определенными недостатками, основные из которых:

- 1) низкие коэффициенты массопередачи;
- 2) низкая удельная производительность единицы объема аппарата;
- 3) высокие энергетические затраты для создания необходимых гидродинамических режимов.

Данные недостатки препятствуют более широкому применению скрубберов Вентури и эжекторных скрубберов в системах комплексной очистки газов.

Рассмотрим некоторые принципы интенсификации процесса абсорбции. Абсорбция, как массообменный процесс, и с химическим взаимодействием и без него протекает в гетерогенных системах и подчиняется кинетике диффузии (молекулярной, турбулентной).

Скорость переноса вещества определяется общезвестным уравнением массоотдачи [5, 6]

$$M = \beta S \Delta C, \quad (1)$$

где  $M$  – количество вещества, диффундирующего через межфазную поверхность в единицу времени, кг/с;  $S$  – площадь межфазной поверхности,  $\text{м}^2$ ;  $\beta$  – поверхностный коэффициент массоотдачи,  $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ ;  $\Delta C$  – средняя движущая сила процесса (разность концентраций), кг/кг.

Способ увеличения скорости процесса состоит в увеличении первых двух сомножителей в правой части (1) при заданной движущей силе переноса  $\Delta C$ : можно увеличить интенсивный фактор – коэффициент массоотдачи  $\beta$  и/или экспансивный фактор – площадь межфазной поверхности  $S$ . Интенсификация процесса возможна при поддержании достаточно высокой разности потенциалов массопереноса  $\Delta C$ , например проведением сопутствующих химических взаимодействий.

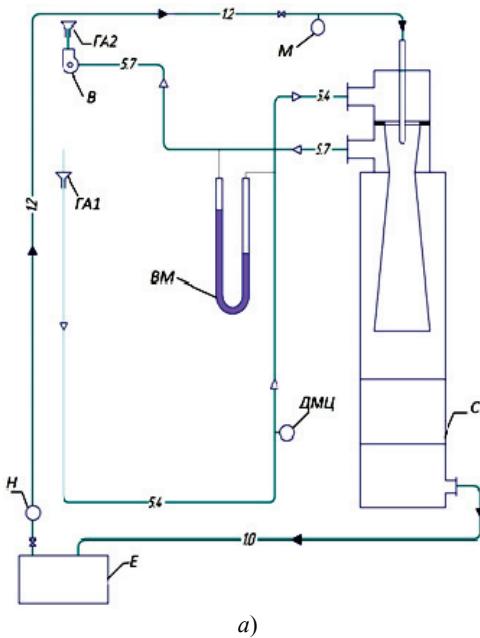
Анализ однозначно свидетельствует о решающем влиянии аэрогидродинамической обстановки на значение  $\beta$  и об однозначно необходимом повышении числа Рейнольдса  $Re$  либо об уменьшении «времени обновления межфазной поверхности» в пенетрационных моделях, что также достигается при возрастании  $Re$  [6 – 8].

Увеличение  $S$  не столь безальтернативно, как увеличение  $\beta$ . Во-первых, увеличение  $S$  приводит к уменьшению размера дисперсий и, следовательно, усложняет задачу последующего разделения фаз. Во-вторых, с уменьшением размера частицы уменьшается значение  $Re$ . В-третьих, следует учитывать рост лапласовской (то есть обусловленной межфазным натяжением) составляющей давления в частице, что препятствует массопереносу в ней.

Цель интенсификации процессов – повышение эффективности, увеличение производительности технологических аппаратов, уменьшение их габаритных размеров и металлоемкости, потребления энергии.

Факторы, способствующие интенсификации процесса хемосорбции при мокрой очистке газов (массопередача в условиях химической реакции для систем «газ – жидкость – твердое»):

- 1) проведение процесса в режиме инверсии фаз, когда непрерывно происходит обновление межфазной поверхности;
- 2) введение в аппарат внешней энергии для устойчивого и длительного режима инверсии фаз;
- 3) достижение эффекта нестационарности в гетерогенных системах за счет комбинации периодического сужения и расширения по типу «конфузор – диффузор».

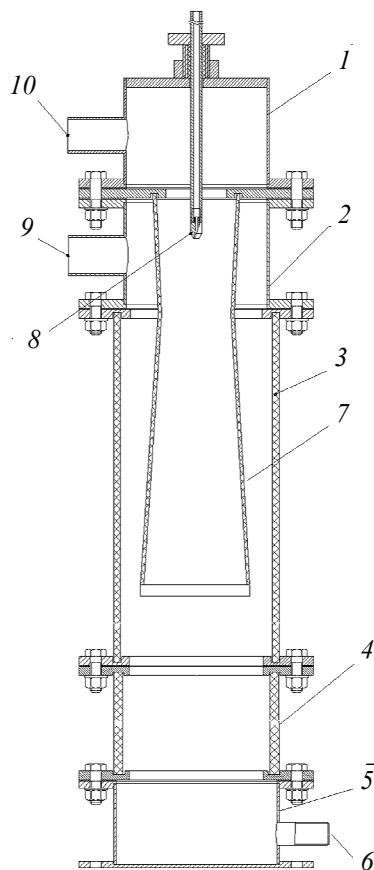


a)



б)

Рис. 1. Схема (а) и внешний вид (б)  
экспериментальной установки



Для реализации поставленных задач и отработки конструктивных решений создана экспериментальная установка для химической очистки токсичных газовых выбросов, схема которой представлена на рис. 1. Установка содержит скруббер эжекторный С, вентилятор В, насос Н, приемную емкость Е и измерительное оборудование (газоанализаторы ГА1 и ГА2, манометры М, ДМЦ, ВМ) [5].

Эжекторный скруббер (рис. 2) представляет собой аппарат цилиндрической формы, состоящий из отдельных секций: камеры ввода газа, сопла в сборе, камеры вывода газа, опорных секций, камеры слива.

Камера ввода имеет цилиндрическую форму с патрубком ввода загрязненного воздуха. В верхней части скруббера установлено устройство подачи абсорбента. На конце устройства для подачи абсорбента установленна распыливающая форсунка. Устройство для подачи абсорбента выполнено регулируемым для его перемещения по вертикали.

← Рис. 2. Схема эжекторного скруббера:  
1, 2 – камеры ввода и вывода газа соответственно;  
3 – цилиндрический корпус;  
4 – опорная секция;  
5 – камера слива;  
6 – патрубок для вывода жидкости;  
7 – труба Вентури;  
8 – форсунка;  
9, 10 – патрубки для вывода и ввода газа соответственно

Камера вывода изготовлена из металлического цилиндрического стакана, заканчивающегося на торцах плоскими фланцами. На цилиндрической части введен патрубок выхода очищенного газа. Цилиндрические секции выполнены стеклянными. Соединение секций – фланцевое, герметизация обеспечивается путем постановки прокладок. Камера слива по конструкции похожа на камеру вывода, имеющую глухую торевую крышку. Принцип работы скруббера следующий. Загрязненный газ, поступает в аппарат через патрубок и далее попадает в камеру смешения в виде трубы Вентури, куда подается и абсорбент (например, техническая вода). Процесс смешения потоков происходит в конфузоре.

Камера смешения состоит из служащего для увеличения скорости газа конфузора, в котором размещено сопло (форсунка), горловины, где происходит взаимодействие газовых вредных компонентов с абсорбентом и протекают процессы коагуляции, а также за счет снижения скорости восстанавливается часть давления, затраченного на создание высокой скорости газа [9, 10]. Сечения конфузора и горловины в камере смешения подобраны таким образом, чтобы создать условия для эжекции газов первичным высоконапорным потоком.

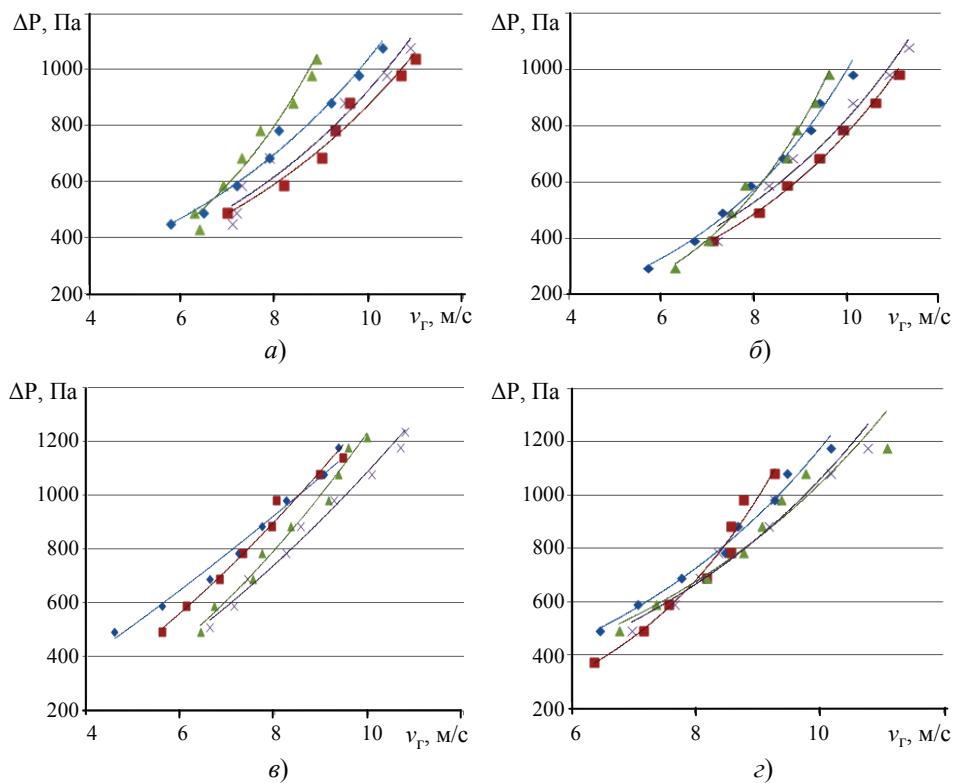
Высоконапорный поток вытекает из форсунки с большой скоростью в виде струи, которая дробится на дисперсные частицы, образующие в сечении горловины завесу, аналогичную по своим характеристикам фильтровальной зернистой насадке. Газовый поток проходит сквозь завесу, и газовые вредные компоненты улавливаются дисперсными частицами абсорбента в результате столкновения. Происходит динамическая коагуляция частиц. Далее под действием гравитационных сил происходит осаждение уловленных продуктов в днище аппарата и удаление через патрубок 6. Очищенный воздух вентилятором удаляется через патрубок 9.

В качестве контактного и каплеулавливающего устройства при проведении экспериментов использованы цепные завесы с различными размерами звена цепи. Цепная завеса крепилась на трубке Вентури с помощью поддерживающего бандажа [11]. Капли жидкости, попадая на контактно-каплеулавливающее устройство, осаждаются на цепях и стекают по ним в виде пленки. Газ, поступая в контактно-каплеулавливающее устройство, проходит дополнительную очистку за счет взаимодействия на цепях с пленкой жидкости, течение которой имеет сложный характер с непрерывным изменением поверхности контакта фаз. Далее под действием гравитационных сил происходит осаждение жидкости в днище аппарата. Таким образом, происходит увеличение как поверхности между жидкостью и газом, так и продолжительность этого взаимодействия.

Представляло интерес исследование гидродинамики аппарата распылительного типа с трубой Вентури и контактным устройством в виде цепной однорядной завесы из цепей. Гидравлическое сопротивление  $\Delta P$  эжекторного скруббера с различными вариантами цепной завесы и без нее в зависимости от средней скорости  $v_g$  газового потока представлено на рис. 3, а.

Гидравлическое сопротивление сухой цепной завесы имеет чрезвычайно малую величину. При этом наблюдалось даже некоторое снижение перепада давления, которое можно объяснить уменьшением вихреобразования газового потока, так как цепная завеса играет роль выравнивающего устройства, что соответствует принципам аэрогидродинамики аппаратов [12, 13].

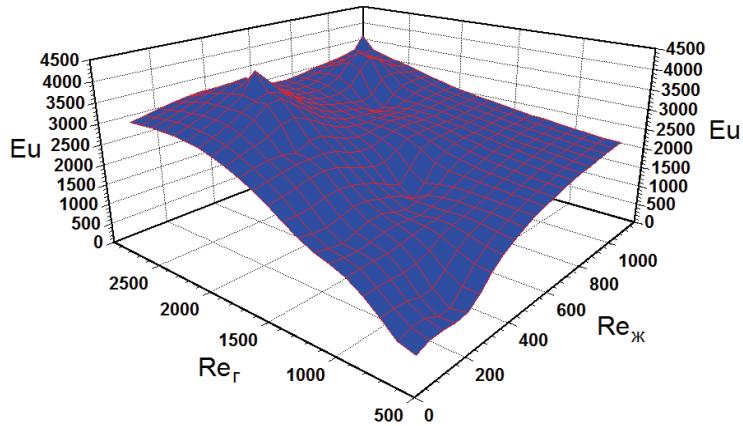
На рисунке 3, б представлены результаты исследования гидравлического сопротивления аппарата в зависимости от расхода жидкой и газовой фаз и типа контактного устройства. Гидродинамическая обстановка имеет тот же характер, как и при описании предыдущего графика. Кроме того, наблюдалось явление снижения гидравлического сопротивления вследствие эжекционного эффекта.



**Рис. 3. Зависимость  $\Delta P = f(v_G)$  трубы Вентури (а, б) и трубы с удлиненной горловиной (в, г) от типа контактного устройства цепной завесы без орошения (а, в) и при орошении (б, г):**  
**◆ – без цепи; ■, ▲, ✕ – цепи с размерами звеньев**  
 $6,5 \times 3,8; 7,0 \times 3,5; 10 \times 4,5$  мм соответственно

Аналогичные зависимости получены при использовании трубы с удлиненной горловиной (рис. 3, в, г).

На рисунке 4 представлена зависимость безразмерного числа Эйлера от чисел Рейнольдса для жидкости и газа  $Eu = f(Re_{ж}, Re_Г)$ , построенная по экспериментальным данным.



**Рис. 4. Зависимость  $Eu = f(Re_{ж}, Re_Г)$**

Обработка экспериментальных данных по гидравлическому сопротивлению орошаемой жидкостью цепной завесы проводилась с использованием критериального уравнения Эйлера следующего вида [14]

$$Eu = A Re_{\Gamma}^{n_1} Re_{\kappa}^{n_2}, \quad (2)$$

где  $A$ ,  $n_1$ ,  $n_2$  – эмпирические коэффициенты.

Методом наименьших квадратов получена зависимость от критериев  $Re$  в газовой и жидкой фазах

$$Eu = 0,003 Re_{\Gamma} Re_{\kappa}^{0,9}. \quad (3)$$

Параметры изменения критериев  $Re_{\Gamma} = 14\dots2600$ ,  $Re_{\kappa} = 30\dots1000$ , что соответствовало средней скорости газового потока 2...20 м/с. Погрешность между расчетными и экспериментальными значениями сопротивления слоя орошаемого цепного контактного устройства составила  $\pm 16\%$ .

Оценку эффективности массообменного процесса проводили по значениям остаточной концентрации  $CO_2$  в течение времени. Данные опытов приведены на рис. 5. Из графика на рисунке 5, *a* видно, что использование цепного контактного устройства в аппарате значительно повышает степень очистки газов (в среднем на 30 %) по сравнению с трубой без цепей. Наибольшая эффективность очистки достигается при использовании цепи с размерами звена  $6,5 \times 3,8$  мм (75 %), наименьшая – при  $10 \times 4,5$  мм (60 %).

На рисунке 5, *b* показано, что при использовании трубы с удлиненной горловиной наибольшей эффективностью очистки также обладает цепь с размером звена  $7,0 \times 3,5$  мм, что вероятно связано с чуть большей удельной поверхностью. Эффективность очистки 75 – 82 %.

В целом использование трубы с удлиненной горловиной дает больший эффект, что делает ее более перспективной, так как она проще по конструкции и в изготовлении.

Критериальные уравнения, описывающие процессы массоотдачи в фазах:

$$Sh_{\Gamma} = f(Re_{\Gamma}, Sc_{\Gamma}); \quad (4)$$

$$Sh_{\kappa} = f(Re_{\kappa}, Sc_{\kappa}), \quad (5)$$

где

$$Sh_{\Gamma} = \beta_{\Gamma} d_{\text{зкв}} / D_{\Gamma};$$

$$Re_{\Gamma} = 0,45 \left[ (1 - \varepsilon) \sqrt{\varepsilon} \right] u_{cp} d_{\text{зкв}} / \nu_{\Gamma};$$

$$Sc_{\Gamma} = \nu_{\Gamma} / D_{\Gamma};$$

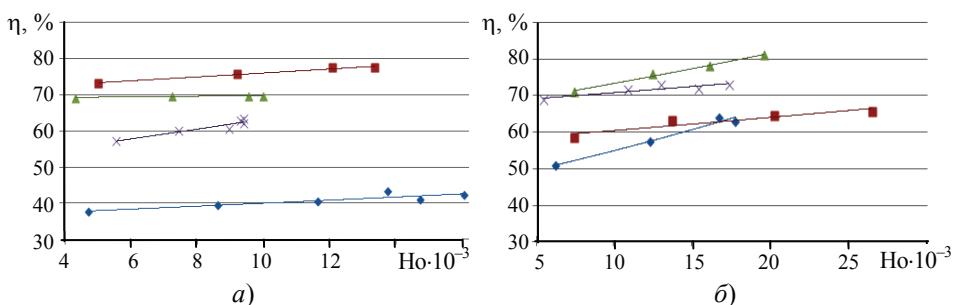


Рис. 5. Эффективность очистки  $\eta$  при использовании трубы Вентури (*a*) и трубы с удлиненной горловиной (*б*):

◆ – без цепи; ■, ▲, ✕ – цепи с размерами звеньев  
 $6,5 \times 3,8$ ;  $7,0 \times 3,5$ ;  $10 \times 4,5$  мм соответственно;  
 $Ho$  – число гомохронности

$$Sh_{ж} = \beta_{ж} d_{экв} / D_{ж};$$

$$Re_{ж} = u_{ср} d_{экв} / \nu_{ж};$$

$$Sc_{ж} = \nu_{ж} / D_{ж},$$

$Re$ ,  $Sc$ ,  $Sh$  – числа Рейнольдса, Шмидта и Шервуда;  $\beta$  – коэффициент массоотдачи, м/с;  $D$  – коэффициент диффузии,  $m^2/c$ ;  $d_{экв}$  – эквивалентный диаметр, м;  $u_{ср}$  – осредненная по сечению скорость потока,  $m/c$ ;  $\varepsilon$  – пористость;  $v$  – коэффициент кинематической вязкости,  $m^2/c$ ; индексы: ж – жидкая фаза; г – газовая фаза.

Анализ экспериментальных данных показал хорошую корреляцию с данными других исследователей (рис. 6) [14].

Обработка экспериментальных данных позволила получить следующие уравнения в обобщенных переменных:

$$Sh_g = 0,011 Re_g Sc_g^{0,5}; \quad (6)$$

$$Sh_{ж} = 0,002 Re_{ж}^{0,688} Sc_{ж}^{-0,5} \quad (7)$$

Относительное отклонение расчетных и экспериментальных данных составило 8 – 10 %, что с учетом данных, представленных на рис. 6, говорит об эффективности и адекватности полученных уравнений.

Разработанный эжекторный скруббер с контактным цепным устройством прошел промышленные испытания. Так, при переработке изношенных шин и твердых бытовых отходов с получением пиролизного газа существовала серьезная проблема его очистки от частиц сажи и смолистых веществ. Из-за низкой эффективности предыдущих аппаратов происходила забивка конденсаторов, что приводило к долгим остановам оборудования на чистку [15].

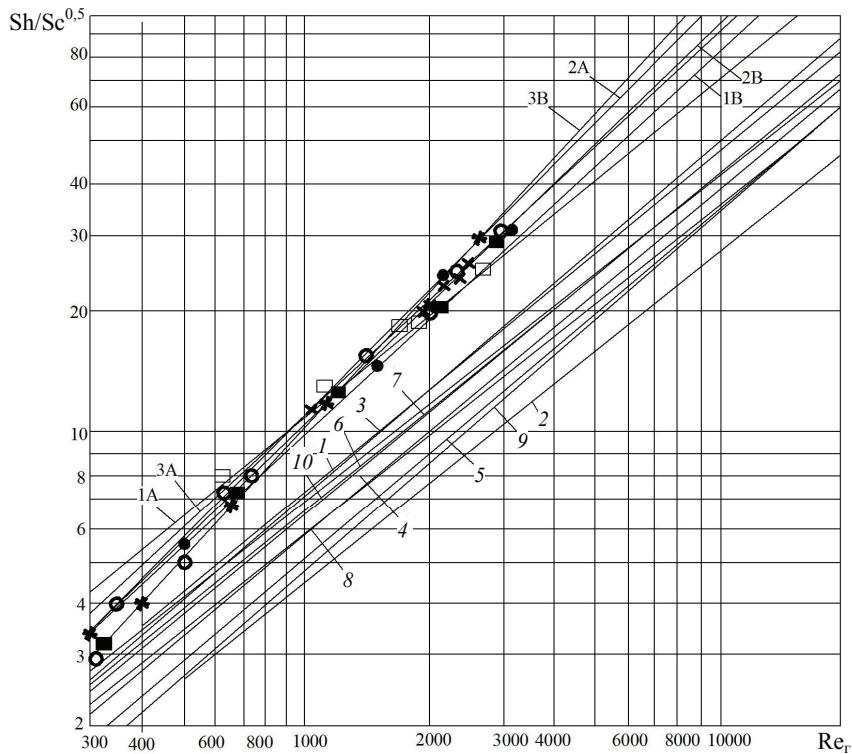


Рис. 6. Сравнение расчетных данных массоотдачи

в газовой фазе (1 – 10) [14] с полученными экспериментальными данными:

A, □, ○, × – трубка с удлиненной горловиной; B, ■, ●, \* – труба Вентури;  
размеры звеньев цепи, мм: □, ■ – 10 × 4,5; ○, ● – 7,0 × 3,5; ×, \* – 6,5 × 3,8

Применение эжекторных скрубберов позволило решить проблему очистки пиролизных газов и отказаться от промежуточного дымососа, ранее находившегося между системой очистки и блоком конденсаторов.

В условиях производства ОАО «Нурлатский сахарный завод» проведены испытания опытно-промышленного эжекторного скруббера. Испытаниями в отделении сульфитации фильтрованного сока второй сатурации установлено, что при использовании 10%-го раствора известкового сорбента остаточная концентрация диоксида серы после скруббера не превышала 25...50 мг/м<sup>3</sup>. Аналогичные результаты получены при исследовании установки для очистки газов от котельной пивоваренной компанией National Breweries Plc (г. Китве, Замбия).

Технико-экономическая оценка социальной и экологической эффективности рекомендуемых решений на основе SWOT-анализа свидетельствует о высоком рыночном потенциале установки очистки отходящих газов [10].

### *Список литературы*

1. Вальдберг, А. Ю. Защита атмосферы : учеб. пособие для вузов / А. Ю. Вальдберг, Н. Е. Николайкина. – 2-е изд., исп. и доп. – М. : Дрофа, 2008. – 240 с.
2. Вальдберг, А. Ю. Современные тенденции в развитии теории и практики пылеулавливания / А. Ю. Вальдберг // Хим. и нефтегазовое машиностроение. – 2007. – № 7. – С. 48 – 50.
3. Kohl, A. L. Gas Purification. Student's Handbook / A. L. Kohl, R. Nielsen. – 5<sup>th</sup> edition. – Houston : U.S.A. Gulf Publishing Company : Elsevier Inc, 1997. – 1395 p.
4. Albright's Chemical Engineering Handbook / ed. L. F. Albright. – Boca Raton : CRC Press, 2009. – 1928 p.
5. Химическая гидродинамика : справ. пособие / А. М. Кутепов [и др.]. – М. : Квантум, 1996. – 336 с.
6. Кузьмина, Р. И. Техника защиты окружающей среды / Р. И. Кузьмина. – Саратов : Изд-во Сарат. ун-та, 2010. – 103 с.
7. Кутателадзе, С. С. Гидродинамика газожидкостных систем / С. С. Кутателадзе, М. А. Стырикович. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М. : Энергия, 1976. – 296 с.
8. Лукин, В. Д. Очистка вентиляционных выбросов в химической промышленности / В. Д. Лукин, М. И. Курочкина. – Л. : Химия, 1980. – 232 с.
9. Панов, С. Ю. Повышение эффективности аппарата распылительного типа при решении проблем промышленной экологии / С. Ю. Панов, М. Химвинга, А. В. Зинковский // Вестн. Воронеж. гос. университета инженер. технологий. – 2014. – № 1. – С. 160 – 164.
10. Панов, С. Ю. Технико-экономическая оценка газоочистной установки на основе эжекторного скруббера / С. Ю. Панов, М. Химвинга, А. В. Зинковский // Вестн. Воронеж. гос. университета инженер. технологий. – 2014. – № 4. – С. 241 – 245.
11. Пат. 2548092 С1 Российской Федерации, В01D 47/06. Аппарат для мокрой очистки газов / Панов С.Ю., Зинковский А.В., Химвинга М. ; заявитель и патентобладатель ФГБОУ ВПО «Воронеж. гос. ун-т инженер. технологий». – № 2013153016/05 ; заявл. 29.11.2013 ; опубл. 10.04.2015, Бюл. № 10. – 6 с.
12. Идельчик, И. Е. Аэрогидродинамика технологических аппаратов (подвод, отвод и распределение потока по сечению аппаратов) / И. Е. Идельчик. – М. : Машиностроение, 1983. – 351 с.
13. Идельчик, И. Е. Гидравлические сопротивления (физико-механические основы) / И. Е. Идельчик. – М. : Госэнергоиздат, 1954. – 316 с.
14. Рамм, В. М. Абсорбция газов / В. М. Рамм. – М. : Химия, 1976. – 768 с.
15. Установка для получения биотоплива из изношенных шин, использованной полимерной тары, отходов мягкой кровли в режиме собственного энергобеспечения / А. Н. Ульянов [и др.] // Биотехнология: экология крупных городов : материалы Междунар. науч.-практ. конф., г. Москва, 15 – 17 марта 2010 г. / Рос. хим.-технол. ун-т им. Д. И. Менделеева. – М., 2010. – С. 205 – 206.

# Intensification of Absorption Gas Treatment in Spray Type Devices

M. Himwiinga, S.Yu. Panov

Department of Machines and Devices in Chemical Industries,  
Voronezh State University of Engineering Technology,  
kafedra-mahp@mail.ru

**Keywords:** absorption; carbon dioxide; ejector scrubber; gas treatment; intensification; Venturi scrubber.

**Abstract:** The paper describes the results of the research on hydrodynamic and mass transfer characteristics of the contact device, namely, a chain curtain applied to intensify the absorption gas treatment in spray-type devices, in particular, Venturi scrubbers and ejector scrubbers. Experiments were conducted on a “water – air” and “water – carbon dioxide” systems using a specially designed laboratory stand with an ejector scrubber. We obtained empirical equations to determine mass transfer and hydrodynamic coefficients for the given device. Mass transfer characteristics of the proposed device are comparable with the known data. The designed ejector scrubber has been successfully tested in industrial conditions.

## References

1. Val'dberg A.Yu., Nikolaikina N.E. *Zashchita atmosfery* [Protection of the atmosphere], Moscow: Drofa, 2008. (In Russ.)
2. Val'dberg A.Yu. Modern tendencies in development of dust collection theory and practice, *Chemical and Petroleum Engineering*, 2007, vol. 43, issue 7, pp. 423-426.
3. Kohl A.L., Nielsen R. *Gas purification. Student's handbook*, 5<sup>th</sup> edition, Houston, U.S.A. Gulf Publishing Company, Published by Elsevier Inc., 1997, 1395 p.
4. Albright L.F. (Ed.) *Albright's Chemical Engineering Handbook*, CRC Press, 2009.
5. Kuteпов A.V. , Polyanin A. D, Zapryanov Z.D., Vyazmin A.V, Kazenin D.A. *Khimicheskaya gidrodinamika* [Chemical hydrodynamics], Moscow: Quantum, 1996, 336 p. (In Russ.)
6. Kyzmina, R. I. *Tekhnika zashchiti okrudjayushei sredi* (Environmental protection equipment), Saratov : Izdatel'stvo Saratovskogo universiteta, 2010, 103 p. (In Russ.)
7. Kutateladze S.S., Stirikovich M.A. *Gidrodinamika gazozhidkostnykh sistem* [Hydrodynamics of gas liquid systems], Moscow: Energiya, 1976, 296 p. (In Russ.)
8. Lukin V.D., Kurochkina M.I. *Ochistka ventilyatsionnykh vybrosov v khimicheskoi promyshlennosti* [Treatment of vent gas emissions in chemical industry], Leningrad: Khimiya, 1980, 232 p. (In Russ.)
9. Panov S.Yu., Himwiinga M., Zinkovskii A.V. [Improving the efficiency of spray type devices when solving problems in industrial ecology], *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernykh tekhnologii* [Herald of the Voronezh State University of Engineering Technology], 2014, no. 1, pp. 160-164. (In Russ., abstract in Eng.)
10. Panov S.Yu., Himwiinga M., Zinkovskii A.V. [Feasibility study of gas treatment plant based on an ejector scrubber], *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernykh tekhnologii* [Herald of the Voronezh State University of Engineering Technology], 2014, no. 4, pp. 241-245. (In Russ., abstract in Eng.)
11. Panov S.Yu., Zinkovskii A.V., Himwiinga M., *Apparat dlya mokroi ochistki gazov* [Wet Gas Scrubbing Unit], Russian Federation, Pat. № 2548092. (In Russ., abstract in Eng.)

12. Idel'chik I.E. *Aerogidrodinamika tekhnologicheskikh apparatov (podvod, otvod i raspredelenie potoka po secheniyu apparatov)* [Aerodynamics of technological devices (Supply, drainage and flow distribution over the cross section of devices)], Moscow: Machine building, 1983, 315 p. (In Russ.)
13. Idel'chik I.E. *Gidravlicheskie soprotivleniya (fiziko-mekhanicheskie osnovy)* [Hydraulic resistance (physical-mechanical basis)], Moscow: Gosenergoizdat, 1954, 316 p. (In Russ.)
14. Ramm V.M. *Absorbsiya gazov* [Gas absorption], Moscow: Khimiya, 1966, 768 p. (In Russ.)
15. Ul'yanov A.N., Shapovalov Yu. N., Andreev V.A., Panov S.Yu. [Installation for biodiesel from used tires, used plastic containers, waste soft roof with its own power supply], *Biotehnologiya: ekologiya krupnykh gorodov* [Biotechnology: ecology of big cities], Proceedings of the international scientific-practical conference, Moscow, 15-17 march 2010, pp. 205-206, available at: <http://www.spsl.nsc.ru/FullText/konfe/bio2010.pdf> (accesses 28 January 2016) (In Russ., abstract in Eng.)

---

### Intensivierung des Prozesses der Absorptionsreinigung der Gase in den Apparaten des Pulvertyps

**Zusammenfassung:** Es sind die Ergebnisse der Forschung der hydrodynamischen und massenaustauschen Charakteristiken der Kontaktanlage, die den Kettenvorhang darstellt, die für die Intensivierung des Prozesses der Absorptionsreinigung der Gase in den Apparaten des Pulvertyps, unter anderem in den Skrubbern von Venturi und in den Ejektorskrubben verwendet werden, dargelegt. Die Experimente wurden auf dem System "das Wasser – die Luft" und "das Wasser – das Kohlendioxid" auf der speziell entwickelten Laboranlage mit dem Ejektorskrubber durchgeführt. Es sind die empirischen Gleichungen für die Bestimmung der Koeffizienten der Massenabgabe und der Hydrodynamik des gegebenen Apparates erhalten. Die Massenaustauschcharakteristiken der angebotenen Anlage sind zu den bekannten Angaben vergleichbar. Der erarbeitete Ejektorskrubber ist die erfolgreiche industrielle Approbation durchgegangen.

---

### Intensification du processus de la purification d'absorption des gaz dans les appareils du type de vaporisation

**Résumé:** Sont exposés les résultats de l'étude des caractéristiques hydrodynamiques et de transfert de masse de l'appareil de contact qui présente le rideau en chaîne utilisé pour l'intensification du processus de la purification d'absorption des gaz dans les appareils du type de vaporisation (en particulier scrubber Venturi et ceux d'éjection). Les expériences ont été réalisées sur le système «air – eau» et «eau – dioxyde de carbone» conçu spécialement. Sont obtenues les équations empiriques pour déterminer les facteurs du transfert de masse et de l'hydrodynamique de l'appareil. Les caractéristiques de transfert de masse de l'appareil proposé sont compatibles avec les données connues. Le scrubber conçu a été testé avec succès dans les conditions industrielles.

---

**Авторы:** Химинга Мвине – аспирант кафедры «Машины и аппараты химических производств»; Панов Сергей Юрьевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Машины и аппараты химических производств», ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий».

**Рецензент:** Гаманова Наталья Цибиковна – доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой «Технологические процессы, аппараты и техно-сферная безопасность», ФГБОУ ВПО «ТГТУ».