

УДК 677.017.636

ЩУЦЬКА Г. В., СУПРУН Н. П.

Київський національний університет технологій та дизайну

ВОЛОГОПЕРЕНОС В БАГАТОШАРОВИХ ПЕРЕВ'ЯЗОЧНИХ ЗАСОБАХ

Мета. Прогнозування властивості багатошарових пакетів перев'язочних засобів здійснювати трансфер лікарських препаратів і метаболічних рідин на основі аналізу закономірностей вологопереносу.

Методика. В процесі експериментальних досліджень проникнення вологи через пакети ранових покриттів, до складу яких у різних варіантах розташування входили матеріали різного сировинного складу і щільності (неткані бавовняні полотна і лляна тканина), були визначені параметри розповсюдження рідини та проаналізовані розміри змоченої зони у верхньому, нижньому та середньому шарах.

Результати. Виявлено, що, починаючи з певної товщини, всередині пакету накопичується більшість рідини, що змінює загальну форму зони змочування. Одержано поверхні змочених зон для різних варіантів пакетів, які демонструють досить яскраво виражений максимум, що розташовується всередині матеріалу. Проведений аналіз динаміки зміни поверхні змоченої зони дозволив сформулювати задачу по визначенню місця розташування додаткового матеріалу в багатошаровому рановому покритті. Це дає змогу акумулювати найбільший об'єм вологи всередині пакету матеріалу, що покращує якість ранового покриття.

Наукова новизна. Проведене дослідження щодо встановлення ефектів додаткового змочування в багатошарових пакетах текстильних матеріалів медичного призначення виявило вперше зафіксований ефект збільшення концентрації рідини всередині таких систем, названий нами «парадокс внутрішньої концентрації». Цей ефект проявляється в тому, що при певних співвідношеннях дискретних параметрів середовища максимальне розповсюдження рідини відбувається не на поверхні матеріалу, а на певній глибині, в місці розташування матеріалу підвищеної щільності. Поява ефекту визначається параметром, що пов'язує геометричні властивості матеріалу і дискретні параметри проходження рідини.

Практична значимість. Досліджені процеси змочування багатошарових перев'язочних матеріалів можуть бути використовувані для прогнозування умов їх реального функціонування, виходячи з вимог експлуатаційної ситуації. Це дозволяє розв'язувати задачі довговічності функціонування пов'язок. Критерієм довговічності може бути недопущення виходу ексудату на поверхню або обмеження площі розтікання ексудату на зовнішній поверхні ранової пов'язки в певних обсягах.

Ключові слова: багатошарові перев'язочні матеріали, вологоперенос, дискретні параметри проходження рідини.

Вступ. У світовій практиці поширюється використання ранових пов'язок з пролонгованою лікувальною та антисептичною дією [1-5]. Питання їх випуску знаходяться в центрі уваги провідних фірм – виробників всіх розвинених країн світу. Важливою особливістю даних засобів є їх багатошаровість, що передбачає комбінацію в пакеті матеріалів з різними властивостями і дозволяє отримувати нові властивості в якості сумарного ефекту. Для матеріалів ранових покриттів основною вимогою є їх здатність до трансферу рідини. Один із шарів такого пакету контактує з раною і, в залежності від вимог, з певною долею інтенсивності пропускає крізь себе рідину. Другий шар накопичує в себе рідину, якою може бути шкідливий ексудат або навпаки, корисні лікарські препарати, що повинні поступати у рану. Третій шар може бути призначений для попередження проникнення вологи крізь нього. В процесі моделювання даний випадок може бути врахований шляхом вибору відповідних граничних умов. Схеми

функціонування вказаних засобів зображені на рис.1. Прогнозування процесів змочування та розтікання рідини в текстильних ранових покриттях важливе для визначення особливостей експлуатації цих виробів. У випадку наявності надійної моделі можна перебачити ступінь і площу намокання і, відповідно, робити висновки про якість і ефективність застосування виробів з досліджуваних матеріалів.

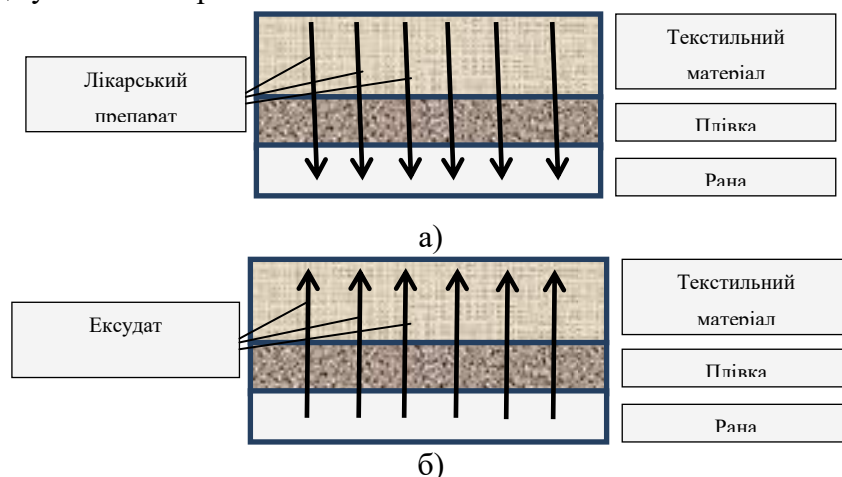


Рис.1. Схема функціонування матеріалу для ранових покриттів: а) з подачею лікарського препарату; б) з видаленням ексудату з рани

Однак відсутність надійних методик прогнозування властивостей таких систем обумовлює, в основному, інтуїтивний підхід до їх розробки та експлуатації [6]. Тому аналіз закономірностей масопереносу лікарських препаратів і метаболічних рідин крізь багатошарові текстильні матеріали медичного призначення є актуальною задачею [7-10]. Метою даної роботи є визначення особливостей проходження рідини скрізь пакети матеріалів медичного призначення та встановлення границь змочених зон.

Постановка завдання. Представлення матеріалів медичного призначення в рамках моделей суцільного середовища представляє досить складну задачу, тому нами запропоновано [6] розглядати тканини, трикотажні, неткані полотна і інші матеріали медичного призначення капілярно-пористої структури в дискретних моделях, що може значно спростити методи їх розрахунків. Об'єктом дослідження є процес трансферу вологи в пакетах матеріалів медичного призначення. З метою оцінки поглинальних властивостей багатошарових перев'язочних матеріалів був проведений експеримент по визначенню змоченої зони в різних шарах пакету ранового покриття. Для моделювання впливу черговості розташування текстильних шарів різної структури з різними вологотрансферними властивостями, нами були використані пакети, до складу яких в різних комбінаціях входили гігроскопічна хірургічна нестерильна бавовняна вата та лляна тканина арт. 07С179, структурні характеристики яких наведені в [6]. Для досліджень було сформовано три види тришарових пакетів: пакет №1 – верхній шар – лляна тканина, середній та нижній – вата; пакет №2 – верхній та нижній шар – вата, середній – лляна тканина; пакет №3 – верхній та середній шар – вата, нижній – лляна тканина.

Крапля підфарбованої дистильованої води наносилась на поверхню пакету багатошарової пов'язки, потім зразок розділявся на шари і в кожному із шарів визначалась

форма і площа змоченої зони. Необхідна кількість проб визначалася, виходячи з заданої гарантійної похибки коефіцієнта варіації, яка складала 5 – 8%.

Результати дослідження. На рис. 2 наведені результати експерименту в варіанті пакету I, коли лляна тканина є верхом ранового покриття. Для проведення аналізу визначався еквівалентний діаметр змоченої зони. Площа цієї зони визначалася методом елементарних квадратів (рис.2, д). Розрахунок еквівалентного діаметра проводився за формулою:

$$D_{ekv} = \sqrt{\frac{4S}{\pi}}$$

В результаті складну форму поверхні замінювали умовним колом (рис.2,е).

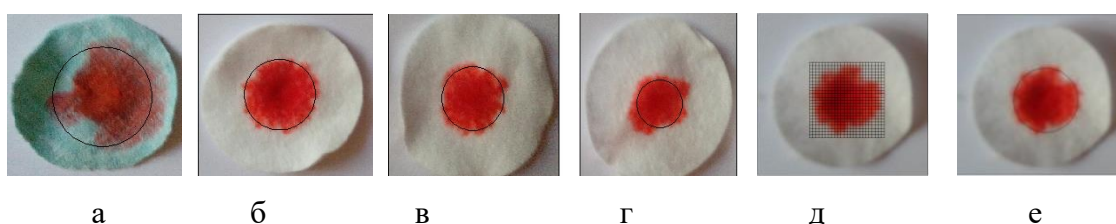


Рис 2. Зони змочування в шарах пакету I при розташуванні тканини у першому (верхньому) шарі: а- 1-й шар, б- 2-й шар, в – 3-й шар, г -4-й шар, д- площа змоченої зони, е – умовне коло

На рис.3 показані кола змочених зон в різних шарах пакету I, які рівномірно зменшуються за розмірами по глибині. Градієнт зниження в місці розташування тканини збільшений, властивості пакету близькі до властивостей одношарового матеріалу.

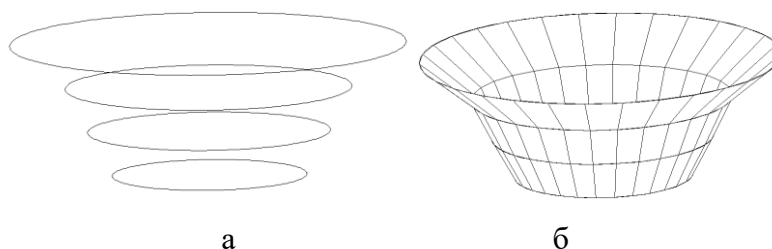


Рис.3. Кола змочених зон в різних шарах (а) та поверхня змоченої зони (б) в пакеті I

В варіанті пакету II при розміщенні лляної тканини у другому шарі картина розтікання принципово змінюється (Рис.4).

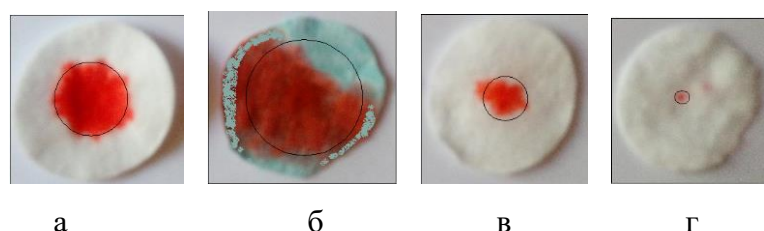


Рис 4. Зони змочування в шарах пакету при розташуванні тканини у другому шарі: а- 1-й шар, б- 2-й шар, в – 3-й шар, г -4-й шар

При цьому ефект збільшення концентрацій всередині матеріалу суттєво зростає, максимум розповсюдження рідини, який має яскраво виражений характер, досягається в пакеті в місці розташування тканини. На рис. 5 показані кола змочених зон в різних шарах пакету II при розташуванні лляної тканини у другому шарі. Подібна картина розтікання по тканині відбувається внаслідок збільшення поверхневої густини і щільності, а також додаткового гальмування рідини матеріалом.

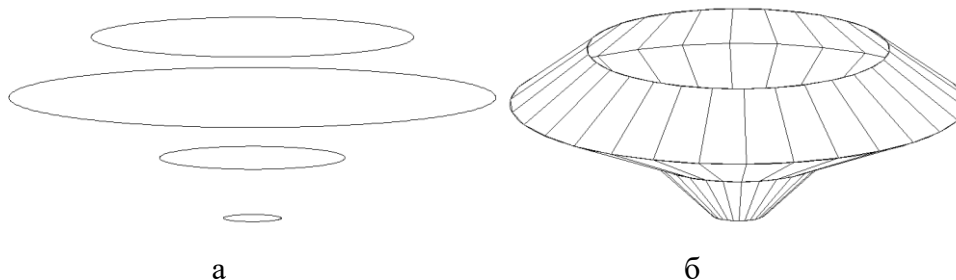


Рис.5. Кола змочених зон на різних шарах (а) та поверхня змоченої зони (б) при розташуванні лляної тканини у другому шарі пакету ранового покриття

При розміщенні тканини в нижній частині (пакет III) ефект збільшення концентрацій нівелюється (Рис. 6). Екстремум спочатку зменшується, а потім зникає зовсім.

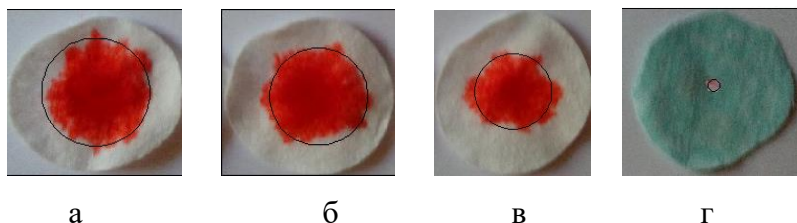


Рис 6. Зони змочування в шарах пакету при розташуванні тканини в нижній частині: а- 1-й шар, б- 2-й шар, в – 3-й шар, г -4-й шар

Поверхня змоченої зони приймає опуклий вигляд (Рис.7), змочування нижньої поверхні практично не спостерігається.

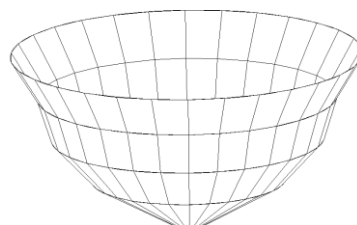


Рис. 7. Поверхня змоченої зони при розташуванні тканини в нижній частині пакету

Очевидно, що наведені ефекти обумовлені різною щільністю матеріалів, що входять в пакети. Для узагальнення одержаних ефектів розглянемо схему пакету ранового покриття у вигляді рис.8.

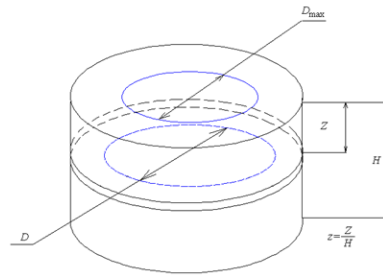


Рис.8. Схема проходження рідини крізь товстий двошаровий матеріал

Означимо $\delta = \frac{T_t}{T_b}$. $\lambda = \frac{D_{max}}{D}$, де T_t – щільність тканини, T_b – щільність вати. Зміна

розміру максимальної зони розтікання в місці розташування матеріалу в залежності від щільності матеріалу показано на рис.9,а. Залежність може бути апроксимована виразом

$$\lambda = \begin{cases} 1, & \delta < 1,2 \\ 1 + C(1 - e^{-\alpha \cdot (\delta - 1,2)}) \end{cases}$$

Для даного випадку $\alpha \approx 2,6$.

На рис. 9,б показана зміна максимального розтікання в залежності від розташування матеріалу з підвищеною щільністю. З рисунка видно, що при зміщенні розташування матеріалу ефект досягає свого максимального значення, після чого знижується і зникає.

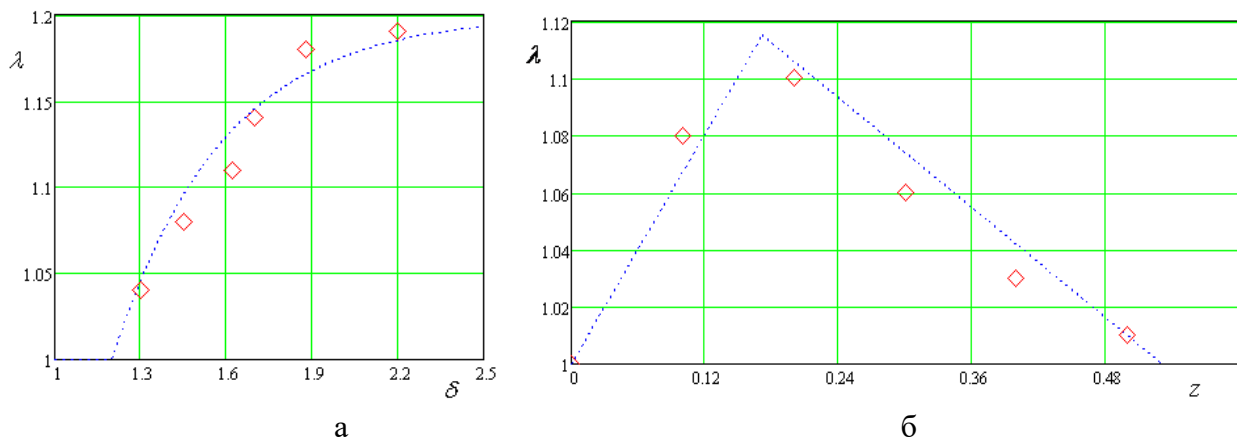


Рис.9. а) - Розмір максимальної зони розтікання; б) - Зміна максимального розтікання в залежності від розташування тканини в пакеті

Таким чином, загальна картина розповсюдження вологи в матеріалі залежить від місця розташування шару з підвищеною щільністю. На рис.10 показані зони рідини в матеріалі в залежності від відносної глибини розташування цього шару z_m . Літерою D на рисунку означено діаметр змоченого кола на певній глибині. Відзначимо, що при збільшенні глибини розташування додаткового шару збільшується зона розтікання на поверхні. Проявляється ефект додаткового змочування, що реалізується в збільшенні змоченої зони всередині матеріалу. причому даний ефект спочатку збільшується, а після досягнення певної глибини починає зменшуватись і зникає.

Аналіз динаміки зміни змоченої зони дає змогу сформулювати задачу по визначенню місця розташування додаткового матеріалу, що дозволяє акумулювати найбільший об'єм вологи всередині пакету матеріалу.

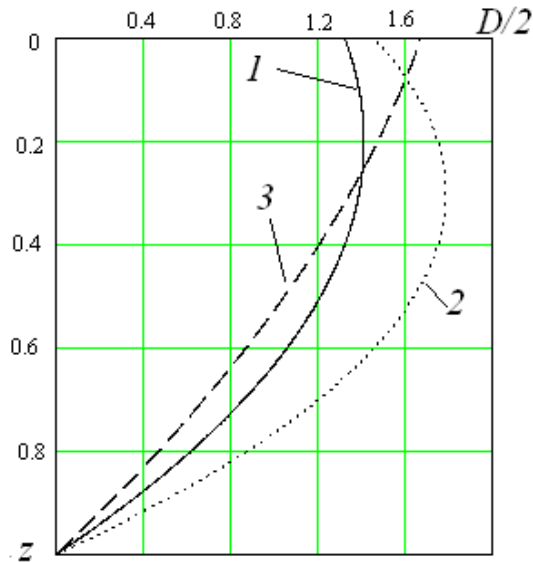


Рис.10. Зони розповсюдження рідини в матеріалі з додатковим шаром (D – діаметр змоченого кола, см, z – відносна глибина розташування додаткового шару): для кр.1 – $z_m=0,2$, для кр.2 – $z_m=0,4$, для кр.3 – $z_m=0,6$

Об'єм змоченої зони матеріалу визначається, як сума елементарних об'ємів в різних шарах матеріалу. У випадку безперервної функції умовного діаметру змоченої зони по глибині, такий об'єм визначається, як інтеграл:

$$V = \frac{\pi}{4} \int_0^1 D(z) dz$$

Залежність об'єму змоченої зони від глибини розташування шару з підвищеною щільністю демонструє досить яскраво виражений максимум (рис.11).



Рис.11. Об'єм змоченої зони в залежності від глибини розташування шару з підвищеною щільністю

Таким чином, глибина розташування z_m в межах 0,3-0,35мм (рис.11) забезпечує вбирання максимальної кількості вологи у порівнянні з іншими варіантами, що дозволяє рекомендувати таку глибину для цілей накопичення рідини в матеріалі. Тобто, при збільшенні товщини матеріалу медичного призначення внаслідок перетікання рідини між шарами з'являються нові ефекти, не передбачені звичайними методами. Починаючи з певної товщини, всередині матеріалу накопичується більшість рідини, яка змінює загальну форму зони змочування.

Висновки. Проведене дослідження виявило вперше зафіксований нами ефект збільшення концентрації рідини всередині багат шарового матеріалу медичного призначення, названий нами парадокс внутрішньої концентрації. Цей ефект проявляється в тому, що при певних співвідношеннях дискретних параметрів середовища максимальне розповсюдження рідини відбувається не на поверхні матеріалу, а на певній глибині. Поява цього ефекту визначається параметром, що пов'язує геометричні властивості матеріалу і дискретні параметри проходження рідини.

Література

1. Andreu V. Smart Dressings Based on Nanostructured Fibers Containing Natural Origin Antimicrobial, Anti-Inflammatory, and Regenerative Compounds / V. Andreu, G. Mendoza, M. Arruebo, S. Irusta // *Materials (Basel)*, 2015. – № 8. – P. 5154–5193.
2. Turner T.D. *Advances in wound management* /T.D. Turner, R.J. Schmidt, K. G. Harding. – London: John Wiley&Sons, 1986. – 149 p.
3. Абаев Ю. К. *Справочник хирурга. Раны и раневая инфекция* / Ю.К. Абаев – Ростов на Дону: Феникс, 2006. – 428 с.
4. Sood A. *Wound Dressings and Comparative Effectiveness Data* / Sood A., Granick M., Tomaselli N. // *Adv. Wound Care (New Rochelle)*, 2014 – № 8. – P. 511–529.
5. Thomas S. *Wound management and dressings*. – London: The Pharmaceutical Press.- 1990.- p. 326.
6. Щуцька Г. В. Особливості розробки виробів медичного призначення з заданими вологотрансферними властивостями. / Щуцька Г. В., Супрун Н. П. Монографія. –Київ. КНТУД –2018. –250 с.
7. Рябчиков М. Л.. Динаміка проникнення технічних рідин через елементи спецодежды / Рябчиков М. Л.. // *Технологічний аудит та резерви виробництва. Технології харчової, легкої та хімічної промисловості*. – 2015. - Том 5.- № 4(25) - с.57-60.
8. Рябчиков М. Л. Моделювання реального процесу проходження рідини крізь матеріали / Рябчиков М. Л. // *Вісник Національного Технічного Університету "Харківський політехнічний інститут"*. Нові рішення у

References

1. Andreu V. Smart Dressings Based on Nanostructured Fibers Containing Natural Origin Antimicrobial, Anti-Inflammatory, and Regenerative Compounds // V. Andreu., G. Mendoza, M. Arruebo and S. Irusta // *Materials (Basel)*. –2015. – № 8. – P. 5154–5193.
2. Turner T.D. *Advances in wound management* /T.D. Turner, R.J. Schmidt and K. G. Harding. – London: John Wiley&Sons, 1986. – 149 p.
3. Abayev Y. K. (2006). *Spravochnik khirurga. Rany i ranevaya infektsiya* [Surgeon's guide. Wounds and wound infection]/ Abayev Y.K. Rostov na Donu: Feniks.– 428 p.[in Russian]
4. Sood A. *Wound Dressings and Comparative Effectiveness Data* / Sood A., Granick M., Tomaselli N. // *Adv. Wound Care (New Rochelle)*, 2014 – № 8. – P. 511–529.
5. Thomas S. *Wound management and dressings*. – London: The Pharmaceutical Press.- 1990.- p. 326.
6. Shchuts'ka H. V. (2018). *Osoblyvosti rozrobky vyrobiv medychnoho pryznachennya z zadanyimi volohotransfernymy vlastyvostyamy*. [Peculiarities of development of medical products with given watertransfer properties]/ Shchuts'ka H. V., Suprun N. P. Monohraf. Kyiv. KNTUD. – 250 p. [in Ukrainian].
7. Ryabchykov M. L. (2015). *Dynamika pronyknennya tekhnichnykh ridyn cherez elementy spetsodyahu*. [Dynamics of penetration of technical fluids through the elements of overalls] /Ryabchykov M. L.// *Tekhnolohichnyy audyt ta rezervy vyrobnytstva. Tekhnolohiyi kharchovoyi, lehkoyi ta khimichnoyi promyslovosti*. – V 5. – № 4(25). – p.57-60.
8. Ryabchykov M. L.(2015). *Modelyuvannya real'noho protsesu prokhozheni ridyny kriz' materialy* [Modeling of the real process of liquid passing through materials] / Ryabchykov M. L // *Visnyk Natsional'noho*

сучасних технологіях. – 2015. – № 46. – с.45-49.

9. Van Amber R. R. Thermal and moisture transfer properties of sock fabrics differing in fiber type, yarn and fabric structure / Van Amber R. R., Wilson C.A., Laing R.M, Lowe B.J., Niven B.E. //Textile Research Journal. - 2015 – July , (85). – P. 1269-1280.

10. Lee S. Statistical modeling of water vapor transport through woven fabrics / Lee S., Obendorf S.K //Textile Research Journal – 2012. – February 1,(82).- P. 211-219

Tekhnichnoho Universytetu "Kharkivs'kyu politekhnichnyy instytut". Novi rishennya u suchasnykh tekhnolohiyakh. – № 46. p.45-49.

9. Van Amber R. R. Thermal and moisture transfer properties of sock fabrics differing in fiber type, yarn and fabric structure / Van Amber R. R., Wilson C.A., Laing R.M, Lowe B.J., Niven B.E. //Textile Research Journal. - 2015 – July , (85). – P. 1269-1280.

10. Lee S. Statistical modeling of water vapor transport through woven fabrics / Lee S., Obendorf S.K //Textile Research Journal – 2012. – February 1,(82).- P. 211-219

SCHUTSKAYA ANNA

polischuka.kklp@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7182-8556>

Department of design and technologies of leather products,

Kyiv National University of Technologies & Design

SUPRUN NATALIYA

suprun.knutd@ukr.net

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3937-8399>

Researcher ID: 6701785670

Department of Materials Science and Textile Examination,
Kyiv National University of Technologies & Design

ВЛАГОПЕРЕНОС В МНОГОСЛОЙНЫХ ПЕРЕВЯЗОЧНЫХ СРЕДСТВАХ ЩУЦКАЯ А. В., СУПРУН Н. П.

Киевский национальный университет технологий и дизайна

Цель. Прогнозирование свойства многослойных пакетов перевязочных средств осуществлять трансфер лекарственных препаратов и метаболитических жидкостей на основе анализа закономерностей влагопереноса.

Методика. В процессе экспериментальных исследований проникновения влаги через пакеты раневых покрытий, в состав которых в разных вариантах расположения входили материалы различного сырьевого состава и плотности (нетканые хлопчатобумажные полотна и льняная ткань), были определены параметры распространения жидкости и проанализированы размеры смоченной зоны в верхнем, нижнем и среднем слоях.

Результаты. Выявлено, что, начиная с определенной толщины, внутри пакета накапливается большинство жидкости, что изменяет общую форму зоны смачивания. Получены поверхности смоченных зон для различных вариантов пакетов, которые демонстрируют достаточно ярко выраженный максимум, располагающийся внутри материала. Проведенный анализ динамики изменения поверхности смоченной зоны дал возможность сформулировать задачу по определению расположения дополнительного материала в многослойном раневом покрытии. Это позволяет аккумулировать наибольший объем влаги внутри пакета материала, улучшает качество раневого покрытия.

Научная новизна. Проведенное исследование по установлению эффектов дополнительного смачивания во многослойных пакетах текстильных материалов медицинского назначения выявило впервые зафиксированный эффект увеличения концентрации жидкости внутри таких систем, названный нами «парадокс внутренней концентрации». Этот эффект проявляется в том, что при определенных соотношениях дискретных параметров среды максимальное распространение жидкости происходит не на поверхности материала, а на определенной глубине, в месте расположения материала повышенной плотности. Появление эффекта определяется параметром, связывающим геометрические свойства материала и дискретные параметры прохождения жидкости.

Практическая значимость. Исследованные процессы смачивания многослойных перевязочных материалов могут быть использованы для прогнозирования условий их реального функционирования, исходя из требований эксплуатационной ситуации. Это позволяет решать задачи долговечности функционирования повязок. Критерием долговечности может быть

недопущение выхода экссудата на поверхность или ограничение площади растекания экссудата на внешней поверхности раневой повязки в определенных объемах.

Ключевые слова: многослойные перевязочные материалы, влагоперенос, дискретные параметры прохождения жидкости.

WATER VAPOR TRANSPORT THROUGH MULTILAYER WOUND DRESSINGS

SCHUTSKAYA A. V., SUPRUN N. P.

Kyiv National University of Technologies and Design

Goal. Prediction on the base of analysis of the laws of moisture transfer the property of multilayer packages of wound dressing to carry out the transfer of drugs and metabolic fluids in such systems.

Method. In the course of experimental studies of penetration of moisture through the packages of wound coatings, in which in different variants of the arrangement of used samples with different raw material composition and density (nonwoven cotton fabrics and linen fabric), were determined parameters of distribution of the liquid and the dimensions of the wetted zone in the upper, lower and middle layers

Results. It has been found that, starting with a certain thickness, most of the liquid accumulates within the package, which changes the general shape of the wetting zone. The surfaces of wetted zones for different package variants, which show a fairly pronounced maximum inside the material, are obtained. The analysis of the dynamics of the change of the wetted zone surface allowed to formulate the problem of determining the location of additional material in the multilayer wound covering. This gives the opportunity to accumulate the highest moisture content inside the material package, which improves the quality of wound dressings.

Scientific novelty. A study on the effects of additional wetting in multi-layer packets of textile medical materials has revealed for the first time the effect of increasing the concentration of fluid inside such systems, which we called "paradox of internal concentration". This effect appear in the fact that at certain ratios of discrete environmental parameters, the maximum propagation of the liquid occurs not on the material surface, but at a certain depth, in the place of location of the material of high density. The appearance of the effect is determined by the parameter that binds the geometric properties of the material and the discrete parameters of the liquid passing.

Practical significance. The investigated processes of wetting of multilayer dressing materials can be used to predict conditions of their real functioning, proceeding from the requirements of operational situation. This allows solving problems of durability of bandages. The criterion of longevity may be the prevention of the exhaust outlet to the surface or the restriction of the exhaust emission area on the outer surface of the wound dressing in certain volumes.

Key words: multilayer dressings, moisture transfer, discrete parameters of fluid flow.