

УДК 628.16:66.067

## Спиральные фильтрующие элементы и их гидравлические характеристики

В. Б. КРАПУХИН<sup>1</sup>, С. А. КУЛЮХИН<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Крапухин Владимир Борисович, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, Институт физической химии и электрохимии им. А. Н. Фрумкина Российской академии наук  
119071, Россия, Москва, Ленинский проспект, 31, корп. 4, тел.: (903) 274-98-00, e-mail: krapukhin@gmail.com

<sup>2</sup> Кулюхин Сергей Алексеевич, доктор химических наук, заместитель директора по научной работе, Институт физической химии и электрохимии им. А. Н. Фрумкина Российской академии наук  
119071, Россия, Москва, Ленинский проспект, 31, корп. 4, тел.: (495) 333-85-01, e-mail: kulyukhin@ipc.rssi.ru

Приведено описание двух конструкций спиральных фильтрующих элементов, которые обладают пониженными адгезионными свойствами и способны работать в режиме «фильтрация – регенерация» без замены не менее  $10^5$  циклов. Благодаря особому свойству фильтрующего элемента, заключающемуся в том, что фильтрующее проходное сечение элемента во время регенерации увеличивается, а во время фильтрования возвращается к своему исходному состоянию, а также благодаря вибрации фильтрующей перегородки во время ее регенерации достигается возможность полного восстановления фильтрующих свойств элементов после каждого цикла «фильтрация – регенерация». Приведена схема установки для определения гидравлических характеристик спиральных фильтрующих элементов как в присутствии динамической мембраны из фильтроперлита,

так и без нее. Определена пропускная способность спиральных фильтрующих элементов (размер пор 8, 11, 17, 28, 38, 51, 77, 114, 154 и 248 мкм) при фильтровании воды, не содержащей каких-либо загрязнений, а также при использовании намывных динамических мембран из фильтроперлита. Масса навесок сухого фильтроперлита, намываемого на один спиральный фильтрующий элемент, составила 4, 8, 12 и 24 г. Определены зависимости скорости фильтрования от давления фильтруемого потока, пористости фильтрующих перегородок и массы фильтроперлита, намываемого на спиральный фильтрующий элемент.

**Ключевые слова:** фильтрация, гидравлические характеристики, спиральный фильтрующий элемент, динамическая мембрана, фильтроперлит.

---

### Введение

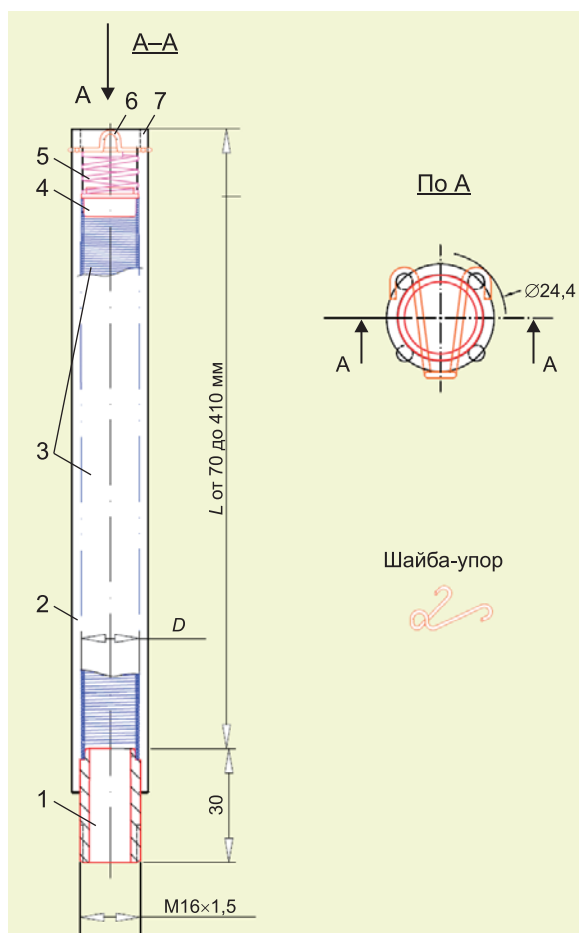
Для очистки различных жидкостей от загрязнений, представляющих собой частицы разного рода, используются фильтровальные установки и материалы, одним из которых является спиральный фильтрующий элемент – СФЭ (другое название – фильтрующий элемент Крапухина – ФЭК) [1–4]. Основное отличие СФЭ от других фильтров с иным конструктивным исполнением и из разных материалов фильтрующих поверхностей состоит в том, что СФЭ свободен от их

главного недостатка – необходимости замены фильтрующих поверхностей из-за необратимого закупоривания пор загрязнениями и появления в порах различных микроорганизмов.

Основное преимущество фильтров на основе СФЭ перед другими конструкциями фильтров – отсутствие проблем при регенерации фильтрующих поверхностей. Регенерация фильтров в большинстве случаев становится трудной задачей. При использовании СФЭ регенерация фильтров происходит за счет растягивания фильтрующей перегородки и увеличения меж-

витковых зазоров обратным потоком фильтрата или промывочной жидкости. Увеличение длины фильтрующей перегородки способствует разрушению слоя частиц, собранных на элементах, и приводит к облегчению доступа промывочной жидкости к загрязнениям, собранным на фильтрующей поверхности, а также к значительному улучшению качества регенерации фильтров.

СФЭ может служить основой для создания фильтров с намывными фильтрующими слоями, которые давно используются в промышленности для очистки различных жидкостей, а также в ЖКХ для очистки горячей воды от примесей оксидов железа [5–11]. Для создания динамических мембран используются гранулированные и порошкообразные материалы, одним из которых является фильтроперлит. Две модификации фильтроперлита выпускаются ОАО «Стройперлит» (ГОСТ 30566-98 «Порошок перлитовый фильтровальный»). Использование фильтроперлита в качестве намывного фильтрующего слоя позволяет существенно повысить фильтрующую эффективность СФЭ.



**Рис. 1. Фильтрующий элемент типа А, легко разбираемый**

1 – штуцер; 2 – пруток; 3 – фильтрующая перегородка; 4 – крышка; 5 – пружинка; 6 – шайба-упор; 7 – кольцо

Цель исследований состояла в изучении гидравлических характеристик СФЭ с различными размерами порового пространства как без нанесения вспомогательного фильтрующего слоя из фильтроперлита, так и с его нанесением, а также в экспериментальном сравнении свойств СФЭ с металлокерамическими фильтрующими перегородками.

## Экспериментальная часть

В работе использовались СФЭ двух типов – А и Б, общий вид которых представлен на рис. 1 и 2.

Тип А – легко разбираемый СФЭ, тип Б – СФЭ, разбираемый и собираемый с помощью специального оборудования (чертежи оборудования не приводятся).

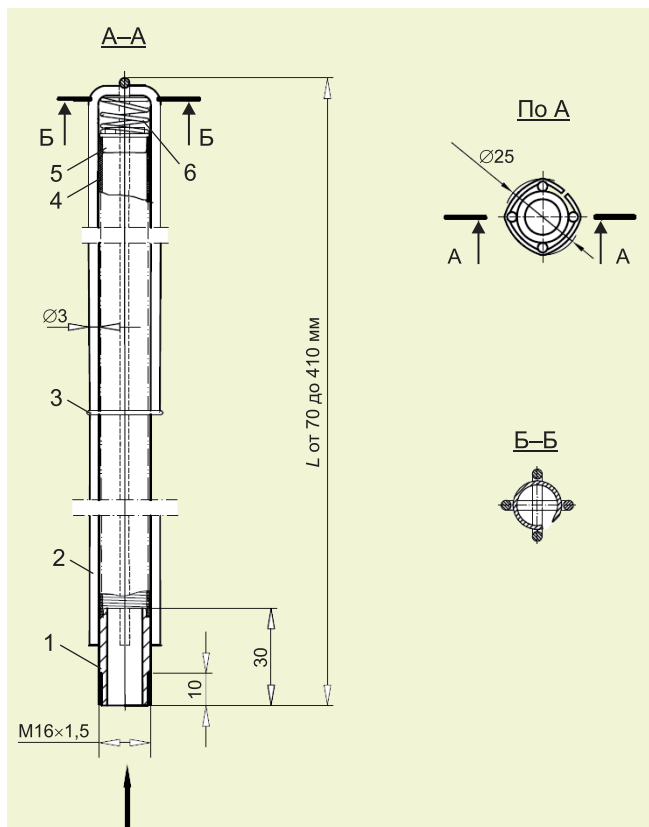
*Тип А.* На вертикальном сечении А–А (рис. 1) показан общий вид и детали элемента: штуцер 1, прутки 2, образующие каркас вместе со штуцером и кольцом 7, фильтрующая перегородка 3, крышка 4, пружинка сжатия 5, шайба-упор для пружинки 6. Один торец фильтрующей перегородки закрыт крышкой 4, а второй насажен на штуцер 1. Жидкость, подлежащая фильтрации, подается снаружи, проходит через фильтрующую поверхность и очищенная попадает во внутреннюю полость фильтрующей перегородки, а затем через штуцер 1 выходит из аппарата. На рис. 1 также показан общий вид шайбы-упора для пружинки 6.

*Тип Б.* Детали (позиции 1, 4, 5 и 6 на рис. 2) для данного типа СФЭ такие же, как и у СФЭ типа А. В отличие от СФЭ типа А у СФЭ типа Б нет кольца 7, а вместо шайбы-упора 6 для типа А используется кольцо охвата 3.

Для обоих типов СФЭ используются одни и те же фильтрующие перегородки. На рис. 3 представлено вертикальное сечение фильтрующей перегородки (3-ФП).

Укрупненный вид двух первых витков фильтрующей перегородки (с торца) показан на рис. 3 («По А»). В сечении «В–В» показан межвитковый фильтрующий зазор  $\delta$  между дугами  $r_4$  и  $R_9$ , имеющими различные радиусы кривизны. Точно такие же фильтрующие зазоры имеются между всеми смежными витками, выполненными в виде винтовой спирали из стальной проволоки марки 12Х18Н9Т-С-1 диаметром 0,7 мм.

В качестве примера на рис. 3 показаны витки спирали, сформированные десятью сопряженными дугами: с малыми  $r$  (позиции  $r_1, r_3, r_5, r_7$  и  $r_9$ ) и большими  $R$  (позиции  $R_2, R_4, R_6, R_8$  и  $R_{10}$ ) радиусами кривизны. Фильтрующие зазоры



**Рис. 2. Фильтрующий элемент типа Б, разбираемый с помощью оснастки**

1 – штуцер; 2 – каркас; 3 – кольцо охвата; 4 – фильтрующая перегородка; 5 – крышка; 6 – пружинка

$\delta$  вычисляются по выведенным на основе геометрических построений формулам:

$$\delta = \sqrt{d^2 + \left[ \frac{(D_{\text{ф.п.}} - d)}{2} \cdot \left(1 - \cos \frac{180}{N}\right) \right]^2} - d; \quad (1)$$

$$\delta = \sqrt{d^2 + \left[ \frac{(d_{\text{ф.п.}} + d)}{2} \cdot \left(1 - \cos \frac{180}{N}\right) \right]^2} - d, \quad (2)$$

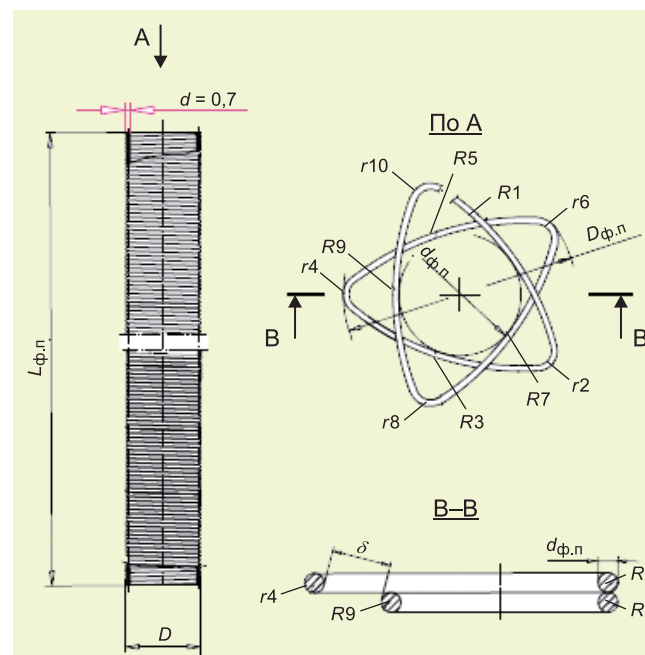
где  $d$  – диаметр проволоки;  $N$  – число дуг с радиусами кривизны  $r$  ( $r_1, r_2, r_3, \dots, r_n$ ) в одном витке (к подсчитанному числу вершин следует прибавить 0,5, чтобы угол измерения равнялся  $360^\circ$ ).

По формулам (1) и (2) вычисляется фильтрующий зазор  $\delta$ , т. е. линейный размер проходного сечения между смежными витками (вершиной с малым радиусом кривизны  $r$  и стороной с большим радиусом кривизны  $R$ ). Формула (1) служит для вычисления  $\delta$  по измерениям внешнего диаметра фильтрующей перегородки  $D_{\text{ф.п.}}$ , а формула (2) – по измерениям внутреннего диаметра фильтрующей перегородки  $d_{\text{ф.п.}}$ . Размер одного фильтрующего зазора между дугами с радиусами кривизны  $r$  и  $R$  (рис. 3, сечение  $B-B$ ) может быть

вычислен по формулам (1) или (2).

Число вершин дуг, размещаемых в пределах  $360^\circ$ , должно отличаться от целого числа, чтобы было обеспечено смещение дуг соседних витков с равными радиусами кривизны относительно друг друга. Именно это смещение приводит к образованию фильтрующих зазоров между дугами, имеющими разные радиусы кривизны. Если дуги с равными радиусами кривизны не будут иметь углового смещения относительно друг друга, то фильтрующие зазоры будут равны нулю. Суммарный фильтрующий зазор всего СФЭ определяется размерами фильтрующих зазоров и их общим числом. При расчетах фильтрующей площади фильтрующих перегородок следует учесть, что их длина должна быть уменьшена на 10 мм, так как по 5 мм длины фильтрующей перегородки с обоих концов перекрываются крышкой и штуцером: при длине перегородки 355 мм фактическая длина перегородки, участвующей в фильтровании, составляет 345 мм.

Фильтрующие отверстия в перегородках похожи по форме на треугольники со скругленными вершинами (рис. 3, «По А»). Величина  $\delta$  может иметь 10 значений: 8, 11, 17, 28, 38, 51, 77, 114, 154 и 248 мкм. Зависимость  $\delta$  от числа дуг  $N$ , образующих один виток фильтрующей перегородки, приведена на рис. 4.



**Рис. 3. Фильтрующая перегородка для элементов типов А и Б**

«По А» показана пара смежных витков спирали, сформированная 10 сопряженными дугами с разными радиусами кривизны: большими  $R$  ( $R_1, R_3, R_5, R_7, R_9$ ) и малыми  $r$  ( $r_2, r_4, r_6, r_8, r_{10}$ )

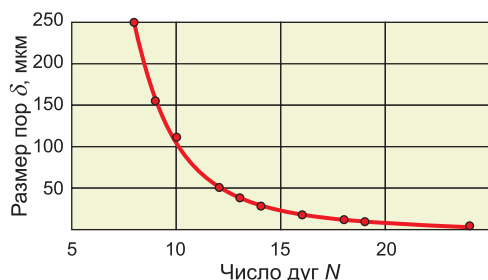


Рис. 4. Зависимость размера пор от числа дуг в одном витке фильтрующей перегородки

Перечень десяти видов СФЭ каждого типа с фильтрующим зазором от 8 до 248 мкм и их обозначения (развернутые и краткие) приведены в табл. 1 и 2.

Развернутое СФЭ- $\{1\}$ - $\{2\}$ - $\{3\}$ - $\{4\}$ - $\{5\}$ - $\{6\}$ - $\{7\}$  и краткое СФЭ- $\{1\}$ - $\{6\}$ - $\{7\}$  обозначения содержат следующие характеристики:  $\{1\}$  – фильтрующий зазор  $\delta$ ;  $\{2\}$  – габаритная длина элемента, мм;  $\{3\}$  – габаритный диаметр элемента, мм;  $\{4\}$  – резьба штуцера;  $\{5\}$  – марка материала фильтрующей перегородки;  $\{6\}$  – число дуг одного и того же радиуса кривизны, располагающихся в одном витке фильтрующей перегородки;  $k$  подсчитан-

ному числу следует прибавить число 0,5, чтобы угол измерения стал равным  $360^\circ$ ;  $\{7\}$  – тип фильтрующего элемента: *A* – легко разбираемый; *B* – разбираемый с помощью оснастки.

Длина фильтрующей перегородки может быть от 30 до 355 мм. Диаметр  $D_{ф.п.}$ , зависящий от количества вершин, всегда должен быть меньше диаметра штуцера. Изготовление фильтрующей перегородки производится на специально сконструированной аппаратуре.

Фильтрующий элемент работает следующим образом. Во время очистки фильтруемый поток направляется снаружи фильтрующей перегородки, проходит через нее внутрь фильтрующего элемента и через штуцер покидает его. При фильтровании давление внутри фильтрующего элемента меньше, чем снаружи, так как поток жидкости теряет часть своей энергии по ходу движения, преодолевая гидравлическое сопротивление осадка, собранного снаружи фильтрующей поверхности, и сопротивление фильтрующей перегородки. Поток фильтруемой жидкости обеспечивает стабильность фильтрующего зазора за счет сжимания спирали до соприкосновения витков друг с другом.

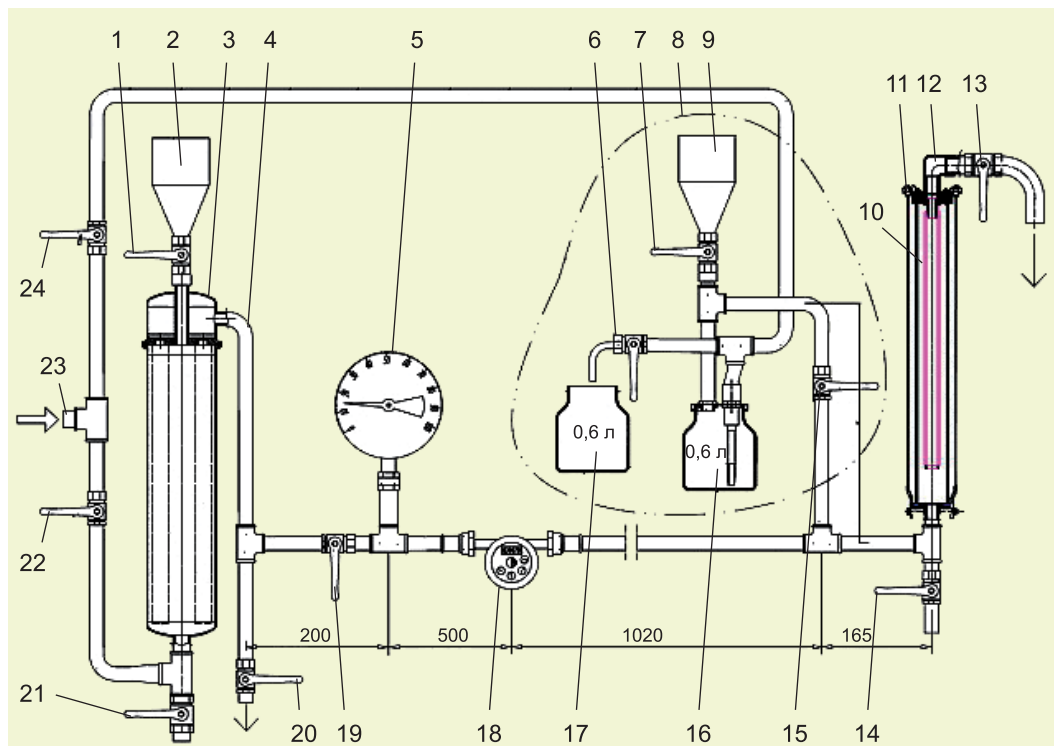
Таблица 1

Фильтрующий зазор $\delta$ , мкм	Развернутое обозначение СФЭ	Краткое обозначение СФЭ
248	СФЭ-248-400-25-M16X1,5-(12X18H9T-C-1)-7,5-A	СФЭ-248-7,5-A
154	СФЭ-154-400-25-M16X1,5-(12X18H9T-C-1)-8,5-A	СФЭ-154-8,5-A
114	СФЭ-114-400-25-M16X1,5-(12X18H9T-C-1)-9,5-A	СФЭ-114-9,5-A
77	СФЭ-76-400-25-M16X1,5-(12X18H9T-C-1)-10,5-A	СФЭ-77-10,5-A
51	СФЭ-51-400-25-M16X1,5-(12X18H9T-C-1)-11,5-A	СФЭ-51-11,5-A
38	СФЭ-40-400-25-M16X1,5-(12X18H9T-C-1)-12,5-A	СФЭ-38-12,5-A
28	СФЭ-28-400-25-M16X1,5-(12X18H9T-C-1)-13,5-A	СФЭ-28-13,5-A
17	СФЭ-17-400-25-M16X1,5-(12X18H9T-C-1)-15,5-A	СФЭ-17-15,5-A
11	СФЭ-11-400-25-M16X1,5-(12X18H9T-C-1)-16,5-A	СФЭ-11-17,5-A
8	СФЭ-8-400-25-M16X1,5-(12X18H9T-C-1)-18,5-A	СФЭ-8-18,5-A

Таблица 2

Фильтрующий зазор $\delta$ , мкм	Развернутое обозначение СФЭ	Краткое обозначение СФЭ
248	СФЭ-248-400-25-M16X1,5-(12X18H9T-C-1)-7,5-B	СФЭ-248-7,5-B
154	СФЭ-154-400-25-M16X1,5-(12X18H9T-C-1)-8,5-B	СФЭ-154-8,5-B
114	СФЭ-114-400-25-M16X1,5-(12X18H9T-C-1)-9,5-B	СФЭ-114-9,5-B
77	СФЭ-77-400-25-M16X1,5-(12X18H9T-C-1)-10,5-B	СФЭ-77-10,5-B
51	СФЭ-51-400-25-M16X1,5-(12X18H9T-C-1)-11,5-B	СФЭ-51-11,5-B
38	СФЭ-38-400-25-M16X1,5-(12X18H9T-C-1)-12,5-B	СФЭ-38-12,5-B
28	СФЭ-28-400-25-M16X1,5-(12X18H9T-C-1)-13,5-B	СФЭ-28-13,5-B
17	СФЭ-17-400-25-M16X1,5-(12X18H9T-C-1)-15,5-B	СФЭ-17-15,5-B
11	СФЭ-11-400-25-M16X1,5-(12X18H9T-C-1)-17,5-A	СФЭ-11-17,5-B
8	СФЭ-8-400-25-M16X1,5-(12X18H9T-C-1)-18,5-A	СФЭ-8-18,5-B





**Рис. 5. Установка для определения гидравлических характеристик**

1 – кран  $d_y 15$ ; 2 – воронка; 3 – фильтр ФА-6ФЭК; 4 – труба  $d_y 15$ ; 5 – образцовый манометр; 6 – кран  $d_y 15$ ; 7 – кран  $d_y 15$ ; 8 – узел загрузки фильтроперлита; 9 – воронка; 10 – испытываемый образец СФЭ; 11 – фильтр из стеклянной трубы ( $\varnothing 50 \times 3,6$ , длина 445 мм); 12 – головка фильтра; 13 – кран выхода фильтрата  $d_y 20$ ; 14 – кран слива  $d_y 15$ ; 15 – кран входа в узел для намыва фильтроперлита  $d_y 15$ ; 16 – емкость для загрузки перлита; 17 – дополнительная емкость для слива перлитовой суспензии; 18 – счетчик расхода воды; 19 – кран  $d_y 15$ ; 20 – кран слива  $d_y 15$ ; 21 – кран слива  $d_y 15$ ; 22 – кран  $d_y 15$  подачи воды в фильтр 8; 23 – штуцер входа воды; 24 – кран подачи воды в узел загрузки фильтроперлита

Для определения гидравлических характеристик СФЭ была использована установка, схема которой приведена на рис. 5. Установка содержит два фильтра 3 и 10 (11?), узел загрузки фильтроперлита 8, манометр 5, счетчик расхода воды СКВГ90-3/15 18, трубопроводы, соединительную и запорную арматуру. Трубопроводы, соединяющие фильтр 10 (11?) с фильтром 3, также как и участок 4, прямолинейные. Фильтр 3 служит для очистки воды, поступающей на фильтр 10 (11?) из городской водопроводной сети.

Исследуемые СФЭ монтируются в головке 12 фильтра 10 (11?). Головка 12 снабжена внутренней резьбой М16×1,5 для установки СФЭ. Головка 12 имеет наружную резьбу ( $\frac{3}{4}$ ”) для монтажа ее вместе с СФЭ в верхнем фланце фильтра 10 (11?). Корпус фильтра 10 (11?) выполнен из стеклянной трубы диаметром 50 мм, толщиной 3,6 мм и длиной 445 мм. Сверху и снизу корпус закрыт специальными фланцами.

Измерения пропускной способности каждого из 10 СФЭ типа А проводились в два этапа.

На первом этапе измерялась пропускная способность всех 10 СФЭ типа А на чистой воде. Во-

да из городской сети предварительно очищалась от различных твердых примесей на фильтре 3 (ФА-6ФЭК с шестью СФЭ с порами 72 мкм с намытым слоем фильтроперлита 0,6 л). Очищенная вода далее поступала снизу вверх в фильтр 10 (11?), который содержал испытываемый СФЭ. При этом измерялись давление и время фильтрования. Объем воды, пропущенный через СФЭ, измерялся счетчиком 18. Поскольку штуцер СФЭ имеет небольшой диаметр, для него также определялась производительность. При этом СФЭ не имел фильтрующей перегородки.

На втором этапе испытаний определяли пропускные характеристики СФЭ с нанесенным на них динамическим слоем из фильтроперлита.

### Результаты и обсуждение

В табл. 3 приведены данные для всех 10 СФЭ типа А на чистой воде без использования динамической мембраны из фильтроперлита.

Как видно из табл. 3, для СФЭ с порами  $\delta$  от 11 до 248 мкм производительность  $Q$  увеличивается в зависимости от давления фильтрования  $P$ . В случае СФЭ с порами  $\delta$ , равными 8 мкм, про-

Давление фильтрования $P$ , кгс/см <sup>2</sup>	Производительность $Q$ , м <sup>3</sup> /ч, СФЭ с порами $\delta$ , мкм									
	248	154	114	77	51	38	28	17	11	8
0,1	0,29	0,33	0,41	0,27	0,33	0,36	0,33	0,31	0,38	0,22
0,5	1,02	1,02	1,02	0,95	1	0,99	0,99	1	1,04	0,85
1	1,46	1,4	1,45	1,4	1,42	1,44	1,44	1,43	1,45	1,25
1,5	1,73	1,74	1,85	1,8	1,8	1,7	1,76	1,88	1,9	1,43

изводительность резко падает. Это указывает на то, что у большинства СФЭ производительность определяется сечением штуцеров, и только у СФЭ с порами  $\delta$ , равными 8 мкм, производительность определяется проходным сечением фильтрующей перегородки, поскольку оно меньше, чем проходное сечение штуцера.

Для исследований пропускных характеристик СФЭ с нанесенным на них динамическим слоем из фильтроперлита использовали СФЭ с порами 114, 77, 51, 38, 28, 17, 11 и 8 мкм. СФЭ с порами 248 и 154 мкм в работе не рассматривали из-за проскока фильтроперлита. Для создания динамических слоев на СФЭ использовали от 4 до 24 г фильтроперлита. Для создания динамической мембраны суспензию фильтроперлита в воде, очищенной в фильтре 8, подавали на СФЭ в фильтре 1 (рис. 5). Фильтроперлит распределялся равномерным слоем по поверхности СФЭ, при этом вода через кран 21 сбрасывалась в водоотводную систему. Следует отметить, что фильтроперлит на СФЭ удерживался за счет непрерывного незначительного пропуска воды через СФЭ. При этом вода удерживала фильтроперлит на внешней поверхности СФЭ и не позволяла ему «сползать» вниз к днищу фильтра.

После намыва фильтроперлита, который длился не более 3 минут, проводили измерения гидравлических характеристик СФЭ. Очищенная на фильтре 8 вода поступала в фильтр 1 через кран 12. В ходе эксперимента измерялись давление и время фильтрования при протекании определенного объема воды. Эксперименты проводились при повышении давления от 0,1 до 2,5 кгс/см<sup>2</sup>. Давление в системе повышали без смыва фильтроперлита. Регулировка давления фильтрования осуществлялась краном 15. После проведения испытаний на выбранном типе СФЭ с динамической мембраной из заданного количества фильтроперлита проводили регенерацию фильтра с помощью кранов (4, 5, 11, 12 и 20) и дополнительного сосуда 17.

В табл. 4 приведены данные по пропускной способности СФЭ с нанесенными динамическими мембранами в зависимости от давления фильтруемого потока  $P$  и массы намываемого

фильтроперлита  $m$ .

Как видно из табл. 4, во всех случаях с увеличением давления воды на входе в фильтр увеличивается производительность СФЭ. При этом в аналогичных условиях эксперимента производительность СФЭ уменьшается с увеличением массы фильтроперлита, использованного для создания динамической мембраны. На рис. 6 приведена зависимость производительности СФЭ с размером пор 114 мкм от массы фильтроперлита в динамической мембране при давления фильтрования  $P = 2$  кгс/см<sup>2</sup>. Как следует из рис. 6, увеличение массы фильтроперлита с 4 до 24 г приводит к снижению производительности с 1,7 до 1,25 м<sup>3</sup>/ч, т. е. шестикратное увеличение массы фильтроперлита на поверхности СФЭ приводит к снижению производительности всего на ~25%. Аналогичная зависимость наблюдается и для других СФЭ. На основании этого можно сделать вывод о том, что накопление твердых примесей на поверхности СФЭ не будет критичным и не приведет к заметному снижению производительности оборудования.

Регенерация фильтров в большинстве случаев становится неразрешимой проблемой. Основное преимущество фильтров на основе СФЭ перед другими конструкциями фильтров – отсутствие проблем при регенерации фильтрующих поверхностей.

Во время регенерации обратным потоком жидкости или газа поток движется изнутри наружу и растягивает спираль, преодолевая сопротивление пружинки и осадка. За счет растягивания фильтрующей перегородки и увеличения межвитковых зазоров обратным потоком фильтра или промывочной жидкости увеличивается длина фильтрующей перегородки, что способствует разрушению твердой фазы, собранной на поверхности фильтрующего элемента. Кроме того, растягивание фильтрующей перегородки приводит к облегчению доступа промывочной жидкости к загрязнениям, собранным на фильтрующей поверхности. В результате твердая фаза удаляется из зазоров обратным потоком, что способствует значительному улучшению качества регенерации фильтрующей поверхности.

Давление фильтрования $P$ , кгс/см <sup>2</sup>	Производительность $Q$ , м <sup>3</sup> /ч, СФЭ с порами $\delta$ , мкм							
	114	77	51	38	28	17	11	8
Масса фильтроперлита $m = 4$ г								
0,1	0,11	0,06	0,32	0,13	0,1	0,11	0,11	0,02
0,5	0,72	0,55	0,68	0,59	0,52	0,6	0,57	0,29
1	1,13	0,91	1,16	0,95	0,85	0,99	0,96	0,53
1,5	1,45	1,19	1,48	1,29	1,11	1,27	1,27	0,72
2	1,69	1,44	1,76	1,54	1,35	1,59	1,5	0,91
2,5	1,93	1,64	2	1,74	1,57	1,76	1,71	1,04
Масса фильтроперлита $m = 8$ г								
0,1	0,13	0,04	0,24	0,11	0,08	0,1	0,1	0,04
0,5	0,55	0,4	0,67	0,51	0,44	0,55	0,51	0,24
1	1,05	0,69	1,07	0,91	0,75	0,93	0,85	0,44
1,5	1,35	0,96	1,4	1,21	0,99	1,23	1,11	0,59
2	1,61	1,15	1,65	1,42	1,21	1,5	1,33	0,74
2,5	1,84	1,35	1,86	1,69	1,38	1,65	1,54	0,87
Масса фильтроперлита $m = 12$ г								
0,1	0,13	0,03	0,27	0,10	0,06	0,08	0,08	0,05
0,5	0,6	0,35	0,61	0,52	0,34	0,51	0,46	0,19
1	0,96	0,64	0,99	0,86	0,59	0,84	0,79	0,34
1,5	1,25	0,88	1,32	1,16	0,81	1,15	1,07	0,48
2	1,5	1,1	1,59	1,42	1,02	1,37	1,27	0,61
2,5	1,76	1,29	1,8	1,57	1,16	1,59	1,5	0,72
Масса фильтроперлита $m = 24$ г								
0,1	0,16	0,01	0,19	0,06	0,04	0,07	0,07	0,05
0,5	0,5	0,11	0,54	0,40	0,29	0,43	0,41	0,06
1	0,85	0,63	0,92	0,73	0,53	0,76	0,71	0,12
1,5	1,15	0,84	1,26	0,98	0,74	1	0,97	0,19
2	1,35	1,06	1,46	1,21	0,92	1,23	1,16	0,23
2,5	1,58	1,24	1,69	1,38	1,09	1,4	1,37	0,3

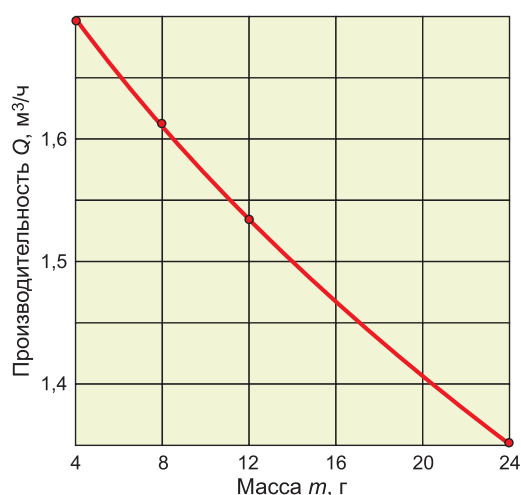


Рис. 6. Зависимость производительности СФЭ от массы фильтроперлита в динамической мембране (размер пор СФЭ 114 мкм, давление фильтрования 2 кгс/см<sup>2</sup>)

Из-за выполнения витков спирали из дуг с заданными различными радиусами кривизны может быть снижена суммарная площадь контактов смежных витков и увеличена общая эффективная площадь фильтрующих зазоров. Это дает более выгодное соотношение площади фильтрующих зазоров к площади фильтрующей перегородки, чем у известных фильтрующих элементов; производительность фильтрующего элемента и, соответственно, фильтрующего оборудования, выполненного на его основе, повышается.

Чтобы убедиться в преимуществах СФЭ перед другими фильтрующими материалами, были проведены сравнительные испытания СФЭ с помощью многократно повторяющихся процессов фильтрации и регенерации, следующих друг за другом. Сравнение проводилось между металлокерамическим элементом с пористостью



**Рис. 7. Зависимость скорости фильтрации  $W$  от объема отфильтрованной жидкости, отнесенного к единице поверхности фильтрующего элемента  $q$**   
1 – СФЭ; 2 – металлокерамический элемент

40 мкм и спиральным фильтрующим элементом с порами 25 мкм. График зависимости скорости фильтрации  $W$  от удельной нагрузки ( $q$  – количество фильтрата, отнесенного к площади фильтрации) показан на рис. 7. Каждая точка на графике есть усредненный результат по одному циклу фильтрации, причем последующий результат получен после проведения регенерации фильтра обратным потоком жидкости. Как видно из графика, производительность металлокерамического элемента после каждого цикла фильтрации падает и стремится к нулю, а производительность СФЭ все время восстанавливается и колеблется около определенного значения. Данные результаты подтверждают несомненное преимущество СФЭ перед другими фильтрующими материалами, которым свойственно необратимое закупоривание пор из-за явления облитерации.

### Выводы

Представленные новые спиральные фильтрующие элементы для очистки воды (и не только воды) от твердых примесей представляются перспективными и будут востребованы потребителями во многих регионах России и за рубежом. Разработанные СФЭ имеют несомненные преимущества перед другими фильтрующими ма-

териалами: способность восстанавливать фильтрующие свойства и отсутствие необратимого закупоривания пор фильтрующих поверхностей. Фильтры на основе СФЭ позволят не только исключить трудоемкие и экологически опасные операции, но и значительно увеличить ресурс эксплуатации фильтрующего оборудования.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пат. 2509594, РФ. МПК В01D 29/48. Фильтрующий элемент Крапухина / Крапухин В. Б., Крапухин В. В., Крапухин А. В. // Изобретения. Полезные модели. 2014. № 8.
2. Крапухин В. Б., Кулюхин С. А., Крапухин В. В., Вакурина И. В. Установка для заключительной очистки водопроводной воды // Вода: химия и экология. 2015. № 6. С. 23–28.
3. ООО НПП «ФильтроСорб Технологии» / Электронный ресурс: <http://www.filteres.ru>. (дата обращения 20.12.2017).
4. Хохрякова Е. А. Фильтры для очистки воды. – М.: Аква-Терм, 2013. 102 с.
5. Сошников Е. В. Обработка воды фильтрованием. – Владивосток, ДВГУПС, 2008. 250 с.
6. Оборудование для водоподготовки. Каталог. – М., ООО «Центр водных технологий», 2012. 44 с.
7. Процесс разделения и свойства жидкости и частиц. Фильтрующие материалы // Обезвреживание. Реагенты. Техника. 2007. № 23. С. 4–29.
8. Манукян Р. В. Фильтрующий материал на основе вспученного перлита, модифицированного крахмалом // Химическая технология. 2013. № 2. С. 118–119.
9. Ульченко В. М. Доочистка сточных вод на фильтрах с зернистой загрузкой // Водоснабжение и санитарная техника. 2010. № 12. С. 34–38.
10. Манукян Р. В. Фильтрующий материал на основе вспученного перлита, модифицированного желатином // Химическая технология. 2014. № 2. С. 80–81.
11. Крапухин В. Б., Крапухин В. В., Кулюхин С. А., Лесничий В. В., Намазов М. О., Платонов Ю. В. Новый фильтровальный элемент для очистки воды от твердых примесей // Химическая технология. 2014. № 7. С. 435–439.



**Helical filter elements and their hydraulic characteristics****V. B. KRAPUKHIN<sup>1</sup>, S. A. KULIUKHIN<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Krapukhin Vladimir Borisovich, Ph. D. (Engineering), Senior Research Scientist, A. N. Frumkin Institute of Physical Chemistry and Electrochemistry of the Russian Academy of Sciences

Build. 4, 31 Leninsky Ave., 119071, Moscow, Russian Federation, tel.: +7 (903) 274-98-00, e-mail: krapukhin@gmail.com

<sup>2</sup> Kuliukhin Sergei Alekseevich, Doctor of Chemistry, Deputy Director for Science, A. N. Frumkin Institute of Physical Chemistry and Electrochemistry of the Russian Academy of Sciences

Build. 4, 31 Leninsky Ave., 119071, Moscow, Russian Federation, tel.: +7 (495) 333-85-01, e-mail: kulyukhin@ipc.rssi.ru

The description of two constructional designs of helical filter elements with reduced adhesive properties capable of operating in «filtration-regeneration» mode without replacement for more than  $10^5$  cycles is presented. Owing to the special property of the filter element residing in the fact that the filtering flow passage of the element expands during regeneration and recovers to the original state during filtration; and owing to the vibration of the filter baffle during regeneration complete recovery of the filtering properties of the elements after each filtration-regeneration cycle is provided. The scheme of the unit for determining the hydraulic characteristics of helical filter elements both in the presence of the dynamic membrane made of filter perlite powder and in the absence of it is presented. The helical filter element capacity is determined (pore size: 8, 11, 17, 28, 38, 51, 77, 114, 154 and 248  $\mu\text{m}$ ) during filtration of water free of any pollutants and when using precoated dynamic membranes made of filter perlite powder. Sample weight of dry filter perlite powder for precoating one helical filter element was 4, 8, 12 and 24 g. The dependences of the filtration rate from the pressure of the filtered flow, filter baffle porosity and filter perlite powder weight precoating the helical filter element were determined.

**Key words:** filtration, hydraulic characteristics, helical filter element, dynamic membrane, filter perlite powder.

## REFERENCES

1. Krapukhin V. B., Krapukhin V. V., Krapukhin A. V. [Pat. 2509594, PФ. IPC B01D 29/48. Krapukhin Filter element. *Izobretenia. Poleznye Modeli*, 2014, no. 8. (In Russian).
2. Krapukhin V. B., Kuliukhin S. A., Krapukhin V. V., Vakurina I. V. [Installation for final tap water purification]. *Voda: Khimiia i Ekologiya*, 2015, no. 6, pp. 23–28. (In Russian).
3. OOO NPP «Fil'troSorb Tekhnologii» [«Fil'troSorb Tekhnologii», SPE, LLC. Electronic source. <http://www.filteres.ru>. (accessed 20.12.2017)].
4. Khokhriakova E. A. *Fil'try dlia ochistki vody* [Filters for water treatment. Moscow, Akva-Term Publ., 2013, 102 p.].
5. Soshnikov E. V. *Obrabotka vody fil'trovaniem* [Water treatment with filtration. Vladivostok, DVGUPS Publ., 2008, 250 p.].
6. *Oborudovanie dlia vodopodgotovki* [Equipment for water treatment. Catalogue. Moscow, OOO «Tsentr vodnykh tekhnologii» Publ., 2012, 44 p.].
7. [Liquid and particles separation process and properties. Filtering materials]. *Obezvozhivanie. Reagenty. Tekhnika*, 2007, no. 23, pp. 4–29. (In Russian).
8. Manukian R. V. [Filtering material based on expanded perlite modified with starch]. *Khimicheskaiia Tekhnologiia*, 2013, no. 2, pp. 118–119. (In Russian).
9. Uichenko V. M. [Effluent tertiary treatment in granular bed filters]. *Vodosnabzhenie i Sanitarnaia Tekhnika*, 2010, no. 12, pp. 34–38. (In Russian).
10. Manukian R. V. [Filtering material based on expanded perlite modified with gelatine]. *Khimicheskaiia Tekhnologiia*, 2014, no. 2, pp. 80–81. (In Russian).
11. Krapukhin V. B., Krapukhin V. V., Kuliukhin S. A., Lesnichii V. V., Namazov M. O., Platonov Iu. V. [An advanced filter element for removing solids from water]. *Khimicheskaiia Tekhnologiia*, 2014, no. 7, pp. 435–439. (In Russian).