

УДК 677.025

Л.Є. ГАЛАВСЬКА

Київський національний університет технологій та дизайну

**ТЕОРЕТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОГНОЗУВАННЯ ПОВІТРОПРОНИКНОСТІ
КУЛІРНОГО ТРИКОТАЖУ**

У статті запропоновано теоретичну залежність для визначення швидкості фільтрації повітря крізь елемент структури кулірного трикотажу (петлю). Дана математична залежність дає змогу прогнозувати рівень повітропроникності кулірного трикотажу відповідно до заданих параметрів структури та виду сировини, з якого його вироблено

Ключові слова: *повітропроникності кулірного трикотажу, залежність, елемент структури*

Гігієнічність матеріалу для одягу визначається його можливістю забезпечити евакуацію з підодягового простору продуктів життєдіяльності організму людини. Тому однією з найважливіших функцій текстильних матеріалів в одязі є їх здатність бути проникними для речовин, що перебувають у газоподібному й рідкому стані. При створенні трикотажних полотен функціонального призначення слід звернути увагу на можливість формування фізико-гігієнічних властивостей, які забезпечують подальший рівень комфортності, ще на етапі їх проектування. До числа однієї з важливих характеристик матеріалів, що забезпечують комфортність одягу належить повітропроникність. Зазначений показник значною мірою визначає стан підодягового мікроклімату, від якого залежать процеси теплообміну в одягненої людини, а отже, її самопочуття та працездатність.

Об'єкти та методи дослідження

Об'єктом досліджень є процес встановлення теоретичної залежності для визначення швидкості фільтрації повітря крізь елемент структури кулірного трикотажу петлю. У роботі використано теоретичний метод аналізу та синтезу.

Постановка завдання

Повітропроникність трикотажу залежить від розміру й форми пор між нитками, виду його петельної структури, товщини й стану поверхні, виду сировини, її крутки і т.д. Чим більша пористість, тобто чим менше показник заповнення, тим більша повітропроникність, і навпаки. При однаковому поверхневому заповненні трикотаж у залежності від виду переплетення матиме різну повітропроникність. Збільшенням товщини й ворсистості поверхні трикотажного полотна призводить до зменшення повітропроникності. Крутка визначає щільність ниток і розмір їх поперечного перерізу. З підвищенням крутки щільність збільшується, діаметр нитки зменшується і, як наслідок, повітропроникність трикотажу зростає. Ступінь впливу волокнистого складу матеріалів на повітропроникність залежить від їхньої пористості. У тих випадках, коли наскрізна пористість досить висока, домінуючими факторами впливу на повітропроникність незалежно від волокнистого складу є характеристики будови матеріалів. Встановлено, що частка об'єму повітря, що проходить крізь нитки, в щільних текстильних матеріалах може становити до 10 % від загального об'єму повітря й зменшується зі збільшенням пористості. Результати робіт присвячених дослідженню впливу вологості матеріалів на їхню повітропроникність свідчать про те, що майже в усіх текстильних матеріалів зі збільшенням їхньої вологості повітропроникність зменшується. Для більш щільних текстильних матеріалів відносно

зменшення повітропроникності більше, ніж для менш щільних.

Роботи, присвячені вивченню характеру впливу різноманітних факторів на величину фільтрації текстильних матеріалів, можна розділити за напрямками досліджень на три групи. Першу групу складають, як правило, роботи раннього періоду, які присвячені вивченню впливу виду та складу сировини, з якого вироблено текстильний матеріал, на швидкість фільтрації. Наступна група робіт присвячена дослідженням впливу структури текстильного матеріалу різних способів виготовлення й обробки на його повітропроникність. Недоліком зазначеної групи робіт є те, що їх автори пропонують емпіричні залежності, які є справедливими для текстильних матеріалів певної структури з певного виду сировини. Відсутній системний підхід до вирішення проблеми встановлення взаємозв'язку між швидкістю фільтрації, величиною перепаду тиску та характеристиками структури текстильного матеріалу. Автори третьої групи робіт роблять спроби встановити теоретичні залежності з визначення проникності пористих матеріалів в залежності від їх структури. Супрун Н.П. [1] запропоновано динамічну модель ізотермічної фільтрації повітря малої вологості через багаточарові пористі структури. Автором встановлено залежності провідності від швидкості фільтрації повітря в пакетах бар'єрного одягу як квазілінійні узагальнення закону Дарсі. У роботі Куліченко А.В. [2] експериментально підтверджено, що для текстильних матеріалів, зокрема тканин і трикотажу характерним є ламінарний режим фільтрації. Автором розвинуто теоретичні уявлення про процес проходження повітря крізь текстильний матеріал та вперше розроблено теоретичну модель, що дозволяє на підставі інформації про будову тканини та в'язкості середовища, що проходить крізь неї, прогнозувати її проникність. Дана модель не може бути використана для трикотажної структури оскільки, як відомо, елементом структури трикотажу є петля. Внаслідок особливостей структуроутворення в зазначеному елементі формується дві наскрізні пори в області голкової та платинної дуг петлі [3]. Форма наскрізних пор є невизначеною і їх розмір є величиною перемінною, що залежить не лише від параметрів режиму в'язання, а й від властивостей сировини та особливостей структуроутворення. Розробка теоретичної моделі, що описує взаємозв'язок між швидкістю фільтрації, особливостями структуроутворення трикотажу та властивостями сировини представляє інтерес з точки зору можливості прогнозування рівня повітропроникності трикотажу ще на етапі його проектування. Вирішення даної задачі дозволить проектувати трикотажні полотна з заданими фільтраційними властивостями.

Результати та їх обговорення

У результаті наявності пор в структурі текстильних матеріалів їх відносять до пористих систем. У процесі проходження рідини (або газу) через пористі системи частина енергії витрачається на подолання опору перешкоди (тертя рідини чи газу об перешкоду), а інша на подолання інерційних зусиль. Саме від величини цих витрат залежить швидкість фільтрації.

Якщо розглядати рух повітря через пору текстильного матеріалу, як рух малов'язкої рідини у трубах, то величина втрат напора на тертя може залежати від наступних факторів: діаметра труби (еквівалентний діаметр пори); довжини труби (товщина матеріалу); густини повітря; в'язкості повітря; середньої швидкості протікання у трубі (пори); середньої висоти виступів (шорсткості) на стінках труби (у нашому випадку ворсистість пряжі чи ниток). У технічній літературі з гідравліки [4] описані два можливі режими протікання: упорядкований (або ламінарний); неупорядкований (або турбулентний). Ламінарний рух рідини або газу можливий при русі у трубах малого діаметра з відносно малими швидкостями. Вперше

загальні умови, при яких можливе існування ламінарного або турбулентного режимів та перехід від одного до іншого встановлені Рейнольдсом. Стан (або режим) потоку в трубі пов'язаний з безрозмірним параметром числом Рейнольдса Re , який враховує основні фактори, що визначають характер руху: середню швидкість протікання V ; діаметр труби d ; густину рідини або газу ρ ; абсолютну в'язкість рідини або газу μ . З урахуванням формули для визначення еквівалентного діаметра пор текстильного матеріалу як пористого тіла, запропонованої Куліченко А.В. [2], число Рейнольдса визначається за наступною залежністю:

$$Re = \frac{V}{\nu} \cdot d_{екв} = \frac{V}{\nu} \cdot d_{\epsilon} \cdot \left(\frac{\delta_{\epsilon} \cdot S_{проби} \cdot h}{M_{проби}} - 1 \right), \quad (1)$$

де ν – кінематична в'язкість повітря, м²/с; $M_{проби}$ – маса частини проби, через яку протікає повітря, мг; $S_{проби}$ – площа проби, мм; h – товщина матеріалу, мм; δ_{ϵ} – об'ємна маса волокна, мг/мм³; d_{ϵ} – діаметр волокна, який розраховують за відомою формулою, мм.

Умовою збереження ламінарного режиму протікання рідини (газу) крізь пористу систему є величина критичного значення числа Рейнольдса, тобто за умови, коли число Re не перевищує критичного значення, справедливим є закон Дарсі щодо лінійного характеру залежності $V = f(P)$. У роботі [2] експериментально підтверджено, що протікання повітря крізь текстильні матеріали має ламінарний характер. У випадку довільної форми пори, крізь яку протікає рідина чи газ, число Рейнольдса Re визначається з урахуванням гідравлічного радіусу пори:

$$Re = \frac{V \cdot r_h}{\nu}, \quad (2)$$

де r_h – гідравлічний радіус пори, відношення площі поперечного перерізу пори S до її периметра Π .

При повному «змочуванні» усього поперечника пори середовищем, що рухається, співвідношення між гідравлічним радіусом та діаметром пори має наступний вигляд:

$$r_h = d_h / 4, \quad (3)$$

де d_h – гідравлічний діаметр пори

$$d_h = 4 \cdot (S / \Pi)$$

Тоді рівняння для визначення числа Рейнольдса матиме наступний вигляд:

$$Re = \frac{V \cdot d_h}{4 \cdot \nu}. \quad (4)$$

Для ламінарного режиму протікання рідини (газу) у разі моделі, що представляє систему паралельних труб, коефіцієнт опору λ залежить лише від числа Re і тоді теоретична формула для визначення гідравлічного коефіцієнта тертя λ , що витікає з закону Пуазейля має наступний вигляд [5]: $\lambda = 64/Re$. У роботі [2] виявлено відхилення величини опору λ , розрахованого за формулою Пуазейля від одержаного експериментальним шляхом [6] та запропоновано наступну залежність, що описує взаємозв'язок між опором та числом Рейнольдса для текстильних структур при ламінарному режимі протікання повітря: $\lambda_{екс} = 40/Re$.

Універсальна формула Вейсбаха-Дарсі для визначення перепаду тиску при ламінарному режимі протікання рідини чи газу крізь пору має наступний вигляд:

$$\Delta P = \lambda \cdot \frac{\rho \cdot V^2}{2} \cdot \frac{L}{d_h}, \quad (5)$$

де L – товщина пористого матеріалу, мм;

Використовуючи запропоновану у роботі [2] залежність, що описує взаємозв'язок між гідравлічним коефіцієнтом тертя λ і числом Re ($\lambda = 40/Re$), та формулу (4) для визначення числа Рейнольдса одержуємо:

$$\lambda = \frac{160 \cdot v}{V \cdot d_h}. \quad (6)$$

Підставивши значення гідравлічного коефіцієнту тертя у формулу (5) одержуємо наступну залежність для визначення *перепаду тиску* в залежності від швидкості руху рідини чи газу в порі:

$$\Delta P = 80 \frac{\rho \cdot V \cdot v \cdot L}{d_h^2} = 80 \cdot \mu \cdot V \cdot \frac{L}{d_h^2}, \quad (7)$$

де μ – динамічна в'язкість рідини чи газу, $Па \cdot c$; V – швидкість руху в порі, м/с.

$$\text{Звідси швидкість руху повітря у порі дорівнює: } V = \frac{\Delta P}{80 \cdot \mu} \cdot \frac{d_h^2}{L}. \quad (8)$$

Швидкість фільтрації V_ϕ всього потоку рідини чи газу крізь пористу систему, а саме трикотажне полотно залежатиме у першу чергу від частки наскрізних (міжниткових) пор в його петельній структурі. У такому випадку швидкість фільтрації повітря крізь трикотажне полотно, наскрізна пористість якого складає R_S дорівнює:

$$V_\phi = V_{cep} \cdot R_S, \quad (9)$$

де V_{cep} – середня швидкість руху у порі.

З урахуванням пор усередині ниток чи пряжі формула приймає наступний вигляд:

$$V_\phi = V_{cep} \cdot (R_S + R_C), \quad (10)$$

де $R_S + R_C$ – сумарна частка наскрізних пор R_S та пор всередині ниток чи пряжі R_C , яку можна визначити як різницю об'ємного та поверхневого заповнень.

Середня швидкість потоку представляє собою швидкість, з якою повинні рухатися часточки крізь переріз потоку так, щоб об'єм рідини чи газу дорівнював об'єму, який отримують при русі рідини чи газу з дійсними неоднаковими для окремих часточок швидкостями.

Потік повітря, що протікає крізь трикотаж може бути представлений як сукупність великої кількості елементарних струменів. У такому випадку загальний об'єм повітря Q , що протікає крізь трикотаж можна визначити як суму елементарних об'ємів q окремих струменів, з яких складається весь потік:

$$Q = \sum q = \sum V \cdot \Delta F = V_{cep} \cdot F. \quad (11)$$

$$\text{Звідси середня швидкість руху потоку: } V_{cep} = \frac{Q}{F} = \frac{\sum V \cdot \Delta F}{F}, \quad (12)$$

де F – загальна площа перерізу потоку.

На підставі формул 8–12 та виходячи з того, що в елементі структури трикотажу петлі утворюється

дві наскрізні міжниткові пори площею S_1 та S_2 , одержуємо математичну залежність для визначення швидкості фільтрації крізь наскрізні пори елемента структури трикотажу:

$$V_{\phi} = \frac{\Delta P}{80 \cdot \mu} \cdot \left(\frac{d_{h1}^2 \cdot R_{S1}}{M} + \frac{d_{h2}^2 \cdot R_{S2}}{M} \right), \quad (13)$$

де d_{h1}, d_{h2} – гідравлічні діаметри наскрізних пор площею S_1 та S_2 елемента структури трикотажу загальною площею $A \cdot B$, мм; A – петельний крок, мм; B – висота петельного ряду, мм; R_{S1}, R_{S2} – частки, які складають наскрізні міжниткові пори площею S_1 і S_2 у загальній площі елемента структури трикотажу; M – товщина трикотажу, мм.

Як зазначалося вище, на швидкість фільтрації у незначній мірі, але також впливає і пористість всередині пряді та ниток. З урахуванням частки внутрішніх пор всередині ниток чи пряді R_c у загальному об'ємі, який займає елемент структури трикотажу петля [3] формула для визначення швидкості фільтрації прийме наступний вигляд:

$$V_{\phi} = \frac{\Delta P}{80 \cdot \mu} \cdot \left(\frac{d_{h1}^2 \cdot R_{S1}}{M} + \frac{d_{h2}^2 \cdot R_{S2}}{M} + \frac{d_{екв}^2 \cdot R_c}{M} \right), \quad (14)$$

де $d_{екв}$ – еквівалентний діаметр внутрішніх пор усередині пряді чи ниток, мм.

Еквівалентний діаметр пор у пряді при розгляді її як пористого тіла може бути визначений

за наступною залежністю:

$$d_{екв} = \frac{4 \cdot \varepsilon}{a} = \frac{0,001 \cdot 4 \cdot T \cdot \left(\frac{1}{\delta_n} - \frac{1}{\gamma_n} \right)}{\pi \cdot d_p}, \quad (15)$$

де ε – загальна пористість пряді чи нитки; a – питома поверхня пряді чи нитки; T – лінійна густина пряді чи ниток, текс; d_p – розрахунковий діаметр нитки, мм; δ_n – об'ємна маса нитки, г/см³; γ_n – густина речовини нитки, г/см³.

Визначивши швидкість фільтрації повітря крізь трикотажне полотно можна перейти від величини швидкості фільтрації до стандартного показника повітропроникності текстильного матеріалу – коефіцієнта повітропроникності за наступною залежністю $B = 1000 \cdot V_{\phi}, \text{ дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$.

Висновки

1. Пористість текстильного матеріалу визначає ступінь впливу волокнистого складу матеріалів на їх повітропроникність. Майже в усіх текстильних матеріалів зі збільшенням їхньої вологості повітропроникність зменшується. Зі збільшенням крутки повітропроникність зростає, оскільки збільшення крутки призводить до зменшення діаметра ниток і, отже, при одній і тій же щільності текстильного матеріалу розмір пор збільшується.

2. Можливе одержання двох трикотажних полотен різних структур з однаковим поверхневим заповненням та часткою пор (наскрізна пористість) з єдиною різницею у кількості пор і відповідно їх розмірів в одиниці площі. Такі полотна безперечно будуть відрізнятися за своєю повітропроникністю.

3. Розробка теоретичної моделі, що описує взаємозв'язок між швидкістю фільтрації, особливостями структуроутворення трикотажу та властивостями сировини представляє інтерес з точки зору можливості прогнозування рівня повітропроникності трикотажу ще на етапі його проектування.

4. Розроблена теоретична модель визначення швидкості фільтрації повітря крізь структуру кулірного трикотажу переплетення гладь враховує наявність в одній петлі двох наскрізних пор в області голкової і платинної дуг та пор всередині пряжі чи ниток. Оскільки в структурі трикотажу пори мають довільну форму, то за умови повного «змочування» пори рідиною чи газом у розрахунках враховано гідравлічний радіус наскрізних пор.

Список використаної літератури:

1. Супрун Н.П. Наукові основи визначення властивостей пакетів бар'єрного одягу з урахуванням особливостей експлуатації: Дис. ... докт. тех. наук. – К.: КНУТД, –2006. – 317 с.
2. Куличенко А.В. Разработка моделей и экспериментальных методов изучения воздухопроницаемости текстильных материалов: Дис... докт. техн. наук. – С-Пб.: СПГУТД, – 2005. – 439 с.
3. Галавська Л.Є. Теоретичні аспекти визначення показників пористості кулірного трикотажу. // Вісник КНУТД. – 2012. – №2.
4. Рабинович Е.З. Гидравлика. – М.: Гизфизматлит. – 1961. – 408 с.
5. Справочник по гидравлике. /Под ред. В.А. Большакова. – К.: Вища школа, – 1977. – 31 с.
6. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. – М.: Госэнергоиздат. – 1960. – 249 с.

Стаття надійшла до редакції 02.04.2012

Теоретическая модель прогнозирования воздухопроницаемости кулирного трикотажа

Галавская Л.Е.

Киевский национальный университет технологий и дизайна

В статье предложена теоретическая зависимость для определения скорости фильтрации воздуха сквозь элемент структуры кулирного трикотажа (петлю). Предложенная математическая зависимость дает возможность прогнозировать уровень воздухопроницаемости кулирного трикотажа в соответствии с заданными параметрами структуры и видом сырья, из которого он выработан.

Ключевые слова: воздухопроницаемости кулирного трикотажа, зависимость, элемент структуры.

Theoretical model of air permeability forecasting of weft knitted fabric

Galavska L. E.

Kiev National University of Technologies & Design

In article theoretical dependence for definition of speed of a filtration of air through a structure element knitted fabric (buttonhole) is offered. The offered mathematical dependence gives the chance to predict air permeability level of weft knitted fabric according to the set parameters of structure and raw materials kind from which it is developed.

Keywords: breathability jersey, dependence of the hierarchy.