

УДК 677.529  
DOI 10.47367/0021-3497\_2021\_1\_25

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ВОЗДУХОПРОНИЦАЕМОСТИ НЕТКАНЫХ ИГЛОПРОБИВНЫХ МАТЕРИАЛОВ

### FORECASTING THE AIR PERMEABILITY OF NONWAVE PLAINSHIP MATERIALS

*А.В. ДЕДОВ, Н.В. ЧЕРНОУСОВА*

*A.V. DEDOV, N.V. CHERNOUSOVA*

(Российский государственный университет имени А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство))

(Russian State University named after A.N. Kosygin (Technologies. Design. Art))

E-mail: dedovs55@rambler.ru

*Исследованы условия применения линейного закона д'Арси для прогнозирования скорости фильтрации воздуха в полотна различной толщины, поверхностной и объемной плотности. Использование линейного закона определяется поверхностной плотностью полотен и толщиной полотен. Определены граничные условия применения линейного закона.*

*The conditions of application of the linear d'Arcy law for predicting the rate of air filtration in canvases of various thickness, surface and bulk density are investigated. The use of linear law is determined by the surface density of the canvases and the thickness of the canvases. The boundary conditions for the application of the linear law are determined.*

**Ключевые слова:** нетканое полотно, воздухопроницаемость, пористость.

**Keywords:** nonwoven fabric, air permeability, porosity.

Прогнозирование воздухопроницаемости полотен при варьировании перепада давления обеспечивает линейный закон д'Арси,

предложенный для оценки влияния напора на скорость фильтрации воды в зерновых слоях [1]. Модель для прогнозирования

скорости фильтрации воздуха в нетканых полотнах имеет вид:

$$w = K \frac{\Delta P}{\eta d}, \quad (1)$$

где  $w$  – скорость фильтрации воздуха, м/с;  $K$  – коэффициент проницаемости, м<sup>2</sup>;  $\Delta P$  – перепад давления воздуха, Па;  $d$  – толщина полотна, м;  $\eta$  – вязкость воздуха, равная  $1,8 \cdot 10^{-5}$  Па·с.

В качестве объектов исследования использовали нетканые иглопробивные полотна, изготовленные из полиэфирного волокна линейной плотности 0,33 текс.

Структурные характеристики полотен представлены в табл. 1 (структурные параметры нетканых полотен и характеристики процесса фильтрации воздуха в полотнах и многослойных материалах, где  $F$  – поверхностная плотность полотна и многослойных материалов;  $\rho$  – объемная плотность полотна;  $d$  – толщина полотна;  $\Delta P_K$  – критический перепад давления воздуха, больше которого экспериментальные значения скорости фильтрации воздуха отклоняются от линейной зависимости  $w$ – $\Delta P$ ;  $K$  – коэффициент проницаемости полотен и многослойных материалов при фильтрации воздуха;  $Re$  – число Рейнольдса).

Т а б л и ц а 1

$F$ , кг/м <sup>2</sup>	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$d \cdot 10^3$ , м	$\Delta P_K$ , Па	$K \cdot 10^{10}$ , м <sup>2</sup>	$Re$
0,503	113,8	4,4	50	7,9	32,5
0,497	128,8	3,9	70	5,6	44,6
0,463	149,9	3,1	90	3,7	82,8
0,242	121,1	2,0	45	6,5	54,0
0,484	121,1	4,0	120	6,3	120,0
0,726	121,1	6,0	—*	5,4	—
0,968	121,1	8,0	—*	5,8	—
0,415	118,6	3,5	75	5,8	70,0
0,830	118,6	7,0	—*	6,3	—
1,245	118,6	10,5	—*	6,8	—
1,660	118,6	14,0	—*	6,6	—

П р и м е ч а н и е. \* – линейная зависимость  $w$ – $\Delta P$  выполняется до максимального перепада давления, равного в условиях эксперимента 160 Па.

Скорость фильтрации воздуха определяли по ГОСТ 12.088–77 на приборе FF-

12/A (Венгрия) при перепаде давления воздуха до 160 Па с шагом изменения – 20 Па.

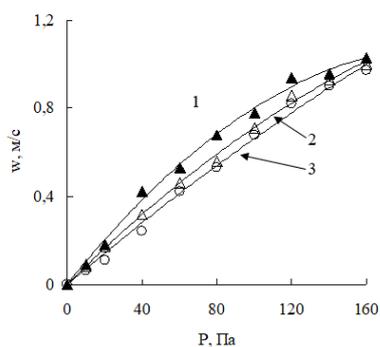


Рис. 1

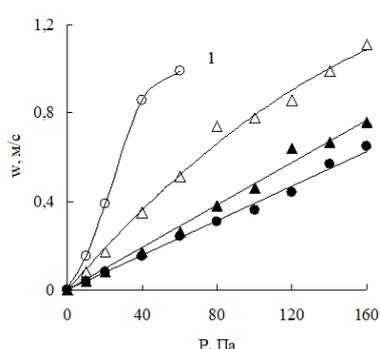


Рис. 2

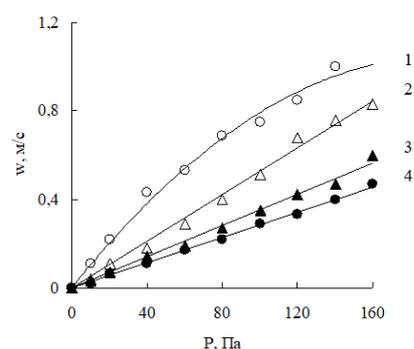


Рис. 3

Из зависимостей  $w$ – $\Delta P$  для многослойных материалов (рис. 2 и 3) следует, что применение линейного закона д'Арси зави-

сит от поверхностной плотности. Для полотен поверхностной плотности больше 0,700 кг/м<sup>2</sup> или толщиной более 6 мм зависимо-

сти  $w-\Delta P$  имеют линейный вид до предельного в условиях эксперимента перепада давления, равного 160 Па. Для полотен и многослойных материалов поверхностной плотности менее  $0,700 \text{ кг/м}^2$  линейный вид зависимостей  $w-\Delta P$  сохраняется до критического перепада давления, больше которого экспериментальные показатели скорости фильтрации отклоняются от линейной зависимости (рис.1...3: рис. 1 – зависимости скорости фильтрации от перепада давления для полотен поверхностной плотности от 0,463 до 0,503  $\text{кг/м}^2$  и объемной плотности 113,8 (1), 128,8 (2) и 149,9 (3)  $\text{кг/м}^3$ , и для полотен постоянной объемной плотности, но отличающихся толщиной и поверхностной плотностью, что достигали сложением образцов полотен между собой (табл. 1, рис. 2 – зависимости скорости фильтрации от перепада давления для полотен объемной плотности 121  $\text{кг/м}^3$ , но различной поверхностной плотности 0,242 (1), 0,484 (2) 0,726 (3) 0,968 (4)  $\text{кг/м}^2$ ) и рис. 3 – зависимости скорости фильтрации от перепада давления для полотен объемной плотности 118,6  $\text{кг/м}^3$  и поверхностной плотности 0,415 (1), 0,830 (2), 1,245 (3) и 1,670 (4)  $\text{кг/м}^2$ ).). Показатели критического перепада давления воздуха для полотен и многослойных материалов представлены в табл. 1.

Для полотен поверхностной плотности 0,463...0,503  $\text{кг/м}^2$  критический перепад давления зависит от объемной плотности, возрастание которой приводит к увеличению критического перепада давления (табл. 1, рис.1).

Для определения режима течения воздуха в порах полотна и многослойных материалов использовали подход, связанный с расчетом числа Рейнольдса ( $Re$ ) из выражения [2]:

$$Re = \frac{\rho_B w_K d_B}{\eta}, \quad (2)$$

где  $w_K$  – критическая скорость фильтрации, м/с, при которой экспериментальные показатели отклоняются от линейных зависимостей  $w-\Delta P$  (рис.1...3);  $d_B$  – диаметр полиэфирных волокон линейной плотности 0,33 текс, равный  $2 \cdot 10^{-5}$  м;  $\rho$  – плотность воз-

духа в порах полотен при критическом перепаде давления,  $\text{кг/м}^3$ , которую рассчитывали из выражения:

$$\rho_B = \frac{1,2 \Delta P_K}{\varepsilon}, \quad (3)$$

где  $\Delta P_K$  – критический перепад давления, Па;  $1,2 \text{ кг/м}^3$  – плотность воздуха при атмосферном давлении;  $\varepsilon$  – коэффициент пористости нетканого полотна, отн.ед.

Рассчитанные значения  $Re$  представлены в табл. 1.

Согласно [3...6] переход от ламинарного к турбулентному режиму течения соответствует условию  $Re > 2300$ . Полученные значения  $Re$  (табл. 1) показывают, что при  $P > \Delta P_K$  или  $w > w_K$  ламинарный режим течения воздуха в порах полотен и многослойных материалов сохраняется, что ограничивает объяснение отклонения экспериментальных результатов от линейной зависимости  $w-\Delta P$  изменением режима течения воздуха. Кроме того, изменение режима течения не объясняет линейные зависимости  $w-\Delta P$  многослойных материалов, полученных сложением между собой полотен, для которых при  $P > \Delta P_K$  наблюдается отклонение экспериментальных результатов от линейной зависимости  $w-\Delta P$  (рис. 2 – зависимости 3,4 и рис. 3 – зависимости 2...4).

## ВЫВОДЫ

1. Применение линейного закона д'Арси зависит от поверхностной плотности нетканых иглопробивных материалов и при поверхностной плотности более  $0,700 \text{ кг/м}^2$  не зависит от объемной плотности и толщины полотен.

2. При поверхностной плотности менее  $0,700 \text{ кг/м}^2$  линейный закон д'Арси применяется до определенного перепада давления, который зависит от толщины, объемной и поверхностной плотности и устанавливается экспериментально.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Шейдеггер А.Э. Физика течения жидкостей через пористые среды. – Ижевск, 2008.

2. Lawrence C.A., Lia P. Relation of Structure, Properties and Performance of Fibrous Media for Gas Filtration // Chem. Eng. Technol. – V.29, №8, 2006. P.957...967.

3. Rawal A. An cross-plane permeability model for needle-punched nonwoven structures// J. of the Textile Institute. – V.46, №6, 2006. P.527...532.

4. Дедов А.В. Применение нелинейного закона Дарси для прогнозирования фильтрации воздуха в иглопробивных нетканых материалах // Пласт. массы. – 2013, №1. С.42...44.

5. Дедов А.В. Оценка воздухопроницаемости иглопробивных материалов // Хим. волокна. – 2006, №3. С. 31...33.

6. Дедов А.В. Влияние пористой структуры нетканых иглопробивных материалов на их проницаемость // Материаловедение. – 2012, №3. С. 33...36.

#### REFERENCES

1. Sheydegger A.E. Fizika techeniya zhidkostey cherez poristye sredy. – Izhevsk, 2008.

2. Lawrence C.A., Lia P. Relation of Structure, Properties and Performance of Fibrous Media for Gas Filtration // Chem. Eng. Technol. – V.29, №8, 2006. R.957...967.

3. Rawal A. An cross-plane permeability model for needle-punched nonwoven structures// J. of the Textile Institute. – V.46, №6, 2006. P.527...532.

4. Dedov A.V. Primenenie nelineynogo zakona Darsi dlya prognozirovaniya fil'tratsii vozdukha v igloprobivnykh netkanykh materialakh // Plast. massy. – 2013, №1. S.42...44.

5. Dedov A.V. Otsenka vozdukhopronitsaemosti igloprobivnykh materialov // Khim. volokna. – 2006, №3. S. 31...33.

6. Dedov A.V. Vliyanie poristoy struktury netkanykh igloprobivnykh materialov na ikh pronitsaemost' // Materialovedenie. – 2012, №3. S. 33...36.

Рекомендована кафедрой химии и технологии полимерных материалов и нанокompозитов. Поступила 03.02.20.