

УДК .687.17:620.18

СУПРУН Н.П., ЩУЦЬКА Г.В., ВАЩЕНКО Ю.О.

Київський національний університет технологій та дизайну

**ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ТА МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ  
НЕСТАЦІОНАРНОГО РОЗПОВСЮДЖЕННЯ РІДИНИ В АНІЗОТРОПНИХ  
ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛАХ**

**Мета.** Теоретично обґрунтувати закономірності розтікання рідини в анізотропному текстильному матеріалі

**Методика.** Для моделювання процесу проходження вологи крізь анізотропні матеріали використовувались методи математичної фізики, а саме, тривимірні нестационарні рівняння дифузії рідини, для розв'язання задачі розтікання рідини – методи диференційного і інтегрального числення,

**Результати.** Одержані результати дозволяють прогнозувати час закінчення процесу розтікання вологи, а також передбачати геометричні параметри змоченої поверхні для оцінювання якості матеріалу в процесі розтікання краплі

**Наукова новизна.** Вперше на основі математичного моделювання виявлені залежності для геометрії розповсюдження вологи в анізотропному матеріалі в умовах нестационарного процесу.

**Практична значимість.** На основі математичного моделювання виявлені залежності, які дозволяють описати геометрію розповсюдження вологи в анізотропному текстильному матеріалі в умовах нестационарного процесу.

**Ключові слова:** текстильні матеріали, моделювання розповсюдження вологи, геометрія розтікання краплі

**Вступ.** Для випуску конкурентоздатних виробів легкої промисловості важливим є їх здатність забезпечення комфортних умов протягом усього періоду експлуатації. Цього можна досягти правильним підбором матеріалів і конструкції, що сприяють підтримці в підодяговому або внутрішньвзуттєвому просторі необхідної температури і вологості. Визначальна роль у цьому належить вологообмінним процесам – здатності матеріалів поглинати і пропускати пари води (поту). Відмінність текстильних матеріалів у порівнянні з твердими тілами складається у наявності великої кількості звивистих, наскрізних та тупікових пор різного діаметру та будови, що значно ускладнює описання капілярних процесів в таких системах.

**Постановка завдання.** Питанням проникнення вологи в матеріал займалися ряд вітчизняних і закордонних дослідників, зокрема Березненко М.П., Супрун Н.П., Власенко В.І., Рябчиков М.Л., Yan Zhang, Huaping Wang (Японія), Washburn E W, (Швейцарія), R D Laughlin, J E Davies (США), R.M.Sousa Fanguero, H.F. Cunha Soutinho (Португалія), Weiyuan Z, Jun L (Китай), Rita M Crow, Randall J (Бельгія) та ін. Існує досить великий обсяг експериментальних досліджень в даній галузі проходження вологи крізь матеріал (напр., [1-3]), який, на жаль, не знайшов необхідного рівня математичного моделювання, крім того матеріал в кращому випадку розглядався з точки зору однієї координати (глибини) без досліджень розтікання.

Математичне моделювання проходження вологи крізь матеріал було проведено в роботах [4-5]. Аналіз розроблених моделей свідчить про їх певну спрощеність, оскільки результати визначають тільки залежності від часу, а не від координат, що не може рекомендувати їх, як методики для характеристики виробів. Спроби деяких дослідників [6-7] теоретично обґрунтувати методи проникнення вологи крізь матеріал з врахуванням нелінійних процесів не можуть бути розповсюджені на поперечні координати при дослідженні процесу розповсюдження вологи на поверхні текстильного матеріалу.

**Результати досліджень.** Для описання та прогнозування процесів розповсюдження крапельно-рідкої вологи в гідрофільних текстильних матеріалах та ТКМ необхідно задатися адекватною фізичною або геометричною моделлю, що дозволить визначити відповідну математичну залежність.

Виберемо розрахункову схему проникнення краплі вологи в матеріал у вигляді паралелепіпеда (рис. 1). Початок координат пов'яжемо з центром падіння краплі.

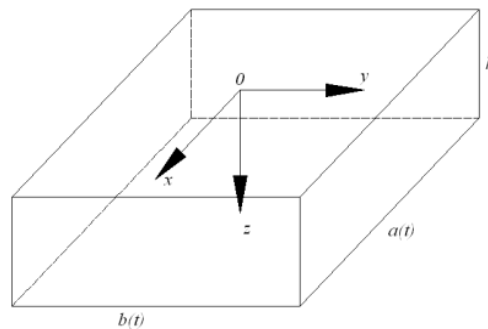


Рис 1. Розрахункова схема

Координату  $x$  направимо в повздовжньому напрямку по основі тканини, координату  $y$  – в поперечному, координату  $z$  – в глибину матеріалу від зовнішньої поверхні. Товщину матеріалу означимо  $h$ , умовні розміри розтікання краплі в матеріалі –  $a(t)$ ,  $b(t)$ , враховуючи, що вони залежать від часу. Означимо  $U$  – концентрація вологи у певній точці шару матеріалу. Тоді на деякій відстані від цієї точки  $dz$  концентрація може набути величини  $U+dU$ . Кількість вологи, що проходить за час  $dt$  по точці  $z$  може бути знайдена, як [8-9]:

$$\frac{\partial U}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial z} \left\{ D(U, z) \frac{\partial U}{\partial z} \right\} \quad (1)$$

де  $u$  – концентрація рідини;  $z$  – координата, що йде по товщині матеріалу;  $\tau$  – час;  $D$  – коефіцієнт дифузії.

У першому наближенні для розуміння процесу винаходження рішення будемо вважати коефіцієнт дифузії постійною величиною. Тоді диференціальне рівняння переписеться у вигляді:

$$\frac{\partial u}{\partial \tau} = D \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \quad (2)$$

Очевидно, що аналогічні дії можна провести для інших координат, тому для розрахункової схеми рис. 1 диференціальне рівняння розповсюдження рідини можна записати у вигляді:

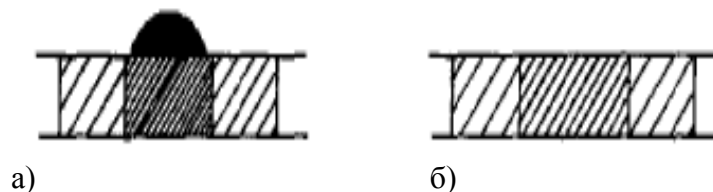
$$\frac{\partial u}{\partial \tau} = D \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \quad (3)$$

Або, враховуючи, анізотропію властивостей текстильного матеріалу:

$$\frac{\partial u}{\partial \tau} = D_x \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + D_y \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + D_z \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \quad (4)$$

де  $D_x, D_y, D_z$  – коефіцієнти дифузії вздовж відповідних осей

Спробуємо спростити задачу. Скористуємося схемою розповсюдження рідини (рис. 2). Будемо досліджувати фазу II, коли рідина розповсюджується на всю товщину матеріалу і поширюється в структурі полотна.



**Рис 2.** Схематичне зображення у розповсюдження краплі рідини, нанесеної на текстильне полотно : а) фаза I- рідина проходить в структуру полотна; б) фаза II - поширення рідини в структурі полотна

У цьому випадку можна знизити кількість координат до двох, рівняння буде мати вигляд:

$$\frac{\partial u}{\partial \tau} = D_x \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + D_y \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \quad (5)$$

Проаналізуємо граничні і початкові умови, що можуть виникати в процесі розповсюдження вологи. На границях зони розповсюдження вологи концентрація вологи дорівнює нулю при  $x = \pm \frac{a(t)}{2}, y = \pm \frac{b(t)}{2}$ .

Таким граничним умовам гарно відповідають тригонометричні функції, тому передбачений розв'язок рівняння запишемо у вигляді:

$$u = \sum_i \sum_j C_{ij} \cos \frac{i\pi x}{a(t)} \cos \frac{j\pi y}{b(t)} \quad (6)$$

В першому наближенні будемо враховувати перший член ряду, зважаючи на форму краплі, що близька до тригонометричної. Тоді рівняння прийме вигляд:

$$\left( \frac{D_x \pi}{a(t)^2} + \frac{D_y \pi}{b(t)^2} \right) \cos \frac{\pi x}{a(t)} \cos \frac{\pi y}{b(t)} = \frac{a'(t)}{a(t)^3} \sin \frac{i\pi x}{a(t)} \cos \frac{j\pi y}{b(t)} + \frac{b'(t)}{a(t)^3} \cos \frac{i\pi x}{a(t)} \sin \frac{j\pi y}{b(t)} \quad (7)$$

Візьмемо середньо інтегральні значення змінних. Означимо:

$$A(t) = \int_{-a(t)}^{a(t)} \int_{-b(t)}^{b(t)} \cos \frac{\pi x}{a(t)} \cos \frac{\pi y}{b(t)} dx dy = \frac{4a(t)b(t)}{\pi^2} \quad (8)$$

$$B1(t) = B2(t) = \int_{-a(t)}^{a(t)} \int_{-b(t)}^{b(t)} \left| \cos \frac{\pi x}{a(t)} \cos \frac{\pi y}{b(t)} \right| dx dy = \frac{4a(t)b(t)}{\pi^2} \quad (9)$$

В результаті одержуємо диференційне рівняння у вигляді:

$$\frac{D_x \pi}{a(t)^2} + \frac{D_y \pi}{b(t)^2} = \frac{a'(t)}{a(t)^3} + \frac{b'(t)}{a(t)^3} + C \quad (10)$$

Одержали диференційне рівняння у звичайних похідних. На жаль, воно включає дві невідомі функції. Зв'язок між ними спробуємо знайти при розв'язанні квазістаціонарного рівняння без доручення похідної по часу. Поки що на першому етапі робимо припущення про їх незалежність. При цьому одержуємо два незалежні диференційні рівняння:

$$\begin{cases} a'(t) = \pi D_x a(t) + C_1 \\ b'(t) = \pi D_x b(t) + C_2 \end{cases} \quad (11)$$

Обидва рівняння можна розв'язати шляхом розподілення змінних. Результат розв'язку буде мати вигляд:

$$\begin{cases} a(t) = a_k \left( 1 - e^{-\pi D_x t} \right) \\ b(t) = b_k \left( 1 - e^{-\pi D_y t} \right) \end{cases} \quad (12)$$

Зростання розмірів зволоженої зони для повздовжнього і поперечного напрямів при певних значеннях коефіцієнтів дифузії наведено на рис.2

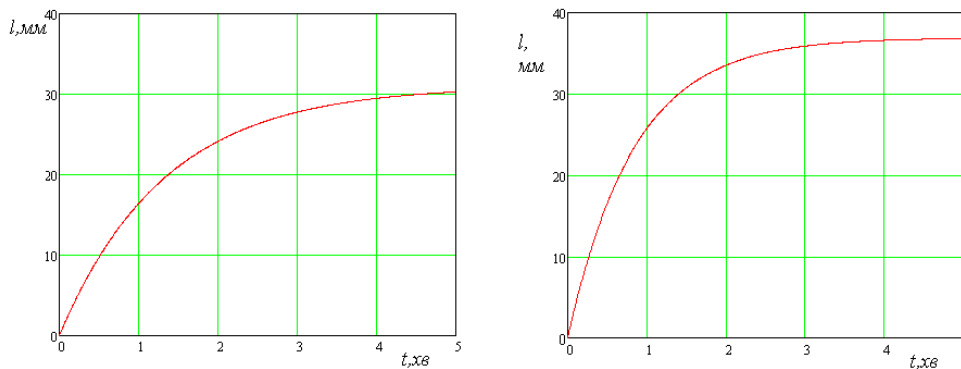


Рис 3. Зростання розмірів зволоженої зони в повздовжньому і поперечному напрямках

Швидкість розповсюдження вологи в матеріалі визначається, як похідна:

$$v_{\ddot{a}} = \frac{da}{dt} = \pi D_x a_k e^{-\pi D_x t} \quad (13)$$

$$v_{\ddot{a}\delta} = \frac{d\delta}{dt} = \pi D_y b_k e^{-\pi D_y t} \quad (14)$$

Графічно це може бути представлено рис.4.

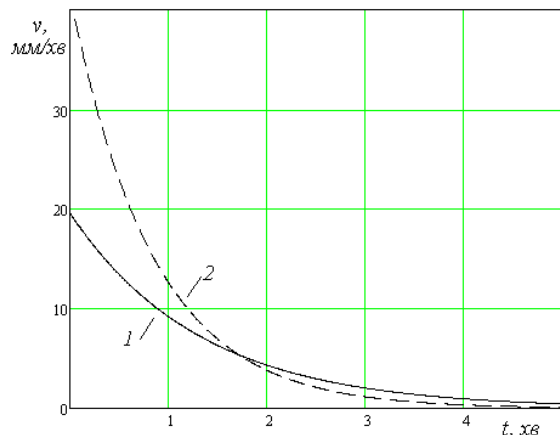


Рис 4. Швидкість розтікання рідини в повздовжньому (1) і поперечному напрямках

**Висновки.** В даній роботі на основі математичного моделювання виявлені залежності для геометрії розповсюдження вологи в анізотропному матеріалі в умовах нестационарного процесу. Одержані результати дозволяють прогнозувати час закінчення процесу розтікання з метою визначення періоду нестационарності, а також передбачати геометричні параметри змоченої поверхні для оцінювання якості матеріалу в процесі розтікання краплі.

#### Список використаної літератури

1. R.M. Sousa Figueiro, H.F.Cunha Soutinho. Moisture Management Performance of Multifunctional yarns based on Wool Fibers // Advanced Materials Research Vols. 123-125 (2010) p 1247-1250.

2. Ковтун С.І., Власенко В.І., Березненко С.М., Супрун Н.П. Дослідження здатності багатошарових текстильних матеріалів до змочування // Проблемы легкой и текстильной промышленности Украины. – 2006. – №2. – С. 92 – 95.

3. Супрун Н.П. Основні принципи розробки моделі комфортного стаціонарного тепломасообміну у пакеті одягу для чистих приміщень // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. – 2002. – №2. – С. 30–35.

4. Ковтун С. І., Рябчиков М. Л. Кінетика процесу водовбирання багатошаровими текстильними композиційними матеріалами. Математична модель процесу водовбирання. Повідомлення 2. // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. – 2008. – №6. – С. 82-88.

5. Yan Zhang & Huaping Wang. Modelling of capillary flow in shaped polymer fiber bundles // J.Mater Sci., 42, (2007), p. 1327.

6. Рябчиков М.Л., Власенко В.І., Ковтун С.І. Нестационарна модель водовбирання текстильними матеріалами по товщині // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – 2009. – №2 (132). – С 325-334

7. N. Riabchykov, V.Vlasenko, S.Arabuli Linear mathematical model of water uptake perpendicular to fabric plane // Vlakna a textil . №2 Rochik 18.- 2011 – pp. 24-29

8. Владимиров В. С. Уравнения математической физики, 4 изд., – М.: Наука 1988. – 512 с.

9. Crank J. The mathematics of diffusion, 2 ed., Oxford: Clarendon press 1985.- 421 p.

## ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ НЕСТАЦИОНАРНОГО РАСПРОСТРАНЕНИЕ ЖИДКОСТИ В АНИЗОТРОПНЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛАХ

СУПРУН Н.П., ЩУЦКАЯ А.В., ВАЩЕНКО Ю.А.

*Киевский национальный университет технологий и дизайна*

**Цель.** Обоснование методики нестационарного растекания влаги в текстильных материалах с учетом их анизотропных свойств.

**Методика.** Использованный метод математического моделирования для выявления зависимости распространения влаги в анизотропной материале в условиях нестационарного процесса

**Результаты.** Полученные результаты позволяют прогнозировать время завершения процесса растекания влаги, а также предусматривать геометрические параметры смоченной поверхности для оценки качества материала в процессе растекания капли

**Научная новизна.** Теоретически обоснованно нестационарное распространение жидкости в анизотропных текстильных материалах.

**Практическая значимость.** На основе математического моделирования выявлены зависимости для геометрии распространения влаги в анизотропных материалах в условиях нестационарного процесса.

**Ключевые слова:** текстильные материалы, растекания влаги.

## THEORETICAL BASES AND SIMULATION OF PROCESSES OF NONSTATIONARY DISTRIBUTION OF FLUID IN ANISOTROPIC TEXTILE MATERIALS

SUPRUN N., SCHUTSKAY A., VASHCHENKO Y.

*Kyiv National University of Technology and Design*

**Purpose.** To create a theoretical base of the laws of moisture spreading in anisotropic textile material.

**Methodology.** For modeling the process of moisture moving in anisotropic material s was used the methods of mathematical physics, namely three nonstationary equations of moisture diffusion, for the decision of task of moisture distribution was used methods of differentational and integral calculation.

**Findings.** The obtained results allow predicting the end time of the process of moisture spreading and of geometrical parameters of moistened surface for evaluating of the quality of the material in the process of spreading of drop.

**Originality.** Firstly on the base of mathematical modeling was found equations for the geometry of liquid spread in anisotropic material under nonstationary process.

**Practical value.** On the basis of mathematical modeling was estimated dependences, which allow to describe the geometry of liquid spreading in anisotropic textile material at nonstationary process.

**Keywords:** *textiles, modeling of liquid spread, geometry of drop spread.*

УДК 687.174.017:355-051

АВРАМЕНКО Т.В., ОСТАПЕНКО Н.В., ВАСИЛЬЄВА І.В., КОЛОСНІЧЕНКО М.В.

*Київський національний університет технологій та дизайну*

## АНАЛІЗ УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТА КЛАСИФІКАЦІЯ НЕБЕЗПЕЧНИХ ЧИННИКІВ ДЛЯ СТВОРЕННЯ ЗАХИСНОГО ОДЯГУ ТАНКІСТІВ

**Мета.** Дослідження сучасного стану проблеми та умов експлуатації одягу військовослужбовців з метою розробки нових видів захисного одягу для танкістів з високими показниками надійності.

**Методика.** Використано структурний аналіз у вивченні літературних джерел, загальну методологію системного підходу до проектування одягу для військовослужбовців.

**Результати.** Розробка підходів до створення різновидів вітчизняного надійного захисного одягу для танкістів відповідно сучасних вимог військовослужбовців.

**Наукова новизна.** Запропоновано шляхи вдосконалення процесу проектування захисного одягу для танкістів на основі застосування комплексного підходу в системі «людина – військовий одяг – середовище».

**Практична значимість.** Застосування комплексного поєднання захисних