

УДК 62-762.42+677.01

**АСИМЕТРИЧНЕ РОЗПОВСЮДЖЕННЯ РІДИНИ В ПРОКЛАДОЧНИХ МАТЕРІАЛАХ**

©Щуцька Г. В.

*Київський національний університет технологій і дизайну***Інформація про автора:**

**Щуцька Ганна Володимирівна:** ORCID: 0000-0002-7182-8556; polischuka@mail.ru; кандидат технічних наук; доцент кафедри текстильного матеріалознавства; Київський національний університет технологій і дизайну; вул. Івана Кудрі, 29, м. Київ, 01042, Україна.

Розв'язана задача з розробки методів визначення строку проходження рідини крізь ущільнення шляхом моделювання дискретної структури матеріалу прокладки. Робота базується на експериментальних даних щодо структури матеріалів для ущільнень і експериментах по проходженню рідини крізь елементарні проби. Доведено, що реальна дискретна структура матеріалу дозволяє створити ефективну модель проникнення рідини крізь прокладки. Створений алгоритм дискретного моделювання сорбційних процесів. Одержані дискретні залежності накопичення рідини в матеріалі. Запропоновані функції, що найліпшим чином апроксимують дискретні залежності. Використання дискретного методу моделювання процесу проходження рідини в ущільненнях з пористих матеріалів дозволило побудувати реальну аналітичну функцію границі змоченої зони. Вперше виявлений ефект збільшення концентрацій всередині матеріалів демонструє можливість дострокового досягнення рідиною границі матеріалу. Одержані результати дозволяють передбачати строк повного намокання ущільнень, прогнозувати строк їх роботи, визначати параметри матеріалу для визначеного терміну роботи.

**Ключові слова:** ущільнення; пористі матеріали; проникнення рідини; дискретна структура.

**Щуцкая А. В.** «Асимметричное распространение жидкости в прокладочных материалах».

Решена задача по разработке методов определения срока прохождения жидкости через уплотнения путем моделирования дискретной структуры материала прокладки. Работа базируется на экспериментальных данных по структуре материалов для уплотнений и экспериментах по прохождению жидкости через элементарные пробы. Доказано, что реальная дискретная структура материала позволяет создать эффективную модель проникновения жидкости через прокладки. Создан алгоритм дискретного моделирования сорбционных процессов. Полученные дискретные зависимости накопления жидкости в материале. Предложены функции, наилучшим образом аппроксимируют дискретные зависимости. Использование дискретного метода моделирования процесса прохождения жидкости в уплотнениях из пористых материалов позволило построить реальную аналитическую функцию границы смоченной зоны. Впервые обнаруженный эффект увеличения концентраций внутри материалов демонстрирует возможность досрочного достижения жидкостью границы материала. Полученные результаты позволяют определять срок полного намокания уплотнений, прогнозировать срок их работы, определять параметры материала для определенного срока работы.

**Ключевые слова:** уплотнения; пористые материалы; проникновение жидкости; дискретная структура.

*Shchutska G.* “The asymmetric distribution of the liquid in the cushioning material”.

The problem for the development of methods for determining the period of the passage of fluid through the seal by simulating discrete structure of the gasket material is solved. The work is based on the experimental data on the structure of materials for the seal and experiments of the passage of liquid through the basic sample. It is proved that the real discrete structure of the material allows to create an effective model of penetration of liquid through the pads. The algorithm of discrete simulation of sorption processes is developed. The discrete depending of accumulation of fluid in the material are obtained. Functions, that give the best approximation of discrete dependence are suggested. Using the method of discrete simulation of the passage of the fluid in the seals of porous materials made it possible to build a real analytic function dampened border zone. First discovered the effect of increasing concentration within the material demonstrates the ability to achieve early fluid boundaries of the material. The results allow to determine the period of full wet seals to predict the duration of their work, to determine the parameters of the material for a certain period of operation.

**Keywords:** seals; porous materials; liquid penetration; discrete structure.

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

Ущільнення нерухомих з'єднань використовується в різноманітних сферах сучасної науки і техніки від точного приладобудування до будівництва. У якості матеріалів для ущільнень використовують матеріали, які мають певну структуру. Незважаючи на їх широку розповсюдження, процес проникнення рідини в подібні матеріали досліджений недостатньо. Дослідження цього процесу може надати змогу визначити строк роботи ущільнень, передбачити вихід з ладу, проектувати обладнання з заданим строком роботи.

### **2. Аналіз досліджень і публікацій, виділення невирішених раніше частин загальної проблеми**

Дослідженням динаміки проходження рідин крізь ущільнення, на наш погляд, приділялося недостатньо уваги, хоча їх працездатність відображається на якості роботи усього пристрою цілком.

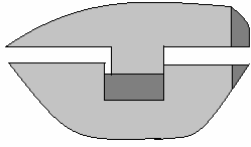
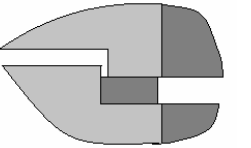
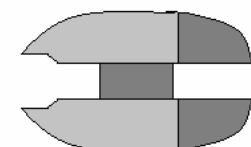
В [1] зроблений огляд матеріалів для ущільнення. Наведені деякі залежності використання таких матеріалів від робочих параметрів (тиску і температури) і від середовища (вода, пара, мастило та ін). Визначені типи і галузь використання ущільнень (таблиця 1).

Працездатність роботи ущільнень багато в чому пов'язана з швидкістю проходження рідини крізь нього. В [2] наведені відомі методи визначення закономірностей проходження рідини крізь пористі середовища, хоча не наведені методи розв'язання пропонованих рівнянь.

В роботі [3] зроблена спроба на основі використання методу скінченних елементів спрогнозувати процес проходження рідини крізь подібні матеріали. На наш погляд, подібна модель не враховує реальну структуру матеріалу, тому може давати значні похибки.

Статті [4–5] демонструють експериментальні дані щодо водопоглинання пористими матеріалами. Вони дають можливість знайти специфічні характеристики матеріалів, хоча дані роботи і не завершуються побудовою реальних моделей.

Таблиця 1 – Використання ущільнень

Означення типу ущільнення	Схема установаження	Призначення
K1		Ущільнення фланцевих з'єднань типу шип-паз
K2		Ущільнення фланцевих з'єднань типу виступ - западина
K3		Ущільнення фланцевих з'єднань з гладкими поверхнями

Робота [6], в якій зроблена спроба аналітичного моделювання процесів поглинання вологи важко використовується на практиці у зв'язку з її складністю.

В ряді робіт[4–5] доведено, що вказані матеріали в реальності є дискретними структурами, для яких бажано використовувати специфічні моделі розрахунку.

В роботі [7] запропонована дискретна модель розповсюдження вологи в пористому матеріалі, що значно спрощує процес моделювання при наближенні моделі до реальної структури. На жаль, в роботі не наведено реального використання запропонованої моделі.

**3. Мета роботи** – розробка методів визначення строку проходження рідини крізь ущільнення шляхом моделювання дискретної структури матеріалу прокладки.

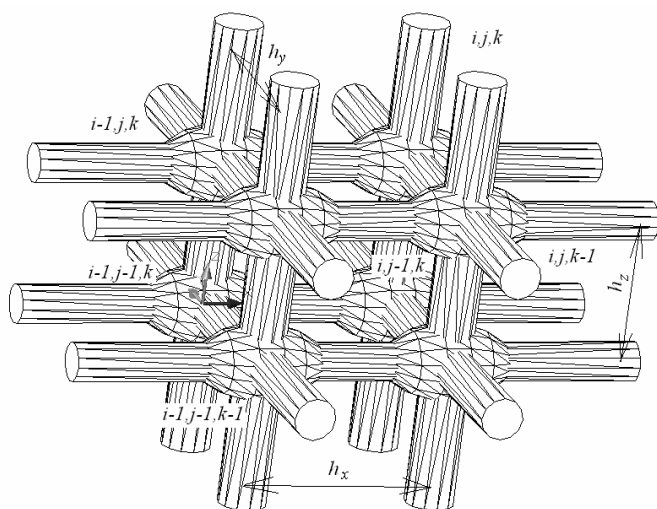
Фізичний процес проходження рідини крізь ущільнення уявляють з себе дифузію всередину пористої структури. Відомі безперервні моделі, що описують подібний процес. Вони в основному ґрунтуються на спробах розв'язання відповідних диференціальних рівнянь в частинних похідних. Невідомим параметром в цих рівняннях виступає концентрація рідини в певній точці матеріалу. Характеристикою матеріалу виступає коефіцієнт дифузії рідини в матеріал. Справа розв'язання подібних рівнянь значно ускладнюється у зв'язку з тим, що коефіцієнт дифузії сам є функцією концентрації рідини. У результаті рівняння перетворюється у нелінійні, процес їх розв'язання практично невідомий.

Запропонований нами дискретний підхід [7] передбачає, що матеріал, що підлягає дифузії, уявляє з себе істему пор і перехідних елементів між ними.

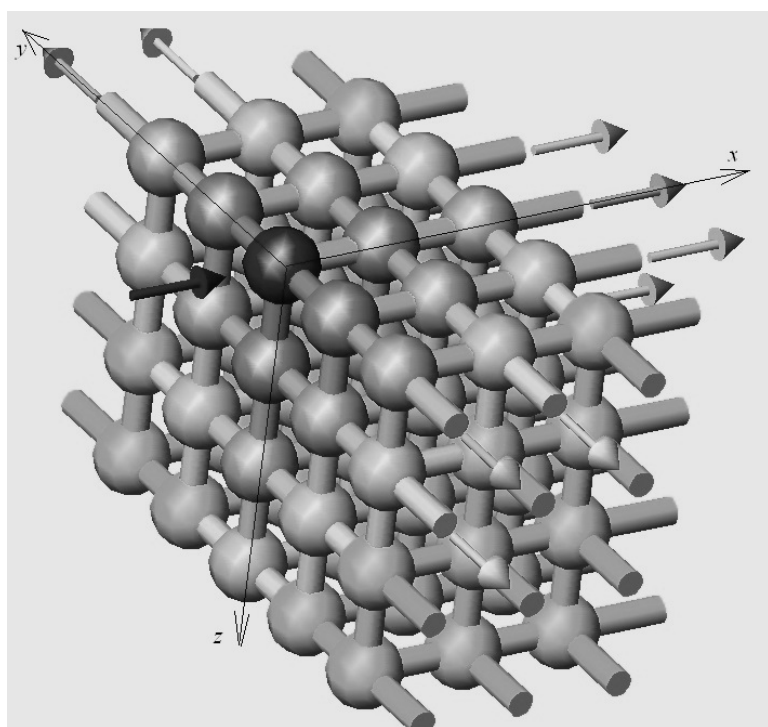
Дискретна комірка такої структури для розрахунків буде мати вигляд, наведений на рис. 1. Концентрація рідини в кожному елементі визначається, як динамічна функція шляхом рекурентного розв'язку системи звичайних диференціальних рівнянь.

Елемент, що накопичує вологу має номер  $i$  у напрямку осі  $x$ ,  $j$  – у напрямку осі  $y$ ,  $k$  – у напрямку осі  $z$ . До нього з трьох боків підходять елементи живлення, у свою чергу він роздає

рідину у три боки. Кількість вологи, що входить до елемента означимо індексом 0, кількість вологи, що виходить з елемента – індексом 1. Кожний елемент живлення має передаточну функцію, яка визначає різницю між концентрацією рідини на початку і кінці елемента. У загальному випадку ця функція залежить від координати і часу.



**Рис. 1** – Елементарна дискретна комірка



**Рис. 2** – Розповсюдження рідини в дискретній моделі вигляді комбінації прямої та експоненти

$$X = (A - B \cdot Z) \cdot e^{-C \cdot Z}.$$

Надалі будемо працювати з безрозмірними координатами

$$x = \alpha(1 - \beta \cdot z) \cdot e^{-\gamma \cdot z},$$

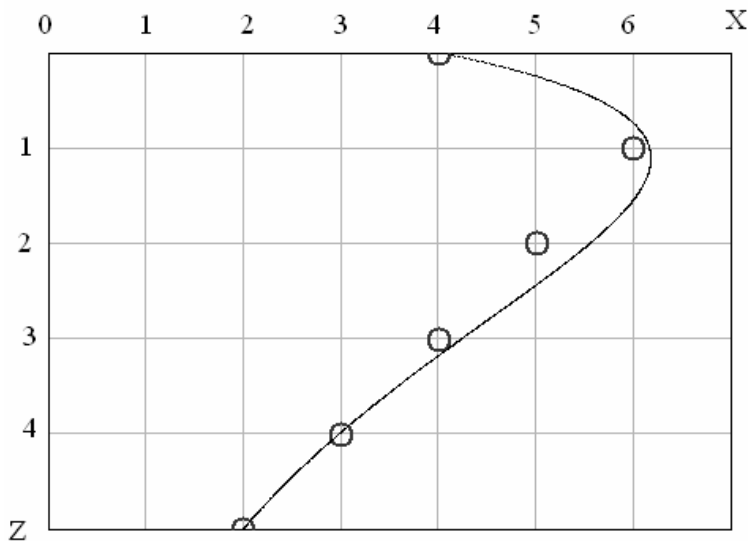
де  $\alpha, \beta, \gamma$  – коефіцієнти, що залежать від матеріалу ущільнення і рідини.

Вказаний алгоритм був використаний для моделювання розтікання рідини в прямокутній структурі ущільнення. У якості початкових значень по всім коміркам бралася нульова концентрація. Подача рідини здійснювалася постійно в комірку з номером 0,0,0. Результати моделювання розповсюдження рідини показано на рис. 2.

Дискретна модель розповсюдження рідини в певний момент часу дає результати, з яких по-перше, можна визначити реальну концентрацію рідини в певній точці, по-друге, форму границі змоченої зони, якої досягла рідина при її розповсюдженні.

На рис. 3 показана форма змоченої поверхні в окремий період часу. На цьому рисунку показаний вперше виявлений ефект збільшення проникнення рідини всередині матеріалу. Для описання процесу розповсюдження рідини була проведена апроксимація дискретного розповсюдження рідини континуальною моделлю.

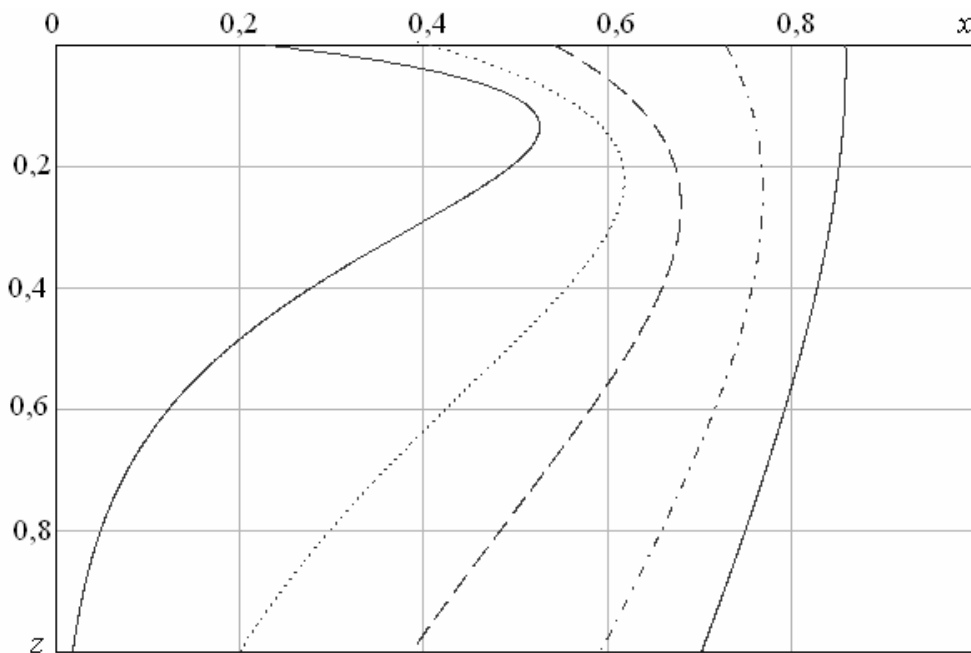
Уявимо шукану функцію у



**Рис. 3** – Дискретні результати розповсюдження рідини

коefficientів від часу. Аналіз залежностей дозволив виявити дискретні залежності coefficientів від часу і на основі них – апроксимуючі безперервні функції.  $\beta = \frac{1.7}{t^{1.8}}$ ,

$$\gamma = \frac{1.2}{t^{1.04}} \approx \frac{1.2}{t}, \quad \alpha = 1 - 0.97 \cdot e^{-1.3 \cdot t} \approx 1 - e^{-1.3 \cdot t}.$$



**Рис. 4** – Зміна границі змоченої зони для різних моментів часу

Наведені викладки дозволили побудувати безперервну функцію для конкретного випадку.

$$x = \left(1 + \frac{1.7 \cdot z}{t^{1.8}}\right) e^{-1.2 \cdot \frac{z}{t}} \cdot (1 - e^{-1.3 \cdot t}).$$

Дана функція враховувала конкретні показники проникнення рідини в матеріал. Для довільного випадку функцію границі змоченої зони запишемо у вигляді.

$$x = \left( 1 + \frac{A3 \cdot z}{t^{A4}} \right) e^{-A1 \cdot \frac{z}{t}} \cdot (1 - e^{-A2 \cdot t})$$

Дана функція є універсальною. Коефіцієнти, що входять до нею є константами, що визначають взаємодію матеріалу і рідини на елементарному рівні.

### **Висновки**

Використання дискретного методу моделювання процесу проходження рідини в ущільненнях з пористих матеріалів дозволило побудувати реальну функцію границі змоченої зони. Вперше виявлений ефект збільшення концентрацій всередині матеріалів демонструє можливість дострокового досягнення рідиною границі матеріалу. Одержані результати дозволяють передбачати строк повного намокання ущільнень, прогнозувати строк їх роботи, визначати параметри матеріалу для визначеного терміну роботи.

### **Список використаних джерел:**

1. Эксплуатация паровых котлов и паротрубопроводов. – К.: Техніка. 2009. – 668 с.
2. Горбис З. Р. Теплообмен и гидромеханика дисперсных сквозных потоков / З. Р. Горбис. – М. : Энергия, 1970. – 424 с.
3. Biomimetic porous scaffolds with high elasticity made from mineralized collagen – An animal study / Atsuro Yokoyama, Michael Gelinsky, Takao Kawasaki, Takao Kohgo, Ulla König, Wolfgang Pompe, Fumio Watari // *Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials*. – 2005. – Vol. 75B, iss. 2. – P. 464-472, doi:10.1002/jbm.b.30331
4. Yoneda M. Measurement of water absorption perpendicular to fabric plane in two- and multi-layered fabric systems/ Yoneda M., Mizuno Y., Yoneda J. // *Textile Res. J.* – 1993. – N 29 (12). – P. 940–949.
5. Sousa Fangueiro R. M. Moisture Management Performance of Multifunctional Yarns Based on Wool Fibers / R. M. Sousa Fangueiro, H. F. Cunha Soutinho // *Advanced Materials Research*. – 2010. – Vol. 123-125. – P. 1247-1250.
6. Riabchykov N. Linear mathematical model of water uptake perpendicular to fabric plane / N. Riabchykov, V. Vlasenko, S. Arabuli // *Vlakna a textile*. – 2011. – N 2 (18). – P. 24–29.
7. Щуцька Г. В. Дискретна двовимірна модель розтікання вологи в текстильних матеріалах / Г. В. Щуцька, Н. П. Супрун // *Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. Сер. «Технічні науки»*. – 2015. – № 3 (86). – С. 107–114.

### **References**

1. Be, know, do: *Ekspluatatsiya parovykh kotlov i parotruboprovodov* 2009, Tekhnika, Kyiv.
2. Gorbis, Z 1970. *Teploobmen i gidromekhanika dispersnykh skvoznnykh potokov*. Energiya, Moskva.
3. Yokoyama, A. Gelinsky, M. Kawasaki, T. Kohgo, T. König, U. Pompe, W & Watari, F 2005. 'Biomimetic porous scaffolds with high elasticity made from mineralized collagen – An animal study', *Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials*, vol. 75B, iss. 2, pp. 464-472, doi:10.1002/jbm.b.30331
4. Yoneda, M, Mizuno, Y & Yoneda, J 1993. 'Measurement of water absorption perpendicular to fabric plane in two- and multi-layered fabric systems', *Textile Research Journal*, no. 29 (12), pp. 940–949.
5. Sousa Fangueiro, R & Cunha Soutinho, H 2010, 'Moisture Management Performance of Multifunctional yarns based on Wool Fibers', *Advanced Materials Research*, vol. 123-125, pp. 1247-1250.
6. Riabchykov, N, Vlasenko, V & Arabuli, S 2011, 'Linear mathematical model of water uptake perpendicular to fabric plane', *Vlakna a textile*, no. 2 (18), pp. 24-29.
7. Shchutskaya, A & Suprun, N 2015, 'Discrete two-dimensional model of wet spreading in textiles', *Bulletin of the Kyiv National University of Technologies and Design, Seriya "Tekhnichni nauky"*, no. 3 (86), pp. 107-114.

Стаття надійшла до редакції листопада 2015 р.