

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ВОЗДУХОПРОНИЦАЕМОСТИ ТКАНЕЙ

А.В. КУЛИЧЕНКО

(Санкт-Петербургский государственный университет технологии и дизайна)

Объектом исследования являлось тканое полотно для построения математической модели процесса его воздухопроницаемости.

Уравнение Блазиуса, описывающее зависимость коэффициента сопротивления λ прохождению жидкости (или газа) через пористые системы, к которым относятся текстильные материалы, от числа Рейнольдса Re , имеет вид:

$$\lambda = A Re^{-n}, \quad (1)$$

где A – показатель, зависящий от структуры материала; n – коэффициент, характеризующий режим течения ($0 \leq n \leq 1$).

Для ламинарного режима течения коэффициент λ зависит только от числа Re и теоретическая формула, вытекающая из закона Пуазейля [1], выглядит так:

$$\lambda = 64 / Re, \quad (2)$$

то есть в уравнении (1) $n = 1$, $A = 64$.

При рассмотрении пористого материала как системы параллельных труб расчет обычно базируется на формуле Пуазейля для одного капилляра. Если пора (капилляр) имеет постоянную по всей длине величину и форму поперечного сечения, число Re для течения в такой поре может быть рассчитано после определения характеристического размера – гидравлического радиуса.

В случае ткани имеет место соизмеримость длины поры и ее поперечника, то есть длина поры не превышает "начального" участка, для которого характерно распределение скоростей, отличающееся от параболического, устанавливаемого при ламинарном режиме течения на расстоянии по данным Шиллера [1]: $L_{нач} = 0,029d Re$.

Кроме того, при оценке сквозной пористости тканой структуры в расчет берется минимальное расстояние между соседними нитями, в то время как величина площади поперечного сечения на входе и выходе поры может быть значительно больше. Этим объясняется, почему при ламинарном режиме течения коэффициент сопротивления λ , рассчитанный по формуле Пуазейля для структур типа сеток, имеет более высокие значения $\lambda_{теор}$, чем значения, полученные экспериментально

[2], которые составляют около 2/3 от рассчитанных по формуле (1):

$$\lambda_{эксп} = 40/Re. \quad (3)$$

Ранее в [3] и [4] на основе уравнения Вейсбаха–Д'Арси с учетом выражения (3), принимая во внимание, что число Рейнольдса

$$Re = \frac{v_{\phi} d_h}{4\nu} \quad (\text{где } v_{\phi} \text{ – скорость}$$

фильтрации; d_h – гидравлический диаметр поры; ν – кинематическая вязкость проходящей через материал среды), представлена разработка теоретической модели, описывающей зависимость скорости фильтрации от перепада давления с учетом характеристик строения материала:

$$v_{\phi} = \Delta P \frac{1}{80\mu} \frac{d_h^2 R_S}{L}, \quad (4)$$

где μ – динамическая вязкость жидкости (газа); R_S – сквозная пористость ткани; L – толщина ткани.

Для экспериментальной проверки разработанной модели исследовано 14 образцов тканей, основные характеристики которых представлены в табл. 1.

Таблица 1

Номер образца	Волокнистый состав	Плотность вещества γ , мг/мм ³	Объемная плотность нитей δ_n , мг/мм ³	Линейная плотность нитей, текс		Абсолютная плотность ткани, нитей/100 мм		Поверхностная плотность ткани, г/м ²
				основы	утка	по основе	по утку	
1	Хл	1,53	0,85	8,3	8,1	410	330	67,0
2	Хл	1,53	0,85	19,0	18,1	350	200	103,8
3	Хл	1,53	0,85	25,4	27,2	270	220	145,0
4	Хл	1,53	0,85	32,8	40,2	160	190	161,5
5	Хл	1,53	0,85	39,0	21,6	330	250	190,2
6	Хл	1,53	0,85	37,1	72,1	340	130	237,3
7	Хл	1,53	0,85	35,2	36,2	270	240	276,3
8	Лен	1,50	0,95	49,0	42,9	160	170	188,5
9	Лен	1,50	0,95	55,6	64,6	200	150	216,6
10	Лен + ВЛс	1,44	0,80	49,6	65,4	300	160	279,9
11	Лен + ВЛс	1,44	0,80	81,7	81,4	160	130	262,8
12	Лен + ВЛс	1,44	0,80	55,4	64,9	180	140	202,9
13	Шрс	1,31	0,75	36,4	32,4	290	230	201,6
14	Шрс – 65 % ВВис – 35 %	1,31 1,52	0,80 0,80	38,4 –	38,4 –	220 –	170 –	145,3 –

С учетом того, что в процессе воздухопроницаемости ткани находятся в несжатом состоянии, их толщина для расчета по формуле (4) определялась на приборе ТЭМ при минимальной величине усилия сжатия 0,2 сН. Сквозная пористость для сравнения определялась тремя методами, описанными в [5].

В случае первого метода сквозная пористость R_S рассчитана по известной формуле

$$R_S = 1 - \frac{d_o \Pi_o + d_y \Pi_y - 10^{-2} d_o d_y \Pi_o \Pi_y}{100} \quad (5)$$

в которой использовались значения диаметров нитей основы d_o и d_y , рассчитанные с учетом приводимых в литературе

данных об объемной массе нитей и полученных значений их линейной плотности T_o и T_y .

В случае второго метода значения R_S рассчитывались по формуле (5), но d_o и d_y определялись их измерением после извлечения нитей из структуры тканей. В случае третьего метода R_S определялась методом планиметрии.

Величины R_S находили с помощью подсчета отношения площади проекции сквозных пор к общей площади рассматриваемого участка ткани, что осуществлялось с применением негативов фотоснимков исследуемых образцов тканей, полученных на электронном сканирующем микроскопе.

Таблица 2

Номер образца	Толщина L, мм $\cdot 10^{-3}$	По методу 1			По методу 2			По методу 3				$V_{\text{эксп}}, \text{ м/с}$
		$d_h', \text{ м} \cdot 10^{-3}$	R_S'	$V_{\text{расч}}, \text{ м/с}$	$d_h'', \text{ м} \cdot 10^{-3}$	R_S''	$V_{\text{расч}}, \text{ м/с}$	R_S'''	N	$d_h''', \text{ м} \cdot 10^{-3}$	$V_{\text{расч}}, \text{ м/с}$	
1	0,191	0,157	0,345	1,493	0,137	0,251	0,830	0,20	1,26	0,122	0,527	0,758
2	0,227	0,173	0,274	1,216	0,135	0,208	0,562	0,11	1,89	0,098	0,157	0,208
3	0,438	0,206	0,223	0,726	0,179	0,171	0,421	0,09	1,90	0,130	0,117	0,166
4	0,516	0,330	0,346	2,457	0,261	0,220	0,977	0,14	1,57	0,208	0,396	0,459
5	0,698	0,093	0,111	0,046	0,109	0,133	0,076	0,12	1,11	0,104	0,062	0,116
6	0,664	0,103	0,113	0,061	0,045	0,037	0,004	0,07	0,53	0,062	0,014	0,048
7	0,629	0,160	0,167	0,229	0,111	0,092	0,061	0,05	1,84	0,082	0,018	0,028
8	0,631	0,358	0,349	0,240	0,256	0,179	0,626	0,09	1,99	0,182	0,159	0,182
9	0,585	0,282	0,254	1,162	0,189	0,135	0,277	0,11	1,23	0,171	0,184	0,381
10	0,626	0,089	0,076	0,032	0,088	0,068	0,028	0,05	1,36	0,075	0,015	0,047
11	0,522	0,355	0,273	2,218	0,260	0,145	0,632	0,11	1,32	0,226	0,363	0,412
12	0,466	0,332	0,286	2,142	0,203	0,123	0,366	0,10	1,23	0,203	0,298	0,350
13	0,520	0,128	0,128	0,136	0,179	0,236	0,489	0,22	1,07	0,173	0,425	0,755
14	0,470	0,259	0,265	1,233	0,228	0,206	0,767	0,09	2,29	0,151	0,146	0,361

Полученные данные представлены в табл. 2, где содержатся значения толщины тканей L, гидравлического диаметра пор d_h , сквозной пористости R_S и расчетных $v_{\text{расч}}$ и экспериментальных $v_{\text{эксп}}$ значений скорости прохождения воздуха при перепаде давления 49 Па.

На основе анализа данных табл. 2 можно заключить следующее.

Результаты определения сквозной пористости R_S тканей и гидравлического

диаметра d_h зависят от выбранного метода их оценки и могут существенно отличаться для одного и того же материала при использовании разных методов. Наименее достоверны данные, полученные по традиционно применяемому расчетному методу (метод 1), который основан на допущении, что поперечник нитей в ткани имеет круглую форму, а достоверность расчетных значений диаметра нитей существенно зависит от выбора табличных значений объ-

емной массы нитей. Метод не учитывает ворсистости нитей.

Результаты определения R_S и d_h по методу 2 отличаются большей достоверностью, хотя здесь так же не учитывается сжатие нитей в структуре ткани и их ворсистость. При непосредственном определении R_S по методу 3 получаемые результаты оценки характеристик структуры наиболее достоверны, что подтверждается результатами регрессивного и корреляционного анализа.

Корреляционный анализ взаимосвязи между экспериментально полученными значениями скорости потока воздуха через ткани $v_{\text{эксп}}$ и значениями $v_{\text{расч}}$, рассчитанными по модели (4) с использованием характеристик пористости, определенных на основе трех рассматриваемых методов, дает следующие результаты:

– при оценке характеристик пористости тканей по методу 1 коэффициент корреляции между экспериментальной (фактической) скоростью воздуха и ее расчетным значением составляет для исследованных объектов $r = 0,463$;

– при оценке характеристик пористости тканей по методу 2 коэффициент корреляции между экспериментальной (фактической) скоростью воздуха и ее расчетным значением составляет $r = 0,677$;

– при оценке характеристик пористости тканей по методу 3 коэффициент корреляции между экспериментальной (фактиче-

ской) скоростью воздуха и ее расчетным значением составляет $r = 0,939$.

ВЫВОДЫ

1. Проведенные экспериментальные исследования характеристик пористости тканей показали существенную значимость выбора методов для их оценки.

2. Полученные данные подтвердили высокую степень соответствия значений скорости потока воздуха через ткани, рассчитанных по разработанной модели с использованием данных о пористой структуре тканей, полученных проекционным методом (метод 3), фактическим значениям скорости потока воздуха, определенных на приборе для оценки воздухопроницаемости.

ЛИТЕРАТУРА

1. Справочник по гидравлике / Под ред. В.А. Большакова. – Киев: Вища школа, 1977. С.31.

2. Кондрацкий Э.В. / Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1972, № 4.

3. Kulichenko A.V., L. van Langenhove. // Journal of the Text. Inst. – 1992, № 1. P. 127...132.

4. Куличенко А.В. Теоретическая оценка взаимосвязи между воздухопроницаемостью и структурой фильтровальных тканей // Межвуз. сб. научн.-исслед. тр. – СПб.: СПГУТД. – 1995. С.142...149.

5. Куличенко А.В. // Химические волокна. – 1995, № 3. С.31...33.

Рекомендована кафедрой материаловедения.
Поступила 25.11.04.