

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ВЕЛИЧИНЫ РАСХОДА ОРОШАЮЩЕЙ ЖИДКОСТИ В СИСТЕМАХ ПЕННОЙ ОЧИСТКИ ГАЗОПЫЛЕВЫХ ВЫБРОСОВ**

**О. В. Долгова, Ю. В. Лопатюк, А. В. Козачек**

*ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный  
технический университет», Тамбов, Россия;  
ФГУП «Федеральный центр двойных технологий «Союз»,  
Дзержинский, Московская обл., Россия*

**Ключевые слова:** очистка газопылевых выбросов; пена; пенный абсорбер; орошающая жидкость; скорость газа.

**Аннотация:** По результатам серии экспериментов на лабораторной установке пенной фильтрации определен удельный расход орошающей жидкости (1%-го водного раствора соды), обеспечивающий максимальные высоту пены и поверхность контакта фаз в пенном аппарате, при средней скорости газа, соответствующей его расчетному расходу на установке газоочистки (скорость газа в абсорбере в среднем 2,7 м/с). В процессе эксперимента условия в лабораторной установке пенной фильтрации подобны условиям в промышленном аппарате газоочистки.

Пенные абсорберы – современные эффективные аппараты, применяющиеся для очистки газовых выбросов в химическом производстве, металлургии, полиграфии, гальванике и других отраслях и имеющие высокую эффективность при одновременной очистке выбросов от токсичных газов и пыли [1].

В пенных аппаратах газ проходит через слой жидкости в виде пузырьков пены, на поверхности которых происходит осаждение частиц и массопередача. С момента возникновения пены резко увеличивается межфазная поверхность и снижаются диффузионные сопротивления [2].

Захват газообразных и пылевых загрязнителей в пенном абсорбере осуществляется в слое подвижной пены. Пылеулавливание происходит, в основном, вследствие турбулентного переноса частиц пыли из газа

---

Долгова Ольга Валерьевна – кандидат технических наук, ассистент кафедры «Природопользование и защита окружающей среды», ТамбГТУ, Тамбов, Россия; Лопатюк Юрий Викторович – кандидат технических наук, начальник Головной экологической лаборатории, ФГУП «ФЦДТ «Союз», Дзержинский, Московская обл., Россия; Козачек Артемий Владимирович – кандидат педагогических наук, доцент, заведующий кафедрой «Природопользование и защита окружающей среды», e-mail: artem\_kozachek@mail.ru, ТамбГТУ, Тамбов, Россия.

на весьма развитую поверхность жидкости, где частицы пыли смачиваются и фиксируются. Газообразные загрязнители сорбируются в подвижную пену, способствующую созданию интенсивного массообмена между газом и жидкостью в условиях развитой поверхности контакта фаз и пониженных диффузионных сопротивлений, что обеспечивает высокую скорость процессов абсорбции [1].

Для обеспечения более полного извлечения токсичных газов из газопылевых выбросов предприятий и исключения возможности возвращения в поток газа уловленных загрязнителей (при испарении жидкости, насыщении абсорбента) используют метод хемосорбции, когда в орошающую жидкость вводят соединение, вступающее в химическую реакцию с газообразным загрязнителем.

Пена в абсорбере образуется при взаимодействии на поверхности провальной тарелки движущимися противотоком орошающей жидкости и загрязненного газа. Правильно подобранное соотношение между расходом поглотителя (орошающей жидкости) и скоростью газа в аппарате (расходом газа) обеспечивает максимальную поверхность контакта фаз, а, следовательно, и максимально возможную в данном типе аппаратов степень извлечения загрязнителей.

Обеспечение максимальной поверхности контакта фаз (максимального количества пены на тарелке) – один из методов, позволяющих оптимизировать работу установки очистки газов. Реализация данного метода осуществляется за счет отладки режима работы промышленной установки – подбор соотношения: расход поглотителя – расход загрязненного газа.

Расход загрязненного газа (скорость газа в аппарате газоочистки) – постоянная величина – определяется производительностью вентилятора (газодувки), входящего в состав промышленных установок газоочистки. Расход поглотителя регулируется на линии подачи насосом орошающей жидкости в абсорбер. Регулируя расход поглотителя, можно достичь максимального значения площади поверхности контакта фаз при данном расходе газа для данного состава абсорбента, увеличение поверхности контакта фаз приводит к увеличению степени извлечения загрязнителей.

Динамика подвижного двухфазного слоя в процессе пенной очистки описывается сложной системой дифференциальных уравнений, которые не удается решить аналитически [3]. Использование в качестве поглотителя не чистой воды, а раствора химического реагента (раствора соды) делает невозможным чисто теоретический подход к анализу явлений, так как вводимое в орошающую жидкость химическое вещество оказывает влияние на пенообразование, действуя как пенообразователь или пеногаситель. Поэтому требуется проведение экспериментальных исследований по определению поверхности контакта фаз для различных скоростей газов в абсорбере и составов орошающей жидкости в процессах пенной очистки газопылевых выбросов.

Для определения оптимальных параметров работы газоочистного оборудования – пенного абсорбера – с учетом геометрического и гидродинамического подобия [4] спроектирован и изготовлен малогабаритный лабораторный стенд.



**Рис. 1. Лабораторная установка пенной газоочистки в рабочем режиме исследований**

Макетная установка, состоящая из соединенных между собой секций высотой 135 или 400 мм, сделана из оргстекла. Диаметр секций 200 мм. Каждая секция снабжена технологическим отверстием, для проведения замеров внутри колонны. Жидкость находится в растворяющем баке, соединенном с центробежным электронасосом, расход регулируется с помощью байпаса по показаниям ротаметра. Установка работает под разрежением, вентилятор установлен на выходе из установки. Расход газа регулируется шибером.

Разработаны и используются в практике различные методы определения межфазной поверхности в двухфазных системах, основанные на проведении химических реакций или реализации различных физических эффектов [5]. В данной работе поверхность контакта фаз определяли методом микрофотографирования. Статистически обрабатывались фотографии, определялись объем пены, средний диаметр пузырька и газосодержание слоя.

Лабораторная установка в режиме исследований представлена на рис. 1.

При проведении исследования установка работала следующим образом. Насосом по трубопроводу жидкость (1%-й раствор соды) подается в распределитель. Расход жидкости регулируется с помощью байпаса и устанавливается по ротаметру. Жидкость попадает на провальную тарелку и через отверстия тарелки стекает в низ колонны в емкость. Через 5 минут после включения насоса, при установившемся режиме течения жидкости, включают вентилятор. Расход газа определяли с помощью дифференциального манометра цифрового (ДМЦ-01). Прибор состоит из блока управления, трубки НИИОГАЗ, подсоединенной к прибору с помощью резиновых трубок. Трубка вводится в колонну через специальные патрубки, замеры проводили в колонне в пяти точках сечения, равномерно удаленных друг от друга. Газ, поступая в аппарат через входной патрубок, двигается по колонне со средней скоростью 2,7 м/с (расход 300 м<sup>3</sup>/ч), проходит через отверстия тарелки, взаимодействуя с распределенной по тарелке жидкостью, образуя пену.

Лабораторная установка работает в течение 10 минут для выхода на установившийся режим работы, после чего проводилась съемка и измерялся слой пены. Подача воды в колонну изменялась в эксперименте от 0,84 до 2,5 м<sup>3</sup>/ч.

Результаты проведенных экспериментов по определению оптимального расхода жидкости, подаваемой на орошение, при постоянной скорости газа представлены в табл. 1.

Таблица 1

**Результаты эксперимента по определению объема пены на тарелке  
модельного аппарата в зависимости от расхода жидкости**

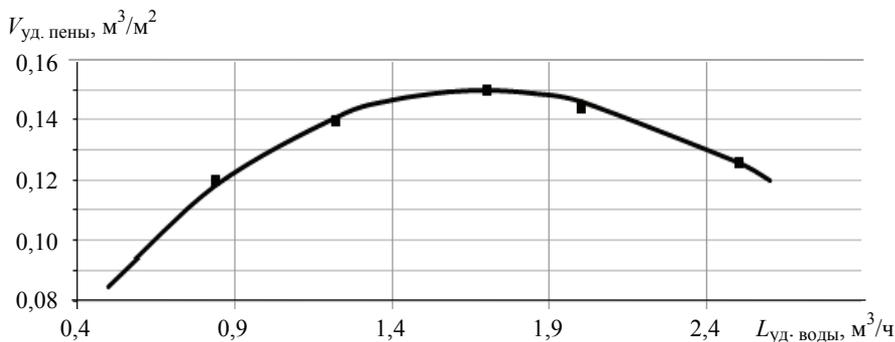
Расход жидкости в колонне, $\text{дм}^3/\text{ч}$	Удельный расход жидкости, $\text{дм}^3/\text{м}^3$ газа	Скорость газа*, $\text{м}/\text{с}$	Абсолютный объем пены, $\text{м}^3$	Расход орошающей жидкости, $\text{м}^3/\text{ч}$	Удельный объем пены, $\text{м}^3/\text{м}^2$ сечения аппарата
46,0	0,154	2,71	0,0037	0,84	0,12
55,0	0,1831		0,004	1,0	0,13
67,0	0,223		0,0043	1,22	0,14
<b>92,0</b>	<b>0,307</b>		<b>0,00462</b>	<b>1,68</b>	<b>0,15</b>
110,0	0,366		0,00447	2,0	0,145
137	0,458		0,00385	2,5	0,125

\* В промышленной установке скорость газа равна 2,7 м/с

Как видно из приведенных в таблице опытных данных, максимальный объем пены достигнут при удельном расходе жидкости  $0,307 \text{ дм}^3/\text{м}^3$  газа, что соответствует эквивалентному расходу жидкости, подаваемой на орошение промышленного пенного абсорбера, равному  $1,68 \text{ м}^3/\text{ч}$  (расход газа в промышленном абсорбере  $5460 \text{ м}^3/\text{ч}$ ).

На рисунке 2 показана экспериментально полученная зависимость удельного объема пены от удельного расхода орошающей жидкости, отнесенного к площади тарелки, при линейной скорости газа в колонне  $2,7 \text{ м}/\text{с}$ .

С увеличением расхода орошающей жидкости сначала происходит накопление слоя жидкости (пены) на тарелке, что приводит к увеличению объема пены на ней и максимальному удельному объему пены  $0,15 \text{ м}^3/\text{м}^2$  при удельном расходе жидкости  $0,307 \text{ дм}^3/\text{м}^3$  газа. При дальнейшем увеличении расхода жидкости вода накапливается на тарелке, постепенно образуются застойные зоны по ее краям, уменьшается слой пены. Происходит полное заполнение тарелки водой и прекращение пенного режима работы колонны. Колонна переходит в барботажный режим, характеризующийся гораздо меньшей эффективностью, чем пенный.



**Рис. 2. График зависимости удельного объема пены  
от удельного расхода орошающей жидкости**

Таким образом, при исследовании на модельной лабораторной установке, разработанной с соблюдением геометрического и гидродинамического подобия условиям в промышленной установке пенной абсорбции, как предложено авторами в работе [4], определен оптимальный удельный расход жидкости, подаваемой на орошение решетки пенного фильтра, обеспечивающий максимальные объем пены и поверхность контакта фаз. На основании полученных опытных данных исследователям и инженерам-экологам на предприятиях могут быть даны рекомендации оптимальных параметров работы промышленного модуля очистки газа для внесения их в технический проект узла пенной газоочистки.

#### Список литературы

1. Тимонин, А. С. Инженерно-экологический справочник. В 3-х томах / А. С. Тимонин. – Калуга : Изд-во Н. Бочкаревой, 2003. – Т. 3. – 1024 с.
2. Позин, М. Е. Пенные газоочистители, теплообменники и абсорберы. Работа и расчет пенных аппаратов / М. Е. Позин, И. П. Мухленов, Э. Я. Тарат. – Л. : Госхимиздат, 1959. – 124 с.
3. Евсина, Е. М. Расчет параметров кипящего слоя в абсорбере воздухоочистительной системы / Е. М. Евсина // Инженерная физика. – 2007. – № 4. – С. 62–63.
4. Долгова, О. В. Проектирование лабораторной установки для экспериментальных исследований процесса пенной очистки газопылевых выбросов от красного фосфора / О. В. Долгова, Ю. В. Лопатюк, А. В. Козачек // Вопр. соврем. науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. – 2021. – № 4 (82). – С. 13 – 20. doi: 10.17277/voprosy.2021.04.pp.013-020
5. Родионов, А. И. Поверхность контакта фаз и массопередача в тарельчатых колоннах : дис. ... д-ра техн. наук : 05.00.00 / Родионов Анатолий Иванович. – М., 1969. – 390 с.

#### References

1. Timonin A.S. *Inzhenerno-ekologicheskij spravochnik. V 3-kh tomakh* [Engineering and ecological reference book. In 3 volumes], Kaluga: Izdatel'stvo N. Bochkarevoy, 2003, vol. 3, 1024 p. (In Russ.)
2. Pozin M.Ye., Mukhlenov I.P., Tarat E.Ya. *Pennyye gazoochistiteli, teploobmenniki i absorbery. Rabota i raschet pennykh apparatov* [Foam gas cleaners, heat exchangers and absorbers. Work and calculation of foam devices], Leningrad: Goskhimizdat, 1959, 124 p. (In Russ.)
3. Yevsina Ye.M. [Calculation of the parameters of the fluidized bed in the absorber of the air-cleaning system], *Inzhenernaya fizika* [Engineering Physics], 2007, no. 4, pp. 62-63. (In Russ.)
4. Dolgova O.V., Lopatyuk Yu.V., Kozachek A.V. [Design of a laboratory installation for experimental research of the process of foam cleaning of gas and dust emissions from red phosphorus], *Voprosy sovremennoy nauki i praktiki. Universitet im. V. I. Vernadskogo* [Problems of Contemporary Science and Practice. Vernadsky University], 2021, no. 4 (82), pp. 13-20, doi: 10.17277/voprosy.2021.04.pp.013-020 (In Russ., abstract in Eng.)
5. Rodionov A.I. *PhD Dissertation (Technical)*, Moscow, 1969, 390 p. (In Russ.)

## **Experimental Substantiation of the Flow Value of Irrigation Liquid in Systems of Foam Purification of Gas and Dust Emissions**

**O. V. Dolgova, Yu. V. Lopatyuk, A. V. Kozachek**

*Tambov State Technical University, Tambov, Russia;  
Federal Center for Dual Technologies Soyuz,  
Dzerzhinsky, Moscow region, Russia*

**Keywords:** purification of gas and dust emissions; foam; foam absorber; irrigation liquid; gas speed.

**Abstract:** Based on the results of a series of experiments on a laboratory foam filtration unit, the specific flow rate of the irrigating liquid (1% aqueous soda solution) was determined, which ensures the maximum height of the foam and the phase contact surface in the foam apparatus, at an average gas velocity corresponding to its estimated consumption at the gas cleaning unit (gas velocity in the absorber is 2.7 m/s on average). During the experiment, the conditions in the laboratory foam filtration plant were similar to those in the industrial gas cleaning plant.

---

© О. В. Долгова, Ю. В. Лопатюк, А. В. Козачек, 2022