

## ЛІТЕРАТУРА

1. Handbook of Technical Textiles. Woodhead Publishing Ltd and CRC Press LLC, Cambridge, England, 2000. – 543 p.
2. Karthik T. Intelligent textiles: An overview // The Indian Textile Journal, October, 2006.
3. Transition from traditional to technical textiles // The Indian Textile Journal, June, 2008.
4. Techtextil – специализированная международная выставка технического текстиля и нетканых материалов // Технический текстиль, № 13, 2006.
5. Netkani tekstil / Sunjka S., Dekic V., Filip S. – Zrenjanin: Universitet u Novom Sadu, Tehnicki fakultet «Mihajlo Pupin», 2009 (Indija: Feniks). – 222 s.
6. Зирнзак Вернер. Будущее за техническим текстилем // Технический текстиль № 9, 2004.
7. Тюменев Ю.Я., Мухамеджанов Г.К. К вопросу о классификации и терминологии нетканого технического текстиля // Технический текстиль, № 13, 2006.
8. Techno economic projections of technical textiles // The Indian Textile Journal, December, 2006.
9. Nayavadana J., Prabhu K.H., Blakuni Mamta. Mobiltech: Nonwoven vs wovwn & knits // The Indian Textile Journal, March, 2007.

Надійшла 18.01.2010

УДК 677.075

**ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ВОДОВБИРАННЯ  
ТЕКСТИЛЬНИМИ МАТЕРІАЛАМИ**

В.І. ВЛАСЕНКО

Київський національний університет технологій та дизайну

*Повідомлення 2***Напівемпірична модель водовбирання текстильних матеріалів  
зі змінним коефіцієнтом дифузії**

*Це повідомлення є наступним з циклу робіт, які присвячені розробці сучасних текстильних багатошарових структур з прогнозованими властивостями. В роботі запропонована математична модель, що описує процес переносу вологи перпендикулярно шару матеріалу з урахуванням процесу гальмування водовбирання під час накопичення вологи*

Для вирішення рівняння руху рідини перпендикулярно шару матеріалу в нелінійній постановці використаний шлях, запропонований нами при рішенні лінеаризованого рівняння [1].

***Постановка завдання***

Розробити метод розв'язання нелінійного диференційного рівняння вбирання та розподілу вологи по товщині індивідуального шару матеріалу.

***Об'єкти та методи дослідження***

Об'єкт досліджень – аналітичне рішення задачі опису водовбирання текстильними матеріалами в нелінійній постановці.

Предмет досліджень – напівемпірична модель водовбирання текстильних матеріалів зі змінним коефіцієнтом дифузії.

Для математичного моделювання процесу водовбирання використовувались методи математичного аналізу. За допомогою методів математичної фізики складались і розв'язувались кінетичні рівняння, що описують нестационарний процес водовбирання текстильними матеріалами з урахуванням залежності коефіцієнту дифузії від вмісту вологи. При розв'язку рівнянь водовбирання використаний метод Бубнова-Гальоркіна.

**Результати та їх обговорення**

Як відомо, у загальному випадку коефіцієнт дифузії залежить від накопиченої концентрації. У ряді джерел [2] визначається, що у такому разі рівняння руху рідини крізь шар матеріалу має вигляд:

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

а коефіцієнт дифузії може бути представлений як:

$$D(U) = D_0(1 + \sigma U) \quad (2)$$

де  $U$  – концентрація вологи в певній точці шару матеріалу;  $x$  – координата певної точки в певний момент часу;  $t$  – час;  $D$  – коефіцієнт дифузії;  $D_0$  – початковий коефіцієнт дифузії;  $\sigma$  – коефіцієнт нелінійності.

У такому випадку рівняння (1) переписується у вигляді:

$$\frac{\partial U}{\partial t} = \frac{\partial D}{\partial x} \cdot \frac{\partial U}{\partial x} + D \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} \quad (3)$$

Враховуючи (3), можна визначити похідну:

$$\frac{\partial D}{\partial x} = D_0 \sigma \frac{\partial U}{\partial x} \quad (4)$$

Тоді рівняння (3) може бути записане у вигляді:

$$\frac{\partial U}{\partial t} = D_0 \sigma \left( \frac{\partial U}{\partial x} \right)^2 + D_0 \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + D_0 \sigma U \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} \quad (5)$$

Перейдемо до безрозмірних координат.

- безрозмірна концентрація  $u = \frac{U}{U_0}$ , де  $U_0$  визначається рідиною, що поступає ззовні до матеріалу (концентрація рідини в нульовий момент процесу вбирання);
- безрозмірна координата  $z = \frac{x}{h}$ , де  $h$  – товщина матеріалу;
- безрозмірний час  $\tau = \frac{t}{t_{\max}}$ , де  $t_{\max}$  – час насичення матеріалу.

Тоді функції і похідні можуть бути записані, як:

$$U = u \cdot U_0; \quad \frac{\partial U}{\partial t} = t_{\max} U_0 \frac{\partial u}{\partial t};$$

$$\frac{\partial U}{\partial x} = \frac{U_0}{h} \cdot \frac{\partial u}{\partial z} \quad \frac{\partial U}{\partial t} = t_{\max} U_0 \frac{\partial u}{\partial t}$$

З врахуванням вище означеного, рівняння (5) має бути переписане у вигляді:

$$\frac{\partial u}{\partial \tau} = \frac{D_0 \sigma U_0}{t_{\max} h^2} \left( \frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + \frac{D_0}{t_{\max} h^2} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{D_0 \sigma U_0}{t_{\max} h^2} u \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \quad (6)$$

Введемо додаткові означення:

$$K_1 = \frac{D_0}{t_{\max} h^2}; \quad K_2 = \frac{D_0 \sigma U_0}{t_{\max} h^2} \quad (7)$$

Одержуємо рівняння:

$$\frac{\partial u}{\partial \tau} = K_1 \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} + K_2 U \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} + K_2 \left( \frac{\partial u}{\partial z} \right)^2 \quad (8)$$

У цьому рівнянні перший член у правій частині характеризує лінійні властивості; другий і третій члени дають нелінійні складові.

Для вирішення рівняння (8) скористаємося тим же шляхом [1], представивши шукану функцію у вигляді нескінченного ряду, що є добутком двох функцій, одна з яких залежить тільки від часу, а друга – тільки від координати

$$U = \sum_{i=1}^{\infty} V_i \cdot W_i \quad (9)$$

де  $V_i$  – функція концентрації, що залежить тільки від часу;  $W_i$  – функція концентрації, що залежить тільки від координати.

Як і раніше, окремий член, що залежить від координати, представимо у вигляді.

$$W_i = C_i \left( 1 - \sin \frac{\pi z (2i-1)}{2} \right)$$

Рішення рівняння (9) будемо шукати у вигляді нескінченного ряду.

Виконавши дії по знаходженню похідних функції, отримаємо нелінійне рівняння:

$$\frac{dV}{dt} \sin \frac{\pi z (2i-1)}{2} = -K_1 \cdot V \cdot \frac{\pi^2 (2i-1)^2}{4} \sin \frac{\pi z (2i-1)}{2} - K_2 \cdot V^2 \cdot \frac{\pi^2 (2i-1)^2}{4} \left( \sin \frac{\pi z (2i-1)}{2} \right)^2 + K_2 \cdot V^2 \cdot \frac{\pi^2 (2i-1)^2}{4} \left( \cos \frac{\pi z (2i-1)}{2} \right)^2$$

Оскільки функції, що залежать від координати, не скорочуються, використовуємо метод Бубнова-Гальоркіна [3], для реалізації якого помножимо кожний член останнього рівняння на запропонований член ряду Фур'є  $\left( \sin \frac{\pi z (2i-1)}{2} \right)$  [1].

При цьому одержуємо систему диференційних рівнянь:

$$\frac{dV_i}{dt} \int_0^1 \left( \sin \frac{\pi z(2i-1)}{4} \right)^2 dz = -K_1 \cdot V_i \cdot \frac{\pi^2(2i-1)^2}{4} \int_0^1 \left( \sin \frac{\pi z(2i-1)}{4} \right)^2 dz -$$

$$K_2 \cdot V_i^2 \cdot \frac{\pi^2(2i-1)^2}{4} \int_0^1 \left( \sin \frac{\pi z(2i-1)}{4} \right)^3 dz + K_2 \cdot V_i^2 \cdot \frac{\pi^2(2i-1)^2}{4} \int_0^1 \sin \frac{\pi z(2i-1)}{2} \cdot \left( \cos \frac{\pi z(2i-1)}{2} \right)^2 dz$$

Якщо виконати операцію інтегрування, можна одержати рівняння відносно функції, що залежить від часу

$$\frac{dV_i}{dt} = -(2i-1)^2 \cdot A \cdot (V_i + B \cdot V_i^2),$$

де  $A, B$  – константи матеріалу, одержані при інтегруванні, як не можуть бути визначеними з експерименту. Наявність цих двох констант пов'язана з необхідністю урахування процесу гальмування водовбиранню при накопиченні вологи в матеріалі.

Для розв'язку цього рівняння скористуємося методом розділення змінних. Одержуємо

$$\frac{dV_i}{V_i + B \cdot V_i^2} = -(2i-1)^2 \cdot A \cdot dt \quad (10)$$

Для розв'язання цього рівняння інтегруємо обидві сторони рівності

Права частина рівності одержується у вигляді

$$-(2i-1)^2 \cdot A \cdot t + C.$$

Виконуємо інтегрування лівої частини

$$\int_0^t \frac{dV}{V + B \cdot V^2}$$

Для інтегрування розкладаємо дріб

$$\frac{1}{V + B \cdot V^2} = \frac{1}{V \cdot (1 + B \cdot V)} = \frac{1}{V} - \frac{B}{1 + B \cdot V}$$

Якщо провести інтегрування, одержимо

$$\ln \frac{V}{(1 + B \cdot V)^B} = -(2i-1)^2 \cdot A \cdot t + C,$$

що може бути перебудовано у вигляді

$$\frac{V}{(1 + B \cdot V)^B} = C \cdot e^{-(2i-1)^2 \cdot A \cdot t}.$$

Звертаємо увагу, що хоча ми шукаємо залежність  $V$  від часу, невідомими залишаються значення коефіцієнтів  $A$  і  $B$ . Загальних правил розв'язання такого роду рівнянь не існує. Якщо уявити відомими коефіцієнти  $A$  і  $B$ , можна спробувати розв'язати рівняння методом ітерацій.

Тоді на першому кроці уявляємо, що функція, яка взята з розв'язку, одержаному вище, є відомою. Назвемо її  $V_i^{(0)}$ . Кожний наступний крок можна одержувати з рекурентних формул:

$$V_i^{(j+1)} = (1 + B \cdot V_i^{(j)}) \cdot C \cdot e^{-(2i-1)^2 \cdot A \cdot t}$$

$$V_i^{(0)} = V_i^{(j+1)}$$

$j$  – номер рекурентного кроку.

Після ряду обчислювальних експериментів (в програмі MathCAD) знайдено, що досить близькою до шуканої буде функція

$$V_i = C \cdot e^{-A(2i-1)t^B},$$

а загальний розв'язок по координаті

$$U(z, t) = 1 - \sum_{i=1}^{\infty} \frac{4 \cdot e^{-A(2i-1)t^B} \cdot \sin\left[\frac{(2i-1)\pi z}{2}\right]}{\pi(2i-1)} \quad (11)$$

Невідомі коефіцієнти  $A$  і  $B$  знаходяться в рівнянні (11) в явному вигляді, що дає змогу вільно з ними оперувати. Зокрема, прийнявши конкретні значення, можна знайти функцію зміни концентрації залежно від товщини і часу (рис.1 та рис.2).

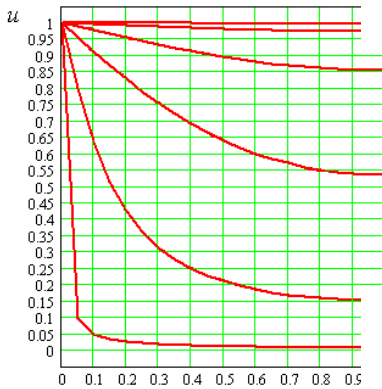


Рис.1. Зміна концентрації вологи по товщині шару матеріалу для різних моментів часу

$$(t_1 < t_2 < \dots < t_6 < \dots \leq t_{max})$$

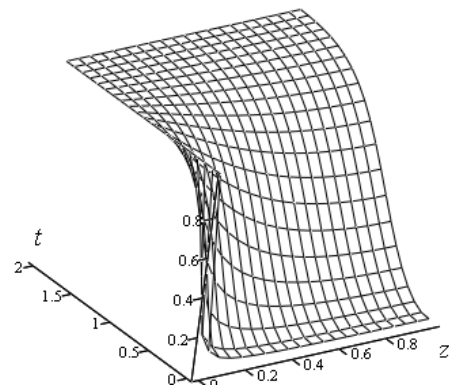


Рис.2. Залежність концентрації вологи в матеріалі від координати і часу

Швидкість зміни концентрації по товщині як функцію часу можна знайти, продиференціювавши вираз (11) для концентрації:

$$\frac{dU}{dt} = \sum_{i=1}^{\infty} \frac{4}{\pi} A \cdot B \cdot e^{B-1} \cdot e^{-A(2i-1)t^B} \cdot \sin\left[\frac{(2i-1) \cdot \pi z}{2}\right] \quad (12)$$

Для деякого матеріалу, який характеризується певними значеннями коефіцієнтів  $A$  та  $B$ , залежності швидкості від координати та часу показані на рис.3.

Оскільки коефіцієнти одержані в явному вигляді, можна знайти залежність концентрації і швидкості від часу в середньому по товщині

$$U(t) = \int_0^1 U(z,t) dz = 1 - \sum_{i=1}^{\infty} \frac{8e^{-A(2i-1)t^B}}{\pi^2 \cdot (2i-1)^2}, \quad (13)$$

$$v(t) = \frac{dU}{dt} = \sum_{i=1}^{\infty} \frac{8ABt^{B-1} e^{-A(2i-1)t^B}}{\pi^2 \cdot (2i-1)}. \quad (14)$$

Графіки, що демонструють ці залежності при довільно обраних коефіцієнтах  $A$  і  $B$  наведені на рис.4, рис.5. Якісно вони близькі до експериментальних.

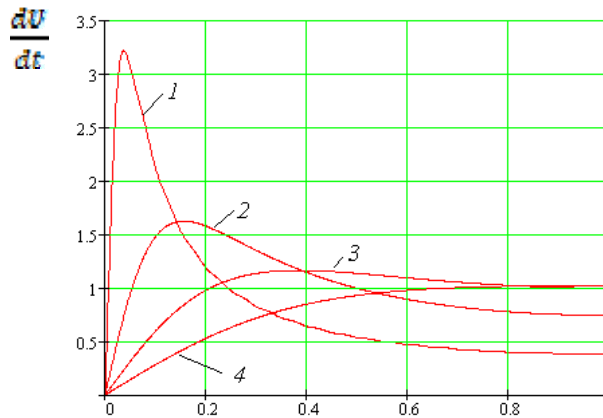


Рис.3. Залежність швидкості зміни концентрації від товщини матеріалу для різних моментів часу

(1 –  $t = 2$  с; 2 –  $t = 4$  с; 3 –  $t = 6$  с; 4 –  $t = 8$  с); ( $A = 0,01$ ;  $B = 2$ )

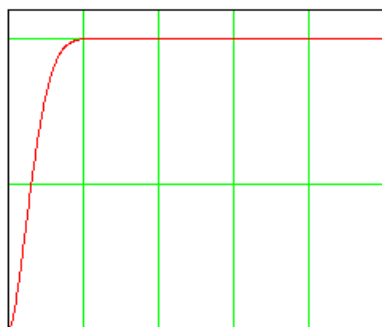


Рис.4. Зміна концентрації вологи для одного шару матеріалу

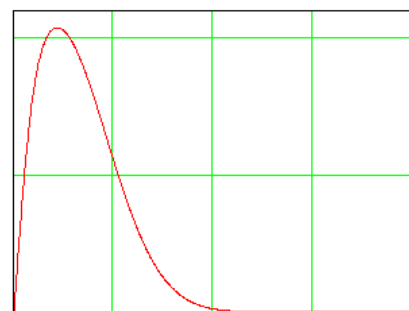


Рис.5. Зміна швидкості водовбирання для одного шару матеріалу

**Висновки**

Запропоновано нелінійне рівняння нестационарного переносу вологи перпендикулярно площині текстильного матеріалу, яке враховує залежність коефіцієнту дифузії від вмісту вологи в матеріалі в будь-який момент часу в заданій точці. Рівняння містить дві константи (А та В), які є характеристиками матеріалу і враховують процес гальмування водовбирання при накопиченні вологи.

У наступному повідомленні буде запропонований метод визначення констант А та В для конкретних матеріалів з урахуванням даних водовбирання, одержаних в умовах макроексперименту.

**ЛІТЕРАТУРА:**

1. Власенко В.І. Теоретичні дослідження процесу водовбирання текстильними матеріалами. Повідомлення 1. Напівемпірична модель водовбирання текстильних матеріалів з постійним коефіцієнтом дифузії // Вісник КНУТД. – 2009. – №6. – с.111–118.

2. Yoneda M., Mizuno Y., Yoneda J. Measurement of water absorption perpendicular to fabric plane in two- and multi-layered fabric systems //Textile Res. J. – 1993. – №29(12). p. 940–949.

3. Флетчер К. Численные методы на основе метода Галёркина. М.: Мир, 1988. – 158 с.

Надійшла 17.01.2010

УДК 687.016.5

**ОСОБЛИВОСТІ РОЗРОБКИ КОНСТРУКЦІЙ ОДЯГУ З УРАХУВАННЯМ  
МОЖЛИВОСТЕЙ СУЧАСНИХ САПР**

В.В. ЗАЛКІНД

Українська інженерно-педагогічна академія

*Статтю присвячено аналізу етапів конструювання одягу в сучасних САПР та відповідному удосконаленню існуючої термінології*

Сучасне виробництво одягу вже неможливо без використання систем автоматизованого проектування (САПР) одягу. Незважаючи на нові можливості САПР, основні етапи конструювання залишаються незмінними, але їх опис і складові частини потребують коригування, відповідно до цих можливостей.

**Об'єкти та методи дослідження**

З метою удосконалення існуючої термінології на різних етапах конструювання одягу було проведено порівняльний аналіз двовимірного та тривимірного конструювання в сучасних САПР одягу. Таким чином, об'єктом даного дослідження є процес конструювання одягу за допомогою САПР.

**Постановка завдання**

В «доСАПРівський» період процес побудови креслень деталей одягу мав такі етапи [1]:

1. ОК (основа конструкції);
2. БК (базова конструкція) або ТБК (типова базова конструкція);
3. МК (модельна конструкція).

Дослідження, що були виконані в Хмельницькому національному університеті [2] доводять, що розробка нової конструкції, – це ітераційний процес й основна мета автоматизованого проектування полягає в зменшенні числа та тривалості циклів ітерацій та перетворення проектування в лінійний процес. Причому процес циклічної проробки конструкції має такий вигляд: