

УДК [677.075:61]:677.075.017

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ВОЗДУХОПРОНИЦАЕМОСТИ ТРИКОТАЖНЫХ ПОЛОТЕН С ЭЛАСТОМЕРНЫМИ НИТЯМИ ПРИ РАСТЯЖЕНИИ

д-р т.н., доц. А. А. Кузнецов, ассист. Н. Л. Надёжная,
к.т.н., доц. А. В. Чарковский (Учреждение образования «Витебский
государственный технологический университет»)
e-mail: nata.shel@gmail.com

Разработана математическая модель прогнозирования коэффициента воздухопроницаемости трикотажа с эластомерными нитями в зависимости от деформации растяжения и характеристик структуры.

Ключевые слова: высокоэластичный трикотаж, эластомерные нити, воздухопроницаемость трикотажа.

Введение в структуру трикотажа эластомерных нитей позволяет создавать высокоэластичные плотнооблегающие изделия бытового, спортивного и медицинского назначения. В особую группу можно выделить компрессионные трикотажные изделия, оказывающие дозированное давление на участки тела человека, применяемые для профилактики и лечения ряда заболеваний варикозного расширения вен, последствий ожогов, послеоперационных и посттравматических отеков. Данные изделия, как правило, имеют длительный непосредственный контакт с кожей человека, в связи с этим показатели физико-гигиенических свойств компрессионных изделий в значительной степени определяют их качество. К числу важнейших свойств материалов для одежды, характеризующих их комфортность и безопасность, относится воздухопроницаемость.

Метод определения воздухопроницаемости трикотажных полотен в соответствии с действующими техническими нормативными правовыми

актами предусматривает их испытание в недеформированном состоянии, в то же время трикотаж при эксплуатации плотнооблегающих изделий находится в состоянии растяжения. Также следует отметить, что трикотаж обладает большей подвижностью структуры по сравнению с другими текстильными полотнами, что обуславливает наличие больших деформаций при приложении растягивающих нагрузок. В связи с этим результаты стандартных испытаний не могут дать объективной и полной информации о действительной величине воздухопроницаемости трикотажа в реальных условиях эксплуатации. Таким образом, проведение экспериментально-аналитических исследований в данной области является актуальной научно-практической задачей.

На основе анализа ранее проведенных исследований воздухопроницаемости текстильных материалов [1–9] можно отметить следующее:

теоретические модели зависимости коэффициента воздухопроницаемости материала от параметров его строения и условий испытаний, успешно применяемые для тканей, не

*Статья включена в авторской редакции.

получили широкого распространения для трикотажа, что обусловлено, вероятно, его более сложной структурой;

оценка зависимости воздухопроницаемости трикотажа от деформации осуществляется на основе эмпирического анализа экспериментальных данных, который обладает существенными недостатками: отсутствие физического обоснования получаемых моделей, а также необходимость значительных временных затрат на проведение испытаний;

отсутствуют возможности прогнозирования воздухопроницаемости трикотажа, содержащего эластомерные нити.

Целью исследований, представленных в данной работе, является разработка математической модели прогнозирования воздухопроницаемости трикотажа с эластомерными нитями в зависимости от деформации растяжения и характеристик структуры.

В качестве объекта исследования использовался кулирный одинарный высокоэластичный трикотаж на базе переплетения кулирная гладь (рис. 1), в котором по типу платированной петли совместно провязывается нить грунта I и эластомерная нить II. Эластомерная нить при вязании подается с некоторым удлинением, поэтому в процессе перехода трикотажа в условно равновесное состояние данная нить вследствие собственной упругости стремится сократиться до исходной длины. Это приводит к перестроению петельной структуры: уменьшению петельного шага A и высоты петельного ряда B , и, соответственно, площади петли и сквозной пористости, по сравнению с соответствующими параметрами трикотажа, выработанного из малорастяжимых нитей. Возможен случай, когда трикотаж в условно равновесном состоянии имеет максимально плотную структуру: игольные

и платинные дуги петель сомкнуты, а также сомкнуты петельные палочки. При этом трикотаж достигает условно равновесного состояния, но эластомерная нить находится в его структуре в растянутом состоянии.

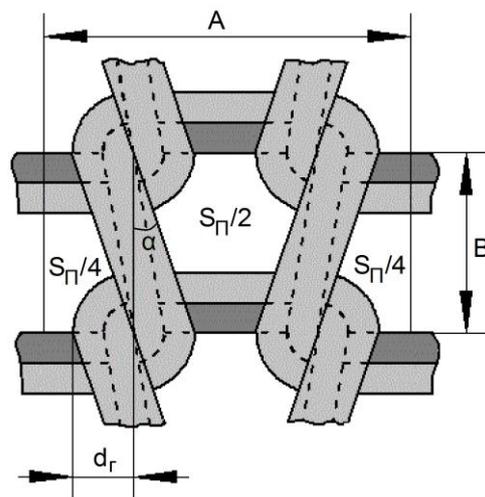


Рис. 1. Геометрическая модель петли исследуемого трикотажа в состоянии растяжения в ширину

Таким образом, в связи с перестроением петельной структуры воздухопроницаемость трикотажных полотен с эластомерными нитями ниже, по сравнению с воздухопроницаемостью полотен, выработанных из малорастяжимых нитей.

Вследствие того, что трикотажное полотно имеет пористую структуру, выражение для коэффициента воздухопроницаемости B , $\text{м}^3/(\text{с}\cdot\text{м}^2)$, можно представить в следующем виде:

$$B = v \frac{S_{II}}{S} = v R_S, \quad (1)$$

где v – линейная скорость движения воздуха в поре, при постоянном перепаде давления, $\text{м}/\text{с}$; S – площадь элемента структуры трикотажа, м^2 ; S_{II} – площадь сквозных пор в элементе структуры трикотажа, м^3 ; R_S – сквозная пористость трикотажа.

По формуле Вейсбаха-Дарси взаимосвязь между перепадом давления ΔP , Па, и скоростью движения воздуха в поре будет иметь вид [12]:

$$\Delta P = \lambda \frac{\rho v^2}{2} \cdot \frac{L}{d_h}, \quad (2)$$

где λ – коэффициент потерь на трение; ρ – плотность воздуха, кг/м³; L – длина поры, м; d_h – гидравлический диаметр поры, м.

Коэффициент потерь λ при ламинарном режиме движения связан с числом Рейнольдса Re следующим соотношением:

$$\lambda = K / Re, \quad (3)$$

где K – числовой коэффициент, значение которого зависит от профиля сечения потока.

Выражение для числа Рейнольдса имеет вид:

$$Re = \frac{v \rho r_h}{\mu} = \frac{v \rho d_h}{4\mu}, \quad (4)$$

где $r_h = d_h / 4$ – гидравлический радиус поры, м; $\mu = 1.82 \cdot 10^{-5}$ Па·с – динамическая вязкость воздуха.

С учетом соотношений (2), (3) и (4), выражение для скорости воздуха в порах материала:

$$v = \frac{\Delta P \cdot d_h^2}{2K\mu L}. \quad (5)$$

Подставив выражение (5) в соотношение (1), получим:

$$B = \frac{\Delta P}{2\mu} \cdot \frac{d_h^2 \cdot R_s}{K \cdot L}. \quad (6)$$

Таким образом, коэффициент воздухопроницаемости B определяется

параметрами строения материала d_h , R_s , L и K , а также параметрами, зависящими от условий испытаний ΔP и μ .

Анализ геометрической модели трикотажа позволяет определить параметры строения. Выделим в структуре трикотажа элементарное звено (петлю), упрощенная геометрическая модель которой представлена на рис. 2. При анализе структуры и разработке модели были приняты следующие допущения:

в расчетных формулах поперечные размеры грунтовой и эластомерной нити характеризуются расчетным диаметром, одинаковым на всех участках петли;

в зоне взаимодействия грунтовой и эластомерной нити (у оснований петельных дуг и палочек) имеет место плотная упаковка структуры: эластомерная нить располагается между волокнами нити грунта;

конфигурация и размеры игольной и платинной дуг петли идентичны;

при растяжении трикотажа растяжимостью в длину нити грунта можно пренебречь ввиду ее малости по сравнению с растяжимостью в длину эластомерной нити;

при расчете сквозной пористости трикотажа сквозная пористость нитей не учитывается.

По геометрической модели петли трикотажа получены соотношения для площади элемента структуры (петли) S , площади S_{II} и периметра P_{II} сквозных пор в элементе структуры трикотажа, с учетом которых выражения для сквозной пористости R_s и гидравлического диаметра поры имеют следующий вид:

$$R_s = \frac{Ad_r - 2d_r^2 \operatorname{tg} \alpha - (\pi - 2\alpha)d_r^2 + (A - 2d_r)(B - 2d_r)}{AB}; \quad (7)$$

$$d_h = \frac{4S_{II}}{P_{II}} = 4 \frac{Ad_{\Gamma} - 2d_{\Gamma}^2 \operatorname{tg} \alpha - (\pi - 2\alpha)d_{\Gamma}^2 + (A - 2d_{\Gamma})(B - 2d_{\Gamma})}{2A - 8d_{\Gamma} + 4d_{\Gamma} \operatorname{tg} \alpha + (2\pi - 4\alpha)d_{\Gamma} + \frac{4(B - 2d_{\Gamma})}{\cos \alpha}}, \quad (8)$$

где d_{Γ} – диаметр нити грунта, м;
 $\alpha = \operatorname{arctg} \frac{d_{\Gamma}}{B}$ – угол наклона петель-
 ных палочек к направлению петельных
 столбиков трикотажа, рад.

При растяжении трикотажа в на-
 правлении петельных рядов петельный
 шаг A будет зависеть от деформации
 по ширине ε :

$$A = A_0(1 + \varepsilon), \quad (9)$$

где A_0 – петельный шаг трикота-
 жа в недеформированном состоянии.

Предположим, что сокращение
 трикотажа вдоль петельных столбиков
 при растяжении в направлении петель-
 ных рядов незначительно, следова-
 тельно, можно приближенно принять
 $B \approx B_0$.

Учитывая соотношения (6–9), а
 также принимая длину поры $L \approx 2d_{\Gamma}$,
 математическая модель, описывающая
 зависимость коэффициента воздухо-
 проницаемости исследуемого трикота-
 жа от деформации растяжения по ши-
 рине имеет следующий вид:

$$B = \frac{4\Delta P(A_0(1 + \varepsilon)d_{\Gamma} - 2d_{\Gamma}^2 \operatorname{tg} \alpha - (\pi - 2\alpha)d_{\Gamma}^2 + (A_0(1 + \varepsilon) - 2d_{\Gamma})(B_0 - 2d_{\Gamma}))^3}{K\mu d_{\Gamma} A_0 B_0 (1 + \varepsilon) \left(2A_0(1 + \varepsilon) - 8d_{\Gamma} + 4d_{\Gamma} \operatorname{tg} \alpha + (2\pi - 4\alpha)d_{\Gamma} + \frac{4(B_0 - 2d_{\Gamma})}{\cos \alpha} \right)^2}. \quad (10)$$

Анализ геометрической модели
 структуры трикотажа, представленной
 на рис. 1, позволяет отметить, что ко-
 эффициент, зависящий от сечения по-
 тока $K = 53$ [10].

Для оценки возможности использо-
 вания математической модели (10)
 проведены экспериментальные иссле-
 дования коэффициента воздухопро-
 ницаемости трикотажных полотен
 на базе переплетения кулирная
 гладь, в котором по типу платирован-
 ной петли совместно провязывается
 нить грунта и эластомерная нить. Па-
 раметры петельной структуры иссле-
 дуемых полотен представлены в
 табл. 1. Трикотажные полотна № 1–4
 предназначены для бельевых изделий,
 трикотажное полотно № 5 использует-
 ся для изготовления компрессионных
 медицинских изделий.

Исследования воздухопроницае-
 мости проводились при значении пере-
 пада давления $\Delta P = 49$ Па на приборе

ВПТМ-2. Для полотен бельевого на-
 значения диапазон изменения относи-
 тельной деформации по ширине ε
 составлял от 0 до 0,2, а для трикотажного
 полотна, предназначенного для ком-
 прессионных медицинских изделий –
 от 0 до 1. Результаты математического
 моделирования коэффициента возду-
 хопроницаемости образцов трикотаж-
 ных полотен № 1–5 при растяжении в
 направлении петельных рядов с ис-
 пользованием модели (10) и результа-
 ты экспериментальных исследований
 представлены на рис. 2.

На основе анализа результатов
 экспериментальных исследований и
 моделирования установлен закономер-
 ный характер увеличения коэффициен-
 та воздухопроницаемости исследуемых
 трикотажных полотен с эластомерны-
 ми нитями при увеличении деформа-
 ции растяжения вдоль петельных ря-
 дов.

Таблица 1. Параметры петельной структуры исследуемых полотен

№ образца	Вид сырья и линейная плотность нити грунта	Вид сырья и линейная плотность эластомерной нити	Параметры петельной структуры		
			петельный шаг A_0 , мм	высота петельного ряда B_0 , мм	диаметр нити грунта d_r , мм
1	Хлопок 11,8 текс	Спандекс 2,2 текс	0,5	0,454	0,139
2	Вискоза 21 текс	Спандекс 2,2 текс	0,667	0,56	0,189
3	Хлопок 16,5 текс	Спандекс 3,3 текс	0,606	0,416	0,162
4	Хлопок 16,5 текс	Спандекс 2,2 текс	0,588	0,526	0,162
5	Хлопок 16,5 текс	Спандекс 8 текс	0,59	0,357	0,162

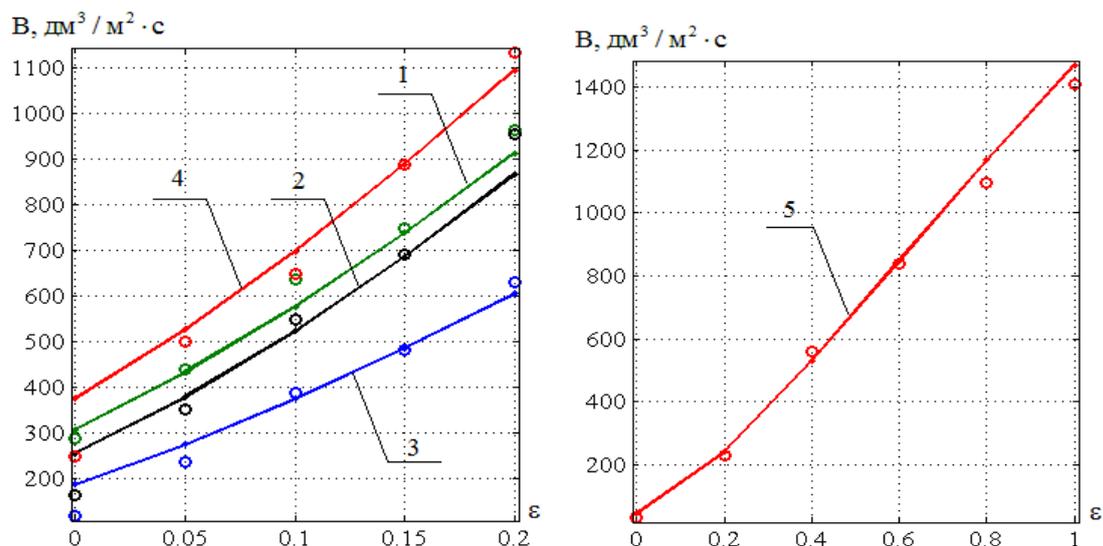


Рис. 2. Зависимость коэффициента воздухопроницаемости B исследуемых трикотажных полотен от деформации растяжения

вдоль петельных рядов ε :

1 – образец № 1; 2 – образец № 2; 3 – образец № 3; 4 – образец № 4;
 5 – образец № 5 (точки – результаты эксперимента, линии – результаты расчета с использованием модели (10))

Численные значения коэффициента детерминации R^2 модели (13) для всех образцов трикотажных полотен находятся в пределах от 0,95 до 0,99, что свидетельствует о ее достоверности и возможности применения для прогнозирования коэффициента возду-

хопроницаемости трикотажных полотен исследуемой структуры в зависимости от деформации растяжения вдоль петельных рядов, т.е. в условиях близких к реальным условиям эксплуатации плотнооблегающих изделий.

Список литературы

1. Спорыхина В. И., Курденкова А. В., Шустов Ю. С. Определение зависимости воздухопроницаемости ткани от характеристик ее строения [Текст] // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2006.– №1.– С. 27–30.
2. Куличенко А. В. Теоретический анализ, расчет и прогнозирование воздухопроницаемости текстильных полотен [Текст] // Химические волокна. – 2005.– № 5 – С. 47–54.
3. Куличенко, А. В. Разработка моделей и экспериментальных методов изучения воздухопроницаемости текстильных материалов [Текст] : автореф. дис. на соиск. учен. степ. д-ра техн. наук: 05.19.01 / Куличенко Анатолий Васильевич. – М., 2005. – 40 с.
4. Ogulata R. T., Mavruz S. Investigation of Porosity and Air Permeability Values of Plain Knitted Fabrics [Text] // Fibres and Text. East. Eur. – 2010. – Vol.18.– № 5. – P. 71–73.
5. Сухарев М. И., Куличенко А. В., Новодворская А. М. О взаимосвязи между деформацией и воздухопроницаемостью текстильных полотен [Текст] // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1979.– №6.– С. 115–117.
6. Веселов В. В., Колотилова Г. В., Степков И. М. Исследование воздухопроницаемости текстильных материалов при двухостном растяжении [Текст] // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1980.– №6.– С. 9–11.
7. Marmarali A. B. Dimensional and Physical Properties of Cotton/Spandex Single Jersey Fabrics [Text] // Textile Research Journal. – 2003. – Vol. 73. – № 1. – P. 11–14.
8. Tezel S. Experimental Investigation of Effects of Spandex Brand and Tightness Factor on Dimensional and Physical Properties of Cotton/Spandex Single Jersey Fabrics [Text] // Textile Research Journal. – 2008. – Vol. 78. – № 11. – P. 966–976.
9. Sadek R., El-Hossini A. M., Eldeeb A. S., Yassen A. A. A Effect of Lycra Extension Percent on Single Jersey Knitted Fabric Properties [Text] // Journal of Engineered Fibers and Fabrics. – 2012. – Vol. 7. – № 2. – P. 11–16.
10. Альтшуль А. Д., Киселев П. Г. Гидравлика и аэродинамика (основы механики жидкости) [Текст] – М.: Издательство литературы по строительству, 1965. – 275 с.

PROGNOSIS AIR PERMEABILITY OF KNITTED FABRICS WITH
ELASTOMERIC YARNS UNDER EXTENSION

A. A. Kuznetsov, N. L. Nadyozhnaya, A.V. Charkovsky
(Vitebsk State Technological University)
e-mail: nata.shel@gmail.com

This article is dedicated to the development of the model of prognosis air permeability of knitted fabrics with elastomeric yarns under extension and characteristics of the structure.

Key words: elastomeric knit fabric, elastomeric yarns, air permeability of knitted fabrics.