

УДК 621.928.95

**О. Г. Золотарева****ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ АЭРОЗОЛЬНОЙ  
ОЧИСТКИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ГАЗОВ**

В статье рассматривается способ повышения эффективности фильтрации, механической прочности и химической устойчивости фильтров. Способ касается технологии изготовления фильтровальных элементов, которые могут найти применение в химической, нефтехимической, легкой, пищевой и других отраслях промышленности, где существует необходимость очистки технологических и отходящих газов от аэрозольных частиц.

*Ключевые слова:* аэрозоль, фильтрация, отходящие газы, эффективность.

Индустриальное развитие связано с интенсификацией производственных процессов, которые неизбежно сопровождаются использованием все больших объемов промышленных газов и воздуха. Для предотвращения загрязнения воздушного бассейна городов вредными веществами необходима очистка воздуха и газов от содержащихся в них взвешенных твердых и жидких частиц — аэрозолей. Одним из наиболее совершенных и универсальных способов выделения из газов аэрозолей является фильтрация. Фильтрующие элементы (ФЭ) применяются химической и нефтехимической отраслями промышленности для фильтрации масляного аэрозоля. Их использование позволяет повысить степень очистки технологических газов от жидких аэрозольных частиц за счет улучшения процесса саморегенерации уловленной жидкой фазы из фильтрующего элемента. Возможности фильтров расширяются с применением новых пористых фильтровальных материалов на основе синтетических, стеклянных, металлических и углеродных волокон.

В статье рассматривается способ повышения эффективности фильтрации, механической прочности и химической устойчивости фильтров. Способ касается технологии изготовления фильтровальных элементов, которые могут найти применение в химической, нефтехимической, легкой, пищевой и других отраслях промышленности, где существует необходимость очистки технологических и отходящих газов от аэрозольных частиц. Способ изготовления фильтровального элемента основан на использовании раствора поливинилиденфторида (ПВДФ) в ди-метилацетомиде для обработки тканого фильтровального элемента, например, полученного переплетением синтетических моноплетей лавсана.

---

**Золотарева Оксана Георгиевна** — доцент кафедры общей химии (Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет, Комсомольск-на-Амуре), e-mail: keparu@knastu.ru

© Золотарева О. Г., 2014

### Аэрозольная очистка

Поливинилиденфторид создает полимерную пленку на поверхности лавсановых мононитей, образующих фильтровальный элемент. При этом происходит устранение неровностей и микротрещин на поверхности мононитей, зазоров в узлах переплетения нитей основы и утка и фиксация мононитей в месте их переплетения. Пленка ПВДФ предохраняет лавсановые мононити от деструкции при воздействии компонентов агрессивной среды и придает несмачиваемость фильтровальному элементу.

В результате этого пойманные и удаляющиеся капли жидкости не задерживаются на неровностях мононитей, в узлах переплетения нитей основы и утка, что происходит в известных тканых фильтровальных элементах из-за капиллярных явлений, а также благодаря несмачиваемости быстро удаляются с поверхности фильтровального элемента, т. е. происходит улучшение процесса саморегенерации и, в общем, повышение эффективности фильтрации.

Пленку ПВДФ наносят непосредственно на готовый тканый фильтровальный элемент, благодаря чему не происходит ее механического повреждения при ткачестве.

Суть способа изготовления фильтровального элемента заключается в обработке его методом окунания в 3–5 % раствор ПВДФ в диметилацетамиде с последующим выдерживанием на воздухе до полного удаления растворителя. Операцию повторяют 4–6 раз, а затем фильтровальный элемент подвергают термообработке при 170–180 °С в течение 25–35 мин.

Количество обработок вытекает из необходимости придания определенной формы ячейкам фильтровального элемента. Только при 4–6-кратной обработке прямоугольная форма ячейки приобретает округлость за счет натекания ПВДФ в узел переплетения нитей основы и утка. Такая форма ячейки фильтровального элемента улучшает его саморегенерацию и увеличивает фильтрующую способность.

Пример 1. Для фильтрации аэрозоля используют фильтровальный пакет из 10 фильтровальных элементов (лавсановых сеток). Каждая сетка обрабатывается методом окунания в 4-процентный раствор ПВДФ в диметилацетамиде с последующим выдерживанием на воздухе до удаления растворителя. Операцию повторяют 5 раз, затем сетку подвергают термообработке при 175 °С в течение 30 мин. После обработки фильтровальный элемент имеет номинальный диаметр нитей: основа 0,75 мм, уток 0,90 мм; размер ячейки: между нитями основы 0,5 мм, между нитями утка 0,64 мм. При этом степень очистки 95 %, гидравлическое сопротивление 100 Па, механическая прочность мононити 240 Н. Все эти характеристики сохраняются без изменения в течение 720 ч эксплуатации.

Фильтрацию осуществляют на лабораторной установке в колонне диаметром 0,1 м. Приведенная скорость газожидкостного потока 2,5 м/с, температура потока 60 °С. Диспергированной фазой являются вода и серная кислота, суммарная концентрация которых в аэрозоли составляет

30 мг/м<sup>3</sup>. Диаметр аэрозольных частиц 0,4–10 мкм. Эффективность фильтрации определяют с помощью фотоэлектрического способа, используя счетчик аэрозольных частиц АЗ-5.

В качестве характеристики механической прочности и химической устойчивости в агрессивных средах принято разрывное усилие до и после работы в агрессивной среде по ГОСТ 16294–85.

Примеры 2–16 проведены на той же установке в том же режиме, что и пример 1. Отличие состоит в различных условиях обработки фильтровального элемента.

В таблице 1 приведены опыты с фильтровальным материалом, полученным по известному и предлагаемому способам.

Таблица 1

Пример,	Концентрация ПВДФ в ДМА, г	Количество обработок	Температура термобработки, °С	Время термобработки, мин	Степень очистки, %		Абсолютная нагрузка	Разрывная, н	Гидравлическое сопротивление, Па;	
					до эксплуатации	после эксплуатации в течение 720 ч			до эксплуатации	после эксплуатации 720 ч
1	3	5	175	30	95	95	240	240	100	100
2	5	5	175	30	95	95	240	240	100	100
3	2	5	175	30	90	85	220	200	100	100
4	6	5	175	30	90	90	240	240	150	150
5	4	4	175	30	95	95	238	238	100	100
6	4	6	175	30	95	95	242	242	100	100
7	4	3	175	30	90	88	230	215	100	100
8	4	7	175	30	95	95	240	240	120	120
9	4	5	170	30	95	95	240	240	100	100
10	4	5	180	30	95	95	240	240	100	100
11	4	5	160	30	93	82	235	198	100	115
12	4	5	190	30	90	90	225	200	100	115
13	4	5	175	25	95	95	240	240	100	100
14	4	5	175	35	95	95	240	240	100	100
15	4	5	175	20	91	85	235	200	100	110
16	4	5	175	40	95	95	240	240	100	100
Известный					80	50	190	90	100	200

Для фильтрации аэрозоля используется фильтровальный пакет, состоящий из 10 фильтровальных элементов. Фильтровальный элемент представляет собой сетку из лавсановых мононитей полотняного переплетения, обработанную в насыщенном растворе ацетата натрия при 95 °С в течение 15 ч. и имеющую номинальный диаметр нитей: основа 0,65 мм, уток 0,80 мм; размер ячейки: между нитями основы 0,6 мм, утка 0,758 мм.

При приведенных условиях степень очистки 80 %, гидравлическое сопротивление 100 Па, механическая прочность мононити 190 Н.

После работы фильтровального пакета в течение 720 ч. степень очистки составила 50 %, гидравлическое сопротивление возросло до 200 Па, механическая прочность упала до 90 Н.

Представленные экспериментальные данные показывают эффективность обработки фильтровального элемента в предлагаемых услови-

ях. Обработка ПВДФ позволяет повысить степень очистки на 15 %, увеличить механическую прочность на 20 % и сохранить эти величины без изменения в процессе эксплуатации.

Осуществление процесса обработки фильтровального элемента ПВДФ концентрацией менее 3 % (пример 3, табл. 1) не обеспечивает его эффективной работы из-за образования тонкого покрытия по всей длине мононити и, как следствие, приводит к потере механической прочности мононитей в процессе эксплуатации.

Использование ПВДФ концентрацией более 5 % (пример 4, табл. 1) приводит к залипанию ячеек фильтровального элемента, при этом повышается гидравлическое сопротивление и снижается степень очистки.

Обработка фильтровального элемента 50 менее 4 раз (пример 7, табл. 1) не приводит к образованию округлой формы ячеек фильтровального элемента, что сказывается на недостаточном повышении степени очистки.

Проведение обработки более 6 раз (пример 8, табл. 1) не приводит к заметному увеличению степени очистки и механической прочности фильтровального элемента.

Осуществление процесса термообработки при температуре ниже 170 °С (пример 11, табл. 1) приводит к отслаиванию покрытия в процессе эксплуатации.

При увеличении температуры термообработки выше 180 °С (пример 12, табл. 1) происходит образование бугристого, неравномерного покрытия, а также заклеивание части ячеек фильтровального элемента, что ведет к снижению степени очистки и механической прочности.

Термообработка менее 25 мин. (пример 15, табл. 1) приводит к образованию непрочного покрытия и его отслаиванию при механическом воздействии.

При увеличении времени термообработки (пример 16, табл. 1) не происходит заметного увеличения степени очистки и механической прочности фильтровального элемента. Обработка фильтровального элемента ПВДФ приводит к повышению химической устойчивости. Данные исследований химической устойчивости приведены в таблице 2.

Конструктивно фильтр для очистки газа от жидких аэрозольных частиц (рис. 1) содержит: корпус (1), в котором монтируется фильтрующий элемент (2), выполненный в виде пакета конусообразных тканых сеток из синтетических мононитей, конусообразный сборник (3) со сливом, необходимый для непрерывного отвода уловленной жидкости из аппарата.

Обычно фильтр устанавливается на абсорбционных аппаратах, в ректификационных колоннах, в газопроводах для очистки отходящих газов от капельной жидкости.

Фильтр работает следующим образом: восходящий газовый поток рассекается конусообразным сборником (3) со сливом. При прохождении потока через фильтрующий элемент (2) происходит инерционное осаж-

дение капель на нити сеточного пакета, которые стекают по поверхности фильтрующего элемента и отводятся через воронку сборника со сливом.

Таблица 2

Кислоты	Концентрация, %	Температура, °С	Продолжительность воздействия, ч	Потеря прочности мононитей ФЭ, обработанного в насыщенном растворе ацетата (известный), %	Потеря прочности мононитей ФЭ, обработанного в ПВДФ, %
Уксусная	Ледяная	80	720	5	0
Муравьиная	90	80	72	15	0
Щавелевая	нас. р-р	80	72	20	0
НВг	40	30	720	15	0
Фосфорная	98	70	888	50	3
Серная	80	80	720	75	5
Серная	40	80	720	65	2
Серная	20	80	720	50	0
Соляная	30	30	720	75	3
Соляная	10	30	720	60	1
Азотная	60	60	720	100	10
Азотная	40	60	720	100	5
Азотная	20	60	720	100	0
Щелочи			среды	рН	
NaOH	11,5	60	192	25	5
	12,5	70	144	30	10
	13,5	90	144	40	15

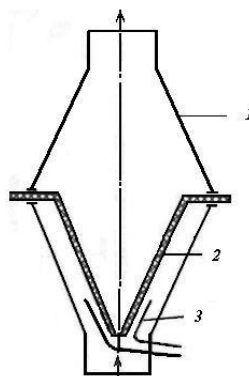


Рис. 1. Конструкция фильтра

Предлагаемый фильтр исследован на модельных аэродисперсных системах воздух – глицерин, воздух – масло, воздух – вода. Например, в аэродисперсной системе воздух – масло с концентрацией жидкой фазы до  $80 \text{ мг/м}^3$  оптимальная приведенная скорость газового потока равна  $1,25 \text{ м/с}$ . Исследования проведены на установке, содержащей цифровой вольтметр В7-23, автоматический счетчик аэрозоля АЗ-5, распылитель, дозирующий насос № 304, ротаметр РП-1, ультратермостат, аспирационный вентилятор. Отбор проб до и после фильтра с размерами фильтрующего элемента и конусообразного сборника.

0,9 м и 0,3 м соответственно производят по всей шкале полидисперсного состава аэрозоля (0,4–25 10 мкм). Данные анализа проб счетчика аэрозоля АЗ-5 дублируют сигналом цифрового вольтметра В7-23.

В таблице 3 представлены экспериментальные данные степени очистки фильтра в зависимости от изменения угла наклона образующей конуса фильтровального узла к его оси симметрии и в диапазоне 25–50 и изменения соотношения высот фильтровального узла и сборника со сливом в диапазоне (2:1) – (4:1), причем приведенную скорость газового потока поддерживают равной 1,25 м/с.

Таблица 3

Серия	Опыт	Угол наклона образующей конуса фильтровального узла к его оси симметрии, град	Соотношение высот фильтровального узла и сборника со сливом	Степень очистки, %
I	1	25	2:1	88,0
	2	25	3:1	90,0
	3	25	4:1	85,0
II	1	30	2:1	90,0
	2	30	3:1	92,0
	3	30	4:1	88,5
III	1	45	2:1	94,0
	2	45	3:1	95,0
	3	45	4:1	92,5
IV	1	50	2:1	92,0
	2	50	3:1	93,0
	3	50	4:1	91,0

Соотношение высот узла и сборника, его расположение позволяют сформировать аэродинамически оптимальную сепарационную зону по поверхности фильтрующего элемента для саморегенерации. Известны устройства, где фильтровальный узел представляет собой конус из однослойной ткани для улавливания пыли с обтекателем потока в вершине, однако обтекатель потока в этом случае служит только для уменьшения аэродинамического сопротивления и не создает условия для саморегенерации, тогда как для регенерации дополнительно используется возвратно-поступательный механизм. Сформированная регулярная структура из пакета тканых сеток фильтрующего элемента позволяет повысить вероятность улавливания капель из потока, а конструкция фильтровального узла формирует неравномерный поток по поперечному сечению аппарата – скорость потока уменьшается от периферии аппарата к центру. Это приводит к тому, что на поверхности у основания фильтрующего элемента образуется жидкостная пленка, стекающая струйками по боковой поверхности к вершине конуса (угол образующей конуса к оси симметрии находится в интервале 30–45°) фильтрующего элемента и далее в сборник. Вторичное диспергирование капель из стекающих струек значительно снижается за счет того, что они попадают в аэродинамически спокойную сепарационную зону, формирующуюся за счет рассекания вторичного потока аэродинамической системы конусообразным сборником. Таким образом, обеспечивается снижение эффекта вторичного уноса с одновременным отводом

жидкостной пленки в конусообразный сборник со сливом, т. е. происходит улучшение процесса саморегенерации и повышение степени очистки.

Таким образом, применение фильтровального элемента, основанного на использовании раствора поливинилиденфторида, повышает механическую прочность, химическую устойчивость и фильтрующую способность элемента, что способствует более широкому применению данных типов фильтров для решения экологических и технических проблем.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А. с. 1666155 СССР, МКИ В 01 D 39/16. Способ изготовления фильтровального элемента / В. Б. Кутаков, А. Г. Чуринов, А. В. Серов, Л. Я. Терещенко, О. Г. Золотарева. № 4729862/26; заявл. 14.08.89; опубл. 30.07.91, Бюл. № 28. 4 с. // База патентов СССР [электронный ресурс]. URL: <http://patentdb.su/4-1666155-sposob-izgotovleniya-filtrovalnogo-ehlementa.html>
2. Конохова С. В. Расчётно-экспериментальное исследование характеристик нетканых фильтрующих материалов / С. В. Конохова, Р. А. Кушнарёв, П. Н. Мартынов [и др.] // Технический текстиль. 2001. № 2. С. 24 – 29.
3. Соловьёв В. А., Суздорф В. И., Поповский А. В. Проектирование АСУ водогрейных котлов на базе TRACE MODE // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2002. № 1. С. 75 – 77.

\* \* \*

**Zolotareva Oksana G.**  
**IMPROVING THE EFFICIENCY OF INDUSTRIAL GASES AEROSOL CLEANING**  
**(Komsomolsk-on-Amur State Technical University, Komsomolsk-on-Amur)**

The article describes a way to increase filtration efficiency, mechanical strength and chemical stability of filters. The method relates to manufacturing techniques of the filtering elements, which can find application in chemical, petrochemical, textile, food and other industries, where there is a need for purification of process and waste gases from aerosol particles.

*Keywords:* aerosol filtration, exhaust gases, efficiency.

#### REFERENCES

1. Kutakov V. B., Churinov A. G., Serov A. V., Tereshchenko L. Ya., Zolotareva O. G. *Avtorskoe svidetel'stvo 1666155 SSSR, MKI B 01 D 39/16. Sposob izgotovleniya fil'troval'nogo elementa* (Inventor's certificate 1666155 SU, MCI B 01 D 39/16. A Method of Manufacturing a Filter Element), no. 4729862/26, 1991. Available at: <http://patentdb.su/4-1666155-sposob-izgotovleniya-filtrovalnogo-ehlementa.html>
2. Konyukhova S. V., Kushnarev R. A., Martynov P. N., Mukhamedzhanov G. K., Poszhennikov A. M., Yagodkin I. V. Numerical and Experimental Investigation of the Characteristics of Non-Woven Filter Materials [Raschetno-eksperimental'noe issledovanie kharakteristik netkanykh fil'truyushchikh materialov], *Tekhnicheskij tekstil'*, 2001, no. 2, pp. 24 – 29.
3. Solov'ev V. A., Suzdorf V. I., Popovskiy A. V. The Design of Control Boilers on the Basis of the TRACE MODE [Proektirovanie ASU vodo-greynykh kotlov na baze TRACE MODE], *Pribory i sistemy. Upravlenie, kontrol', diagnostika*, 2002, no. 1, pp. 75 – 77.

\* \* \*