

УДК 631.22.018+631.248

**ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОРИСТЫХ ПЕРЕГОРОДОК  
ТРУБЧАТЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ ФИЛЬТРОВ**

**THE HYDRAULIC PROPERTIES OF THE POROUS WALLS  
OF THE TUBULAR TEXTILE FILTERS**

*Х.Х. ГУБЕЙДУЛЛИН, И.И. ШИГАПОВ, А.В. ПОРОСЯТНИКОВ,  
С.С. ЛУКОЯНЧЕВ, О.С. КАМАЛДИНОВА  
KH.KH GUBEYDULLIN, I.I. SHIGAPOV, A.V. POROSYATNIKOV,  
S.S. LUKOYANCHEV, O.S. KAMALDINOVA*

(Технологический институт (филиал)  
Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии им П.А.Столыпина)  
(Institute of Technology (branch)  
of Ulyanovsk State Agricultural Academy named after Pyotr Stolypin)  
E-mail: tiugsha@gmail.com

*В настоящее время нас интересуют трубчатые текстильные фильтры, в которых в качестве фильтрующих перегородок используются различные виды намоток нитей на перфорированные патроны. Фильтры с различной структурой намотки обладают различной пористостью, а следовательно, у каждого вида намотки своя пропускная способность. В целях определения пропускной способности в данной статье проведены исследо-*

*вания гидравлических свойств пористых перегородок фильтров с различной структурой намотки (сомкнутых, замкнутых, спиралевидных).*

*Currently we are interested in tubular textile filters in which the filter of partitions, various types of windings of yarn on perforated cartridges. Filters with different winding structure have different porosity and, consequently, each type of winding its carrying capacity. In order to determine the throughput in this article we present a study of the hydraulic properties of porous baffles filters with different winding structure (closed, closed, spiral).*

**Ключевые слова:** фильтрующая перегородка, пористость, намотка, проницаемость, плотность намотки, сомкнутая намотка.

**Keywords:** filter wall, porosity, winding, permeability, density, sakota winding.

Поскольку проникновение жидкостей и газов сквозь фильтрующую перегородку может происходить по трещинам и порам, то проницаемость перегородки зависит от ее пористости, которая определяется объемом пор в единице объема намотки и может быть определена по формуле:

$$\Pi = \frac{V_{\text{пор}}}{V}, \quad (1)$$

где  $V$  – объем фильтрующей перегородки;  $V_{\text{пор}}$  – объем, занимаемый порами, в общем объеме фильтрующей перегородки.

Поскольку нас интересуют трубчатые текстильные фильтры, в которых в качестве фильтрующих перегородок используются различные виды намоток нитей на перфорированные патроны, то целесообразнее всего пористость фильтрующей перегородки выражать через плотность намотки перегородки и наматываемой нити. В этом случае [2]

$$\Pi = 1 - \frac{\gamma}{\gamma_n}, \quad (2)$$

где  $\gamma$  – плотность намотки пористой перегородки,  $\frac{\Gamma}{\text{см}^3}$ ;  $\gamma_n$  – плотность наматываемой нити,  $\frac{\Gamma}{\text{см}^3}$ .

Следовательно, для увеличения пористости (а значит, и проницаемости) ТТФ с фильтрующей перегородкой, представляющей собой намотку нити на перфорированный патрон, необходимо уменьшать плотность указанной намотки.

Если в качестве пористой перегородки используется сомкнутая намотка, то

$$\gamma = \frac{1}{c^2}, \frac{\Gamma}{\text{см}^3}, \quad (3)$$

где  $c$  – коэффициент, характеризующий рыхлость нити.

Для хлопчатобумажной пряжи  $c=1,25$  и плотность пористой перегородки сомкнутой структуры намотки:

$$\gamma = \frac{1}{1,25^2} = 0,64, \frac{\Gamma}{\text{см}^3}.$$

Поскольку все иные виды намоток (замкнутые с различной степенью замыкания, спиралевидные, застильные) имеют меньшую удельную плотность намотки  $\gamma$ , по сравнению с сомкнутой намоткой, то они имеют большую пористость и проницаемость [1]. Плотность намоток замкнутой и спиралевидной структур зависит от степени замыкания намотки  $p$  [3].

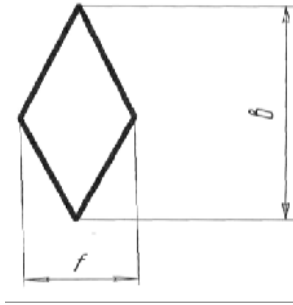


Рис. 1

С увеличением степени замыкания намотки  $p$  число сот возрастает, а их размеры уменьшаются (рис. 1 – размеры ячеек замкнутой (сотовой) намотки):

$$v = \frac{\pi D}{p}, \quad (4)$$

где  $D$  – диаметр намотки пористой перегородки;  $p$  – степень замыкания намотки.

Ширина ячейки, измеренная в меридиальном (осевом) направлении:

$$f = \frac{2H}{ki_0 p}, \quad (5)$$

где  $i_0$  – общее передаточное отношение между веретеном и кулачком нитеводителя.

Согласно закону фильтрации Дарси [6] скорость движения жидкости в фильтрующем слое можно определить по формуле:

$$v = -k_\phi \frac{\partial h_r}{\partial x}, \quad (6)$$

где  $k_\phi$  – коэффициент фильтрации,  $\frac{M}{c}$ ;  $h_r$  – гидравлический напор жидкости в слое, находящемся на расстоянии  $x$  от места фильтрации;  $\frac{\partial h_r}{\partial x}$  – градиент изменения напора жидкости по направлению фильтрации.

Поскольку перепад давления на пути фильтрации  $X$  равен:

$$\Delta P = \gamma_{ж} h_r, \quad (7)$$

где  $\gamma_{ж}$  – удельный вес жидкости (фильтра),  $\frac{H}{M^3}$ , то

$$v = -\frac{k_\phi \partial(\Delta P)}{\gamma_{ж} \partial x}. \quad (8)$$

В случае трубчатого текстильного фильтра скорость подачи фильтруемой жидкости в радиальном направлении со стороны наружной поверхности намотки [5]:

$$v = k_\phi \frac{dh_r}{dr} = k_\phi \frac{h_{гн}}{r \ln \frac{r_n}{r_0}}, \quad \frac{M}{c}, \quad (9)$$

где  $h_{гн}$  – гидравлический напор на наружной поверхности пористой перегородки,  $M$ ;  $r$  – текущий радиус намотки пористой перегородки,  $M$ ;  $r_n$  – наружный радиус пористой перегородки,  $M$ ;  $r_0$  – радиус патрона, на который намотана пористая перегородка.

Расход фильтруемой жидкости в единицу времени:

$$Q = v 2\pi r H. \quad (10)$$

Тогда

$$Q = \frac{2\pi H k_\phi h_{гн}}{\ln \frac{r_n}{r_0}}, \quad \frac{M^3}{c}, \quad (11)$$

где  $H$  – высота намотки пористой перегородки,  $M$ :

$$Q = \frac{2\pi H k_\phi (\Delta P)}{\gamma_{ж} \ln \frac{r_n}{r_0}}, \quad \frac{M^3}{c}, \quad (12)$$

где  $\gamma_{ж}$  – удельный вес фильтруемой жидкости,  $\frac{H}{M^3}$ ;  $\Delta P$  – перепад давления на пористой перегородке.

Массовый расход фильтруемой жидкости:

$$Q = \frac{2\pi H k_\phi \rho_{ж} P}{\gamma_\phi \ln \frac{r_n}{r_0}} = \frac{2\pi H k_\phi P}{g \ln \frac{r_n}{r_0}}, \quad \frac{KГ}{c}, \quad (13)$$

где  $g=9,81$  – ускорение земного притяжения,  $\frac{M}{c^2}$ ;  $\rho_{ж}$  – удельная плотность фильтруемой жидкости,  $\frac{кг}{м^3}$ .

Распределение давления в радиальном направлении ТТФ может быть представлено следующей формулой [8]:

$$P = \frac{P_n \frac{r_n \ln \frac{r}{r_0}}{r_0}}{\ln \frac{r_n}{r_0}}, \quad (14)$$

где  $P_n$  – давление на наружной поверхности пористой перегородки.

Проницаемость намоток пористых перегородок достаточно полно может быть охарактеризована коэффициентом фильтрации. Для определения коэффициента фильтрации различного вида намоток была создана установка [6] (рис. 2).

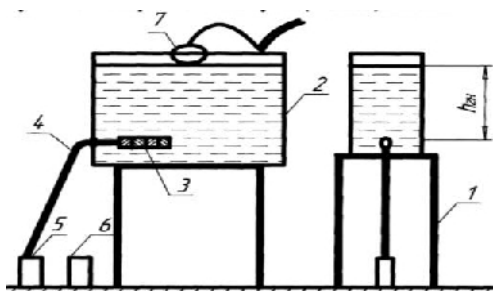


Рис. 2

Установка для проведения исследования (рис. 2) состоит из железной стойки 1, на которой установлен аквариум 2. Внутри аквариума к сливному отверстию, проделанному в боковой стенке и находящемуся на высоте 15 см от дна, подключен фильтр 3. Очищенная вода по сливному шлангу 4 поступает в емкость 5. Емкость 6 объемом 1 л необходима для проведения контрольных измерений. Для обеспечения постоянного перепада давления на фильтрующую перегородку в аквариуме поддерживается постоянный уровень воды, а следовательно, и величина  $h_{гн}$  постоянна. В этом случае перепад давления:

$$\Delta P = h_{гн} \gamma_{ж}. \quad (15)$$

Суть исследования состоит в следующем: вода в аквариуме пропускается через фильтры с различной структурой намотки (сомкнутой, спиралевидной и замкнутой). Пористая перегородка фильтров изготовлена из полипропиленовых нитей с линейной плотностью  $T=100 \times 2$  текс. Регистрируется время  $t$ , за которое через фильтр пройдет объем воды, равный 1 литру.

Определяем скорость фильтраций:

$$v = \frac{Q}{F}, \quad (16)$$

$$Q = \frac{V_{ж}}{t},$$

где  $Q$  – расход фильтруемой жидкости,  $м^3/с$ ;  $F$  – внешняя поверхность фильтра,  $м^2$ ;  $V_{ж}$  – объем фильтруемой жидкости, прошедший через фильтр за время  $t$ .

Затем определяем коэффициент фильтрации.

$$k_{\phi} = \frac{v r_n \ln \frac{r_n}{r_0}}{h_{гн}}. \quad (17)$$

Известно, что проницаемость ТТФ зависит от пористости фильтрующей перегородки, которая определяется объемом пор в единице объема тела намотки и выражается формулой:

$$\Pi = \frac{V_{пор}}{V}, \quad (18)$$

где  $V$  – объем фильтрующей перегородки;  $V_{пор}$  – объем, занимаемый порами в общем объеме фильтрующей перегородки.

Фильтры с различной структурой намотки обладают различной пористостью, а следовательно, у каждого вида намотки своя пропускная способность.

В целях определения пропускной способности проведены исследования гидравлических свойств пористых перегородок фильтров с различной структурой намотки (сомкнутых, замкнутых, спиралевидных). Объем нити, намотанной на патрон, определялся по формуле:

$$V = \frac{\pi H}{4} (D^2 - d^2), \text{ мм}^3, \quad (19)$$

где  $H$  – высота намотки, мм;  $D$  – диаметр намотки фильтра, мм;  $d$  – диаметр патрона (по намотке), мм;  $V_{\text{пор}}$  – объем пор в намотке:

$$V_{\text{пор}} = V - V_{\text{н}}, \quad (20)$$

где  $V_{\text{н}}$  – объем нити, намотанной на фильтр, мм<sup>3</sup>:

$$V_{\text{н}} = LS, \quad (21)$$

где  $S$  – площадь поперечного сечения нити, мм<sup>2</sup>;  $L$  – длина нити, намотанной на фильтр, измеренная счетчиком длины нити, мм:

$$S = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi(c\sqrt{T/\sqrt{1000}})^2}{4}, \text{ мм}^2. \quad (22)$$

По результатам проведенных исследований (табл. 1) были рассчитаны зависи-

мость скорости прохождения потока воды через фильтр от его пористости, а также зависимость разности давлений от структуры намотки фильтра и массовый расход фильтруемой жидкости.

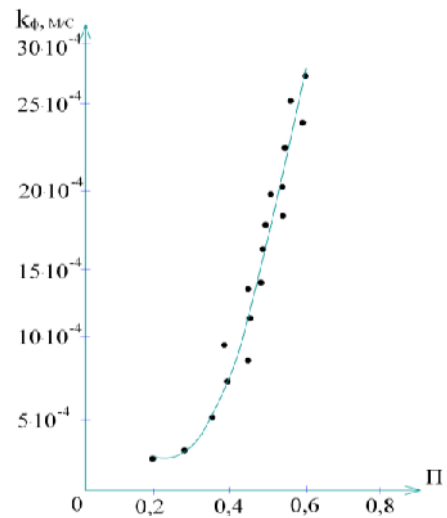


Рис. 3

На рис. 3 показана зависимость коэффициента фильтрации пористой перегородки ТГФ от ее пористости. В качестве аппроксимирующей кривой наиболее близко подходит парабола.

Т а б л и ц а 1

D, мм	V, мм <sup>3</sup>	П, мм <sup>3</sup>	v, м/с	p, Па	Q, м <sup>3</sup> /с	h <sub>гн</sub> , м	k <sub>ф</sub> , м/с
35	161906	0,2	1,9638	5886	0,5892	0,6	0,00035
35	161906	0,23	1,6833	5886	0,505	0,6	0,0003
35	161906	0,25	1,5935	5886	0,4781	0,6	0,000284
35	161906	0,3	1,7787	5886	0,5336	0,6	0,000317
35	161906	0,34	2,351	5886	0,7053	0,6	0,000419
35	161906	0,36	2,7831	5886	0,8349	0,6	0,000496
35	161906	0,4	3,9333	5886	1,18	0,6	0,000701
35	161906	0,45	5,9028	5886	1,7708	0,6	0,001052
35	161906	0,46	6,3679	5886	1,9104	0,6	0,001135
35	161906	0,49	7,9064	5886	2,3719	0,6	0,001409
35	161906	0,497	9,9595	5886	2,9879	0,6	0,001775
35	161906	0,5	8,467	5886	2,5401	0,6	0,001509
35	161906	0,55	11,626	5886	3,4878	0,6	0,002072
35	161906	0,56	12,329	5886	3,6987	0,6	0,002197
35	161906	0,6	15,38	5886	4,6139	0,6	0,002741

## В Ы В О Д Ы

Коэффициент фильтрации пористых перегородок трубчатых текстильных фильтров в значительной мере определяется пористостью самих перегородок, зави-

сящей от удельной плотности, а следовательно, и от их структуры намотки, при этом зависимость коэффициента фильтрации пористых перегородок трубчатых текстильных фильтров от их пористости носит параболический характер.

1. Губейдуллин Х.Х., Панин И.Н., Шигапов И.И., Поросятников А.В. Разработка и исследование фильтровальных перегородок плоских и трубчатых текстильных фильтров // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2015, №1. С.159...164.

2. Шигапов И.И., Кадырова А.М. // Аграрная наука. – 2012, №6. С. 30...32.

3. Губейдуллин Х.Х., Шигапов И.И., Панин А.И., Поросятников А.В., Лукоянчев С.С. Технологии и технические средства для очистки сточных вод // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2015, №2. С. 121...126.

4. Гафин М.М., Губейдуллин Х.Х., Шигапов И.И. Утилизация и комплексное использование жидких навозных стоков // Сельский механизатор. – 2014, №2 (60). С. 26...27.

5. Губейдуллин Х.Х., Исайчев В.А., Шигапов И.И. Механическая и биологическая очистка животноводческих ферм с применением спирально-винтовых механизмов // Научный вестник Технологического института – филиала Ульяновской ГСХА им. П.А. Столыпина. – 2013, № 11. С. 113...116

6. Shigapov I.I. Study of the air permeability of the porous barriers in tubular textile filters // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2004, № 2. С. 107...109.

1. Gubejdullin H.H., Panin I.N., Shigapov I.I., Porosjatnikov A.V. Razrabotka i issledovanie fil'troval'nyh peregorodok ploskih i trubchatyh tekstil'nyh fil'trov // Izv. vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti. – 2015, №1. S. 159...164.

2. Shigapov I.I., Kadyrova A.M. // Agrarnaja nauka. – 2012, №6. S. 30...32.

3. Gubejdullin H.H., Shigapov I.I., Panin A.I., Porosjatnikov A.V., Lukojanchev S.S. Tehnologii i tehicheskie sredstva dlja ochistki stochnyh vod // Izv. vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti. – 2015, №2. S. 121...126.

4. Gafin M.M., Gubejdullin H.H., Shigapov I.I. Utilizacija i kompleksnoe ispol'zovanie zhidkih navoznyh stokov // Sel'skij mehanizator. – 2014, №2 (60). S. 26...27.

5. Gubejdullin H.H., Isajchev V.A., Shigapov I.I. Mehanicheskaja i biologicheskaja ochistka zhivotnovodcheskih ferm s primeneniem spiral'novintovyh mehanizmov // Nauchnyj vestnik Tehnologicheskogo instituta – filiala Ul'janovskaoj GSXA im. P.A. Stolypina. – 2013, № 11. S. 113...116

6. Shigapov I.I. Study of the air permeability of the porous barriers in tubular textile filters // Izv. vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti. – 2004, № 2. S. 107...109.

Рекомендована кафедрой технологии производства, переработки и экспертизы продукции АПК. Поступила 30.09.15.