

УДК 677.017.636

ДИFUЗІЙНІ ВЛАСТИВОСТІ ДВОШАРОВИХ МАТЕРІАЛІВ

Г. В. ЩУЦЬКА

Державний вищий навчальний заклад "Київський коледж легкої промисловості", Київ, УКРАЇНА
email: polischuka@mail.ru

АНОТАЦІЯ Одержана явна залежність, що визначає час досягнення рідиною сухої поверхні двошарового матеріалу, виходячи з властивостей окремих матеріалів. В якості основних параметрів вхідних матеріалів рекомендовані емпіричні величини, що визначаються з елементарних експериментів для окремих матеріалів. Кожний матеріал характеризується двома величинами – часом насичення рідиною матеріалу і часом, що відповідає максимуму швидкості поглинання рідини. Одержана залежність може використовуватися як для прогнозування властивостей двошарових матеріалів, так і для підбору характеристик окремих матеріалів для створення матеріалу з заданими властивостями.

Ключові слова: пористі матеріали, проникнення вологи, поглинання рідини, постійні часу

АННОТАЦИЯ Получена явная зависимость, которая определяет время достижения жидкостью сухой поверхности двухслойного материала, исходя из свойств отдельных материалов. В качестве основных параметров входных материалов рекомендованы эмпирические величины, определяемые из элементарных экспериментов для отдельных материалов. Каждый материал характеризуется двумя величинами - временем насыщения жидкостью материала и временем, которое соответствует максимуму скорости поглощения жидкости. Полученная зависимость может использоваться как для прогнозирования свойств двухслойных материалов, так и для подбора характеристик отдельных материалов для создания материала с заданными свойствами.

Ключевые слова: пористые материалы, проникновение влаги, поглощение жидкости, постоянные времени

DIFFUSION PROPERTIES DOUBLE-LAYER MATERIALS

SHCHUTSKA GANNA

Higher state educational establishment "Kyiv college of light industry", Kyiv, UKRAINE

ABSTRACT In recent times use of multilayer composite materials have found widespread, the use of which in many cases leads to qualitatively new properties. The task of creating such materials requires the creation of theoretical models, as experimentally test all the possible composition of materials is difficult. the differential equation for the depth of the passage of fluid were compiled and solved. A typical moment for bilayer materials is achieving the internal liquid surface. If we analyse the number of dependencies depths in the second fluid passage, we can conclude the proximity to the linear dependence of achieving dry layer on two parameters (time parameter of the second material and mutual option second time and the first material). Dependences on time parameter of first material having a form of a curve with a maximum, which is typical square parabola. To find the coefficients of the method of least squares were obtained. As a result of research obtained a clear dependence that defines achieving a dry surface two-layer liquid material from the properties of certain materials is obtained. The main parameters of input materials recommended empirical values determined from experiments for elementary individual items. Each material is characterized by two values – time of saturation liquid in material and time which corresponds to maximum speed fluid absorption. The resulting dependence can be used to predict properties of bilayer materials and for the selection characteristics of individual materials to create materials with desired properties.

Keywords: porous materials, moisture penetration, fluid absorption, the time constants

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Пористі матеріали широко використовуються в різних галузях техніки. Одним з основних їх властивостей є здатність поглинання рідини, що у відповідності до призначення матеріалу може бути корисним або шкідливим. На даний час накопичено певний досвід у визначенні подібних матеріалів до водопоглинання. Результати досліджень мають здебільш емпіричний характер, що задовольняє

проблеми визначення властивостей одношарових матеріалів.

В останні часи знайшли широке використання багатшарові композиційні матеріали, використання яких у багатьох випадках веде до появи якісно нових властивостей. Задача створення подібних матеріалів потребує створення теоретичної моделі, оскільки експериментально перевірити всі можливі композиції матеріалів досить важко.

Знаходження явної залежності параметрів двошарових матеріалів дозволить передбачувати їх властивості, а також створювати матеріали з заданими властивостями.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми, виділення невирішених раніше частин загальної проблеми

Питаннями створення і використання композиційних пористих матеріалів займалися ряд дослідників [1-3]. Розробка подібних матеріалів поки що ведеться, виходячи з досвіду і емпіричних уявлень.

Теоретичні основи проходження рідини крізь пористі матеріали визначені в [4-5]. Зокрема, в [6-7] побудована спрощена модель проникнення вологи крізь пористі матеріали на елементарному рівні. На основі регресійного аналізу знайдені базові показники, що характеризують динаміку проходження рідини крізь пористі матеріали. Отримана залежність включає явні експериментальні дані, що можуть бути одержані в макроекспериментах і передбачає знаходження концентрації рідини в будь-якій точці матеріалу. Дана модель дозволяє прогнозувати стан пористого матеріалу при його змочуванні, визначати час проходження рідини крізь матеріал і час повного накопичення рідини. Одержані дані дозволяють прогнозувати проходження рідини крізь багат шарові матеріали. З даних робіт важко зробити висновок про поведінку композицій з двох або декількох матеріалів у випадку їх поєднання.

В [8] обґрунтовані основні експериментальні дані, необхідні для побудови математичної моделі проходження рідини крізь пористі матеріали.

В [9-10] Зроблена спроба моделювання проходження рідини крізь декілька шарів. Слід визнати, що подібна модель дуже складна, вимагає додаткових теоретико експериментальних досліджень кожного матеріалу і не може напряму використовуватись в напрямку створення матеріалів з заданими властивостями.

Мега роботи – розробка математичної моделі проходження рідини крізь двошарові композиції, що дозволяє прогнозувати властивості композиційних матеріалів, виходячи з властивостей окремих матеріалів.

Аналіз експериментальних даних, побудови диференціальних залежностей

Експериментальні дані щодо накопичення вологи в пористому матеріалі дають характерні залежності концентрації u від часу t (рис.1).

З даних залежностей легко знаходяться характерні параметри – час, що відповідає максимуму на кривій похідних, t_0 , а також час, при якому настає насичення t_m .

Дані експерименти можуть бути проведені для будь-якого одношарового матеріалу.

Якщо мова йде про двошарові композиції, бажано було б мати методику їх проектування, для створення якої необхідно розробити алгоритм

визначення характерних параметрів проходження рідини на основі даних окремих матеріалів.

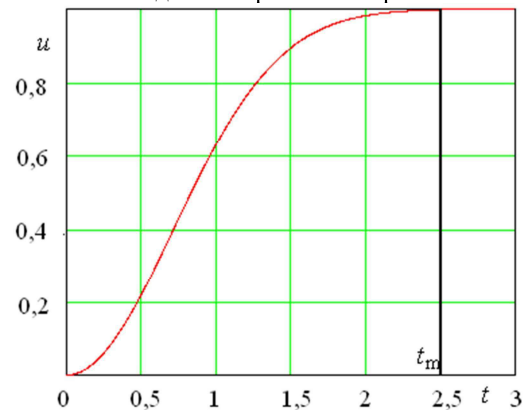


Рис.1 – Залежність накопичення рідини в пористому матеріалі

Залежність для похідної цієї функції має ще більш характерний вигляд (рис.2)

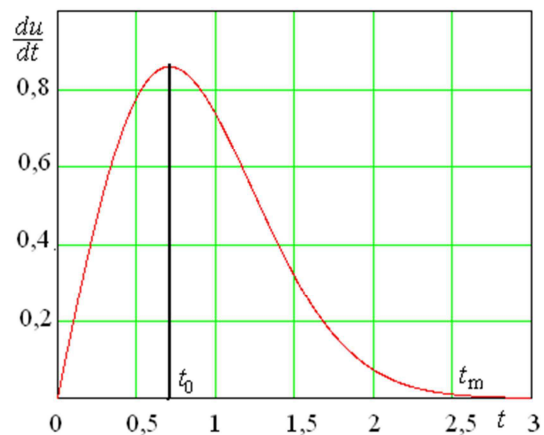


Рис. 2 – Швидкість накопичення рідини в пористому матеріалі

Як показано в [6] концентрація рідини в пористому матеріалі може бути записана у вигляді

$$u = 1 - \exp\left(-\frac{\beta-1}{\beta} \tau^\beta\right),$$

де $\beta = 1 + 5,053 \cdot \left(\frac{t_0}{t_m}\right)^{-1,45}$.

Означимо $\tau_1 = \left(\frac{t_{01}}{t_{m1}}\right)$ відношення для першого матеріалу, $\tau_2 = \left(\frac{t_{02}}{t_{m2}}\right)$ - відношення для другого матеріалу, $\tau_{12} = \left(\frac{t_{m2}}{t_{m1}}\right)$ - відношення максимумів

першого і другого матеріалів, $\tau_k = \left(\frac{t_{12}}{t_{m1}}\right)$ - відношення часу появи вологи на поверхні другого матеріалу до максимуму першого матеріалу, $\tau = \left(\frac{t}{t_{m1}}\right)$ - безрозмірний час

Схема розподілу рідини в момент часу, що відповідає досягненню рідиною внутрішньої поверхні другого матеріалу зображена на рис.3

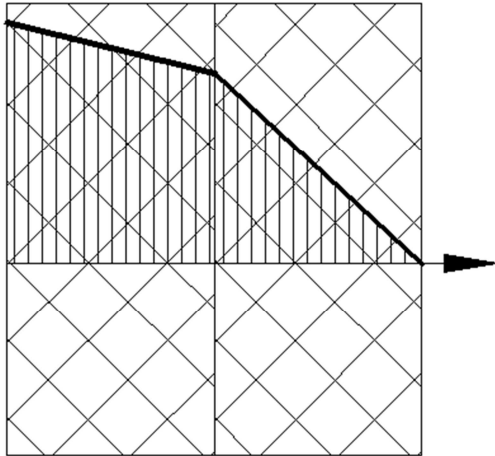


Рис.3 – Розподілення концентрацій в двошаровому матеріалі

У випадку постійної вхідної концентрації середня концентрація в другому матеріалі визначається, як

$$u_2 = u_{12} \left(1 - e^{-\alpha_2 \left(\frac{t}{t_m}\right)^{\beta_2}} \right)$$

З іншого боку при розповсюдженні всередині другого матеріалу рідина розповсюдиться на глибину z , а концентрація при відомій глибині може бути визначена, як

$$u = \frac{1}{2} u_1 \cdot \frac{z}{h}$$

Будемо виходити з припущення, що у випадку змінної вхідної концентрації закономірності усередині шару матеріалу залишаються справедливими, якщо їх записати у прирощеннях. Тобто у випадку безкінцево малого прирощення вхідної концентрації концентрація визначається, як

$$du_2 = d\left(\frac{1}{2} u_{12} \cdot \frac{z}{h}\right) = \frac{1}{2h} (z \cdot du_{12} + u_{12} \cdot dz)$$

При цьому початкова концентрація визначається виразом, записаним вище, її похідна дорівнює

$$g1(t) = \frac{du_{12}}{dt} = 2 \cdot \frac{\alpha_1 \cdot \beta_1}{t_{m1}} \cdot \left(\frac{t}{t_{m1}}\right)^{\beta_1-1} \exp\left(-\alpha_1 \cdot \left(\frac{t}{t_{m1}}\right)^{\beta_1}\right)$$

Відповідно похідна концентрації для другого шару

$$g2(t) = \frac{du_2}{dt} = \frac{\alpha_2 \cdot \beta_2}{t_{m2}} \cdot \left(\frac{t}{t_{m2}}\right)^{\beta_2-1} \exp\left(-\alpha_2 \cdot \left(\frac{t}{t_{m2}}\right)^{\beta_2}\right)$$

Тоді вираз у прирощеннях може бути записаний, як

$$\frac{dz}{dt} u_{12}(t) + z \cdot g1(t) = 2 \cdot h \cdot g2(t)$$

Означимо надалі

$$\zeta = \frac{z}{h}, P(t) = \frac{g1(t)}{u_{12}(t)}, Q(t) = \frac{2 \cdot g2(t)}{u_{12}(t)}$$

Одержуємо диференціальне рівняння для визначення глибини поглинання рідини у другий шар матеріалу

$$\frac{d\zeta}{dt} + \zeta \cdot P(t) = Q(t)$$

Для розв'язку подібних рівнянь традиційно використовується метод варіації постійних, який дає можливість розв'язати рівняння в явному вигляді при певних значеннях констант окремих матеріалів.

Визначення явної залежності часу проходження рідини крізь двошарові композиції

Типова залежність глибини поглинання рідини другим матеріалом для певних співвідношень τ_{12} , τ_1 показана на рис.4

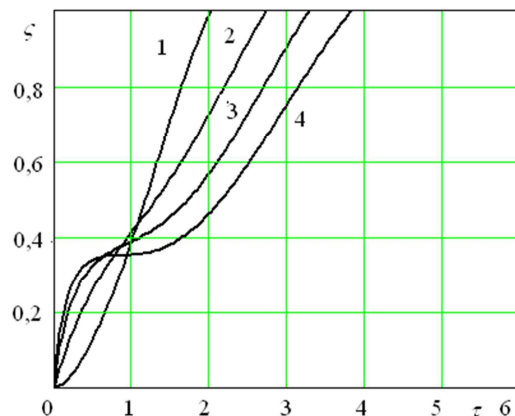


Рис.4 – Глибина проходження рідини в другому матеріалі: 1 - $\tau_2=2$; 2 - $\tau_2=3$; 3 - $\tau_2=4$; 4- $\tau_2=5$

Характерним моментом для двошарових матеріалів є час досягнення рідиною внутрішньої поверхні для $\zeta=1$. Якщо проаналізувати ряд залежностей глибин проходження рідини у другому матеріалі можна зробити висновок про близькість до лінійної залежності часу досягнення сухого шару від двох параметрів (параметр часу другого матеріалу τ_2 і взаємний параметр часу другого і першого матеріалів τ_{12}).

Наприклад для окремого значення τ_{12} коефіцієнт кореляції дорівнює

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (\tau_2 - \tau_{2cp})(\tau_k - \tau_{kcc})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (\tau_2 - \tau_{2cp})^2 (\tau_k - \tau_{kcc})^2}} = 0,99.$$

Залежність шукаємо у вигляді лінійної функції методом найменших квадратів.

Таблиця 1 – визначення лінійних коефіцієнтів методом найменших квадратів

№	τ_2	τ_k	τ_2^2	$\tau_2 \cdot \tau_k$
1	2	2	4	4
2	3	2,7	9	8,1
3	4	3,3	16	13,2
4	5	3,8	25	19
Σ	14	11,8	54	44,3

Коефіцієнти визначасмо з розв'язку системи

$$\begin{cases} 11,8 = a \cdot 4 + b \cdot 14 \\ 44,3 = a \cdot 14 + b \cdot 54 \end{cases}$$

Що дає значення

$$\tau_k = 0,85 + 0,6 \cdot \tau_2$$

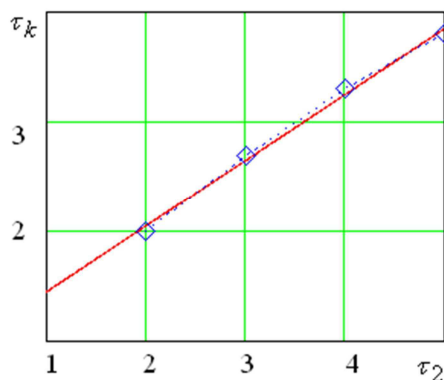


Рис.5 – Лінійна регресія від параметру часу другого матеріалу

Використання методу найменших квадратів дає загальну залежність для певних параметрів часу

першого матеріалу τ_1 у вигляді $\tau_k = a_0 + a_1 \cdot \tau_{12} + a_2 \cdot \tau_2 + a_3 \cdot \tau_{12} \cdot \tau_2$, де коефіцієнти залежать від τ_1 .

Таким чином маємо ряд залежностей:

Для $\tau_1=3$

$$\tau_k = -0,5 + 0,86 \cdot \tau_{12} + 0,62 \cdot \tau_2 + 0,1 \cdot \tau_{12} \cdot \tau_2.$$

Для $\tau_1=4$

$$\tau_k = -0,32 + 0,92 \cdot \tau_{12} + 0,68 \cdot \tau_2 + 0,14 \cdot \tau_{12} \cdot \tau_2.$$

Для $\tau_1=5$

$$\tau_k = -0,4 + 0,89 \cdot \tau_{12} + 0,69 \cdot \tau_2 + 0,15 \cdot \tau_{12} \cdot \tau_2.$$

Для $\tau_1=6$

$$\tau_k = -0,49 + 0,85 \cdot \tau_{12} + 0,6 \cdot \tau_2 + 0,12 \cdot \tau_{12} \cdot \tau_2.$$

Проаналізуємо можливий вигляд цих залежностей (рис. 6)

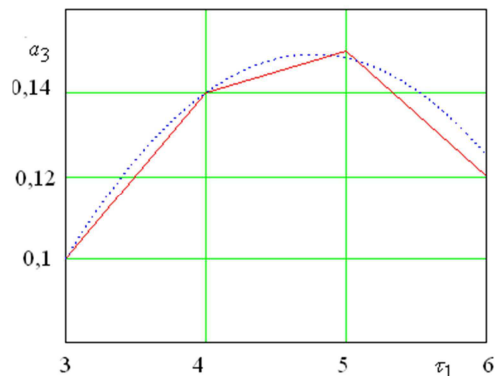


Рис. 6 – Залежність коефіцієнтів регресії від параметру часу першого матеріалу

Залежності мають вигляд кривої з максимумом, що характерно для квадратної параболи. Залежність коефіцієнтів від константи часу першого матеріалу у цьому випадку має вигляд

$$a_i = b_{i0} + b_{i1} \cdot \tau_1 + b_{i2} \cdot \tau_1^2.$$

Для знаходження коефіцієнтів використовувався метод найменших квадратів. Аналіз ряду залежностей для різних параметрів матеріалів дозволив у явному вигляді знайти залежність проходження двох шарів в залежності від властивостей окремих матеріалів.

Шуканий час досягнення вологи внутрішнього шару становить

$$\begin{aligned} \tau_k = & -1,71 + 0,62 \cdot \tau_1 - 0,07 \cdot \tau_1^2 + \\ & (0,43 + 0,227 \cdot \tau_1 - 0,027 \cdot \tau_1^2) \cdot \tau_{12} \\ & + (0,042 + 0,291 \cdot \tau_1 - 0,033 \cdot \tau_1^2) \cdot \tau_2 + \\ & (-0,21 + 0,151 \cdot \tau_1 - 0,016 \cdot \tau_1^2) \cdot \tau_{12} \cdot \tau_2 \end{aligned}$$

Дана залежність дозволяє передбачити час проникнення рідини крізь двошаровий матеріал, виходячи з властивостей окремих матеріалів.

Висновки

Результати досліджень можуть бути використані як для прогнозування властивостей двошарових матеріалів, так і для підбору характеристик окремих матеріалів для створення матеріалу з заданими властивостями.

Список літератури

1. **Sousa Fangueiro1, R. M., Cunha Soutinho, H. F.** Moisture Management Performance of Multifunctional yarns based on Wool Fibers / **Sousa Fangueiro1 R. M., Cunha Soutinho H. F.** // *Advanced Materials Research*. – 2010. – Vols. 123-125. – P. 1247-1250.
2. **Щуцька, Г. В.** Механічні властивості пакетів екологічних матеріалів для взуття / **Г. В. Щуцька, Н. П. Супрун, Т. О. Якубовська** // *Журнал "Проблеми легкої і текстильної промисловості України"*. – 2012. – №2(20).
3. **Johnson, N. G.** Wool as a technical fibre. Part 3 / **N. G. Johnson, E. J. Wood, P. E. Ingham, S. J. McNeil, I. D. McFarlane** // *Cambriage UK: Text Inst.* . – 2003. – 94 p.
4. **Norman, R. S.** Water transport mechanisms in textile material. Part II: Capillary-type penetration in yarns and fabrics / **R. S. Norman, Hollies Kassinger** // *Textile Res. J.* – 1997. – №8. – P. 132-134.
5. **Rita M. Crow** The Interaction of water with Fabric / **Rita M. Crow, J. Randall** // *Textile Res. J.* – 1998. – №68. – P. 280-288.
6. **Щуцька, Г. В.** Метод прогнозування проникнення рідини крізь пористі матеріали / **Щуцька Г.В.** // *Східноєвропейський журнал передових технологій*. – 2015. – Том 3, № 11(75). – С. 19-23.
7. **Suprun, N. P.** Modeling of masstransfere processes in textiles / **N. P. Suprun** // *Vlakna a textil.* – 2001. – №2. – 125 p.
8. **Riabchikov, N.** Linear mathematical model of water uptake perpendicular to fabric plane / **N. Riabchikov, V.**

- Vlasenko, S. Arabuli** // *Vlakna a textil.* – 2011. – №2 Rochik 18. – P. 24-29
9. **Рябчиков, М. Л.** Кінетика процесу водовбирання багат шаровими текстильними композиційними матеріалами. Математична модель процесу водовбирання. Повідомлення 2 / **С. І. Ковтун, М. Л. Рябчиков** // *Київський національний університет технологій та дизайну. Вісник КНУТД.* – 2008. – №6. – С. 82-88.
10. **Yoneda, M.** Measurment of water absorption perpendicular to fabric plane in two- and multi-layered fabric systems / **M. Yoneda, Y. Mizuno, J. Yoneda** // *Textile Res. J.* – 1993. – №29(12). – P. 940-949.

Bibliography (transliterated)

1. **Sousa Fangueiro1, R. M., Cunha Soutinho, H. F.** Moisture Management Performance of Multifunctional yarns based on Wool Fibers. *Advanced Materials Research*, 2010, **123-125**, 1247-1250.
2. **Shchutka, G., Suprun, N. Yakubovska, T.** Mehanichni vlastivosti paketiv ekologichnyh materialov dlya vzuttya. *Problemy legkoy i tekstilnoy promyshlennosti Ukrainy*, 2012, **2(20)**.
3. **Johnson, N. G., Wood, E. J., Ingham, P. E., McNeil, S. J., McFarlane, I. D.** Wool as a technical fibre. Part 3. *Cambriage UK: Text Inst*, 2003, 94 p.
4. **Norman, R. S., Hollies Kassinger** Water transport mechanisms in textile material. Part II: Capillary-type penetration in yarns and fabrics. *Textile Res. J.*, 1997, **8**, 132-134.
5. **Rita, M. Crow, Randall, J.** The Interaction of water with Fabric. *Textile Res. J.*, 1998, **68**, 280-288.
6. **Shchutka, G.** Metod prognozuvannya pronicnennya ridyny kriz poristi materialy. *Shidnoevropeyskiy jurnal peredovyh tehnologiy*, 2015, Vol 3, **11(75)**, 19-23.
7. **Suprun, N. P.** Modeling of masstransfere processes in textiles. *Vlakna a textil*, 2001, **2**, 125 p.
8. **Riabchikov, N., Vlasenko, V., Arabuli, S.** Linear mathematical model of water uptake perpendicular to fabric plane. *Vlakna a textil*, 2011, **2** Rochik 18, 24-29.
9. **Kovtun, S., Riabchikov, M.** Kinetika processes vodovbirannya bagatosharovimi textile kompozitsiynimi materialami. Mathematical model protsesu vodovbirannya. Notification 2. *Kiev The natsionalny universitet tehnologiy that design. News KNUITD*, 2008, **6**, 82-88.
10. **Yoneda, M., Mizuno, Y., Yoneda, J.** Measurment of water absorption perpendicular to fabric plane in two- and multi-layered fabric systems. *Textile Res. J.*, 1993, **29(12)**, 940-949.

Надійшла (received) 15.10.2015