

УДК 677.017.636

ЩУЦЬКА Г.В.

Київський національний університет технологій та дизайну

**ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ТА ПРАКТИЧНЕ
ВИЗНАЧЕННЯ ГРАНИЦІ ЗМОЧЕНОЇ ЗОНИ
ТЕКСТИЛЬНОГО МАТЕРІАЛУ НА ОСНОВІ
ДИСКРЕТНОГО МОДЕЛЮВАННЯ**

***Мета.** З використанням методів дискретного моделювання провести прогнозування границь змоченої зони при контакті текстильних матеріалів з рідиною.*

***Методика.** Використовувались методи математичної теорії дифузії, методи дискретної математики, диференціального і інтегрального числення, методи кореляційного аналізу, регресійні методи обробки результатів експериментів.*

***Результати.** Одержані результати дозволяють визначити динамічні залежності зміни концентрації рідини у площині матеріалу та реальну конфігурацію границь змоченої зони. Запропоновані основні показники – повздовжній і поперечний розмір, а також чотири константи матеріалу, які характеризують максимальний розмір розтікання і ефективність гальмування зволоження в двох напрямках.*

***Наукова новизна.** Вперше з використанням методів дискретного моделювання виявлені залежності для геометрії розповсюдження вологи в анізотропному матеріалі в умовах нестационарного процесу.*

***Практична значимість.** Встановлено залежності, які дозволяють прогнозувати динаміку зміни комфортності виробів в процесі їх експлуатації за рахунок потовбирання.*

***Ключові слова:** текстильні матеріали, дискретне моделювання, розповсюдження вологи, конфігурація змоченої зони*

Вступ. Конкурентоспроможність виробів легкої промисловості в значній мірі визначається їх комфортністю. Одяг і взуття не є пасивними покривами тіла; вони створюють оболонку, що зберігає локальний мікроклімат у підодяговому та внутрішньовзуттєвому просторі, регулюють функцію тепловиділення, сприяють встановленню теплового балансу організму і надають можливість організму пристосовуватися до змін у навколишньому середовищі з метою підтримки більш-менш постійної температури і вологості шкіри, а також забезпечення нормального шкірного дихання. Багато в чому комфортність взуття та одягу визначається динамікою проходження вологи і тепла крізь матеріали, з яких вони виготовлені. Тому важливо знати закони розповсюдження рідини в подібних матеріалах з метою визначення часу комфортної експлуатації або прогнозування часу ефективної роботи взагалі.

Постановка завдання. Визначенням комфортності матеріалів одягу займалися ряд дослідників (напр., [1,2]). Відзначено, що комфортність одягу є комплексною величиною, що впливає на загальний стан людини, а в випадку спеціального одягу – на продуктивність і якість праці. В [3] розглянутий вплив вологопроникності на комфортність. Слід відзначити, що проникнення вологи в матеріалі може відбуватися вглиб крізь товщу матеріалу і вшир – розтікання поверхнею матеріалу. Перша проблема розглядалася в [4-5]. Проблеми розтікання матеріалу по поверхні майже не досліджені. Спроби розглянути її робились в [6], однак їх можна розглядати тільки як перше наближення. Між тим ця задача визначає

поверхню змоченої зони в матеріалі і відповідно площу не комфортності при роботі. Сучасні математичні підходи рекомендують розв'язувати її методами суцільного середовища [7]. У такому випадку задача зводиться до розв'язання системи диференціальних рівнянь в частинних похідних, загальні методи яких не відомі. Складності додає те, що диференціальні рівняння мають нелінійний вигляд, а також те, що розглядані матеріали мають яскраво виражені анізотропні властивості [8]. Структура подібних матеріалів передбачає можливість створення дискретних методів дослідження.

Метою даної роботи є використання методів дискретного моделювання текстильних матеріалів для визначення границі змоченої зони, що може дозволити прогнозувати динаміку зміни комфортності виробів.

Результати досліджень. Текстильні матеріали, що використовуються в легкій промисловості, мають яскраво виражену фрактальну структуру [9,10]. Це означає, що суцільні ділянки матеріалу чергуються з несучільними, створюючи єдину структуру, яка статистично дає загальні характеристики матеріалу. Відповідно рух рідини при змочуванні подібного матеріалу може бути розглянутий, як поступовий рух між несучільностями крізь провідні елементи з певними правилами проходження рідини (рис.1), причому закони руху рідини крізь ці елементи можуть бути визнані на основі макроекспериментів суцільних матеріалів або на базі мікроекспериментів елементарних проб. Якщо означити номерами i, j окрему комірку накопичення рідини, то концентрація рідини в ній буде визначатися концентрацією рідини в попередніх комірках з врахуванням гальмування в елементарних передаючих елементах і може бути описане виразом

$$u_{i,j} = u_{i-1,j} \cdot f(t) + u_{i,j-1} \cdot g(t), \quad (1)$$

де $f(t), g(t)$ – функції гальмування в повздовжньому і поперечному напрямках.

При змочуванні матеріалу в точці концентрацію в ній можна вважати одиницею.

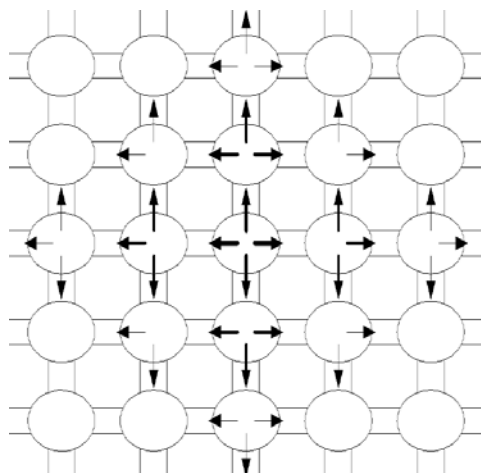


Рис.1 Дискретна модель розповсюдження рідини

Логічно вибрати початок координат і відповідно нульові номери комірок в цій точці. Знаходження концентрації в певних точках матеріалу згідно дискретній моделі може дати розповсюдження, показане на рис.2, а. Відзначимо, що розповсюдження концентрації може змінюватись в часі. Розташувавши поверхню розповсюдження рідини площиною вгору, можна одержати градієнтну модель концентрації (рис.2,б).

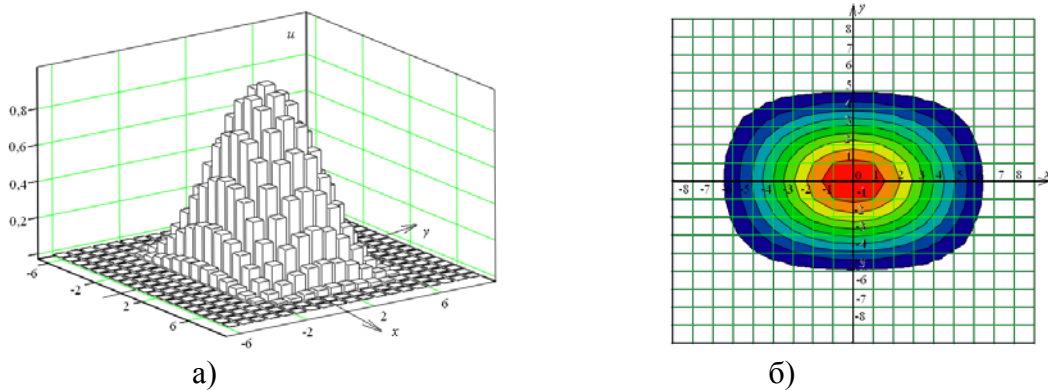


Рис.2 а) зміна концентрації рідини по площині текстильного матеріалу;
б) градієнтна модель зміни концентрації

На даній моделі видні як зміна концентрації змоченої зони, так і границя цієї зони. Форма границі з визначеною концентрацією змінюється від близької до еліптичної в зонах з великою концентрацією до складної двосиметричної фігури в областях з малою концентрацією, які власне і визначають границю змоченої зони в текстильному матеріалі. Відзначимо, що безперервні криві на рис.2, б, одержані на базі дискретних значень концентрацій в комірках, показаних на рис.2, а і визначаються поєднанням точок з однаковими концентраціями рідини в певний час.

Дослідивши розповсюдження рідини згідно дискретної моделі, можна визначити границю, на якій концентрація дорівнює нулю. Така границя визначається номерами вузлів, до яких дійшла рідина. Поєднавши сусідні вузли, можна побудувати криву, що визначає край змоченої області. Звичайно, ця границя змінює свою конфігурацію протягом часу. На рис. 3 показані зони розповсюдження рідини для різних моментів часу з інтервалом 1 с. Дані графіки враховують анізотропію розповсюдження рідини по площині матеріалу і відповідають відомим експериментальним даним. Відзначимо відміну залежностей рис.2, б і рис. 3. На рис. 2, б зображена градієнтна залежність концентрації рідини в певний момент часу. Границі на цьому графіку – це межі певної концентрації рідини з кроком 0,1 від нуля до границі до одиниці в центрі. Границя змоченої поверхні тут – це зовнішня межа на графіку. На рис 3 зображена ця межа для різних моментів часу. Тобто кожна крива на цьому малюнку – границя змоченої зони з нульовою концентрацією рідини. Тому рис. 2,б – це залежність, визначена в певний момент часу, а рис.3 – залежність для різних моментів часу при розтіканні рідини.

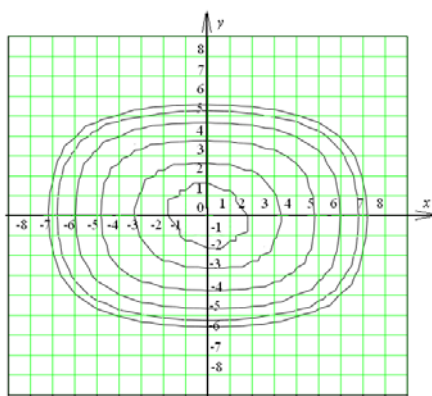


Рис.3 Зміна границі змоченої зони

Очевидно, анізотропія матеріалу веде до двовимірності розповсюдження рідини. Розглянемо розповсюдження в повздовжньому і поперечному напрямках. Означимо $a(t)$ – розмір змоченої зони в повздовжньому напрямку, $b(t)$ – розмір цієї зони в поперечному напрямку. Враховуючи, що дискретна модель дає дані при окремих значеннях часу, виходячи з неї можна знайти тільки окремі точки, що визначають розміри границі змоченої зони. Дані рис.3 дозволяють визначити ці розміри; вони наведені на рис.4,а. Проаналізуємо вигляд одержаних залежностей. На початку процесу спостерігається швидке зростання змоченої зони.

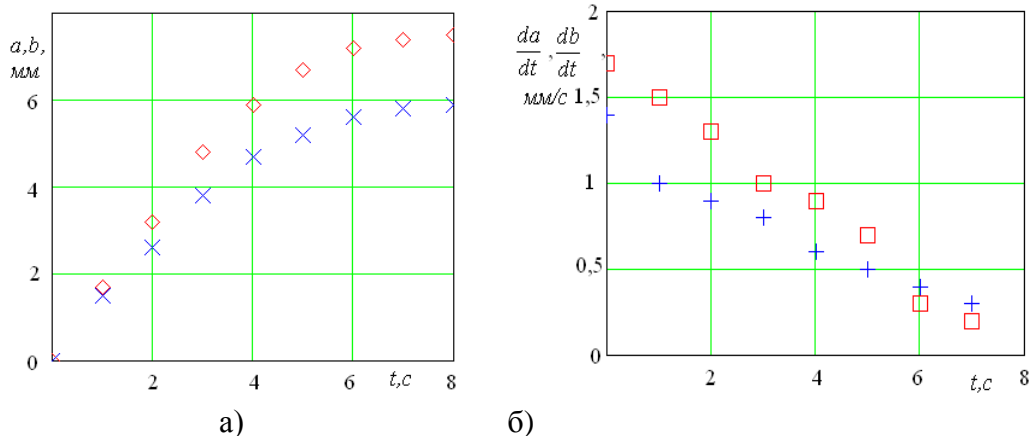


Рис.4. а) зміна повздовжніх і поперечних розмірів змоченої зони;
 б) дискретні залежності для похідних

Швидкість зростання згодом зменшується і розміри досягають певної величини насичення. Подібні закономірності математично описуються експоненціальними функціями виду $a = a_0(1 - e^{-k_a t})$, $b = b_0(1 - e^{-k_b t})$.

При цьому параметри, що входять до функцій, можуть розглядатися, як константи матеріалу. Для їх явного знаходження, скористуємося залежностями для похідних

$$\frac{da}{dt} = a_0 \cdot k_a \cdot e^{-k_a t} \quad (2)$$

$$\frac{db}{dt} = b_0 \cdot k_b \cdot e^{-k_b t} \quad (3)$$

Похідні дискретних величин будемо знаходити наближено, як різницю між наступним і попереднім значенням розміру, поділений на проміжок часу, на протязі якого сталася зміна в конфігурації границі змоченої зони. Дискретні залежності для похідних показані на рис.4,б.

З метою лінеаризації цих функцій візьмемо логарифми від правих і лівих частин

$$\ln \frac{da}{dt} = \ln a_0 \cdot k_a - k_a \cdot t \quad (4)$$

$$\ln \frac{db}{dt} = \ln b_0 \cdot k_b - k_b \cdot t \quad (5)$$

Означимо $A = \ln a_0 \cdot k_a$, $B = \ln b_0 \cdot k_b$. В результаті одержимо систему, у якій невідомі коефіцієнти A і k_a знаходяться в лінійному співвідношенні до функції похідних. В такому разі доцільно використовувати регресійний аналіз. Невідомі коефіцієнти знаходимо методом найменших квадратів.

Провівши необхідні розрахунки, можна знайти шукані коефіцієнти.

$$a_0=0,891, k_a=0,344. \quad (6)$$

Аналогічні дії можна провести для поперечного розміру.

Розв'язок за методом найменших квадратів дає значення коефіцієнтів розповсюдження рідини в повздовжньому напрямку.

$$b_0=0,891, k_b=0,344. \quad (7)$$

Знаходження коефіцієнтів розповсюдження рідини дозволяє знайти розміри змоченої зони в будь - який момент часу (рис.5).

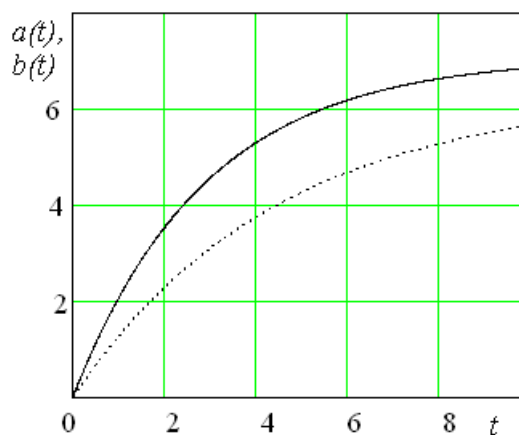


Рис.5 Безперервні залежності розтікання рідини в текстильному матеріалі

Одержані результати дозволяють також знайти коефіцієнт анізотропії матеріалу, як співвідношення розміру повздожнього і поперечного розтікання рідини $K = \frac{a(t)}{b(t)}$.

Одержані результати дозволяють прогнозувати динаміку намокання текстильних матеріалів і виробів з них і, відповідно, визначати загальну комфортність і час комфортного перебування в виробах з даних матеріалів.

Висновки. Використання методики дискретного моделювання дозволило визначити динамічні залежності зміни концентрації площиною матеріалу. Дискретні конфігурації границі змоченої зони показали її реальну форму. Запропоновані основні показники – повздожній і поперечний розмір, а також чотири константи матеріалу, які характеризують максимальний розмір розтікання в двох напрямках, а також ефективність гальмування розтіканню в цих напрямках. Методами математичної теорії регресії одержані значення цих показників, які рекомендуються у якості констант матеріалів.

Список використаних джерел

1. Starter K. Assessment of Comfort //J. Textile Inst. – 1986. – Vol.77, № 3. – P.157–171.
2. Suprun N., Sygloba M., Vlasenko V. The comfort of clean room clothing. /Vlakna a textil №11.-2004.-P.54-57.
3. Bartkowiak G. Role of physical parameters of sub-barrier textile packet in formation of microclimate under protective barrier clothing. //Scientific Bulletin of Lodz Technical University. – 2000. – №59. – P.69–76.
4. Щуцька Г.В. Метод прогнозування проникнення рідини крізь пористі матеріали. //Восточно-европейский журнал передовых технологий №3/11 (75). – 2015. С. 19-23.
5. Рябчиков М.Л., Власенко В.І., Ковтун С.І. Нестационарна модель водовбирання текстильними матеріалами по товщині [Текст] / Рябчиков М.Л., Власенко В.І., Ковтун С.І. // Вісник східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. Луганськ: №2 (132). -2009. –с. 325-334.
6. Ковтун С. І., Рябчиков М. Л. Кінетика процесу водовбирання багатошаровими текстильними композиційними матеріалами. Математична модель процесуводовбирання. Повідомлення 2 [Текст] / Ковтун С. І., Рябчиков М. Л. // Київський національний університет технологій та дизайну. Вісник КНУТД. - 2008. - №6. - С. 82-88.
7. N. Riabchykov, V. Vlasenko, S. Arabuli Linear mathematical model of water uptake perpendicular to fabric plane [Текст] / N. Riabchykov, V. Vlasenko, S. Arabuli // Vlakna a textil . - 2011. – №2 Rochik 18.- P. 24-29.
8. Супрун Н.П., Щуцька Г.В., Ващенко Ю.О. Теоретичне обґрунтування та моделювання процесів нестационарного розповсюдження рідини в анізотропних текстильних матеріалах // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. № 1 (78), 2015 р, С. 150-156.
9. Супрун Н.П. Применение теории фракталов при описании пористости текстильных материалов. // Проблемы легкой и текстильной промышленности Украины. – 2003. – №6. – с. 33–38.

10. Супрун Н.П. Використання фрактальної розмірності при описанні пористості текстильних матеріалів. //Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. –2005.–т.1.–№5. –с.51-53.

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ И ПРАКТИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАНИЦЫ СМОЧЕННОЙ ЗОНЫ ТЕКСТИЛЬНОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ ДИСКРЕТНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

ЩУЦКАЯ А.В.

Київський національний університет технологій і дизайну

Цель. С использованием методов дискретного моделирования провести прогнозирование границ смоченной зоны при контакте текстильных материалов с жидкостью.

Методика. Использовались методы математической теории диффузии, методы дискретной математики, дифференциального и интегрального исчисления, методы корреляционного анализа, регрессионные методы обработки результатов экспериментов.

Результаты. Полученные результаты позволяют определить динамические зависимости изменения концентрации жидкости в плоскости материала и реальную конфигурацию границ смоченной зоны. Предложены основные показатели - продольный и поперечный размер, а также четыре константы материала, которые характеризуют максимальный размер растекания и эффективность торможения в двух направлениях.

Научная новизна. Впервые с использованием методов дискретного моделирования выявлены зависимости для геометрии распространения влаги в анизотропном материале в условиях нестационарного процесса.

Практическая значимость. Установлены зависимости, которые позволяют прогнозировать динамику изменения комфортности изделий в процессе их эксплуатации за счет потопоглощения.

Ключевые слова: текстильные материалы, дискретное моделирование, распространение влаги, конфигурация смоченной зоны.

THEORETICAL GROUND AND PRACTICAL DETERMINATION OF BORDERS OF THE MOISTENED ZONE IN TEXTILE MATERIALS ON BASIS OF DISCRETE MODELLING

SCHUTSKAYA A.V.

Kyiv National University of Technology and Design

Aim. With the use of methods of discrete modeling to develop the prognostication of borders of the moistened zone at the contact of textile materials with a liquid.

Results. The results allow to define the dynamic dependences of change of concentration of liquid in plane of material and the real configuration of borders of the moistened zone. Offered basic indexes - a longitudinal and transversal size, and also four constants of material, that characterize maximal size of spreading and the efficiency of braking in two directions.

Scientific novelty. First with the use of methods of discrete modeling the dependences for geometry of distribution of moisture in anisotropic material in the conditions of non-stationary were found.

Practical value. Were found dependences that allow to forecast the dynamics of change of comfort of goods in the process of their exploitation due to sweat absorption .

Keywords: textile materials, discrete modeling, distribution of moisture, configuration of the moistened zone.