

**В. В. САДОВСКИЙ**, профессор кафедры товароведения непродовольственных товаров УО «Белорусский государственный экономический университет», доктор технических наук, профессор

**Т. А. ГАПОНОВА**, аспирант кафедры товароведения непродовольственных товаров УО «Белорусский государственный экономический университет»

## РАЗРАБОТКА МЕТОДА ОЦЕНКИ ПОРИСТОСТИ ТКАНЕЙ

В данной статье предложен метод определения пористости текстильных материалов, основанный на измерении площади сквозных пор на увеличенных фотографиях образцов тканей в программе Adobe Photoshop CC 2018 и соотношении полученной площади к общей площади фотографии образца. Определено, что воздухопроницаемость полшерстяных камвольных тканей линейно зависит от пористости. Измерив разработанным методом пористость тканей, можно провести косвенную оценку воздухопроницаемости данных материалов – показателя, который установлен для тканей в техническом регламенте Таможенного союза «О безопасности продукции легкой промышленности» (ТР ТС 017/2011).

**Ключевые слова:** определение пористости, текстильные материалы, воздухопроницаемость.

В текстильных изделиях бытового назначения пористость обычно не определяют и никаких показателей или нормативов для этого не существует (исключение составляют специальные фильтровальные материалы). Однако пористость имеет большое эксплуатационное значение для изделий, так как обеспечивает воздухопроницаемость и теплопроводность и таким образом регулирует теплообмен организма человека с окружающей средой.

Известны работы по определению пористости тканей и трикотажа расчетным путем [1–3]. Что касается инструментальных методов, то такие работы отсутствуют.

Предлагаемый метод оценки пористости ткани основан на получении изображений структуры ткани в проходящем через нее перпендикулярно направленном свете, затем определении

площади светлых участков и расчете пористости по отношению площади светлых участков к общей площади изображения.

Для получения изображений структуры тканей использовался переносной USB микроскоп Digital, позволяющий увеличивать изображения в четыре раза (см. рисунок 1). Размер изображения составлял 3,00 x 2,25 мм, что соответствует от 1 до 3 раппортов ткани в зависимости от ее вида.

Подсветка ткани осуществлялась светодиодами, расстановка и схема сборки которых позволяли создавать равномерное освещение исследуемой площадки на образце и регулировать при помощи реостата его яркость (см. рисунок 2). Образец помещался на белую рассеивающую поверхность параллельно плоскости подсветки на высоте 15 мм.

Яркость светового потока подбиралась опытным путем в зависимости от вида изображений тканей. Чем больше светлых участков на фотографии (сквозных пор у ткани), тем меньше устанавливалась яркость подсветки, чтобы предотвратить засветку изображения, и наоборот, чем

## НАУЧНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ

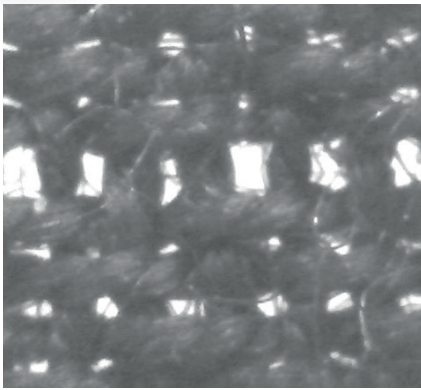


Рисунок 1 – Изображение ткани при 4-кратном увеличении

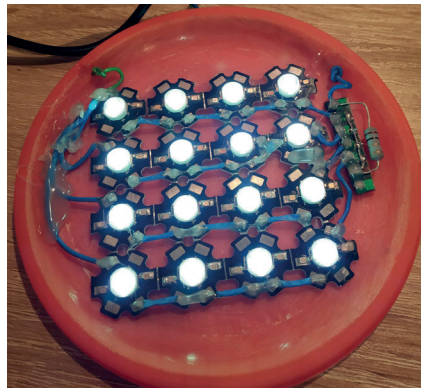


Рисунок 2 – Расстановка светодиодов на основании устройства подсветки

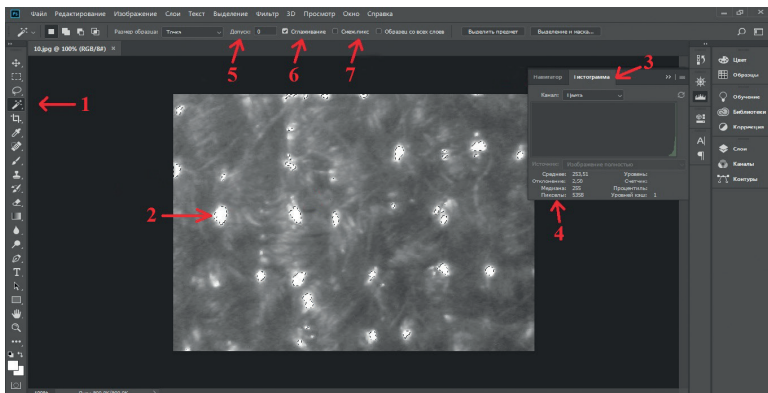
меньше сквозные поры у ткани, тем яркость была больше, чтобы свет смог пройти через толщину ткани. После получения четкого изображения структуры ткани производилась запись ее в память компьютера.

Для удобства и упрощения анализа полученных данных изображения структуры выполнялись в черно-белом формате, что входит в функции переносного микроскопа. Фотографирование структуры на одном образце производилось в десяти близких точках.

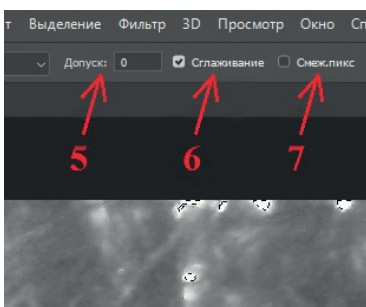
Для подсчета площади сквозных пор использовалась программа Adobe Photoshop CC 2018 [4]. Для этого выполнялись следующие операции. Полученные изображения структуры ткани помещались в интерфейс данной программы, курсором выбирался инструмент «выделение» (1) на рисунке 3, далее при помощи курсора на изображении указывался участок с определенной яркостью (2). В нашем случае – это наиболее светлые участки (поры). После выбора данного участка программа выделяет (путем обрисовки) все участки изображения, имеющие выбранную яркость. Далее, применив инструмент «гистограмма» (3), программа рассчитывает площадь в пикселях всех участков изображения с выбранной яркостью и показывает результат на табло (4).

Если ничего не было выделено, то на табло (4) указывается количество пикселей всего изображения. В нашем случае при размере изображения 640 x 480 пикселей их общее количество составит 307 200 и будет одинаковым для всех изображений.

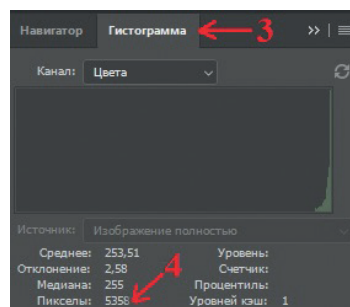
Инструмент «допуск» (5) задает диапазон яркости пикселей с дискретными значениями от 0 до 255. Если вводится значение «0», то программа выделит только те пиксели, яркость которых совпадает с выбранной (2). При указании значения, которое больше или меньше «0», будут выбраны пиксели из более широкого диапазона. Например, если выставить значение 5, то программа, помимо выбранных пикселей, выберет еще те пиксели, которые на 5 оттенков светлее и на 5 оттенков темнее.



а)



б)



в)

Рисунок 3 – Изображение структуры ткани в интерфейсе программы AdobePhotoshop CC 2018: а) – общий вид, б) –панель инструментов, в) – гистограмма

Инструмент «сглаживание» (6) позволяет сглаживать края выделения. Инструмент «смежные пиксели» (7) используется для выделения пикселей одинаковой яркости по всей площади изображения.

Сквозная пористость вычисляется по формуле

$$П = \frac{\sum_{i=1}^{10} N_i}{10 \times N_0} \times 100\%, \quad (1)$$

где  $N_i$  – количество пикселей в выделенных участках с выбранной яркостью на одном изображении образца ткани, шт.;

$\sum_{i=1}^{10} N_i$  – количество пикселей в выделенных участках с выбранной яркостью на 10 различных изображениях одного образца ткани, шт.;

$10 \times N_0$  – общее количество пикселей 10 изображений одного образца ( $N_0 = 307\,200$ ).

Как видно из формулы (1), точность определения пористости ткани зависит от правильности определения количества пикселей в выделенных участках с выбранной яркостью ( $N_i$ ).

По своей природе свет распространяется прямолинейно, если на его пути не встретятся какие-либо препятствия. Значит, для определения пористости логично выбирать самые светлые (яркие) участки на изображении структуры ткани. Однако существует вероятность того, что могут быть не учтены самые маленькие поры

и поры, прикрытые ворсинками нити, площадь которых составляет всего несколько пикселей. Тогда проходящий через эти участки свет будет иметь меньшую яркость, чем была выбрана. В этом случае, если учитывать дополнительно некоторое число значений яр-

кости, меньшей в сравнении с выбранной, другими словами, учитывать величину «допуска», то программа начнет выделять участки изображения тканей на границе пор.

Для проверки данного предположения было проведено исследование, которое заключалось в следующем. Известно, что пористость ткани тесно связана с ее воздухопроницаемостью, следовательно, чем выше теснота этой связи, тем полученное значение пористости более точное. Отталкиваясь от этого заключения, было проведено исследование корреляции между воздухопроницаемостью и пористостью, полученной при значениях «допуска» от 0 до 10, шести образцов тканей одного переплетения (саржа 2/1), характеристики которых представлены в таблице 1. Из них три образца (№ 1, 2, 3) имеют одинаковый волокнистый состав, но различные плотности по основе и утку, и линейные плотности нитей, и три образца (№ 4, 5, 6), состав которых отличается по количеству шерстяных волокон и полиэстера, плотностями по основе и утку, линейными плотностями нитей, а также, в отличие от первых трех образцов, содержат лайкру.

Воздухопроницаемость образцов тканей измерялась прямым способом на приборе

Таблица 1 – Характеристики исследуемых тканей

№ обр	Характеристики исследуемых тканей							
	Состав ткани	Поверхностная плотность ткани, г/м <sup>2</sup>	Кол-во нитей на 10 см ткани		Линейная плотность нитей, текс		Крутка, кол-во кр/м	
			основа	уток	основа	уток	основа	уток
1		184	339	258	28	28	680	680
2	Ш – 45 %, ПЭ – 55 %	192	277	216	36	36	1147	1147
3		214	281	190	42	42	536	536
4	Ш – 43 %, ПЭ – 55 %, л – 2 %	210	260	190	38	42,4	662	649
5	Ш – 33 %, ПЭ – 65 %, л – 2 %	218	248	177	42	46,4	565	669
6	Ш – 20 %, ПЭ – 78 %, л – 2 %	225	231	190	42	46,4	562	658

## НАУЧНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ

для определения воздухопроницаемости текстильных материалов МТ 160 фирмы «Метро-текс». Пористость вычислялась по формуле 1. Диапазон инструмента «допуск» в программе Adobe Photoshop CC 2018 выбирался от 0 до 10. Результаты измерения воздухопроницаемости образцов и их пористости представлены в таблице 2.

Для оценки степени взаимосвязи между воздухопроницаемостью и пористостью с помощью программы MS Excel вычислялись: коэффициент линейной корреляции Пирсона, который показывает характер связи между воздухопроницаемостью и пористостью, коэффициент ранговой корреляции Спирмена, показывающий соответствие рангов пористости и воздухопроницаемости, и коэффициент детерминации, показывающий силу связи между воздухопроницаемостью и пористостью. Вычисление указанных коэффициентов производилось по формуле [5].

Коэффициент линейной корреляции Пирсона

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^6 ((x_i - \bar{x}) \times (y_i - \bar{y}))}{\sqrt{\sum_{i=1}^6 (x_i - \bar{x})^2 \times \sum_{i=1}^6 (y_i - \bar{y})^2}}, \quad (2)$$

где  $x_i$  и  $\bar{x}$  –  $i$ -е и среднее значения выборки значений пористости шести образцов тканей, %;

$y_i$  и  $\bar{y}$  –  $i$ -е и среднее значения выборки значений воздухопроницаемости шести образцов тканей,  $\frac{\text{дм}^3}{\text{м}^2 \times \text{с}}$ ;

$i$  – номер ткани.

Коэффициент ранговой корреляции Спирмена:

$$\rho = 1 - \frac{6 \times \sum d^2}{n \times (n^2 - 1)}, \quad (3)$$

где  $d_x$  и  $d_y$  – ранговое место, присвоенное отдельным значениям переменных в столбце пористости и в столбце воздухопроницаемости образцов тканей (см. таблицу 2) соответственно;

$d^2 = (d_x - d_y)^2$  – квадрат разности между рангами соответствующих значений пористости и воздухопроницаемости образцов тканей;

$n$  – число признаков, участвовавших в ранжировании, равное 6.

Коэффициент детерминации:

$$R^2 = r_{xy}^2, \quad (4)$$

где  $r_{xy}$  – коэффициент линейной корреляции Пирсона.

Результаты вычисленных коэффициентов представлены в таблице 3.

Анализ результатов проведенного исследования показал, что с увеличением значения «допуска» возрастает и значение пористости всех образцов ткани (см. таблицу 2), но при этом коэффициенты взаимосвязи воздухопроницаемости и пористости становятся меньше (см. таблицу 3).

Наиболее высокие значения всех коэффициентов – при «допуске», равном 0. Значения коэффициентов Пирсона (0,997) и Спирмена (1) показывают, что связь между воздухопроницаемостью и пористостью тканей линейная и прямо пропорциональная (ранг значений

Таблица 2 – Значения воздухопроницаемости тканей и их пористости при различных величинах инструмента «допуск»

№ обр	В, $\frac{\text{дм}^3}{\text{м}^2 \times \text{с}}$	Пористость, % при различных значениях «допуска»										
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	99,1	0,89	0,92	0,94	0,97	0,99	1,01	1,03	1,05	1,06	1,08	1,09
2	440,3	7,16	7,28	7,41	7,53	7,64	7,72	7,78	7,84	7,90	7,95	7,98
3	140,3	1,44	1,48	1,52	1,56	1,59	1,63	1,65	1,68	1,70	1,71	1,73
4	106,2	1,29	1,33	1,38	1,42	1,46	1,49	1,52	1,55	1,57	1,59	1,60
5	103,6	1,25	1,30	1,34	1,37	1,39	1,42	1,43	1,45	1,47	1,48	1,49
6	99,7	1,17	1,24	1,29	1,33	1,36	1,39	1,42	1,44	1,46	1,48	1,50

Таблица 3 – Значения коэффициентов взаимосвязи воздухопроницаемости и пористости тканей при различном значении инструмента «допуск»

«Допуск»	Коэффициент линейной корреляции Пирсона, $r_{xy}$	Коэффициент ранговой корреляции Спирмена	Коэффициент детерминации, $R_2$
0	0,9970	1	0,9940
1	0,9967	1	0,9934
2	0,9965	1	0,9930
3	0,9965	1	0,9930
4	0,9964	1	0,9929
5	0,9964	1	0,9929
6	0,9964	1	0,9929
7	0,9964	1	0,9929
8	0,9964	1	0,9929
9	0,9964	0,94	0,9928
10	0,9964	0,94	0,9928

воздухопроницаемости соответствует рангу значений пористости). Значение коэффициента детерминации (0,994) говорит о высокой связи между воздухопроницаемостью и пористостью.

Уравнение связи воздухопроницаемости и пористости исследуемых образцов имеет вид

$$V = 55,6 \times P + 42,6, \quad (5)$$

где  $V$  – воздухопроницаемость тканей,  $\frac{дм^3}{м^2 \times с}$ ;

$P$  – пористость тканей, %.

Данное уравнение можно применять для расчета воздухопроницаемости камвольных полушерстяных тканей саржевого переплетения по величине пористости, полученной предлагаемым методом.

Таким образом, разработан метод оценки пористости тканей, основанный на измерении площади сквозных пор на увеличенных фотографиях образцов тканей в программе Adobe Photoshop CC 2018 и соотношения полученной площади к общей площади фотографии образца.

Измеренные предлагаемым методом значения пористости для ряда полушерстяных камвольных тканей саржевого переплетения, имеющих различный

волокнистый состав и плотности по основе и утку, линейно коррелируют с воздухопроницаемостью этих тканей. Это позволяет применять предлагаемый метод не только для измерения пористости, но и для косвенной оценки воздухопроницаемости названных тканей. Он может быть широко использован в условиях производства, поскольку не требует трудоемких затрат, специальной подготовки кадров и дорогостоящего оборудования.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- Куличенко, А. В. Разработка моделей и экспериментальных методов изучения воздухопроницаемости текстильных материалов: автореф. дисс. ... д-ра техн. наук : 05.19.01 / Куличенко, А. В. – СПб, 2005. – 40 с.
- Пивкина, С. И. Разработка технологии трикотажных полотен и изделий из титановых нитей для эндопротезов: автореф. дисс. ... канд. техн. наук : 05.19.02/ Пивкина. – М., 2016. – 17 с.
- Зими́на, Е. М. Проектирование трикотажных полотен основовязанных переплетений для функциональной спортивной одежды : автореф. дисс. ... канд. техн. наук : 05.19.02 / Зими́на, Е. М. – М., 2002. – 16 с.
- Шафлботэм, Р. Photoshop CC для начинающих / Роберт Шафлботэм. – М. : Издательство «Э», 2017. – 272 с.
- Орлов, А. И. Прикладная статистика : учебник для вузов / Орлов, А. И. – М. : Экзамен, 2004. – 483 с.

**SUMMARY**

**V. V. Sadovsky, T. A. Gaponova**

The authors of this paper proposed a method for determining the porosity of the textile materials, based on the measurement of the area of through pores in the enlarged photographs of tissue samples in the program Adobe Photoshop CC 2018 and dividing this area to the total area of the sample photos. It is determined that the air permeability of half-woolen worsted fabric is linearly dependent on the porosity. Measuring method developed by the porosity of fabrics can be made indirect assessment of air permeability of these materials.

Поступила в редакцию 31.01.2020.