

УДК 697.922.2 / 697.642.2

## Совершенствование насадочных абсорбционных систем газоочистки в системах жизнеобеспечения

Д. И. ШПИЛИН<sup>1</sup>, д-р техн. наук В. А. ПРОНИН<sup>2</sup>, О. В. ДОЛГОВСКАЯ<sup>3</sup><sup>1</sup>shpilinspb@gmail.com, <sup>2</sup>maior.pronin@mail.ru, <sup>3</sup>zilkina@yandex.ru

Университет ИТМО

191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9

*Исследована эффективность работы пористой насадки, произведенной на основе полиэтилена высокого давления, в насадочных абсорбционных системах газоочистки и дезодорации воздуха. Проведен ряд экспериментов по определению качественных и количественных показателей работы: смачиваемость пористой насадки и сопротивление слоя насадки воздушному потоку, а также оценено влияние способа укладки насадки на работу системы. На основании теоретических данных и данных, полученных в ходе эксперимента, была разработана математическая модель, позволяющая оценить процессы, проходящие в колоннах и рассчитать удельное сопротивление насадки потоку воздуха с учетом орошения насадки жидкостью. Полученные результаты позволяют рекомендовать пористую насадку в качестве наполнителя орошаемых колон систем жизнеобеспечения.*

**Ключевые слова:** колонны насадочного типа, мокрые скрубберы, пористые насадочные тела, дезодорация, очистка воздуха, полимерная насадка, сопротивление потоку воздуха.

### Информация о статье

Поступила в редакцию 27.01.2017, принята к печати 09.02.2017

doi:10.21047/1606-4313-2017-16-1-45-48

### Ссылка для цитирования

Шпилин Д. И., Пронин В. А., Долговская О. В. Совершенствование насадочных абсорбционных систем газоочистки в системах жизнеобеспечения // Вестник Международной академии холода. 2017. № 1. С. 45-48.

## Improving of packed absorption gas cleaning systems in life support systems

D. I. SHPILIN, D. Sc. V. A. PRONIN, O. V. DOLGOVSKAYA

<sup>1</sup>shpilinspb@gmail.com, <sup>2</sup>maior.pronin@mail.ru, <sup>3</sup>zilkina@yandex.ru

ITMO University

191002, Saint-Petersburg, Lomonosov str., 9

*The article deals with the issue of efficiency of porous nozzle made of high pressure polyethylene for airflow purification in packed columns. A number of experiments have been made to analyze the qualitative and quantitative parameters of the performance: nozzle wetting and its reactance to air flow. The influence of the nozzle installation method on the system performance is also investigated. Theoretical and experimental data allow to develop mathematical model for estimating the processes in columns and to calculate specific resistance of the nozzle to air flow taking into account nozzle wetting rate. The results obtained allow to recommend the porous nozzle as a packing for spray columns of the life support systems.*

**Keywords:** packed type columns, wet scrubber, packed porous body, deodorization, air purification, polymeric nozzle, airflow resistance.

Абсорбционная очистка основана на поглощении загрязняющих веществ жидким абсорбентом. В качестве абсорбента чаще всего используются растворы гипохлоритов (например, натрия). В большинстве случаев, абсорбционные газоочистные системы выполняются в виде колонны или набора орошаемых колонн насадочного типа. В колоннах данного исполнения процесс очистки воздуха происходит за счет контакта очищаемой газовой воздушной смеси и абсорбента.

Газовоздушная смесь при мокром улавливании эффективно очищается от частиц, размер которых составляет не менее 3–5 микрон. Более мелкие частицы улавливаются довольно плохо в силу двух основных причин. Во-первых, мельчайшие частицы, двигаясь вместе с по-

током газовой смеси, обтекают поверхность жидкости, даже с ней не соприкасаясь. Во-вторых, рядом с мокрой поверхностью есть газовый пограничный слой, который мизерная частица часто попросту не может преодолеть.

Если частицы обладают таким свойством, как гидрофобность (способность не смачиваться жидкостью), то для эффективного их улавливания у таких частиц должен быть дополнительный запас кинетической энергии, который позволит преодолеть им силы поверхностного натяжения.

Ранее, когда требовалась очистка от гидрофобных частиц, для того, чтобы несколько улучшить их смачиваемость, в жидкость вводили специальные поверхност-

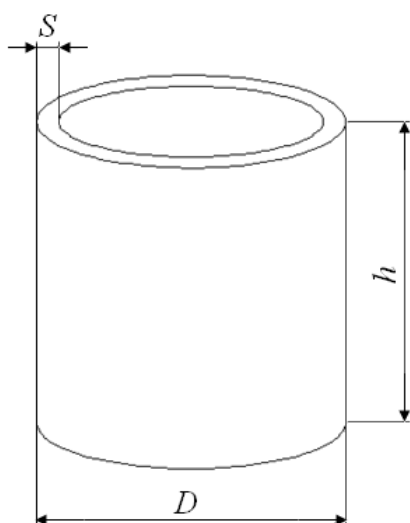


Рис. 1. Кольцо пористой насадки:  $D$  — внешний диаметр,  $h$  — высота,  $S$  — толщина стенки кольца

но-активные вещества. Однако при применении данного способа сточные воды, образующиеся при мокрой очистке, загрязнялись органическими веществами. Сегодня такой метод не отвечает установленным экологическим требованиям. [1, 2]

Стоит отметить, что мокрая очистка газозвдушной смеси наиболее эффективна только тогда, когда увлажнение и охлаждение очищаемой от пыли газозвдушной смеси вполне допустимы, а твердые частицы, которые требуется отделить, не представляют особой ценности. Охлаждение очищаемой газозвдушной смеси до температуры, которая ниже температуры конденсации паров жидкости, содержащихся в этой смеси, несколько увеличивает массу частиц, служащих своего рода центрами конденсации, что в значительной степени облегчает их улавливание. Помимо этого, водяные пары способны конденсироваться на поверхности аппарата в виде холодных капелек. [2, 3]

В абсорбционных насадочных колоннах орошаемого типа используют 2 типа насадок:

— *Насыпные насадки.* Насыпную насадку укладывают на опорную решетку (колосник), которая должна иметь минимальное гидравлическое сопротивление и обладать достаточной механической прочностью, чтобы выдержать вес насадки и удерживаемой ею жидкости. Элементы насадки изготавливают из керамики, фарфора или тонколистового металла. Насадка должна быть засыпана ровным слоем.

— *Хордовые насадки.* Насадки хордовые делают из крупных элементов: деревянных, пластмассовых или керамических брусьев, сеток и гофрированных листов.

В проведенном исследовании применялся концептуально новый вид насыпной насадки — насадка из пористых полимерных материалов. [3, 4]

За счет пористой структуры, исследуемая полимерная насадка отвечает основным требованиям, а именно:

— обладает большой поверхностью контакта в единице объема;

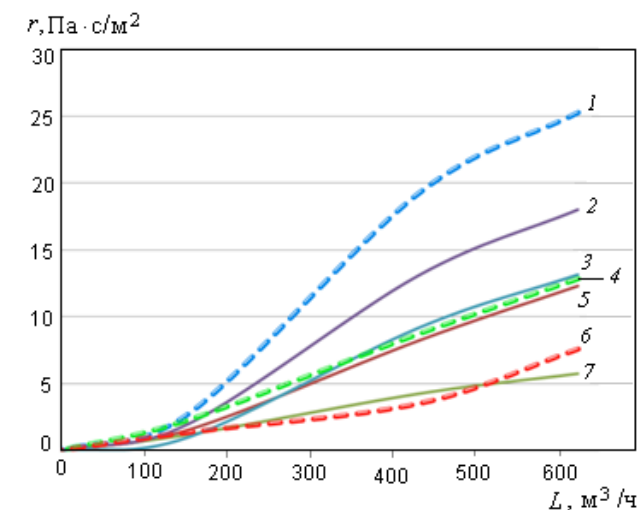


Рис. 2. Сводная диаграмма зависимостей удельных сопротивлений всех видов насадок: 1 — малая 840 мм; 2 — крупная горизонтальная; 3 — каскадная; 4 — малая 540 мм; 5 — средняя; 6 — малая 270 мм; 7 — крупная

— хорошо смачивается орошаемой жидкостью;

— оказывает малое гидравлическое сопротивление газовому потоку;

— равномерно распределяет орошающую жидкость;

— устойчива к химическому воздействию жидкости и газа, движущихся в колонне;

— имеет малый удельный вес.

Для того чтобы определить качественные и количественные показатели эффективности работы пористой полимерной насадки, такие как смачиваемость пористой насадки и сопротивление слоя насадки воздушному потоку, был проведен ряд экспериментов [5].

На первом этапе эксперимента определялось сопротивление потоку воздуха, слоя пористой насадки. А также оценивалось влияние способа укладки насадки на работу системы. Эксперимент проводился на лабораторно-экспериментальном стенде при заданном расходе воздуха.

Исследовались образцы насыпной пористой насадки в виде колец (рис. 1):

— насадка с мелкими кольцами, уложенная хаотично. Высота слоя 840 мм. Размер колец не превышал  $50 \times 50 \times 5$  мм ( $D \times h \times S$ );

— насадка с мелкими кольцами, уложенная хаотично. Высота слоя 540 мм. Размер колец не превышал  $50 \times 50 \times 5$  мм;

— насадка с мелкими кольцами, уложенная хаотично. Высота слоя 270 мм. Размер колец не превышал  $50 \times 50 \times 5$  мм;

— насадка с послойным набором колец (каскадная), уложенная хаотично. Крупные кольца —  $100 \times 100 \times 5$  мм, средние кольца —  $70 \times 70 \times 5$  мм, малые кольца —  $50 \times 50 \times 5$  мм. Насадка укладывалась послойно хаотичным образом, сначала насыпалась хаотично уложенный слой крупной насадки, затем хаотично уложенный слой средней насадки, затем хаотично уложенный мелкой насадки;

— насадка со средними кольцами, уложенная хаотично. Размер колец не превышал  $70 \times 70 \times 5$  мм;

— насадка с крупными кольцами, уложенная хаотично. Размер колец не превышал  $100 \times 100 \times 5$  мм;

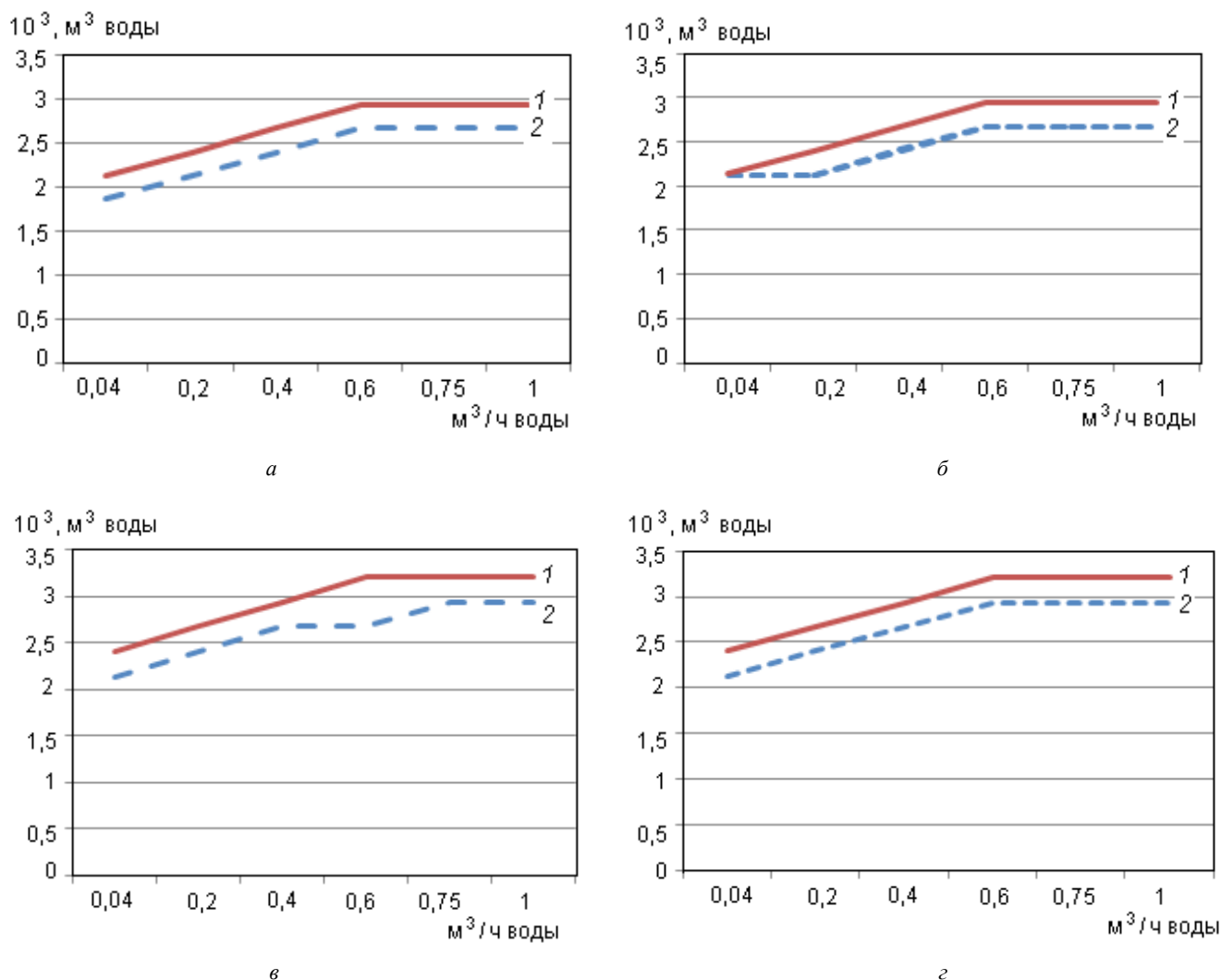


Рис. 3. Зависимость влагоудержания от расхода воды: а — при  $L = 0 \text{ м}^3/\text{ч}$ ; б — при  $L = 150 \text{ м}^3/\text{ч}$ ; в — при  $L = 450 \text{ м}^3/\text{ч}$ ; г — при  $L = 650 \text{ м}^3/\text{ч}$ ; 1 — насадка малая; 2 — насадка каскадная

— насадка с крупными кольцами, уложенная структурировано (линия симметрии кольца находится перпендикулярно линии симметрии колонны). Размер колец не превышал  $100 \times 100 \times 5$  мм. Насадка укладывалась структурированным образом (горизонтально), линия симметрии кольца находится перпендикулярно линии симметрии колонны [5, 6].

По экспериментальным данным были построены зависимости удельного сопротивления слоя насадки от расхода воздуха.

Проанализировав полученную диаграмму, можно сделать вывод, что насадки: средняя, каскадная и малая при высоте слоя 540 мм имеют приблизительно одинаковое удельное сопротивление, однако они имеют различную удельную площадь поверхности в заданном объеме; каскадная —  $10,9 \text{ м}^2/\text{м}^3$ , средняя —  $10,6 \text{ м}^2/\text{м}^3$ , малая на 54 см —  $9,77 \text{ м}^2/\text{м}^3$  [7–9].

После проведения эксперимента были сделаны следующие выводы: насадка, уложенная каскадным способом, имеет меньшее удельное сопротивление потоку воздуха. Следовательно, каскадный способ засыпки насадки является самым оптимальным для насадочной орошаемой

колонны, кроме того данный способ имеет максимальную удельную площадь поверхности контакта [10].

На втором этапе эксперимента определялась смачиваемость насадки из полиэтилена при различных условиях загрузки насадки, а также влияние смачиваемости на работу системы и определение оптимальной степени смачиваемости. После проведения эксперимента и составления по полученным данным ряда зависимостей, был сделан вывод, что смачиваемость насадки создает дополнительное сопротивление газозвушному потоку, однако смачивание материала необходимо в насадочных орошаемых колоннах для обеспечения наиболее приемлемого контакта обрабатываемого воздуха с водным раствором окислителя. Данный эксперимент проводился на 2 видах насадки — малой, уложенной хаотично (высота слоя 840 мм), и каскадной, уложенной хаотичным образом [11, 12].

По полученным данным были построены графики зависимостей смачиваемости от расхода жидкости при фиксированном значении расхода воздуха  $L$ ,  $\text{м}^3/\text{ч}$  (рис. 3).

Было установлено, что для полного смачивания имеющегося объема насадки  $0,1 \text{ м}^3$ , т. е. для нахождения точ-

ки полного насыщения, достаточно установить в системе расход жидкости 0,6 м<sup>3</sup>/ч, т. е. 6 м<sup>3</sup>/ч на 1 м<sup>3</sup> засыпки.

На основании теоретических данных и данных, полученных в ходе экспериментов, была разработана математическая модель, позволяющая оценить процессы, проходящие в колоннах и рассчитать некоторые основные параметры, такие как: удельное сопротивление насадки потоку воздуха с учетом орошения насадки жидкостью.

В заключении необходимо отметить, что полученные в данной работе результаты, дают основания рекомендовать пористую насадку в качестве наполнителя орошаемых колон систем жизнеобеспечения.

### Литература

1. Шпилин Д. И., Пронин В. А. Повышение эффективности очистки и дезодорации газовоздушных выбросов пищевых предприятий в орошаемых колоннах насадочного типа с полимерной насадкой // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств». 2014. № 4 (22). С. 195–203.
2. Экологические проблемы мегаполисов и промышленных агломераций: учеб. пособие / М. А. Пашкевич, М. Ш. Баркан, Ю. В. Шариков и др. — СПб., 2010. 202 с.
3. Майоров В. А. Запахи их восприятие, воздействие, устранение. — М.: Мир, 2006. 366 с.
4. Леонтьев Н. Е. Основы теории фильтрации. — М.: Изд-во ЦПИ при механико-математическом факультете МГУ, 2009. 88 с.
5. Патент РФ на полезную модель. № 113170. Насадочный скруббер. / В. А. Пронин, А. П. Верболоз, А. В. Утин / публикация патента: 10.02.2012.
6. Ефимова Н. В., Рукавишников В. С., Кауров П. К. и др. Факторы окружающей среды: опыт комплексной оценки. — Иркутск: НЦ РВХ СО РАМН, 2010. 232 с.
7. Патент РФ на полезную модель. № 125877. Насадочный скруббер. / В. А. Пронин, А. П. Верболоз, А. В. Утин / публикация патента: 20.03.2013.
8. Цыганков А. В., Пронин В. А., Шпилин Д. И., Аleshин А. Е. Гидродинамический расчет орошаемой колонны с пористыми насадочными телами // Вестник Международной академии холода. 2014. № 2.
9. Пронин В. А. Молодов М. А., Шпилин Д. И. Газовоздушные выбросы пищевых предприятий и способы их устранения // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств». 2013. № 4.
10. Большая энциклопедия нефти и газа. [Электронный ресурс]: <http://www.ngpedia.ru/id440846p1.html>
11. ГОСТ Р EN 29053–2008 Группа Ж19. Методы определения сопротивления продуванию потоком воздуха.
12. Кутателадзе С. С. Теплопередача и гидродинамическое сопротивление. — М.: Энергопромиздат, 1990. 367 с.

### References

1. Shpilina D. I., Pronin V. A. Increase in efficiency of cleaning and deodorization of air-gas emissions of the food entities in the irrigated columns of nozzle type with a polymeric nozzle. Nauchnyi zhurnal NIU ITMO. Seriya «Protsestry i apparaty pishchevykh proizvodstv». 2014. No 4 (22). p. 195–203. (in Russian)
2. Environmental problems of megalopolises and industrial agglomerations: education guidance / M. A. Pashkevich, M. Sh. Barkan, Yu. V. Sharikov ets. SPb., 2010. 202 p. (in Russian)
3. Maiorov V. A. Smells their perception, influence, elimination. Moscow, Mir, 2006. 366 p. (in Russian)
4. Leont'ev N. E. Bases of the theory of a filtration. Moscow, 2009. 88 p. (in Russian)
5. Russian Federation patent for useful model. No. 113170. Nozzle scrubber. / V. A. Pronin, A. P. Verboloz, A. V. Utin / patent publication: 10.02.2012. (in Russian)
6. Efimova N. V., Rukavishnikov V. S., Kaurov P. K. ets. Environment factors: experience of complex assessment. Irkutsk, 2010. 232 p. (in Russian)
7. Russian Federation patent for useful model. No. 125877. Nozzle scrubber. / V. A. Pronin, A. P. Verboloz, A. V. Utin / patent publication: 20.03.2013. (in Russian)
8. Tsygankov A. V., Pronin V. A., Shpilina D. I., Aleshin A. E. Hydrodynamic calculation of the irrigated column with porous nozzle bodies. Vestnik Mezhdunarodnoi akademii kholoda. 2014. No 2. (in Russian)
9. Pronin V. A. Molodov M. A., Shpilina D. I. Air-gas emissions of the food entities and methods of their elimination. Nauchnyi zhurnal NIU ITMO. Seriya «Protsestry i apparaty pishchevykh proizvodstv». 2013. No 4. (in Russian)
10. Big encyclopedia of oil and gas. [Electronic resource]: <http://www.ngpedia.ru/id440846p1.html> (in Russian)
11. GOST R EN 29053–2008 Gruppya Zh19. Methods of determination of resistance to blowing off by an air stream. (in Russian)
12. Kutateladze S. S. Heat transfer and hydrodynamic resistance. Moscow, Energopromizdat, 1990. 367 p. (in Russian)