

УДК 685.34.016

ЩУЦЬКА Г.В.

Київський національний університет технологій та дизайну

## ОСНОВНІ АСПЕКТИ РОЗРОБКИ ВИРОБІВ МЕДИЧНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ ІЗ ЗАДАНИМИ ВОЛОГОТРАНСФЕРНИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

**Мета.** Огляд розроблених математичних моделей розповсюдження рідини в багатошарових ранових покриттях.

**Методика.** В процесі моделювання структури матеріалів використовувались методи структурного аналізу, для обробки результатів експериментів використовувались сучасні пакети тривимірної графіки.

**Результати.** Наведено короткий огляд робіт автора за тематикою розробки виробів медичного призначення з заданими вологотрансферними характеристиками. Представлено модель тривимірної поверхні розповсюдження рідини в ранових покриттях, описано запропонований фотограмметричний метод для визначення інтенсивності проходження рідини крізь текстильний матеріал.

**Наукова новизна.** Узагальнені розроблені моделі тривимірних анізотропних матеріалів ранових покриттів, які враховують їх дискретні і континуальні властивості. Представлена просторова модель розповсюдження рідини в матеріалі, яка дозволяє визначити як глибину проникнення, так і параметри розповсюдження по площині.

**Практична значимість.** Отримані моделі дозволяють розробити рекомендації для описання процесів вологопереносу в матеріалах медичного призначення, що дає змогу прогнозувати час їх ефективної експлуатації.

**Ключові слова:** математичні моделі, вологоперенос, багатошарові ранові покриття.

**Вступ.** Аналіз асортименту сучасних перев'язочних засобів та ранових покриттів свідчить про те, що більшість з них є багатошаровими текстильними матеріалами, причому однією з провідних вимог до їх функціональної придатності є високі задані вологотрансферні властивості. Між тим слід зазначити, що відсутність надійних методик прогнозування властивостей таких матеріалів обумовлює інтуїтивний підхід до їх розробки і експлуатації. Складність самої постановки задачі дослідження масопереносу в подібних системах призводить до її подрібнення на ряд окремих спеціальних питань, які не об'єднуються потім у виді конкретних рекомендацій практичного вибору матеріалів та способу їх компонування у композиційний матеріал. Широкий спектр розроблених на цей час текстильних матеріалів медичного призначення утруднює чисто експериментальне рішення задачі.

Ефективність перев'язувальних матеріалів для лікування ран в значній мірі обумовлена їх сорбційними властивостями. Обширні рани продукують значну кількість ексудату - до 0,35 мл/см<sup>2</sup> на добу. Видалення ексудату, що виділяється, з поверхні рани, необхідно для запобігання зворотного всмоктування в організм токсичних продуктів розпаду некротичних тканин. Побудова математичних моделей багатошарових матеріалів надає змогу передбачати строк функціонування сучасних перев'язочних засобів, прогнозувати динаміку проходження рідини (лікарських речовин), а також надавати рекомендації по створенню матеріалів з заданими функціями проходження вологи. В попередніх дослідженнях [1-6] нами визначено раціональні умови використання континуальних методів для моделювання процесів тепло – масо переносу в матеріалах для виробів медичного призначення. Чисельне моделювання для дискретного середовища виявило вперше винайдений нами ефект збільшення концентрації рідини всередині

матеріалу, 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. Появлення цього ефекту визначається параметром, що пов'язує геометричні властивості матеріалу і дискретні параметри проходження рідини.

При аналізі структурних особливостей виробів медичного призначення слід відзначити фактори складної геометрії зони їх дії, а також порівняно великі товщини даних матеріалів, що у ряді випадків може вимагати використання тривимірних моделей сорбційних процесів. Тривимірні дискретні моделі дозволяють аналізувати процеси, що відбуваються в матеріалах з декількома шарами, врахувати ефекти сорбції рідини у випадку складних геометричних характеристик ран і реальні анізотропні властивості композиційного текстильного матеріалу. На основі створених моделей розв'язана [6] просторова задача розповсюдження рідини в матеріалі, графічно відображена на рис.1, яка дозволяє визначити як глибину її проникнення, так і параметри розповсюдження по площині, визначено взаємовплив напрямів анізотропії на загальний процес переносу.

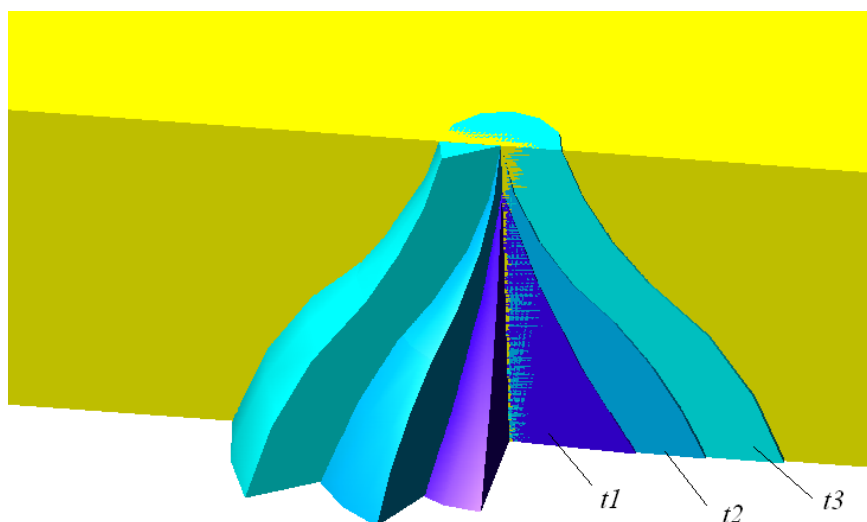


Рис.1. Кінетика розповсюдження рідини по товщині матеріалу ( $t_1 < t_2 < t_3$ )

**Постановка завдання.** Розробити комп'ютерні методи, що дозволять визначати яскравість змочених зон, які будуть використовуватись для оперативного визначення показників матеріалів медичного призначення.

**Результати досліджень.** При розробці ранових покриттів з пролонгованою спрямованою дією для визначення зони дії та необхідної кількості лікарських речовин, що вводяться, бажано знати геометрію рани. На прикладі реальної рани на голені (рис.2,а), контур якої був записаний у вигляді полярних сплайнів, було проведено моделювання проходження метаболічних рідин і лікарських препаратів крізь ранове покриття. На рис.2,б представлена тривимірна поверхня розповсюдження рідини при видаленні метаболічних речовин з рани, на рис.2, в - при транспорті лікарської рідини через матеріал медичного призначення до рани.

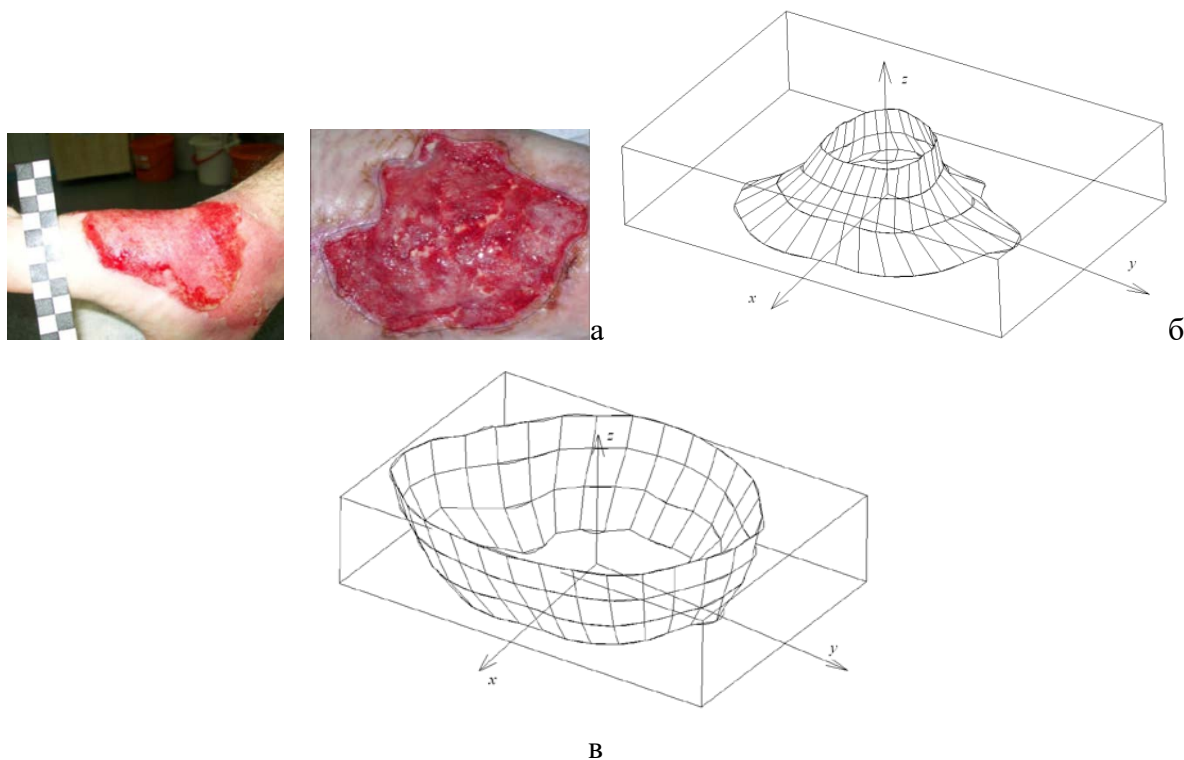


Рис.2. а) Рана голені та її геометрична форма; б) конфігурація змоченої зони при видаленні метаболічних речовин з рани; в) конфігурація змоченої зони при транспорті лікарських речовин в рану

Нами запропоновано [7] використовувати фотограмметричний метод для визначення інтенсивності проходження рідини крізь текстильний матеріал за зміною її концентрації в матеріалі. Слід зазначити, що цей параметр, який є дуже важливим для текстильних основ ранових покриттів, в прямий спосіб визначити досить важко. Фотограмметрія, яка використовує способи і прийоми, запозичені з оптики і проєктивної геометрії, дає можливість визначати і вивчати форми, розміри, просторове положення та ступені зміни в часі різних об'єктів за результатами вимірювань їх фотографічних зображень в візуалізованому або цифровому вигляді. Фотограмметричний метод, наприклад, успішно використовується при проектуванні швейних виробів [8 -9].

Гіпотеза про відповідність яскравості змоченої зони концентрації рідини в ній передбачає визначення концентрації, як відношення поточної яскравості до максимально можливої:

$$u = \frac{J}{J_{\max}}$$

Введемо безрозмірну координату, що дорівнює відношенню поточної координати до максимальної, що досягла рідина:

$$\bar{x} = \frac{x}{X}$$

Проведений регресійно-кореляційний аналіз дозволив вивести рекомендовану залежність для функції розповсюдження рідини в лінійному зразку матеріалу у вигляді:

$$u = e^{-a \frac{x}{t}}$$

де  $u$  – концентрація в точці,  $x$  – лінійна координата,  $t$  – час,  $a$  – константа розповсюдження рідини в матеріалі.

Експериментальне визначення процесу розповсюдження рідини в зразках текстильних матеріалів медичного призначення проводилося за наступною схемою. Одна з границь досліджуваного матеріалу приводилася в контакт з підфарбованою рідиною, яка, завдяки дифузійним властивостям матеріалу, розповсюджувалась вздовж зразка, змінюючи свою яскравість. Порядок експерименту складається в фіксації яскравостей розповсюдження рідини методом фотографування, переведення зображення в комп'ютерний вигляд, розташування елементів з різною яскравістю, визначення яскравості кожного елемента в графічній програмі Adobe Fotoshop, визначення різниці яскравості вихідного матеріалу і зафарбованої частини (Рис.3,а). Визначались також зміни границь змоченої зони при нанесенні краплі рідини на поверхню матеріалу (Рис.3,б).

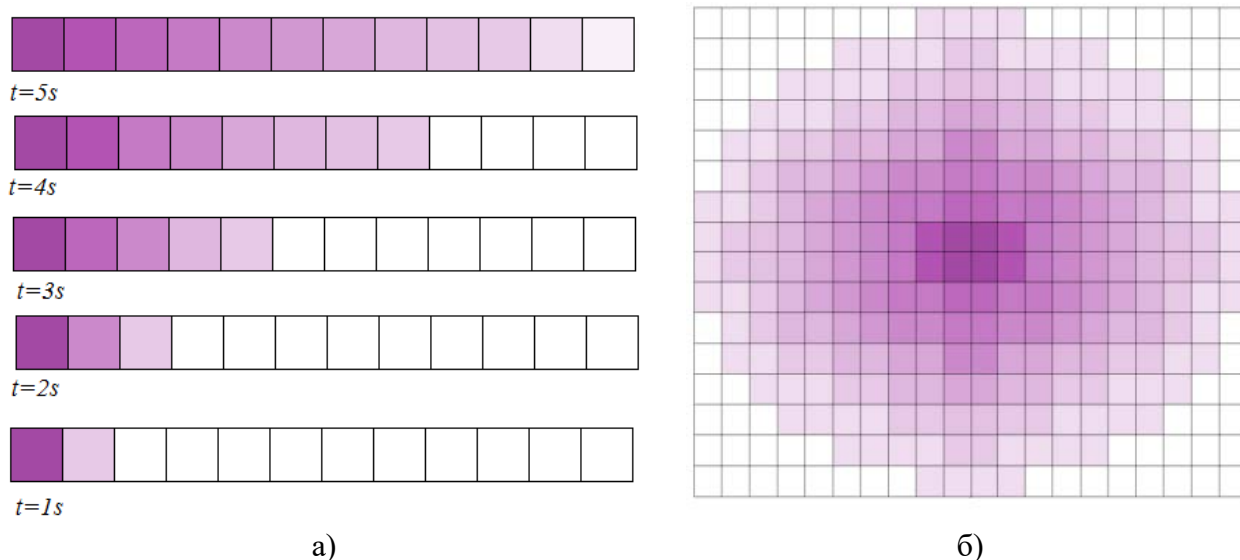


Рис.3. Зміна яскравості при розповсюдженні рідини лінійним зразком:  
 а) різниця яскравості вихідного матеріалу і зафарбованої частини  
 б) зміна границь змоченої зони при нанесенні краплі рідини на поверхню матеріалу

Швидкість зміни граничної зони  $v$  може бути визнана характеристикою матеріалу. Використовуючи експериментальні дані, швидкість наближено може бути знайдена, як відношення прирощення площі змоченої зони  $f$  до проміжку часу  $t$ , в який ця зона реєструється:

$$v = \frac{df}{dt} \approx \frac{f(t + \Delta t) - f(t)}{\Delta t}$$

Приклади зміни швидкостей зміни змоченої зони, визначені для трьох видів лляних тканин, структурні характеристики яких наведені в таблиці 1, представлені на рис.4.

Таблиця 1.

Структурні характеристики тканин

№	Назва зразку	Товщина, мм	Вміст складників сировинного складу, %	Поверхнева густина Ms, г/м <sup>2</sup>	Кількість ниток на 10 см по основі (По)/По утку(Пу)
1 Т	Тканина лляна	0,30	Льон – 100%	157	220/160
2 Т	Тканина лляна (набивна) Арт 5С108	0,50	Льон – 100%	175	190/170
3 Т	Тканина лляна Арт 07С179	0,70	Льон – 100%	212	180/115

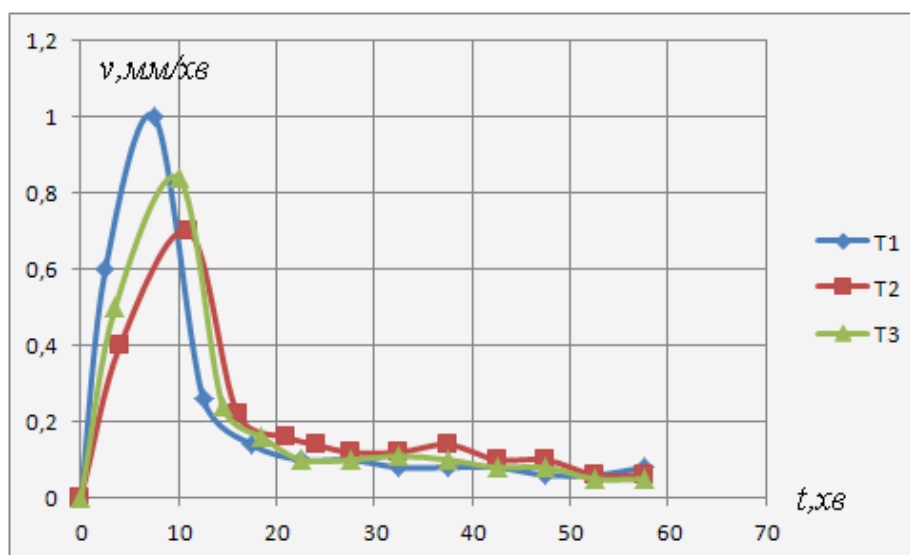


Рис.4. Швидкість зміни змоченої зони для тканин Т1-Т3 по основі

Характерні точки цих кривих – положення і значення максимуму, значення часу, при якому інтенсивність розповсюдження знижується до малої величини, близької до нуля. Вірогідність результатів забезпечується використанням сучасних методів цифрової фотометрії сумісно з апробованими комп'ютерними програмами обробки графічних зображень для визначення яскравостей матеріалів при розповсюдженні рідини.

Результати двомірних випробувань на основі кольорових комп'ютерних методів продемонстрували відмінність від простої суперпозиції двох напрямків розтікання матеріалу (Рис.5), що вимагає врахування анізотропних ефектів при їх проектуванні і експлуатації.

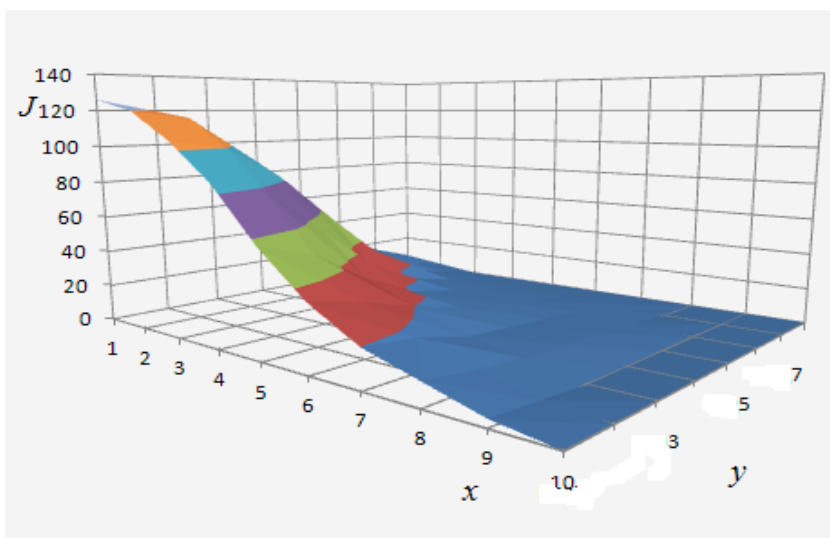


Рис.5. Поверхневий графік зміни концентрацій на площині

**Висновки.** Розроблені комп'ютерні методи, що дозволяють визначати яскравість змочених зон можуть використовуватися для оперативного визначення показників матеріалів медичного призначення. Точність вимірювання при цьому складає 3-5%.

#### Література

1. Shchutska A.V. Some Fundamental Problems of Heat-Mass-Transfer through the Thin Materials //International Journal of Composite Materials. – 2014. - №4(5A). P. 35-40.
2. Щуцька Г.В., Супрун Н.П. Дискретна двовимірна модель розтікання вологи в текстильних матеріалах // Вісник КНУТД. - 2015. - №3. С. 107-113
3. Щуцька Г.В. Метод прогнозування проникнення рідини крізь пористі матеріали// Східно-Європейський журнал передових технологій №3/11(75), 2015. – С.19-24
4. Щуцька Г.В. Теоретичне обґрунтування та практичне визначення границі змоченої зони текстильного матеріалу на основі дискретного моделювання// Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. - 2015. - № 4 (88) - С. 77-83.
5. Супрун Н.П., Щуцька Г.В., Ващенко Ю.О. Теоретичне обґрунтування та моделювання процесів нестационарного розповсюдження рідини в анізотропних текстильних матеріалах// Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. –2015. -№ 1(82).- С.150-156.
6. Супрун Н.П., Щуцька Г.В. Тривимірна дискретна модель розповсюдження вологи у фрактальних матеріалах// Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. Серія "Технічні науки". - 2015. - № 6 (92). - С. 181-186.
7. Shchutska G. Defining the terms of distribution of fluid in textile with photometry technique// EUREKA: Physics and Engineering" №6/1.2016, p.37-45.
8. Медведєва Т.В. Способ преобразования фотограмметрической информации для целей

#### References

1. Shchutska A.V. (2014) Some Fundamental Problems of Heat-Mass-Transfer through the Thin Materials. International Journal of Composite Materials. no. 4 (5A). P. 35-40.
2. Shchutska G.V., Suprun N.P. (2015) *Dyskretna dvovymirna model rozতিকання volohy v tekstylnykh materialakh*. BULLETIN of the Kyiv National University of Technologies and Design «Technical Science Series». no. 3. P. 107-113.
3. Shchutska G.V. (2014) *Metod prohnozuvannia pronyknennia ridyny kriz porysti materialy*. Skhidno-Yevropeyskyi zhurnal peredovykh tekhnolohii no.3/11(75), P. 19-24
4. Shchutska G.V. (2015) *Teoretychne obgruntuvannia ta praktychne vyznachennia hranytsi zmochenoi zony tekstylnoho material na osnovi dyskretnoho modeliuvannia*. BULLETIN of the Kyiv National University of Technologies and Design «Technical Science Series». no. 4 (88). P. 77-83.
5. Suprun N.P., Shchutska G.V., Vashchenko Yu.O. (2015) *Teoretychne obgruntuvannia ta modeliuvannia protsesiv nestatsionarnoho rozpovciudzhennia ridyny v anizotropnykh tekstylnykh materialakh*. BULLETIN of the Kyiv National University of Technologies and Design «Technical Science Series». no. 1 (82) P. 150-156.
6. Suprun N.P., Shchutska G.V., (2015) *Tryvymirna dyskretna model rozpovciudzhennia volohy u fraktalnykh materialakh*// BULLETIN of the Kyiv National University of Technologies and Design «Technical Science Series». no. 6 (92) P. 181-186.
7. Shchutska G. (2016) Defining the terms of distribution of fluid in textile with photometry technique // EUREKA: Physics and Engineering" no. 6/1. p. 37-45.

автоматизированого проєктирования одєжды // Швейная промышленность. - 1998. - № 5. - С. 35-36.  
9. Лушевська О.М., Пелюх І.М., Троян О.М. Використання фотограмметричного способу отримання інформації при проєктуванні спеціального одягу.// Вісник ХНУ. – 2009. - С. 183-187.

8. Medvedeva T.V. (1998) *Sposob preobrazovaniya fotogrammetricheskoy informacii dlya czelej avtomatizirovanogo proektirovaniya odezhdyy*// *Shejnaya promy`shlennost`*. no. 5. P. 35-36.

9. Lushchevska O.M., Peliukh I.M., Troian O.M. (2009) *Vykorystannia fotohrammetrychnoho sposobu otrymannia informacii pry proektuvanni spetsialnoho odiahu*// *Visnyk KhNU*. P.183-187.

## ОСНОВНЫЕ АСПЕКТЫ РАЗРАБОТКИ ИЗДЕЛИЙ МЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ С ЗАДАНЫМ ВЛАГОТРАНСФЕРНЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

ЩУЦКАЯ А.В.

Киевский национальный университет технологий и дизайна

**Цель.** Обзор разработанных математических моделей распространения жидкости в многослойных раневых покрытиях

**Методика.** В процессе моделирования структуры материалов использовались методы структурного анализа, для обработки результатов экспериментов использовались современные пакеты трехмерной графики.

**Результаты.** Приведен краткий обзор работ автора по тематике разработки изделий медицинского назначения из заданными влаготрансферными характеристиками. Представлена модель трехмерной поверхности распространения жидкости в раневых покрытиях, описано предложенный фотограмметрический метод для определения интенсивности прохождения жидкости сквозь текстильный материал.

**Научная новизна.** Обобщены разработанные модели трехмерных анизотропных материалов раневых покрытий, которые учитывают их дискретные и континуальные свойства. Представлена пространственная модель распространения жидкости в материале, которая позволяет определить как глубину так и параметры распространения по плоскости.

**Практическая значимость.** Полученные модели позволяют разработать рекомендации для описания процессов влагопереноса в материалах медицинского назначения, что позволяет прогнозировать время их эффективной эксплуатации.

**Ключевые слова:** математические модели, влагоперенос, многослойные раневые покрытия.

## KEY ASPECTS OF MEDICAL DEVICES DEVELOPMENT WITH GIVEN WET TRANSFER CHARACTERISTICS

SHCHUTSKA G.V.

Kyiv National University of Technology and Design

**Purpose.** It has been considered the developed mathematical models spreading liquid in the multilayer wound coatings.

**Methodology.** In the process of modelling structure of the materials have been used methods of structural analysis, for processing results of experiments have been used modern three-dimensional graphics packages.

**Results.** A brief overview of author works have been given on the subject of medical devices development with given wet transfer characteristics. It has been presented the model of three-dimensional surface spreading liquid in the wound coatings. The proposed photogrammetric methods for intensity definition of passage liquid through textile material has been described.

**Scientific novelty.** There have been generalized the developed three-dimensional models anisotropic materials wound coatings, which consider their discrete and continuum properties. A spatial model of the spreading liquid in the material has been presented, and it determines both penetration well and distribution settings in the space.

**Practical value.** The received models allow to develop recommendations for processes description of moisture transport in the materials of medical devices, that gives an opportunity to predict the time of their effective use.

**Keywords:** mathematical models, moisture transport, multilayer wound coatings.