

СУПРУН Н.П., КОЛОСНІЧЕНКО О.В., ЧУМАК Л.Ю.

Київський національний університет технологій та дизайну, Україна

РОЗРОБКА КОМПЛЕКСНИХ МЕДИЧНИХ ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ БАГАТОРАЗОВОГО ВИКОРИСТАННЯ

Мета. Розробка комплексних текстильних матеріалів багаторазового використання з прогнозованими властивостями для використання у виробі по догляду за лежачими хворими та вибір текстильних полотен для їх виготовлення.

Методи. Теоретичні та експериментальні дослідження базуються на основних положеннях текстильного матеріалознавства. Визначення структурних характеристик та показників якості виконувалось експериментальними методами за стандартними і спеціально розробленими методиками. Оцінка змочуваності нетканих полотен проводилась за показниками крайового кута змочування.

Результати. Встановлено, що сучасним світовим трендом у розробці текстильних полотен медичного призначення є споживання виробів багаторазового використання, що значно знижує екологічне навантаження та ризики при їх знешкодженні. Одним із способів отримання таких виробів є створення багатошарових матеріалів шляхом з'єднання в одну структуру окремих текстильних полотен з різними властивостями. Розроблено тришарові комплексні матеріали, верхнім шаром в яких є лляна тканина з екобезпечною антимікробною обробкою, серединний шар – голкопробивне неткане полотно на основі натуральних рослинних волокон, нижній шар – трикотаже полотно Coolmax. Для підвищення стійкості до розширювання в процесах багаторазового знезаражування полотна скріплювалися шляхом простьобування наскрізними стібками по всій поверхні за допомогою зигзаг – строчки. З метою обґрунтованого вибору сировинного складу нетканого полотна (основного вологонакопичувального шару) була проведена оцінка змочуваності шляхом вимірювання величини крайового кута змочування. Найменше значення цього показника і найбільшу швидкість вбирання краплі в структуру має неткане полотно, яке складається з 70% лляних і 30% поліефірних волокон. Для отриманого тришарового комплексного матеріалу експериментально визначено показники якості, які характеризують його основні функціональні властивості і придатність для використання у виробі по догляду за лежачими хворими.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в обґрунтуванні методу одержання комплексних текстильних матеріалів багаторазового використання для забезпечення необхідного рівня експлуатаційних властивостей виробів медичного призначення.

Практична значимість Запропоновано комплексні текстильні матеріали медичного призначення, які мають необхідні гігієнічні та експлуатаційні властивості, забезпечують міцність з'єднання шарів, що дозволяє розширити асортимент виробів по догляду за лежачими хворими.

Ключові слова: комплексні текстильні полотна, матеріали медичного призначення багаторазового використання, крайовий кут змочування, неткані полотна, показники якості.

DEVELOPMENT OF COMPLEX REUSABLE MEDICAL TEXTILE MATERIALS

SUPRUN N.P., KOLOSNICHENKO O.V., CHUMAK L.Y.

Kyiv National University of Technology and Design, Ukraine

Goal. Development of complex reusable textile materials with predicted properties for use in products for the care of bedridden patients and the choice of textile fabrics for their manufacture.

Methodology. Theoretical and experimental research is based on the basic principles of textile materials science. Determination of structural characteristics and quality indicators was done by experimental standard and specially developed methods. The wettability of nonwoven fabrics was evaluated according to the indicators of the wetting angle.

Results. It was estimated that modern world trend in the development of textile fabrics for medical purposes is the consumption of reusable products, which significantly reduces the load on the ecosystem and risks of their disposal. One of the ways to obtain such products is to create multi-layered materials by combining individual textile fabrics with different properties into one structure. Three-layer complex materials have been developed, the upper layer of which is linen fabric with eco-friendly antimicrobial treatment, the middle layer is a needle-punched nonwoven fabric based on natural plant fibers, and the lower layer is a Coolmax knitted fabric. To increase the resistance to delamination in the process of repeated disinfection fabric was reinforced over the entire surface by quilting with the use of zigzag stitch. In order to make a reasonable choice of the raw material composition of the nonwoven fabric (the main moisture-accumulating layer) it was evaluated the assessment of wettability by measuring the value of the wetting edge angle. The lowest value of this indicator and the highest rate of absorption of a drop into structure have a nonwoven fabric which consists of 70% of linen and 30% of polyester fibers. For the obtained three-layer complex material, quality indicators were experimentally determined which characterize its main functional properties and suitability for use in products for the care of bedridden patients.

The scientific novelty of the obtained results lies in the substantiation of the method of obtaining complex reusable textile materials to ensure the required level of operational properties of medical devices.

Practical significance. Complex textile materials for medical purposes are proposed, which have the necessary hygienic and operational properties, ensure the bond strength of the layers, which allows to expand the range of products for the care of bedridden patients.

Keywords: complex textile fabrics, reusable medical materials, contact angle, nonwoven fabrics, quality indicators.

Вступ.

Підйом кількості захворювань, які переносяться кров'ю, розповсюдження нових вірусів, штамів, стійких до лікарських препаратів, бактерій та інших джерел інфекції зробили надзвичайно актуальними дослідження в галузі медичного текстилю, найбільший асортимент якого на світовому ринку представлено предметами охорони здоров'я та гігієни. Значним поштовхом для вдосконалення властивостей і збільшення обсягів виробництва текстилю медичного призначення у всьому світі в останні роки стала світова пандемія вірусу COVID-19. Слід зазначити, що лікарні, лабораторії та інші медичні заклади створюють величезну кількість відходів, які несуть ризики хімічних, токсичних, канцерогенних, мутагенних і радіаційних впливів на організм людини, травматизму та інфікування. Це відбувається в ході діагностики й лікування пацієнтів, профілактики захворювань та нівелювання потенційних ризиків для здоров'я людей.

Знешкодження відходів здебільшого проводиться шляхом захоронення, без попередньої додаткової обробки фізичними методами. Цей підхід є несприятливим для екології через дію як самих медичних відходів, так і дезінфекційних засобів, якими їх частково знешкоджують. Особливу небезпеку представляють відходи, які залишаються під час та після догляду за пацієнтами з COVID-19. Враховуючи це, Кабінет Міністрів України затвердив Українську національну стратегію державного регулювання у сфері поводження з медичними відходами до 2030 року, гармонізовану з європейськими підходами до цієї проблеми [1]. На думку фахівців, обставини пандемії попереджають людство про необхідність переходу з практики одноразового використання засобів індивідуального захисту на стандартизовані програми багаторазового використання [2]. Визнано, що повторне використання медичного текстилю, тобто створення багаторазових текстильних виробів, є одним із дієвих способів зменшення негативного

впливу на навколишнє середовище [2,3]. Вражаючи досягнення в галузі створення «розумного» текстилю із заданими властивостями, безумовно, дають надію на те, що можуть бути створені багатофункціональні та «інтелектуальні» види текстилю медичного призначення багаторазового використання із широким спектром лікувальної і профілактичної дії, отримані на основі нанотехнологій, але для пересічного вітчизняного споживача у найближчому майбутньому ціна таких інноваційних виробів буде зависокою.

Постановка завдання.

Питанню створення багаторазових текстильних виробів медичного призначення в останнє десятиріччя присвячено багато розробок [4 – 8]. Так, наприклад, встановлено, що традиційні хірургічні халати, виготовлені із тканин, на відміну від одноразових, витримують 75-100 циклів прання [2], а їх використання, за даними [5], знижує споживання енергії природних ресурсів (64%), викиди парникових газів (66%), споживання води (83%) і утворення твердих відходів (84%).

Одним із способів надання виробам гігієнічного і профілактичного призначення багаторазового використання заданих властивостей є створення багатошарових матеріалів шляхом з'єднання в одну структуру окремих текстильних продуктів з різними властивостями, що дає можливість використати переваги кожного з компонентів, а також варіювати властивості матеріалів в досить широких межах [9,10]. З'єднання шарів в таких матеріалах може проводитися різними способами, вибір яких зумовлюється багатьма чинниками, в тому числі, урахуванням призначення виробів, особливостей

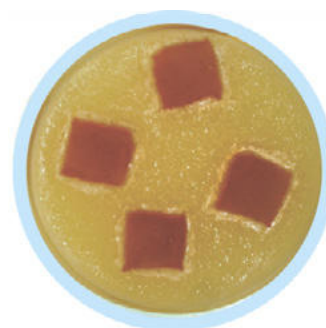
умов їх експлуатації і способів очищення. Метою роботи є розробка багатошарових комплексних текстильних матеріалів, з'єднаних механічним методом, у виробках для догляду за лежачими хворими. Предметом дослідження є багатошарові комплексні текстильні матеріали та текстильні полотна для їх виготовлення.

Нами пропонується, як один із варіантів виготовлення багаторазових комплексних текстильних матеріалів, призначених для догляду за лежачими хворими (простирадл, пелюшок або зональних вставок у натільні лікарняні вироби, які потребують частой заміни за рахунок зволоження), з'єднувати функціональні шари механічним методом. Враховуючи те, що такі вироби в процесах експлуатації потребують триступеневої обробки (дезінфекція, передстерилізаційне очищення, стерилізація), зв'язок шарів має бути дуже міцним. Для отримання комплексного матеріалу використано метод прострєбування – з'єднання накладених один на одного шарів пакету за допомогою зигзаг-строчки наскрізними стібками по всій поверхні полотна. Це забезпечує міцне з'єднання шарів і гарантує стабільність комплексного матеріалу при механічних впливах, при пранні, стерилізації та інших способах очищення. Вибір полотен для шарів був зумовлений метою роботи – створити комплексний текстильний матеріал для використання у робах медичного призначення.

Комплексні матеріали, що розробляються, складаються з трьох шарів (Рис.1,а): верхній шар – лляна тканина з екобезпечною антимікробною обробкою, серединний шар – голкопробивне неткане полотно на основі натуральних рослинних волокон; нижній шар – трикотаже полотно Coolmax.



а



б

Рис. 1. а - Зовнішній вигляд комплексного матеріалу; б) визначення зони затримки росту бактерій біля пофарбованої лляної тканини в середовищі м'ясо-пептонного агару

Вибір кращого за властивостями матеріалу для верхнього шару проводився серед лляних тканин, які здавна і успішно використовуються у виробках медичного призначення, і здійснювався за показником площі розтікання краплі S_p . Це викликано вимогами до основної

функції матеріалу верху – швидко вбирати і розподіляти рідину (піт, рідкі ліки, фізіологічні розчини та ін.). Найбільше значення S_p , як і найбільшу швидкість розтікання краплі, має зразок №1, який і рекомендовано для подальшого використання (Табл.1).

Таблиця 1 - Лляні тканини верхнього шару комплексних полотен

№ п\п	Назва зразку	Поверхнева густина M_s , г/м ²	Щільність, кількість ниток на 10 см, основа/уток	Площа розтікання краплі, S_p , мм ²
1	Тканина лляна LINEN PLUS	157	220/160	14,1
2	Тканина лляна Арт 5C108	175	190/170	9,1
3	Тканина лляна Арт 07C179	212	180/115	8,7
4	Тканина лляна Арт 4C33/20	185	190/160	10,5

В якості серединного поглинального і накопичувального шару використовувалися неткані голкопробивні полотна з поверхневою густиною 200 - 300 г/м², основним компонентом складу яких є волокна бавовни або льону, з додаванням у суміш ультратонких поліефірних (ПЕ), поліамідних (ПА) або поліуретанових (ПУ) волокон (Табл.2). В якості третього шару нами було використано трикотажне полотно Coolmax поверхневою густиною 210 г/м² і товщиною 0,74 мм (країна-виробник Китай). Полотна Coolmax добре відомі завдяки своїм вологопровідним властивостям і використовуються у виробках, які потребують швидкої евакуації зайвої вологи (спортивних фуфайках, одягу для силових структур та ін.).

Результати дослідження і обговорення.

Комфортність профілактичних гігієнічних виробів при експлуатації забезпечує їх висока здатність сорбувати та виводити пароподібну та краплинно-рідку вологу. В той же час вони представляють собою виключно сприятливе середовище для росту бактерій, оскільки постійно контактують з мікроорганізмами, що знаходяться як на тілі людини, так і у оточуючому середовищі, а

піт, який у підвищеній кількості виділяється хворою людиною, підтримує їх життєдіяльність та сприяє активному розмноженню. Бактерії, мікрогриби і дріжджі живуть і розмножуються скрізь, де для цього є відповідні умови: волога, живильне середовище (вуглеводи) і підходяща температура. Текстиль (як самі волокна, так і текстильно-допоміжні речовини) є благодатним живильним середовищем для безлічі мікроорганізмів. Прояви їх надмірного росту на текстильних виробках різноманітні і у край небажані: поряд з утворенням запаху, появою цвілевих плям і зміною пофарбування, вони можуть привести до втрати функціональних властивостей матеріалу, наприклад, його еластичності або розривної міцності. При високій вологості бактерії дуже швидко розмножуються, викликаючи знебарвлення матеріалів, виникнення стійкого запаху поту, а інколи провокують шкіряні подразнення та хвороби. Саме тому в останні роки наявність антибактеріальної обробки у сучасних виробках лікувально-профілактичного та медичного призначення, які мають прямий контакт з тілом людини, вважається вагомим перевагою, яка значно збільшує комфортність у споживанні за рахунок здатності матеріалів нейтралізувати запах поту або попереджувати виникнення дерматитів.

Зважаючи на високі вимоги споживачів та необхідність екологічної безпечності на всіх етапах життєвого циклу текстильних виробів, актуальним є надання бактерицидних властивостей шляхом обробки натуральними речовинами з доведеною антимікробною активністю, оскільки їх використання безпечно на всіх стадіях процесу виробництва, споживання та утилізації, а ресурсна база є поновлюваною. Лушпиння цибулі – здавна відома антимікробна рослинна сировина, в якій містяться флавоноїди – рослинні сполуки фенольного характеру, похідні дифеніл пропану. Вони мають широкий спектр біологічної дії, беруть участь в окисно-відновних процесах, поглинають ультрафіолетовий спектр сонячного випромінювання, проявляють протизапальну, протипроменеву та антиоксидантну дію [11]. Для надання верхньому шару комплексних полотен антимікробних властивостей за

екобезпечною технологією нами проводилось обробка лляної тканини лушпинням різних сортів цибулі за методикою, описаною в роботі [12]. Антимікробна активність визначалась по відношенню до штамів грамозитивних бактерій *Staphylococcus aureus* та *Bacillus subtilis* за методом «суцільного газону» на щільному середовищі – м'ясо-пептонному агарі за визначенням величини затримки росту мікроорганізмів на живильному агарі навколо зразка (Рис.1,б), а саме вимірюванням відстані від краю границі росту мікроорганізмів [12].

В якості середнього шару в комплексних матеріалах були використані неткані голкопробивні полотна на основі натуральних волокон бавовни та льону (Табл. 2), виготовлені в КНУТД на технологічному обладнанні кафедри.

Таблиця 2. - Неткані голкопробивні полотна середнього шару комплексних матеріалів

№ зразка	Вміст складників сировинного складу, %	Товщина, (мм)	Поверхнева густина, M_s , (г/м ²)	Крайовий кут змочування (θ), град.
1	Льон – 50%, ПА – 30 %, ПУ – 20%	0,7	183	121
2	Льон – 70%, ПЕ – 30%	1,1	193	39
3	Льон – 50%, ПЕ – 50%	1,2	138	44
4	Бавовна – 50%, ПА – 30 %, ПУ – 20%	0,5	191	123
5	Бавовна – 70%, ПЕ – 30%	0,5	185	117
6	Бавовна – 50%, ПЕ – 50%	0,7	169	51

Неткане полотно є основним поглинальним і накопичувальним шаром в комплексному матеріалі, що розробляється. Від його сорбційної здатності в найбільшому ступені залежать функціональні властивості виробів для лежачих хворих. Для порівняльного аналізу та обґрунтованого вибору сировинного складу нетканого полотна була проведена оцінка змочуваності. Ступінь змочування поверхні матеріалу визначається її гідрофобністю або гідрофільністю і якісно

оцінюється крайовим кутом змочування θ° та поверхневим натягом (σ), співвідношення між якими встановлено рівнянням Юнга:

$$\theta = \frac{\delta_{тг} - \delta_{тр}}{\delta_{рг}}$$

де σ - поверхневий натяг на межі розділу (тг – тверде тіло - газ, тр – тверде тіло - рідина, рг – рідина - газ).

Значення $\Theta = 0^\circ$ відповідає повній змочуваності, $\Theta = 180^\circ$ – повному відштовхуванню рідини від поверхні. Слід зазначити, що поверхня голкопробивних нетканних полотен відрізняється значною шорсткістю – сукупністю мікронерівностей, що утворюють рельєф поверхні (Рис.2,б). Це збільшує площу фактичного контакту рідини з матеріалом в порівнянні з номінальною площею контакту (площею проекції краплі на гладку поверхню). Відомо, що крайовий кут змочування краплі рідини зменшується прямо пропорційно збільшенню шорсткості поверхні – якщо рідина добре змочує дану поверхню, то збільшення шорсткості призводить до посилення змочування, якщо погано –

шорсткість підвищує значення крайового кута змочування. Для шорсткої поверхні опис кута змочування здійснюється за рівнянням Венцеля –Дерягина [11]

де k – коефіцієнт шорсткості, що дорівнює відношенню фактичної площі поверхні контакту до номінальної.

Крайовий кут змочування та зміна його значення у часі, зміна форми краплі на поверхні досліджуваних зразків нетканних полотен визначались на розробленій установці із застосуванням електронного USB мікроскопу (Рис. 2,а) за наступною методикою.

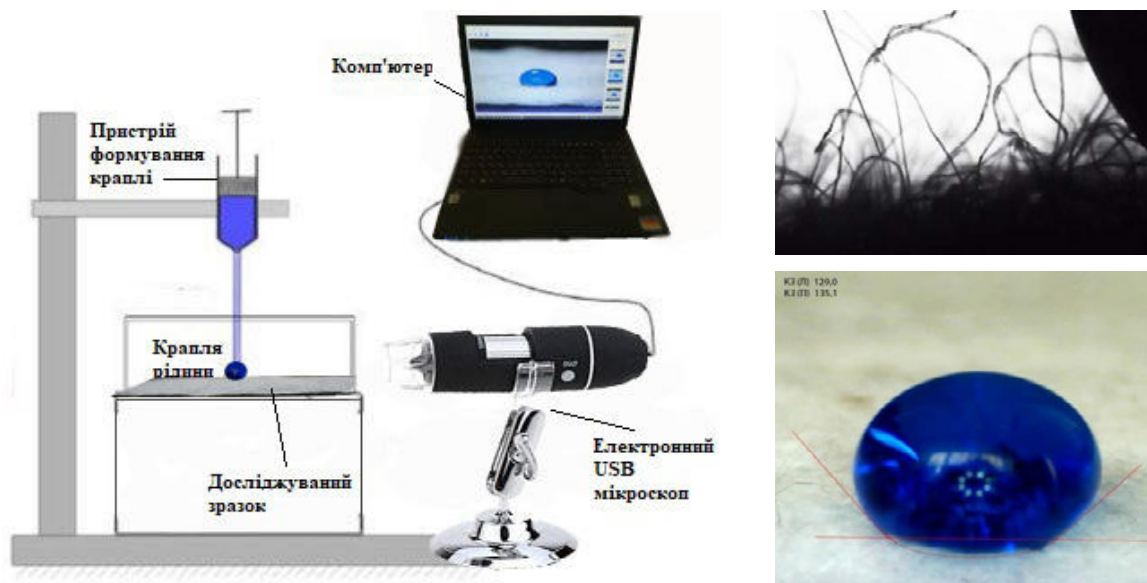


Рис. 2. - Визначення крайового кута змочування: а – установка для вимірювання, б - мікрофотографія поверхні нетканого полотна, в- вимірювання крайового кута змочування поверхні зразка №1

Краплю дистильованої води, підфарбованої метиленовим синім, наносили на поверхню зразка матеріалу, розміщеного на столику у нерухомому стані, за допомогою пристрою формування краплі (шприца з голкою внутрішнім діаметром 0,1 мм). Встановлено [14], що для того, щоб величина крайового кута не залежала від діаметру краплі, він має бути в межах від 2 до 5 мм. У разі дуже малих крапель великий вплив буде мати поверхневий натяг самої рідини (формуватимуться сферичні краплі), а в разі великих крапель починають домінувати сили гравітації. Крапля підсвічувалась та її профіль фіксувався за допомогою електронного USB мікроскопа Digital Microscope U500X, підключеного до ноутбука через стандартний порт USB 2.0. Обробка зображення відбувалася за допомогою програми захоплення зображення Micro Capture Pro.

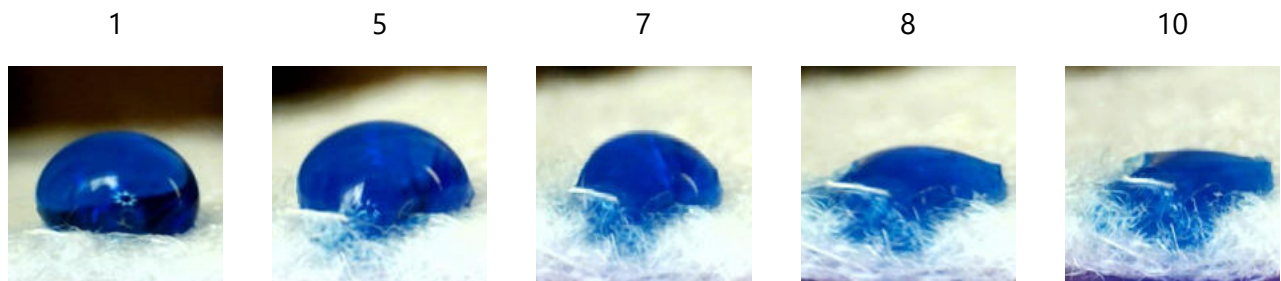
Отримане зображення збільшувалося до необхідного розміру і за фотографією краплі або її електронному аналогу визначалися параметри краплі, необхідні для розрахунку крайового кута змочування, який вимірюється між твердою поверхнею і рідиною в точці контакту трьох фаз – рідини, повітря і твердого тіла (Рис.2,в).

Як свідчать отримані експериментальні дані, наведені в таблиці 2, найменші показники крайового кута змочування мають зразки нетканних полотен №2 та №3, до складу яких входить 70 та 50% волокон льону. Трохи більшим є значення θ для зразка №6. Здатність до змочування інших досліджених зразків нетканних полотен є набагато меншою. Відповідно, для досліджуваних полотен розрізняється час розтікання краплі по поверхні матеріалу та її вбирання в структуру.

Якщо для добре змочуваного полотна цей процес закінчується за декілька секунд, то для погано змочуваних полотен цей процес значно уповільнено в часі - краплі води тривалий час (до двох годин) утримуються

на поверхні, практично не вбираючись в пористу структуру полотна, а сферична форма крапель в рівноважному стані зберігається аж до випаровування (Рис.3).

Зразок № 2. Час спостереження, сек



Зразок № 4. Час спостереження, сек

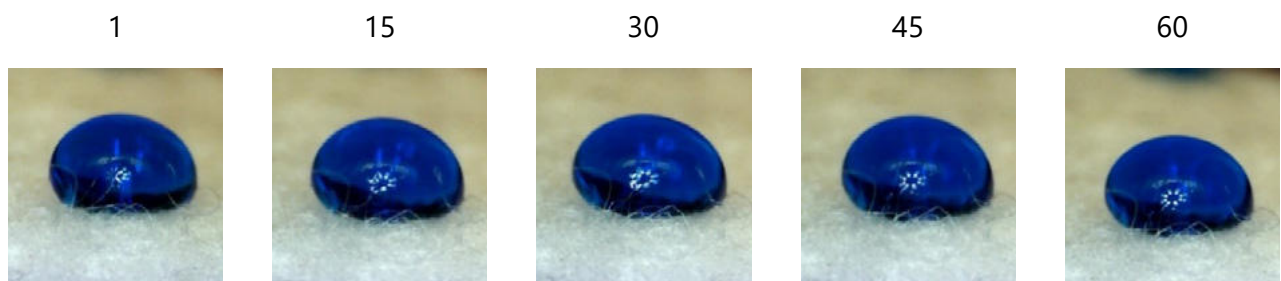


Рис.3. - Зміна у часі форми краплі води на поверхні нетканого полотна

Нижній шар комплексного матеріалу виконано із трикотажного полотна на базі волокон Coolpass. Незважаючи на те, що волокна є гідрофобними, завдяки їх X-подібному поперечному перерізу і зовнішнім каналам на поверхні, волога дуже швидко транспортується і виводиться назовні. Трикотажні вироби з волокон Coolpass м'які на дотик, зручні і комфортні в експлуатації, формостійкі, не вбирають запах поту. Обране трикотажне полотно Coolpass має хороші гігієнічні властивості – високі значення коефіцієнту повітропроникності ($V_{\text{пов}} = 575 \text{ дм}^3 / (\text{м}^2 \cdot \text{с})$) та водопоглинання ($W = 287\%$), високу швидкість висихання при нормальних умовах оточуючого середовища (час висихання зразка 300x300 мм складає 15 хвилин).

Для отриманого композиційного полотна за стандартизованими методиками були визначені деякі показники якості, вагомі для виробів даного призначення. З метою визначення можливості зміни лінійних розмірів після волого-теплових обробок було проведено триразове прання комплексного полотна в побутовій автоматичній пральній машині з миючим і дезінфікуючим засобом при температурі 40°C, яке засвідчило, що

величина зсідання не перевищує 2%. Для обробленої екстрактом душіння цибулі льняної тканини за стандартизованою методикою за шкалою сірих еталонів була проведена оцінка зміни первісного забарвлення і ступеню зафарбовування суміжної тканини, що піддавалась спільній обробці. Стійкість забарвлення матеріалів, по суті, характеризує стійкість до міграції барвників і безпеку споживання, а також впливає на естетичність зовнішнього вигляду виробу. Отримані дані засвідчили досить високу стійкість пофарбування до прання, дії поту, сухого і мокрого тертя, яка складає не менше 4 балів.

Жорсткість при згинанні, яка визначалась методом кільця на приладі ПЖУ – 12М, склала 23,1г в повздовжньому напрямку і 25,8г в поперечному, що характеризує отримане композиційне полотно як достатньо м'яке і, одночасно, формостійке. Результати дослідження водовбиральних властивостей виявили, що капілярність композиційного полотна, визначена за стандартизованою методикою, складає 200 мм, водовбиральність $W = 580\%$ що, фактично, є адитивною величиною характеристик його складових і дорівнює сумарній

водомісткості вихідних текстильних полотен, що входять до складу багат шарової структури (відхилення між значеннями розрахункової та експериментальної величини W до 7% знаходиться в межах точності експерименту).

Враховуючи те, що умови, за яких проводилося визначення коефіцієнта водомісткості за стандартизованою методикою, відрізняються від реальних умов експлуатації композиційного полотна медичного призначення, було проведено дослідження водовбиральних властивостей при горизонтальному розташуванні відносно поверхні змочування, коли воно поглинає рідину тільки однією своєю стороною. Встановлено, що при цьому значення W знижуються на 15% у порівнянні з даними за ГОСТ 3816-81 (ISO 811-81). Дія тиску, який дорівнює питомому тиску тіла лежачої людини на горизонтальну поверхню (5000 Па), в межах похибки експерименту, не впливає на значення водовбиральності.

Література

1. Проєкт «Екстрене реагування на Covid-19 та вакцинація в Україні. Міністерство охорони здоров'я України. Червень ХХ 2021. 99 с.
2. Baker N., Bromley-Dulfano R., Chan J, Gupta A., Herman L., Jain N., Taylor A., Lu J, Pannu J, Patel L, Prunicki M. COVID-19 Solutions Are Climate Solutions: Lessons From Reusable Gowns. *Front Public Health*. 2020. V.8. P. 811-818.
3. Vozzola E., Overcash M., Griffing E. Environmental considerations in the selection of isolation gowns: a life cycle assessment of reusable and disposable alternatives. *Am. J. Infect. Control*. 2018. V.46. №8. P. 881-886.
4. Sun G. Disposable and reusable medical textiles. *Textiles for hygiene and infection control*. Woodhead Publishing Ltd., UK. 2011. p.125-135.
5. Vozzola E., Overcash M., Griffing E. An Environmental Analysis of Reusable and Disposable Surgical Gowns. *AORN J*. 2020. V. 111. №3. P.315-325.
6. Mc Querry M., Easter E., Cao A. Disposable versus reusable medical gowns: A performance comparison. *Am. J. Infect. Control*. 2021. V.49. N5. P.563-570.
7. Sandin G., Peters G. Environmental impact of textile reuse and recycling. A review. *Journal of Cleaner Production*. 2018. V.184. №20. P.353-365.
8. Karim N., Afroj S., Lloyd K., Clarke Oaten L., Andreeva D. Sustainable Personal Protective Clothing for Healthcare Applications: A Review.

Висновки.

Розроблені тришарові комплексні матеріали, які складаються з лляної тканини з екобезпечною антимикробною обробкою, голкопробивного нетканого полотна на основі натуральних рослинних волокон і трикотажного полотна Coolmax, мають хороші гігієнічні властивості – високі показники повітропроникності і водовбирання, оптимальні значення жорсткості, стійке забарвлення, не змінюють лінійних розмірів після волого-теплових обробок, стійки до розшарування, що, з метою розширення асортименту, дозволяє рекомендувати їх для використання у виробах багаторазового використання по догляду за лежачими хворими.

Автори висловлюють щире подяку аспіранту Пожилову-Несміян Г.М. за допомогу у проведенні експериментального визначення крайового кута змочування нетканних полотен.

References

1. Proyeckt «Ekstrene reahuvannya na Covid-19 ta vaktsynatsiya v Ukrayini. Ministerstvo okhorony zdorov'ya Ukrayiny. Cherven' [Project "Emergency response to Covid-19 and vaccination in Ukraine]. Ministerstvo okhorony zdorov'ya Ukrayiny - Ministry of Health of Ukraine. June XX 2021. 99 s. [in Ukrainian].
2. Baker N., Bromley-Dulfano R., Chan J, Gupta A., Herman L., Jain N., Taylor A., Lu J, Pannu J, Patel L, Prunicki M. COVID-19 Solutions Are Climate Solutions: Lessons From Reusable Gowns. *Front Public Health*. 2020. V.8. P. 811-818 [in English].
3. Vozzola E., Overcash M., Griffing E. Environmental considerations in the selection of isolation gowns: a life cycle assessment of reusable and disposable alternatives. *Am. J. Infect. Control*. 2018. V.46. №8. P. 881-886 [in English].
4. Sun G. Disposable and reusable medical textiles. *Textiles for hygiene and infection control*. Woodhead Publishing Ltd., UK. 2011. p.125-135[in English].
5. Vozzola E., Overcash M., Griffing E. An Environmental Analysis of Reusable and Disposable Surgical Gowns. *AORN J*. 2020. V. 111. №3. P.315-325 [in English].
6. Mc Querry M., Easter E., Cao A. Disposable versus reusable medical gowns: A performance comparison. *Am. J. Infect. Control*. 2021. V.49. N5. P.563-570[in English].
7. Sandin G., Peters G. Environmental impact of textile reuse and recycling. A

- ACS Nano. 2020. V.14. №10. p. 12313–12340.
9. Березненко М.П., Власенко В.І., Ковтун С.І. Сучасний підхід до конструювання та оптимізації складу багатофункціональних багат шарових текстильних композитів. Збірник наукових праць ювілейної Міжнародної конференції «Інноваційні технології – майбутнє України». – К.: – Вісник КНУТД. Спец. випуск. 2005. Т.1. №5. –С.61 – 63.
 10. Супрун Н.П., Власенко В.І., Арабулі С.І. Текстиль та багатофункціональні текстильні композиційні матеріали у виробках для інвалідів та важкохворих. Монографія. Київ. КНУТД, 2011. 182 с.
 11. Гродзінський А.М. (Відп. ред.). Лікарські рослини: Енциклопедичний довідник. К.: Вид. «Українська енциклопедія» ім. М. П. Бажана, Український виробничо-комерційний центр «Олімп», 1992. –544с.
 12. Супрун Н.П., Щуцька Г.В. Сучасні проблеми виробництва безпечного у споживанні та екологічно чистого текстилю. Монографія. Кафедра. 2013. – 112 с.
 13. Сумм Б.Д., Горюнов. Ю.В. Физико-химические основы смачивания и растекания. М.: Химия, 1976. 232 с.
 14. Савельев М.А., Кондратов А.П. Физическое моделирование движения частиц водоразбавляемой краски при капле струйной печати на полимерных пленках. Известия ВУЗов. Проблемы полиграфии и издательского дела. 2015. No 2. С. 40-46.
 - review. Journal of Cleaner Production. 2018. V.184. №.20. P.353-365 [in English].
 8. Karim N., Afroj S., Lloyd K., Clarke Oaten L., Andreeva D. Sustainable Personal Protective Clothing for Healthcare Applications: A Review. ACS Nano. 2020. V.14. №10. p. 12313–12340 [in English].
 9. Bereznenko M.P., Vlasenko V.I., Kovtun S.I. Suchasnyy pidkhid do konstruyuvannya ta optymizatsiyi skladu bahatofunktsional'nykh bahatosharovykh tekstyl'nykh kompozytiv. Zbirnyk naukovykh prats' yuvileynoyi Mizhnarodnoyi konferentsiyi «Innovatsiyini tekhnolohiyi – maybutnye Ukrayiny».[A modern approach to the design and optimization of the composition of multifunctional multilayer textile composites]. Scientific works of the Jubilee International Conference "Innovative Technologies - the Future of Ukraine". – K.: – Visnyk KNUTD. Spets. vypusk. 2005. V.1. №5. P.61 – 63 [in Ukrainian].
 10. Suprun N.P., Vlasenko V.I., Arabuli S.I. Tekstyl'ny ta bahatofunktsional'ni tekstyl'ni kompozytsiyini materialy u vyrobakh dlya invalidiv ta vazhkokhvorykh. [Textiles and multifunctional textile composite materials in products for the disabled and seriously ill] Monohrafiya. Kyiv. KNUTD. 2011. 182 p [in Ukrainian].
 11. Hrodzins'ky A.M. (Vidp. red). Likars'ki roslyny: Entsyklopedychnyy dovidnyk. [Medicinal plants: Encyclopedic reference book] Vyd. «Ukrayins'ka entsyklopediya» im. M. P. Bazhana, Ukrayins'kyy vyrobnycho-komertsiyyny tsestr «Olimp». 1992. 544p [in Ukrainian].
 12. Suprun N.P., Shchuts'ka H.V. Suchasni problemy vyrobnytstva bezpechnoho u spozhyvanni ta ekolohichno chystoho tekstylyu [Modern problems of production of safe in consumption and environmentally friendly textiles]: Monohrafiya. Kafedra, 2013. 112 p [in Ukrainian].
 13. Summ B.D., Goryunov. YU.V. Fiziko-khimicheskiye osnovy smachivaniya i rastekaniya. [Physicochemical bases of wetting and spreading] M.: Khimiya, 1976. - 232 s [in Russian].
 14. Savel'yev M.A., Kondratov A.P. Fizicheskoye modelirovaniye dvizheniya chastits vodorazbavlyayemoy kraski pri kaplestruynoy pechati na polimernykh plenkakh. [Physical modeling of the movement of water-borne paint particles during inkjet printing on polymer films]. Izvestiya VUZov. Problemy poligrafii i izdatel'skogo dela. 2015. No 2. p. 40-46 [in Russian].