

## Материалы, технологии, инструменты - 1999. - №4. – С. 31 – 36.

УДК 66.067.12

**ГИДРАВЛИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ  
ТРИКОТАЖНЫХ ФИЛЬТРОВАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПТТФ**А. И. ЕЛЬШИН<sup>1</sup>, А. И. ВЕГЕРА<sup>1+</sup>, В. А. ПЕТРОВА<sup>2</sup><sup>1</sup> Полоцкий государственный университет, ул. Блохина 29, 211440 г. Новополоцк, Беларусь.<sup>2</sup> Витебский государственный технологический университет, Московский пр. 72, 210028 г. Витебск, Беларусь.

*Представлена гидравлическая модель трикотажных фильтровальных материалов типа ПТТФ, позволяющая на основе данных об объемной плотности ПТТФ прогнозировать такие их параметры, как средний и максимальный размер пор, гидравлическую проницаемость и пористость. Расчетные значения среднего и максимального размер пор, проницаемости и пористости, полученные на основании разработанной модели, хорошо коррелируют со значениями этих величин, найденными экспериментальным путем. Предложенная модель позволяет оптимизировать практический выбор фильтровального материала из серии полотен ПТТФ по гидравлическому сопротивлению и размеру пор.*

**Введение**

Многослойные трикотажные фильтровальные материалы ПТТФ (полотно техническое трикотажное фильтровальное), разработанные в Витебском государственном технологическом университете (ВГТУ), являются весьма привлекательными для разделения систем жидкость–твердое, так как помимо высокой эффективности и низкой стоимости они обладают высокой прочностью, хорошей регенерируемостью, химической стойкостью и низким гидравлическим сопротивлением [1]. Материалы ПТТФ хорошо зарекомендовали себя при фильтрации различных дисперсных сред [1–5].

Трикотажные фильтроматериалы ПТТФ представляют собой трикотаж повышенного поверхностного и объемного заполнения и толщины [1, 6, 7], поэтому они обладают преимуществами объемных и поверхностных фильтров. По сравнению с фильтровальным картоном и тканями, трикотажные фильтры имеют более низкую стоимость единицы проницаемости [8].

Разработан ряд материалов ПТТФ различной плотности, однако вопрос выбора и/или производства материалов ПТТФ с заданными свойствами остается малоизученным.

Целью работы является разработка гидравлической модели трикотажного материала ПТТФ, связывающей характеристики пористой среды с проницаемостью и плотностью

трикотажа. Решение данной задачи позволит организовать гибкое производство материалов серии ПТТФ в соответствии с запросами потребителей по размеру пор и гидравлическому сопротивлению.

**Модели пористых сред**

При моделировании волокнистых пористых сред используются модели пористых сред из регулярно уложенных волокон круглого сечения [9, 10]. Например, в работе [10], рассмотрена модель пористого слоя в виде укладки прямолинейных цилиндрических волокон в шахматном порядке (рис. 1). В уравнении фильтрации, связывающем скорость фильтрации  $u$  с перепадом давления  $\Delta p$ , использована в качестве характеристического размера ширина в наиболее

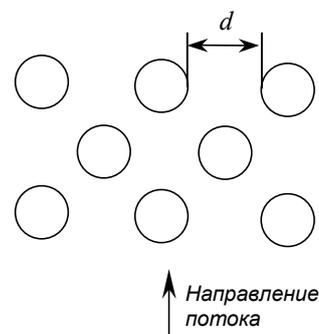


Рис. 1. Схематическое представление модели пористого слоя [10]

+ Автор, с которым следует вести переписку.

узком месте между цилиндрами  $d$ . Пористость модели была рассчитана для этого же сечения.

Другой подход к моделированию заключается в том, что расположение волокон в пористой среде принимается случайным и такая характеристика, как средний эквивалентный диаметр пор рассчитывается на основе законов случайного распределения [11–14]. Достаточно продуктивной является модель, в которой исследуется распределения центров волокон в единичном объеме волокнистого материала, либо в его поперечном сечении. Со статистической точки зрения вероятность распределения центров волокон в единице объема, либо вероятность того, что круг радиуса  $r$  целиком лежит в свободной от волокон области в поперечном сечении пористого материала хорошо описывается распределением Пуассона [11–14].

Распределение Пуассона применяется для описания случайного числа появлений определенных событий в фиксированном промежутке времени, в фиксированной области пространства [15]: случайная величина  $x^{(n)}$  имеет распределение Пуассона с параметром  $\lambda (\lambda > 0)$ , если

$$P(x^{(n)} = k) = \frac{\lambda^k}{k!} \exp(-\lambda), \quad k = 0, 1, 2, \dots, n, \quad (1)$$

где  $x^{(n)}$  – число наступлений события в серии  $A$  из  $n$  опытов;  $\lambda$  – параметр распределения.

Параметр распределения  $\lambda$  может быть представлен как плотность распределения волокон в поперечном сечении пористой среды [12], либо через плотность геометрических центров волокон в единице объема [11].

Модель распределения пор нетканого волокнистого материала, основанная на распределении Пуассона в предположении, что волокна – прямолинейные цилиндры, предложена в работе [12]:

$$P(r) = 2\pi\lambda_{s0}r \exp(-\pi\lambda_{s0}r^2), \quad (2)$$

где  $P(r)$  – вероятность того, что круг радиуса  $r$  в любом поперечном сечении волокнистого материала лежит в свободной от волокон (геометрических центров) области,  $\lambda = \lambda_{s0}$  – характеризует среднюю плотность распределения центров прямолинейных волокон, равную числу волокон в единичной площади поперечного сечения пористой среды,  $1/\text{м}^2$ . Реальный диаметр пор, исходя из диаметра волокон  $d_V$ , рассчитывался как

$$D_p = 2r_p - d_V; \quad (3)$$

$$\bar{D} = 2\bar{r} - d_V; \quad (4)$$

$$D_{\max} = 2r_{\max} - d_V, \quad (5)$$

где  $D_p$ ,  $\bar{D}$ ,  $D_{\max}$  – наиболее вероятный, средний и максимальный диаметр пор, соответственно.

В трикотажных материалах ПТТФ, в отличие от модели [12], основная часть волокон представлена текстурированными (непрямолинейными) волокнами. В этой связи упомянутая модель не может быть непосредственно применена для описания пористой структуры материалов типа ПТТФ.

### Модель трикотажного фильтровального материала

Гидравлические свойства пористого материала связаны с его проницаемостью  $k$  и толщиной  $h_0$ :

$$u = k \frac{\Delta p}{\mu h_0}, \quad (6)$$

где  $u$  – скорость фильтрования;  $\Delta p$  – перепад давления;  $\mu$  – вязкость жидкости. Из уравнения Козени–Кармана [16–18] проницаемость пористого слоя  $k$  равна:

$$k = \frac{d_{av}^2 \varepsilon^3}{KT^2(1-\varepsilon)^2}, \quad (7)$$

где  $\varepsilon$  – пористость слоя;  $d_{av}$  – эквивалентный диаметр частиц слоя;  $T$  – извилистость поровых каналов,  $T + h/h_0$ ;  $h$  – средняя длина поровых каналов;  $K$  – константа. Согласно работе [19]  $K = 36k'$ , где  $k' = 2$  для сферических частиц и 3 для волокон.

Для зернистого слоя, состоящего из частиц различного размера – эквивалентный диаметр порового канала переменного сечения  $d_e$  связан со средним диаметром частиц  $d_{av}$  соотношением:

$$d_e = \frac{2}{3} \frac{\varepsilon d_{av}}{(1-\varepsilon)}. \quad (8)$$

Структура ПТТФ складывается из волокон, но в отличие от нетканых материалов и фильтротканей, эти волокна текстурированы и упакованы посредством их провязки, образуя компактную структуру пористостью 0,46–0,60. Поэтому локальная структура пор формируется не всей длиной волокон, а их фрагментами текстуровки. Этот факт дает возможность смоделировать локальную структуру через цилиндры-фрагменты текстурированного волокна с диаметром  $d_v = 23$  мкм и длиной  $H$ . Длина фрагмента  $H$  оценена, исходя из среднего размера пор и  $d_v$  как 64,5 мкм. Таким образом, эффективный диаметр пор  $d_e$ , определенный для сферических частиц уравнением (8) может быть скорректирован с помощью фактора формы  $\varphi$  и иметь величину  $\varphi d_{av}$ . Фактор формы характеризует степень отклонения частиц от сферической формы

и для цилиндрических фрагментов при отношении  $H/d_v \approx 2,8$  составляет 0,79 [20]. Так как для материалов с различной объемной плотностью использовался один и тот же вид волокна, то для всех исследованных материалов фактор формы принят постоянной величиной  $\varphi = 0,79$ .

Подставляя уравнение (8) и фактор формы в (7) получим зависимость проницаемости пористого слоя от эквивалентного диаметра порового канала:

$$k = \frac{\varphi^2 d_e^2 \varepsilon}{16k'T^2}. \quad (9)$$

Извилистость каналов пористых сред зависит от пористости [21–25] и чаще всего аппроксимируется в форме зависимости  $T \sim f(1/\varepsilon)$ , где  $f(1/\varepsilon)$  некоторая функция, преимущественно:

$$T = 1/\varepsilon^n, \quad (10)$$

где  $n$  является эмпирическим показателем, имеющим широкий диапазон оценки.

В работе [26] в предположении, что в пористой среде имеется  $m$  классов пор и что каждый класс занял ту же самую часть от общей пористости, предложено для не объединенных систем  $n = 1/3$ . В работе [27] для смесей сферических частиц используется для нахождения значения извилистости  $n = 0,4$ . В работах [28, 29] используется  $n = 0,5$ . Расчет извилистости поровых каналов полотна ПТТФ производился согласно формуле (10) при  $n = 0,45$ .

**Определение пористости ПТТФ.** В работе [11] предложена статистическая модель пористого материала с волокнистой структурой, если волокна расположены в плоскости параллельной листу с ориентацией в ней по закону равной вероятности:

$$\varepsilon = 1/\exp[\lambda_p \pi d_v^2 L_0 / 4], \quad (11)$$

где  $\varepsilon$  – пористость,  $\lambda_p$  – среднее количество центров в единице объема,  $d_v$  – диаметр волокна,  $L_0$  – длина прямолинейного волокна. Как подчеркивается в работе [11], выражение  $\lambda_p \pi d_v^2 L_0 / 4$  представляет собой часть единичного объема материала, занимаемую волокнами, то есть данный комплекс можно отождествить с относительной долей материала  $\phi$ .

Уравнение (11) может быть адаптировано к модели ПТТФ с учетом особенностей структуры, вызванных гофрировкой волокон. Во-первых, как упоминалось выше, волокна в ПТТФ расположены более компактно из-за их провязки. В результате количество волокон в единице объема больше, чем при случайной укладке [11], что можно учесть путем введения в уравнении (11) нормировочного коэффициента  $A > 1$ .

Во-вторых, длина текстурированного волокна полотна ПТТФ  $L_e$  больше длины

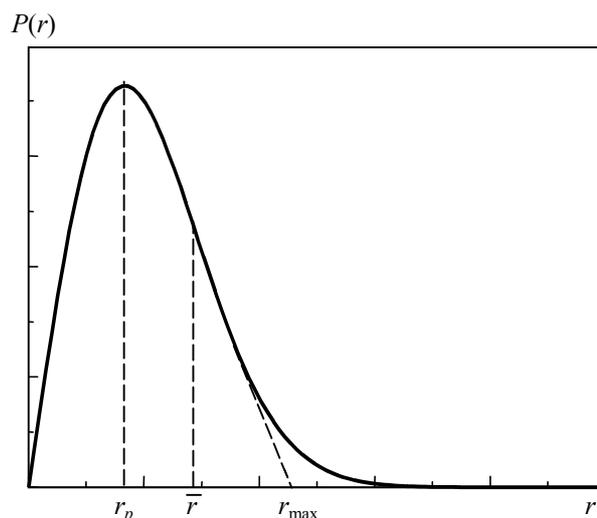


Рис. 2. Вид функции распределения  $P(r)$ :  $\bar{r}$ ,  $r_{\max}$ ,  $r_p$  – средний, максимальный и наиболее вероятный радиус пор, соответственно

прямолинейного волокна  $L_0$ , что можно охарактеризовать через коэффициент упаковки волокон  $T_v = L_e/L_0$ . В соответствии с этим экспоненциальный показатель в уравнении (11) примет вид  $\phi \cdot T_v$ , а само уравнение преобразуется в нижеследующее:

$$\varepsilon = A \exp(-\phi T_v). \quad (12)$$

**Распределение пор по размерам и средний диаметр пор ПТТФ.** Число волокон в единичной площади поперечного сечения пористой среды в распределении Пуассона  $\lambda$ , уравнение (2), с учетом коэффициента упаковки волокон равно

$$\lambda = \lambda_s = \phi / [T_v (\pi d_v^2 / 4)]. \quad (13)$$

Микроскопический анализ поперечных срезов фильтровального материала ПТТФ показал, что в срезах наблюдаются сечения волокон круглой и вытянутой овальной формы. Поскольку, в отличие от модели [12], в поперечном разрезе ПТТФ волокна имеют сечения, отличные от окружности, то введем в распределение Пуассона фактор формы пор  $\psi$ . Фактор формы пор, в отличие от фактора формы элементарных фрагментов волокон  $\varphi$ , является функцией объемной плотности трикотажного материала:

$$P(r) = 2\pi\psi\lambda_s r \exp(-\pi\psi\lambda_s r^2). \quad (14)$$

Вид функции распределения (14) показан на рис. 2. Средний радиус пор равен:  $\bar{r} = \int_0^\infty rP(r)dr / \int_0^\infty P(r)dr$ . Наиболее вероятный радиус пор  $r_p$  находим из условия  $P'(r) = 0$ .

Средний радиус пор  $\bar{r}$  определяется в точке перегиба функции плотности распределения:  $P''(r) = 0$ ;  $r_{\max}$  находится из пересечения

касательной к точке перегиба с осью абсцисс.

В результате  $r_p = 0,399/\sqrt{\psi\lambda_S}$ ,  $\bar{r} = 0,691/\sqrt{\psi\lambda_S}$  и  $r_{\max} = 1,036/\sqrt{\psi\lambda_S}$ , где  $\psi$  – фактор формы пор.

В текстильной промышленности материалы обычно характеризуются не объемной долей волокон  $\phi$ , а поверхностной плотностью  $\rho_s$ . Однако фильтровальные материалы с одинаковой поверхностной плотностью могут иметь различную толщину, что влияет на гидравлические свойства ткани. Более точной характеристикой фильтровальных полотен является объемная плотность ПТТФ  $\rho_v$ :

$$\rho_v = \rho_s/h, \quad (15)$$

где  $h$  – толщина фильтровального полотна.

### Оценка адекватности модели

Для оценки адекватности предложенной модели были проведены исследования гидравлических свойств 12 различных видов трикотажных полотен ПТТФ. Экспериментально были определены объемная плотность, пористость, проницаемость полотен ПТТФ, пузырьковым методом был определен их максимальный и средний диаметр пор [30]. Фактор формы пор имел линейную корреляционную зависимость:  $\psi = 12,56 \cdot 10^{-4} \rho_v$ . Полученные расчетные и экспериментальные значения параметров фильтровальных материалов представлены на рис. 3–5.

При сопоставлении расчетных и экспериментальных значений пористости был определен нормировочный коэффициент в уравнении (12). Для трикотажных полотен ПТТФ  $A = 1,175$ .

Уравнения для расчета размера пор, проницаемости и пористости полотен ПТТФ в окончательной форме имеют вид:

$$\bar{D} = 2 \cdot 0,691/\sqrt{\psi\lambda_S} - d_V; \quad (16)$$

$$D_{\max} = 2 \cdot 1,036/\sqrt{\psi\lambda_S} - d_V, \quad (17)$$

где  $\psi = 12,54 \cdot 10^{-4} \rho_v$ ,

$$\lambda_S = \rho_v / \left( \frac{\pi d_v^2}{4} T_v \rho_{\text{мат}} \right); \quad (18)$$

$$\varepsilon = 1,175 \exp\left(-\frac{\rho_v T_v}{\rho_{\text{мат}}}\right); \quad (19)$$

$$k = \frac{\varphi^2 d_e^2 \varepsilon}{16k'T^2}, \quad (20)$$

где  $\rho_{\text{мат}}$  – объемная плотность нити и для лавсана

равна  $1,395 \text{ кг/м}^3$  [31];  $\varphi = 0,79$ ;  $d_v = 23 \cdot 10^{-6} \text{ м}$  – диаметр моноволокна ПТТФ;  $T_v = 1,7$  – коэффициент упаковки волокон ПТТФ.

Расчетные значения среднего и максимального диаметра пор, проницаемости и пористости, найденных по уравнениям (16–20) хорошо коррелируют со значениями этих величин, найденными экспериментальным путем. При этом среднее квадратическое отклонение при определении среднего размера пор составляет  $7,64 \cdot 10^{-6} \text{ м}$ , максимального размера пор –  $7,40 \cdot 10^{-6} \text{ м}$ , проницаемости –  $1,13 \cdot 10^{-12} \text{ м}^2$ , пористости –  $0,0046 \text{ м}^3/\text{м}^3$ .

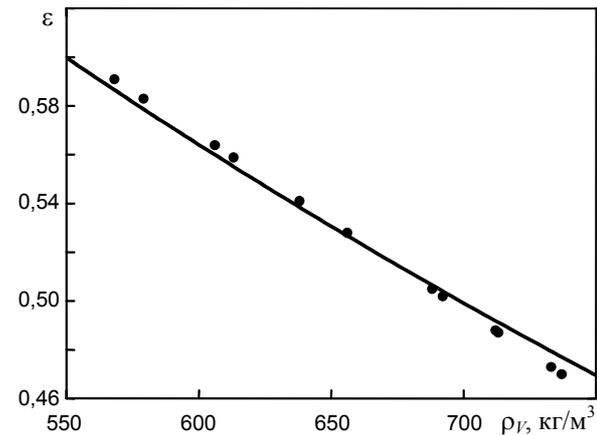


Рис. 3. Зависимость пористости ПТТФ от объемной плотности полотна. Точками на графике представлены экспериментальные данные, линией – рассчитанные по предложенной модели

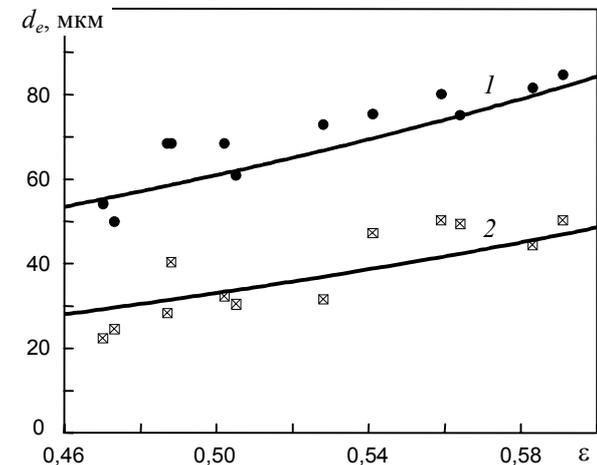


Рис. 4. Зависимость максимального и среднего размера пор полотна ПТТФ от пористости полотна. Точками на графике представлены экспериментальные данные, линией – рассчитанные по предложенной модели

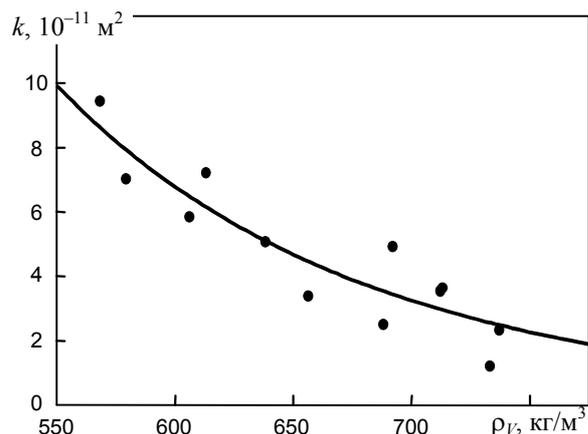


Рис. 5. Зависимость проницаемости ПТТФ от объемной плотности полотна. Точками на графике представлены экспериментальные данные, линией – рассчитанные по предложенной модели

## Выводы

Многослойные трикотажные фильтровальные материалы ПТТФ представляют собой трикотаж повышенной толщины, поверхностного и объемного заполнения, обладают преимуществами объемных и поверхностных фильтров и перспективны для использования при разделении систем жидкость–твердое.

Структура ПТТФ создается из волокон, но в отличие от нетканых материалов и фильтротканей, эти волокна текстурированы и упакованы посредством их провязки, поэтому в литературе различные модели нетканых волокнистых пористых сред, предполагающие, что волокна – прямолинейные цилиндры, не могут быть непосредственно применены для описания пористой структуры материалов типа ПТТФ.

С учетом особенностей структуры, вызванных габлировкой волокон, проведена адаптация предполагаемой в литературе статистической модели пористого материала с волокнистой структурой, основанной на распределении Пуассона, когда волокна расположена в плоскости параллельной листу с ориентацией в ней по закону равной вероятности к модели ПТТФ.

Для оценки адекватности предложенной модели были проведены исследования гидравлических свойств 12 различных видов трикотажных полотен ПТТФ. Расчетные значения среднего и максимального диаметра пор, проницаемости и пористости, найденные по уравнениям (16–20), хорошо коррелируют со значениями этих величин, найденными экспериментальным путем. При этом среднее квадратическое отклонение при определении среднего размера пор составляет  $7,64 \cdot 10^{-6}$  м, максимального размера пор –  $7,40 \cdot 10^{-6}$  м, проницаемости –  $1,13 \cdot 10^{-12}$  м<sup>2</sup>, пористости –

$0,0046$  м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>.

Представленная гидравлическая модель трикотажных материалов типа ПТТФ связывает характеристики пористой Среды с проницаемостью и плотностью трикотажа, что позволяет организовать гибкое производство материалов серии ПТТФ в соответствии с запросами потребителей по размеру пор и гидравлическому сопротивлению, а также оптимизировать их практический выбор.

## Обозначения

$A$  – нормировочный коэффициент;  $D_p$  – наиболее вероятный диаметр пор;  $\bar{D}$  и  $D_{\max}$  – средний и максимальный диаметр пор, соответственно;  $d$  – ширина в наиболее узком месте между цилиндрами волокон;  $d_{av}$  – эквивалентный диаметр частиц слоя;  $d_e$  – эквивалентный диаметр порового канала переменного сечения;  $d_e$  – эффективный диаметр пор;  $d_{av}$  – средний диаметр частиц слоя;  $d_v$  – диаметр волокон;  $H$  – длина фрагмента;  $h$  – средняя длина поровых каналов;  $h$  – толщина фильтровального полотна;  $h_0$  – толщина пористого материала;  $L_e$  – длина текстурированного волокна полотна;  $L_0$  – длина прямолинейного волокна;  $L_0$  – длина прямолинейного волокна;  $k$  – проницаемость;  $K$  – константа;  $k'$  – константа;  $r$  – радиус;  $\Delta p$  – перепад давления;  $P(r)$  – функция распределения;  $\bar{r}$ ,  $r_{\max}$ ,  $r_p$  – средний, максимальный и наиболее вероятный радиус пор;  $r$  – радиус цилиндров волокон;  $T$  – извилистость поровых каналов;  $T_v$  – коэффициент упаковки волокон;  $u$  – скорость фильтрации;  $x^{(n)}$  – число наступлений события  $A$  в серии из  $n$  опытов;  $\mu$  – вязкость жидкости;  $\varphi$  – фактор формы;  $\varepsilon$  – пористость;  $\lambda$  – параметр распределения;  $\lambda = \lambda_{s0}$  – характеристика средней плотности распределения центров прямолинейных волокон;  $\lambda_p$  – среднее количество центров в единице объема;  $\phi$  – относительная доля материала;  $\phi$  – объемная доля волокон;  $\psi$  – фактор формы пор;  $\varphi$  – фактор формы элементарных фрагментов волокон;  $\rho_s$  – поверхностная плотность;  $\rho_v$  – объемная плотность полотна;  $\rho_{\text{mat}}$  – объемная плотность нити.

## Литература

1. Ельшин А. И., Путинцев С. А., Петрова В. А. и др. Применение трикотажных материалов в качестве фильтровальных элементов для разделения суспензий // Химическая промышленность (1989), № 2, 137–138
2. Yelshin A. Developing knitted fabric filter media for liquid filtration // Filtration and Separation, 27 (1990), № 3, 169–170
3. Зах И. С., Петрова В. А., Коган М. А. и др. Исследование фильтрационных свойств лавсановых трикотажных полотен при разделении ряда суспензий в производстве мономеров // Синтез и технология мономеров. Сб. научн. трудов ВНИПИМ. Москва: НИИТЭИХИМ (1990) 121–125
4. Коган М. А., Петрова В. А., Диско О. В., Ельшин А. И.

- Трикотажные фильтровальные материалы для суспензий // Текстильные материалы технического назначения и опыт их применения в народном хозяйстве. Тез. докл. Всесоюз. науч.-техн. конф. Москва: ЦНИИТЭИлегпром (1991) 34
5. **Коган М. А., Петрова В. А.** Исследование свойств трикотажных фильтровальных материалов // Совершенствование технологических процессов, оборудования и организации производства в легкой промышленности и машиностроении. Сб. статей в 2 частях. Часть 1. Минск: Універсітэцкае (1994), 80–82
  6. **Фильтровальный материал для суспензий:** а. с. СССР № 1378893, МКИ В 01 D 39/08. БИ (1988), № 9
  7. **Фильтрующий материал для суспензий:** а. с. СССР № 1503863, МКИ В 01 D 3/32. БИ (1989), № 32
  8. **Ельшин А. И., Вегера А. И., Волков В. К., Жаркова О. Н.** Сравнительный анализ отечественных и зарубежных фильтроматериалов. Вести ПГУ (1999)
  9. **Фуке Н. А.** Механика аэрозолей. Москва: АН СССР (1988)
  10. **Vossoughi S., Seyer F. A.** Pressure drop for flow of polymer solution in a model porous medium // Can. J. Chem. Eng., **52** (1974), № 5, 666–669
  11. **Косторнов А. Г., Кириченко О. В., Сахно С. Н., Тымчик Ч. С.** Определение пористости тонких листов волоконных материалов по оптическому коэффициенту пропускания // Порошковая металлургия (1984), № 10, 86–90
  12. **Rollin A. L.** Hydraulic behavior of synthetic non-woven filter fabrics // Can. J. Chem. Eng., **60** (1982), 226–234
  13. **Johnston P. R.** The viscous permeability of a mat of randomly arrayed fibers as a function of fiber diameter and packing density // Fluid / Particle Sep. Journal, **2** (1989), № 1, 15–16
  14. **Yelshin A.** On possibility of using information entropy as a quantitative description of porous media structural characteristics // J. Membr. Sci., **117** (1996), 279–289
  15. **Королюк В. С., Портенко Н. И., Скороход А. В., Турбин А. Ф.** Справочник по теории вероятностей и математической статистике. Москва: Наука (1985)
  16. **Касаткин А. Г.** Основные процессы и аппараты химической технологии. Москва: Химия (1973)
  17. **Дытнерский Ю. И.** Процессы и аппараты химической технологии: Учебник для ВУЗов. Изд. 2-е. В 2-х кн. Часть 2. Массообменные процессы и аппараты. Москва: Химия (1995)
  18. **Громкоголосов А. А., Копылов А. С., Пильщиков А. П.** Водоподготовка: процессы и аппараты. Москва: Энергоатомиздат (1990)
  19. **Cheremisinoff N. P.** Pocket ionic tocket Handbook for Solid Liquid Separations, Houston: GULF (1992), 24–25
  20. **Аэров М. Э., Тодес О. М., Наринский Д. А.** Аппараты со стационарным зернистым слоем. Ленинград: Химия (1979)
  21. **Рудобашта С. П., Тепляков Ю. А.** Расчет коэффициента извилистости и фактора формы при диффузии в однородно-пористых материалах // Пром. теплотехника, **9** (1987), № 1, 61–66
  22. **Рудобашта С. П., Карташов Е. М.** Диффузия в химико-технологических процессах. Москва: Химия (1993)
  23. **Riley M. R. et al.** A simple correlation for predicting effective diffusivities in immobilized cell systems // Biotechnology and Bioengineering, **49** (1996), № 2, 223–227
  24. **Ho F.-G., Strieder W.** A variational calculation of the effective surface diffusion coefficient and tortuosity // Chem. Eng. Sci., **36** (1981), 253–258
  25. **Mauret E., Renaud M.** Transport phenomena in multiparticle systems - I. Limits of a applicability of capillary model in high voidage beds - application to fixed beds of fibers and fluidized beds of spheres // Chem. Eng. Sci., **52** (1997), № 11, 1807–1817
  26. **Millington R. J., Quirk J. P.** Permeability of porous solids // Trans. Faraday Soc., **57** (1961), 1200–1207
  27. **Mota M., Teixeira J. A., Yelshin A.** Tortuosity in bioseparations and its application to food processes // Proceedings of 2-nd European Symposium on biochemical engineering science, Porto, Portugal (1998), 93–98
  28. **Yelshin A., Mota M., Teixeira J.** Porous media behaviours modelling and analysis in separation processes / Proceedings of Int. Conference Filtech Europa-97, Dusseldorf, Germany (1997), 327–334
  29. **Zhang T. C., Bishop L.** Evaluation of tortuosity factors and effective diffusivities in biofilms // Wat. Res., **28** (1994), № 11, 2279–2287
  30. **Жужиков В. А.** Фильтрование. Теория и практика разделения суспензий. Москва: Химия (1971)
  31. **Химический энциклопедический словарь** / Гл. ред. И. Л. Кнунянц. Москва: Сов. Энциклопедия (1983)

Yelshin A. I., Vegera A. I., Petrova V. A.

#### Hydraulic model of knitted filter materials.

Hydraulic model of knitted filter materials is presented. The model gives a possibility to predict average and maximum pore diameter, permeability and porosity basing on information about the material volume density. Predicted and measured data for 12 types of the material with different volume density agree well. The proposed model gives opportunity to choose optimal brand of the filter material taking into account its hydraulic resistance and pore sizes.

Поступила в редакцию 25.05.99.

© А. И. Ельшин, А. И. Вегера, В. А. Петрова, 1999.