

## ЛІТЕРАТУРА

1. Про заходи щодо підвищення якості вітчизняної продукції: Указ Президента України від 23 лютого 2001 року № 113/2001 // Офіційний вісник України. – 2001. – № 9. – 27 с.
2. Концепція Державної програми розвитку легкої промисловості на 2005-2011 рр. // Легка пром-сть. – № 1. – 2004. – 8 с.
3. Про заходи щодо вдосконалення діяльності у сфері технічного регулювання та споживчої політики: Указ Президента України від 13 липня 2005 р. №1105/2005 // Урядовий кур'єр. – 2005. – № 141.
4. Осипенко Н. І. Теоретико-методологічні засади формування якості та асортименту камвольних тканин : дис. ... докт. техн. наук : 05.19.08 : захищена 05.06.07 : затв. 17.01.08 / Осипенко Наталя Іванівна. – К., 2007. – 434 с.
5. Осипенко Н.І. Обґрунтування вибору камвольних тканин для досліджень за допомогою методу головних компонент / Н.І. Осипенко // Стандартизація. Сертифікація. Якість. – 2004. – №4. – 54–58 с.
6. Осипенко Н.І. Піллінгування камвольних тканин: моделювання та оцінювання / Н.І. Осипенко // Вісник ДонДУЕТ. – 2004. – № 4 (24). – 83–88 с.
7. Осипенко Н.І. Дослідження зносостійкості камвольних тканин / Н.І. Осипенко // Вісник ДонДУЕТ. – 2005. – № 1 (25). – 59–66 с.
8. Осипенко Н.І. Прогнозування міцності тканин на етапі їх проектування / Н.І. Осипенко // Вісник КНУТД. – 2005. – №2(22) . – 115–121 с.
9. Осипенко Н.І. Застосування методу головних компонент для виявлення сукупного впливу параметрів структури на властивості камвольних тканин / Н.І. Осипенко, Г.Ф. Пугачевський // Зб. наук. пр. ювілейної міжнарод. конф. «Інноваційні технології – майбутнє України» 4–9 жовтня 2005, м. Київ. – Т1. // Вісник КНУТД. – 2005. – №5(25). – 59–60 с.

Надійшла 16.09.2010

УДК 677.075

**МЕТОДИКА ПРОГНОЗУВАННЯ ВОДОВБИРАННЯ БАГАТОШАРОВИМИ  
ТЕКСТИЛЬНИМИ МАТЕРІАЛАМИ**

В.І. ВЛАСЕНКО

Київський національний університет технологій та дизайну

*У роботі запропонована методика розрахунку розподілу концентрації вологи по товщині багатошарової структури в залежності від часу при нестационарній дифузії вологи. Ця методика дає можливість прогнозувати проходження вологи послідовно кожним шаром, визначати максимальне поглинання та прогнозувати час насичення вологою багатошарового матеріалу і, таким чином, регулювати процеси масопереносу в багатошарових текстильних композиційних матеріалах.*

Текстильні матеріали використовуються при рішенні таких технічних завдань як фільтрування, сепарація рідинних середовищ, поглинання парів та газів тощо.

Розробка багат шарових текстильних матеріалів дозволяє варіювати в широких межах властивості виробів та регулювати процеси переносу вологи. На сьогодні це актуальний напрямок розробки інноваційних багатофункціональних текстильних матеріалів технічного призначення.

Загальна мета комплексної роботи, яка виконується в цьому напрямку – розробити багат шарові текстильні планарні структури з прогнозованими властивостями щодо поглинання вологи.

#### **Постановка завдання**

Мета роботи – узагальнити результати теоретичних та експериментальних досліджень, направлених на розробку багат шарових текстильних полотен спеціального призначення з прогнозованими властивостями щодо переносу вологи і розробити методіку прогнозування процесів водовбирання багат шаровими текстильними матеріалами.

#### **Об'єкти та методи дослідження**

Об'єкт дослідження – процес водовбирання багат шаровими текстильними матеріалами.

Предмет дослідження – методіка прогнозування водовбирання багат шаровими текстильними матеріалами

Для математичного моделювання процесу водовбирання використовувались методи математичного аналізу, зокрема методи диференційного і інтегрального числення, методи математичної фізики, тригонометричні та ступеневі ряди; для комп'ютерного моделювання – програмне середовище MathCAD.

#### **Результати та їх обговорення**

Для кожного окремого шару рівняння проходження вологи записується аналітичними залежностями [1]:

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

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

де  $U$  – концентрація вологи в певній точці матеріалу;  $t$  – час;  $A, B$  – константи водовбирання, які характерними для кожного матеріалу (безпосередньо з експерименту не визначаються);  $z$  – безрозмірна координата точки в матеріалі.

В роботі [2] доведено, що для визначення параметрів водовбирання та констант дифузії в багат шаровому текстильному матеріалі, який складається з декількох шарів з різними властивостями, достатньо мати рішення задачі для двошарового матеріалу в тому ж виді, як для одношарового. Аналітичні залежності, якими визначається концентрація вологи в одношаровому матеріалі, можуть бути використані за умови, що на границі між першим та другим шаром (в загальному випадку, між кожним попереднім і наступним шаром) концентрація вологи є неперервною, вона постійно збільшується та являється функцією, яка обмежується часом.

Крім того, при побудові математичної моделі проходження вологи через дво- та багат шарові матеріали прийняті такі додаткові умови:

- шари, які входять в багат шарову конструкцію, щільно прилягають один до одного;

- кожний структурний елемент конструкції характеризується однорідною пористістю;  
- модель проходження вологи крізь перший шар не змінюється; для всіх інших змінюються граничні умови.

Означимо:  $n$  – кількість шарів;  $j$  – номер довільного шару матеріалу;  $f$  – концентрація вологи в кожному шарі крім першого;  $UK$  – кінцева концентрація вологи на верхній поверхні будь-якого шару (ця концентрація, в той же час, є вступною в кожний наступний шар).

Приймаємо, що кожний шар в структурі багат шарового матеріалу має свою власну безрозмірну товщину, яка дорівнює одиниці (оскільки для кожного матеріалу його параметри визначаються з врахуванням цього припущення); загальна безрозмірна товщина багат шарового матеріалу дорівнює  $n$ .

З урахуванням цього процес водовбирання для матеріалу, який складається з  $n$  шарів, можна представити таким чином:

$$u(z, t) = \begin{cases} U_1(z, t), z < 1 \\ f_2(z-1, t), 1 < z < 2 \\ \dots \\ f_j(z-j+1, t), i-1 < z < j \\ \dots \\ f_n(z-n+1, t), n-1 < z < n \end{cases} \quad (3)$$

В цьому виразі  $U_1(z, t)$  визначається за (1), а концентрація вологи в другому шарі  $f_2$  визначається:

$$f_2(z, t) = \int_0^t df_2 \quad (4)$$

$$df_2(z, t) = U_2(z, t)d(UK_1(t)) + UK_1(t)d(U_2(z, t)) \approx U_2(z, t)d(UK_1(t)) \quad (5)$$

Проведені чисельні розрахунки при різноманітних співвідношеннях показників дифузії для одного або двох шарів показали, що другий доданок в формулі (5) не перевищує  $3 \div 5$  % від першого. Це пояснюється наступним. Величина  $U_2$  за своїм порядком співпадає з величиною  $UK_j$ . У той же час середня інтенсивність зростання концентрації у другому шарі, яка визначається диференціалом  $dU_2$ , значно відстає від інтенсивності зростання концентрації для першого шару. Враховуючи, що другий доданок значно ускладнює загальний запис виразу і у той же час практично не впливає на результат, будемо користуватися наближеною рівністю (другий доданок не беремо до уваги).

$$U_2(z, t) = 1 - \sum_{i=1}^{\infty} \frac{4 \cdot e^{-A_2(2i-1)t^{B_2}} \cdot \sin\left[\frac{(2i-1)\pi z}{2}\right]}{\pi(2i-1)} \quad (6)$$

$$dU_2 = \sum_{i=1}^{\infty} \frac{4}{\pi} A_2 \cdot B_2 \cdot e^{B_2-1} \cdot e^{-A_2(2i-1)t^{B_2}} \cdot \sin\left[\frac{(2i-1) \cdot \pi z}{2}\right] dt \quad (7)$$

$$UK_1(t) = 1 - \sum_{i=1}^{\infty} \frac{4 \cdot e^{-A_1(2i-1)t^{B_1}}}{\pi(2 \cdot i - 1)} \quad (8)$$

$$d(UK_1(t)) = \sum_{i=1}^{\infty} \frac{4 \cdot A_1 \cdot (2i-1) \cdot B_1 \cdot t^{B_1-1} \cdot e^{-A_1(2i-1)t^{B_1}}}{\pi(2 \cdot i - 1)} dt \quad (9)$$

Для довільного шару матеріалу:

$$f_j(z, t) = \int_0^t df_j \tag{10}$$

$$df_j(z, t) = U_j(z, t)d(UK_{j-1}(t)) + UK_{j-1}(t)d(U_j(z, t)) \approx U_j(z, t)d(UK_{j-1}(t)) \tag{11}$$

$$U_j(z, t) = 1 - \sum_{i=1}^{\infty} \frac{4 \cdot e^{-A_j(2i-1)t^{B_j}} \cdot \sin\left[\frac{(2i-1)\pi z}{2}\right]}{\pi(2i-1)} \tag{12}$$

$$dU_j = \sum_{i=1}^{\infty} \frac{4}{\pi} A_j \cdot B_j \cdot e^{B_j-1} \cdot e^{-A_j(2i-1)t^{B_j}} \cdot \sin\left[\frac{(2i-1) \cdot \pi z}{2}\right] dt \tag{13}$$

$$UK_{j-1}(t) = f_{j-1}(j-1, t) \tag{14}$$

$$d(UK_{j-1}(t)) = \frac{df_{j-1}(j-1, t)}{dt} dt = f'_{j-1}(j-1, t) dt \tag{15}$$

$$f_n(z, t) = \int_0^t df_n \tag{16}$$

$$df_n(z, t) = U_n(z, t)d(UK_{n-1}(t)) + UK_{n-1}(t)d(U_n(z, t))$$

Інтеграл (4), (10), (16) можуть бути записані в явному вигляді та розраховані у програмному середовищі MathCad. Визначення похідної  $f'_{j-1}(j-1, t)$  проводиться також за допомогою програмного математичного засобу (MathCad).

$$U_n(z, t) = 1 - \sum_{i=1}^{\infty} \frac{4 \cdot e^{-A_n(2i-1)t^{B_n}} \cdot \sin\left[\frac{(2i-1)\pi z}{2}\right]}{\pi(2i-1)}$$

$$dU_n = \sum_{i=1}^{\infty} \frac{4}{\pi} A_n \cdot B_n \cdot e^{B_n-1} \cdot e^{-A_n(2i-1)t^{B_n}} \cdot \sin\left[\frac{(2i-1) \cdot \pi z}{2}\right] dt$$

$$UK_{n-1}(t) = f_{n-1}(n-1, t)$$

$$d(UK_{n-1}(t)) = \frac{df_{n-1}(n-1, t)}{dt} dt = f'_{n-1}(n-1, t) dt$$

Після знаходження функції  $u(z, t)$  (3), яка характеризує зміну концентрації вологи по товщині в часі, переходимо до визначення питомих (інтегральних) характеристик водовбирання для багатшарового матеріалу. Приймаємо, що багатшаровий матеріал являє собою єдине планарне тіло з питомою товщиною, яка дорівнює одиниці. Тоді для матеріалу в цілому функція водовбирання виражається як

$$p(t) = \frac{1}{n} \int_0^n f(z, t) dz \tag{17}$$

В цьому випадку інтеграл береться по кожному шару. Оскільки функція записана для багат шарового матеріалу як єдиного цілого, межі підставляємо для кожного шару, а загальні межі від нуля до  $n$ . Для переводу в питомі одиниці одержаний результат ділимо на  $n$ .

Відповідно, швидкість водовбирання знаходимо, як

$$v(t) = \frac{dp}{dt} \approx \frac{\Delta p}{\Delta t} \tag{18}$$

Функції  $p(t)$ , та  $v(t)$  – є характеристиками багат шарового матеріалу, що можуть бути передбачені з використанням експериментальних даних для окремих матеріалів.

Константи водовбирання  $A$  і  $B$  визначаються за розробленою нами методикою [4]. Ця методика дозволяє розраховувати константи за аналітичними залежностями з використанням незалежних характеристик водовбирання, які з достатньою точністю визначаються з експерименту [3]:

$U_{max}$  – максимальне водовбирання, мг/см<sup>2</sup>;

$V_{max}$  – максимальна швидкість водовбирання, мг/см<sup>2</sup>·с;

$t_b$  – час, за який досягається максимальна швидкість водовбирання, с.

Алгоритм визначення констант водовбирання вологи в текстильних матеріалах приведений в табл. 1.

Таблиця 1. Алгоритм визначення констант водовбирання вологи в текстильних матеріалах

1.	Вихідні дані, визначені з експерименту: $U_{max}$ , $V_{max}$ , $t_b$
2.	Розрахункові параметри:
2.1.	$\psi = \frac{V_{max} \cdot t_b}{U_{max}}$
2.2.	$\tau = 0,188 \cdot \psi + 1,667 \cdot \psi^2 - 2,432 \cdot \psi^3 + 1,458 \cdot \psi^4 - 0,339 \cdot \psi^5$
2.3.	$t_{max} = \frac{t_b}{\tau}$
2.4.	$B = 1 + 6,743 \cdot (\tau) - 16,8 \cdot (\tau)^2 + 23,667 \cdot (\tau)^3$
2.5.	$A = \frac{4,395}{t_{max}^B}$

Рішення розроблених аналітичних залежностей, які дозволяють прогнозувати процес водовбирання, може бути виконане тільки чисельно. Як приклад, результати розрахунку у середовищі MathCad для трьохшарового матеріалу представлені на рис. 1.

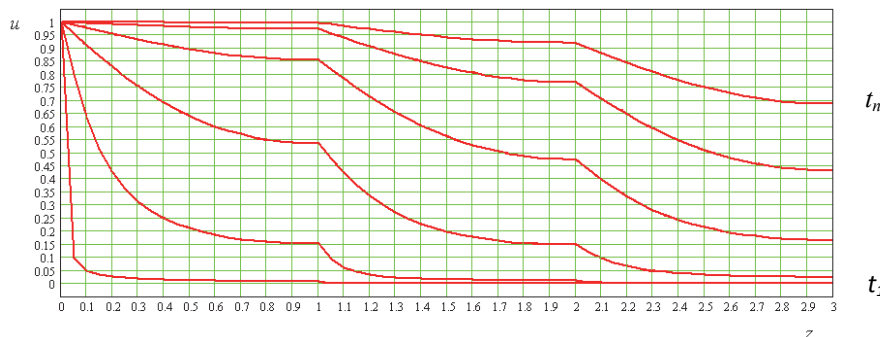


Рис.1. Зміна концентрації по товщині трьохшарового матеріалу для різних моментів часу

$$t_1 < t_2 < t_3 \dots < t_n$$

На рис. 2 та рис. 3, як приклад, проводимо розрахунок середніх концентрацій води та швидкості водовбирання для одно-, дво- та трьохшарових матеріалів.

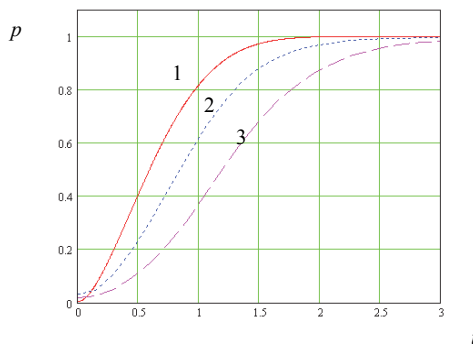


Рис.2. Середня концентрація води в одно-, дво- та трьохшаровому матеріалах

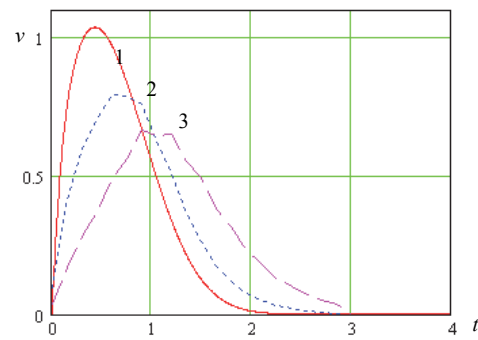


Рис.3. Швидкість водовбирання одно-, дво- та трьохшаровим матеріалам

### Висновки

В роботі узагальнені результати проведених раніше теоретичних і експериментальних робіт та запропонована методика розрахунку розподілу вологи по товщині багатошарової текстильної структури в залежності від часу при нестационарній дифузії вологи. Методика дає можливість прогнозувати проходження вологи послідовно через кожний шар; визначити максимальне поглинання та максимальний час насичення матеріалу вологою.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Власенко В.І. Теоретичні дослідження процесу водовбирання текстильними матеріалами. Повідомлення 2. Напівемпірична модель водовбирання текстильних матеріалів зі змінним коефіцієнтом дифузії // Вісник КНУТД. – 2010. – №1. – С. 93 – 99.
2. Власенко В.І. Аналітична модель водовбирання дво- та багатошаровими текстильними структурами. // Вісник КНУТД. – 2010. – №3. – С. (у друку).
3. Власенко В.І. Дослідження процесу водовбирання текстильними матеріалами технічного призначення // Вісник КНУТД. – 2009. – №5. – С. 106 – 112.
4. Власенко В.І. Теоретичні дослідження процесу водовбирання текстильними матеріалами. Повідомлення 3. Методика визначення констант водовбирання текстильних матеріалів // Вісник КНУТД. – 2010. – №2. – С. 102 – 108.

Надійшла 13.12.2010