

УДК 677.023

**РАСЧЕТ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОРИСТЫХ ПЕРЕГОРОДОК
ТРУБЧАТЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ ФИЛЬТРОВ**

С.Д. НИКОЛАЕВ, И.Н. ПАНИН, В.П. ЗАЙЦЕВ, Е.П. ЦИМБАЛЮК

(Московский государственный текстильный университет им. А.Н.Косыгина,
Ульяновский государственный университет)
E-mail: office@msta.ac.ru

По результатам проведенных исследований была получена зависимость скорости прохождения потока воды через фильтр от его пористости, а также зависимость разности давлений от структуры намотки фильтра и массовый расход фильтруемой жидкости.

As a result of the conducted researches, the dependence between the water flow speed through the filter and its porosity was established as well as the dependence of the pressure different values on the winding structure of the filter was revealed and the bulk consumption of the filtered liquid was calculated.

Ключевые слова: текстильные фильтры, пористость и проницаемость перегородок, плотность намотки, различная структура намотки, нити, коэффициент фильтрации.

Проницаемость фильтровальной перегородки зависит от ее пористости, которая определяется объемом пор в единице объема намотки и может быть рассчитана 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.

В трубчатых текстильных фильтрах в качестве фильтрующих перегородок используются различные виды намоток ни-

тей на перфорированные патроны. Пористость фильтровальной перегородки целесообразнее всего выразить через плотность намотки паковки наматываемой нити. В этом случае

$$\Pi = 1 - \frac{\gamma}{\gamma_{\text{н}}}, \quad (2)$$

где γ – плотность намотки пористой перегородки, $\frac{\Gamma}{\text{см}^3}$; $\gamma_{\text{н}}$ – 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 γ , по сравнению с сомкнутой намоткой, то они имеют большую пористость и проницаемость. Плотность намоток замкнутой и спиралевидной структур зависит от степени замыкания намотки p .

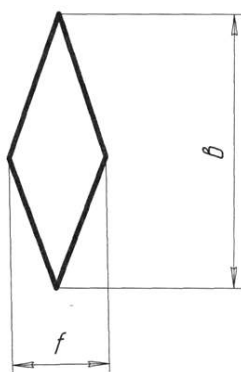


Рис. 1

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:

$$f = \frac{2H}{k_{i_0} p}, \quad (5)$$

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

Согласно закону фильтрации Дарси [1] скорость движения жидкости в фильтрующем слое можно определить по формуле:

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

где: k_{ϕ} – 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 (фильтрата), $\frac{H}{M^3}$, 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 [2]:

$$v = k_{\text{ж}} \frac{dh_r}{dr} = k_{\text{ф}} \frac{h_{\text{гн}}}{r \ln \frac{r_{\text{н}}}{r_0}}, \quad \frac{\text{м}}{\text{с}}, \quad (9)$$

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

Расход фильтруемой жидкости в единицу времени:

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

Тогда

$$Q = \frac{2\pi H k_{\text{ф}} h_{\text{гн}}}{\ln \frac{r_{\text{н}}}{r_0}}, \quad \frac{\text{м}^3}{\text{с}}, \quad (11)$$

где H – высота намотки пористой перегородки, м.

$$Q = \frac{2\pi H k_{\text{ф}} (\Delta P)}{\gamma_{\text{ж}} \ln \frac{r_{\text{н}}}{r_0}}, \quad \frac{\text{м}^3}{\text{с}}, \quad (12)$$

где $\gamma_{\text{ж}}$ – удельный вес фильтруемой жидкости, $\frac{\text{Н}}{\text{м}^3}$; ΔP – перепад давления на пористой перегородке.

Массовый расход фильтруемой жидкости:

$$Q = \frac{2\pi H k_{\text{ф}} \rho_{\text{ж}} P}{\gamma_{\text{ж}} \ln \frac{r_{\text{н}}}{r_0}} = \frac{2\pi H k_{\text{ф}} P}{g \ln \frac{r_{\text{н}}}{r_0}}, \quad \frac{\text{кг}}{\text{с}}, \quad (13)$$

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

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

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

$$P = \frac{P_{\text{н}} \ln \frac{r}{r_0}}{\ln \frac{r_{\text{н}}}{r_0}}, \quad (14)$$

где $P_{\text{н}}$ – 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 (рис. 2).

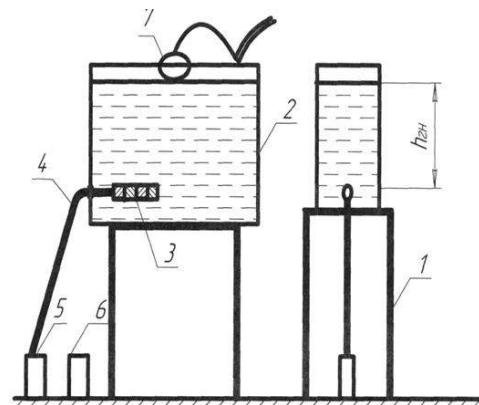


Рис. 2

Установка для проведения исследования (рис. 2) состоит из железной стойки 1, на которой установлен аквариум 2. Внутри аквариума к сливному отверстию, сделанному 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 $h_{\text{гн}}$ постоянна. В этом случае перепад давления:

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

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:

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

$$Q = \frac{V_{\text{ж}}}{t},$$

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

Затем определяем коэффициент фильтрации:

$$k_{\phi} = \frac{v r_{\text{н}} \ln \frac{r_{\text{н}}}{r_{\text{о}}}}{h_{\text{гн}}}. \quad (17)$$

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

В целях определения пропускной способности были проведены исследования гидравлических свойств пористых перегородок фильтров с различной структурой намотки (сомкнутых, замкнутых, спирале-

видных); объем нити, намотанной на патрон, определялся по формуле:

$$V = \frac{\pi H}{4} (D^2 - d^2), \text{ мм}^3, \quad (18)$$

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

$$V_{\text{пор}} = V - V_{\text{н}}, \quad (19)$$

где $V_{\text{н}}$ – объем нити, намотанной на фильтр, мм^3 :

$$V_{\text{н}} = LS, \quad (20)$$

где S – площадь поперечного сечения нити, мм^2 ; L – длина нити, намотанной на фильтр, измеренная счетчиком длины нити, мм;

$$S = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi (c \sqrt{T / \sqrt{1000}})^2}{4}, \text{ мм}^2. \quad (21)$$

По результатам проведенных исследований (табл. 1) была получена зависимость скорости прохождения потока воды через фильтр от его пористости, а также зависимость разности давлений от структуры намотки фильтра и массовый расход фильтруемой жидкости.

Таблица 1

D, мм	V, мм ³	П, мм ³	v, м/с	p, Па	Q, м ³ /с	h _{гн} , м	k _φ , 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

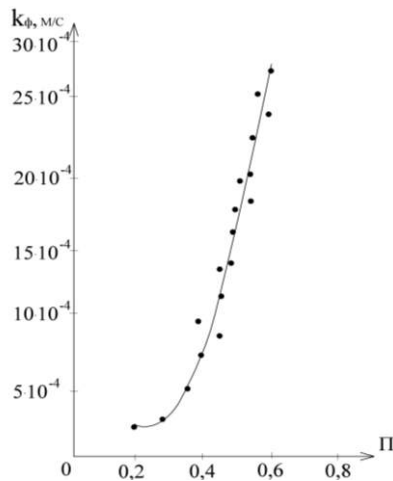


Рис. 3

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

ВЫВОДЫ

1. Пористость и проницаемость фильтровальных перегородок трубчатых тек-

стильных фильтров определяется структурой намотки нитей на паковку и видом волокнистого материала, используемого при получении нитей.

2. Коэффициент фильтрации, характеризующий скорость прохождения фильтрата через пористую перегородку, также определяется структурой намотки фильтровальной перегородки.

3. Зависимость коэффициента фильтрации от пористости фильтровальной перегородки носит параболический характер.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Полубаринова-Когина П.Я.* Теория движения грунтовых вод. – М., 1977.
2. *Панин И.Н.* Разработка и исследование структур текстильных паковок специального назначения: Дис...докт. техн. наук. – М.: МГТУ им. А.Н.Косыгина. С. 174.

Рекомендована кафедрой ткачества. Поступила 21.04.09.