

ЗАСТОСУВАННЯ АНТИБАКТЕРІАЛЬНОГО ТЕКСТИЛЮ У БАГАТОШАРОВИХ УСТІЛКАХ ДЛЯ ВЗУТТЯ

Мета дослідження полягає в обґрунтуванні доцільності застосування антибактеріального текстилю у складі багатошарових устілок для взуття та встановленні впливу умов його отримання на комплекс взаємодоповнювальних властивостей, що визначають антибактеріальні, гігієнічні, фізико-механічні й експлуатаційні характеристики готових виробів.

Методи. У ході дослідження реалізовано розроблені технології обробки бавовняно-поліестерних текстильних матеріалів. Визначення показників споживних та експлуатаційних характеристик розроблених зразків антибактеріальних текстильних матеріалів виконано у відповідності до стандартизованих методик текстильного матеріалознавства. Антимікробну активність зразків визначали методом зон пригнічення росту тест-штамів мікроорганізмів.

Головні результати. Здійснено комплексну оцінку доцільності застосування антибактеріальних текстильних матеріалів змішаного складу для виготовлення взуттєвих устілок та впливу технологічних аспектів їх модифікації й умов експлуатації на зміну властивостей готових виробів. Показано, що контрольний зразок текстильного матеріалу (не модифікований) характеризується найвищими показниками гігроскопічності та повітропроникності, що забезпечує сприятливий мікроклімат під час експлуатації. Після біоцидної обробки спостерігається зниження цих показників, однак їх значення залишаються в межах допустимих для устілкових матеріалів. Фізико-механічні випробування підтвердили високий рівень розривної міцності всіх зразків та відсутність критичного впливу біоцидної обробки на міцнісні характеристики. Стійкість забарвлення до прання, тертя та впливу поту після обробки дещо знижується, проте залишається на високому рівні, що є важливим для виробів тривалого використання. Мікробіологічні дослідження підтвердили ефективність біоцидної обробки проти *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* та *Pseudomonas aeruginosa*, що доводить забезпечення антибактеріального ефекту запропонованого текстильного матеріалу у складі багатошарових устілок для взуття. Запропонована двошарова конструкція устілки на основі вовняної повсті та антибактеріального текстилю, з'єднаних оверлочним швом, забезпечує механічну надійність, формостійкість та стабільність геометричних параметрів під час експлуатації взуття.

Наукова новизна полягає у формуванні нового типу багатошарового пакета текстильних матеріалів для устілок, що поєднує антибактеріальні текстильні компоненти та натуральну вовняну повсть з урахуванням їх взаємодоповнювальних експлуатаційних та споживних властивостей.

Практична значимість полягає у можливості впровадження створених устілок у виробництво взуття широкого спектра. Використання такого пакета текстильних матеріалів забезпечує підвищення гігієнічних властивостей взуття, оптимізацію внутрішнього мікроклімату, підвищення загального комфорту під час тривалої експлуатації.

Ключові слова: бавовняно-поліестерна тканина, натуральні волокна, антибактеріальний текстиль, устілки, фізико-механічні властивості, гігієнічні властивості.

APPLICATION OF ANTIBACTERIAL TEXTILE IN MULTILAYER FOOT INSOLES

HARANINA O., REDKO Y., ANDREYEVA O.

Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine

Purpose of the study is to substantiate the feasibility of using antibacterial textiles in multilayer shoe insoles and to establish the influence of the conditions of its production on the complex of complementary properties that determine the antibacterial, hygienic, physical-mechanical, and operational characteristics of finished products.

Methodology. During the study, the developed technologies for processing cotton-polyester textile materials were implemented. The determination of consumer and operational characteristics of the developed samples of antibacterial textile materials was performed in accordance with standardized methods of textile materials science. The antimicrobial activity of the samples was determined by the method of zones of inhibition of growth of test strains of microorganisms.

Results. A comprehensive assessment of the feasibility of using antibacterial textile materials of mixed composition for the manufacture of shoe insoles and the influence of technological aspects of their modification and operating conditions on changing the properties of finished products was carried out. It was shown that the control sample of textile material (unmodified) is characterized by the highest indicators of hygroscopicity and air permeability, which provides a favorable microclimate during operation. After biocidal treatment, a decrease in these indicators is observed, however, their values remain within the limits permissible for insole materials. Physico-mechanical tests confirmed the high level of tensile strength of all samples and the absence of a critical effect of biocidal treatment on strength characteristics. The color fastness to washing, friction and sweat exposure after treatment is somewhat reduced, but remains at a high level, which is important for products of long-term use. Microbiological studies confirmed the effectiveness of biocidal treatment against *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* and *Pseudomonas aeruginosa*, which proves the provision of the antibacterial effect of the proposed textile material in the composition of multilayer shoe insoles. The proposed two-layer insole design based on wool felt and antibacterial textiles, connected by an overlock seam, ensures mechanical reliability, dimensional stability, and stability of geometric parameters during shoe operation.

Scientific novelty consists in forming a new type of multilayer package of textile materials for insoles, combining antibacterial textile components and natural wool felt, taking into account complementary operational and consumer properties that determine the hygienic, physical-mechanical and comfortable characteristics of the product.

Practical value lies in the possibility of introducing the created insoles into the production of a wide range of footwear. The use of such a package of textile materials ensures increased hygienic properties of footwear, optimization of the internal microclimate, and increased overall comfort during prolonged use.

Keywords: cotton-polyester fabric, natural fibers, antibacterial textiles, insoles, physical and mechanical properties, hygienic properties.

Всмысл. Текстильні матеріали займають ключову роль у багатьох сферах сучасного життя людини. Вони застосовуються не лише у легкій промисловості, а й у медицині, транспорті, авіації, виробництві засобів індивідуального захисту та різноманітних побутових виробів [1–5]. Велике різноманіття натуральних, штучних та синтетичних волокон, а також можливості їх комбінування, дозволяють створювати матеріали з необхідними експлуатаційними характеристиками, що відповідають вимогам споживача.

У взуттєвій промисловості текстильні матеріали та багатoshарові конструкції на їх основі забезпечують формостійкість,

тепловий комфорт, амортизаційні та гігієнічні властивості, які безпосередньо впливають на зручність та безпеку при носінні взуття [6, 7]. Особливе значення мають багатoshарові пакети матеріалів, що використовуються у внутрішніх деталях взуття – устілках, підкладках та стабілізуючих елементах [7, 8].

Устілки виконують важливу функцію підтримки внутрішнього мікроклімату взуття, поглинають та регулюють вологу, амортизують удари під час ходьби та сприяють гігієнічності експлуатації. За умови носіння взуття протягом тривалого відрізка часу формуються підвищена вологість та локальні температурні коливання внутрішньовзуттєвого простору. Це створює сприятливе середовище для розвитку

та розмноженню патогенних мікроорганізмів. Саме тому сучасні конструкції устілок все частіше включають комбіновані багатошарові пакети, які поєднують амортизаційні, теплоізоляційні та антибактеріальні властивості.

Поєднання натуральних волокон із модифікованими текстильними матеріалами дозволяє підвищити експлуатаційні характеристики внутрішніх елементів взуття. Наприклад, вовняні волокна завдяки пористій структурі відрізняються високою гігроскопічністю та теплоізоляційними властивостями. Текстильні матеріали з антибактеріальною обробкою виконують роль бар'єру проти розвитку мікроорганізмів, сприяють відведенню вологи, запобігають появі неприємного запаху та покращують загальний мікроклімат всередині взуття.

Актуальність дослідження полягає у розробці внутрішніх деталей взуття, що поєднують природні тепло- та вологорегуляційні властивості вовняної повсті з антибактеріальними характеристиками текстильних матеріалів. Такий підхід дозволяє створювати устілки з оптимальним балансом комфорту, гігієнічності та амортизації, а також сприяє більш екологічному виробництву [5–8].

Аналіз попередніх досліджень. У попередніх дослідженнях відзначено ефективність устілок з антибактеріальним захистом, що містять наночастинки срібла, іони міді або органічні антимікробні сполуки, які забезпечують широкий спектр захисту від бактерій, грибків та вірусів [9]. Крім того, відомі технології включають використання [10–12]: срібних частинок у матеріалі підшови, що руйнують бактерії та пригнічують їх ДНК, знижуючи ризик інфекцій [13]; піритіону цинку, який активно пригнічує метаболізм мікроорганізмів та процеси реплікації їхньої ДНК [14]; природних антисептичних речовин (екстракти евкаліпта, чайного дерева) та хітозану – біополімеру з високими антимікробними властивостями, отриманого з панцирів ракоподібних [15, 16].

Проте аналіз існуючих антибактеріальних технологій [9–16] показує, що вони мають певні обмеження: висока вартість матеріалів, ризик токсичності при перевищенні допустимих концентрацій металів, обмежена тривалість дії природних антисептиків та складність нанесення хітозану.

Сучасні підходи, зокрема використання триклозану, дозволяють досягти тривалого антибактеріального ефекту без істотного

впливу на фізико-механічні властивості матеріалу. Триклозан стабільний під час експлуатації, витримує багаторазові цикли зволоження та висушування і рівномірно закріплюється на волокнистих матеріалах, що особливо важливо для устілок в умовах підвищеної вологості та механічного навантаження [17].

Постановка завдання. На основі аналізу сучасних досліджень актуальним є розроблення багатошарових устілкових конструкцій на базі антибактеріального текстилю та вовняної повсті, з урахуванням їх сумісності та експлуатаційних характеристик. Основні завдання роботи:

- дослідити вплив біоцидної обробки бавовняно-поліестерного текстилю на його гігієнічні, фізико-механічні та експлуатаційні властивості;
- оцінити антибактеріальну та фунгіцидну ефективність оброблених матеріалів щодо типових патогенних мікроорганізмів взуттєвої галузі;
- проаналізувати зміну властивостей оброблених матеріалів під дією умов їх отримання;
- обґрунтувати доцільність використання текстилю з триклозановою обробкою у складі багатошарових устілок взуття.

Методи дослідження. Для виготовлення антибактеріальних устілок обрано тканину змішано-бавовняну сорочкову чорну (поверхнева густина 120 г/м²), артикул 170663, країна виробник Китай. Сировинний склад: поліефір – 77%, бавовна – 20%, еластан – 3%. Для основи устілок використано повсть грубошерстну підшовну зі збільшеним вкладенням натуральної вовни ТУ 8161-014-05251899-2005 товщиною 2,5 мм, країна виробник Україна. Шари складаються один за одним із урахуванням функціоналу: вовняний фетр використовується як основа, що контактуватиме зі стопою, а текстиль просочений бактерицидними домішками як поверхневий шар чи нижня частина, що контактує із взуттям. Після з'єднання шарів нитковим прошиванням устілка піддається термічній обробці для фіксації швів та стабілізації форми. Процес виконується у сушильній шафі за температури 120–150°C.

Оцінювання властивостей виконано за стандартизованими методиками відповідно до чинних національних та міжнародних нормативних документів. Комплексний підхід,

що включає аналіз гігієнічних, механічних, експлуатаційних та антимікробних показників, забезпечує всебічну характеристику об'єктів дослідження та дозволяє визначити їх придатність до практичного застосування.

В аналітично-дослідній випробувальній лабораторії «Текстиль-ТЕСТ» КНУТД, яка акредитована Національним Агентством з акредитації України відповідно до вимог ДСТУ ISO/IEC 17025:2017 (ISO/IEC 17025:2017) проводились випробування гігієнічних (гігроскопічність, паро- і повітропроникність) та експлуатаційних (стійкість до прання, поту й тертя) та механічних властивостей оброблених зразків антибактеріальних матеріалів. Стійкість обробок до фізико-хімічних впливів, а саме, стійкість до прання при 30°C (змінення фарбування проби/зафарбовування суміжної тканини) ДСТУ ISO 105-C06 – 4/4 бали, до поту (змінення фарбування проби/зафарбовування суміжної тканини) ДСТУ ISO 105-E04 – 4/4 бали. Дослідження гігієнічних властивостей виконано у відповідності до нормативно-технічних документів, які регламентують вимоги до текстилю, а саме: ДСТУ 4057-2001. Матеріали текстильні, методи ідентифікації волокон, ДСТУ ISO 9237:2003. Визначення повітропроникності тканин, МВЛ 7.2-56 (ГОСТ 3816-2009, ІДТ). Методи оцінювання гігроскопічних і водовідштовхувальних властивостей текстильних полотен. Фізико-механічні властивості досліджували згідно ДСТУ EN ISO 13934-1:2018. Текстиль. Розривні властивості тканин. Частина 1. Визначення максимального зусилля та видовження за максимального зусилля методом прямокутного шматка.

Дослідження ефективності біоцидної обробки текстильних матеріалів (гриби: *Candida albicans* (ATCC 10231), *Aspergillus brasiliensis* (ATCC 16404); бактерії:

Staphylococcus aureus (ATCC 6538), *Escherichia coli* (ATCC 8739), *Pseudomonas aeruginosa* (ATCC 9027)) проводили в Інституті громадського здоров'я ім. О.М. Марзєєва Національної академії медичних наук України відповідно до *Methods of testing disinfectants to assess their safety and effectiveness*, 1998 [18]. Антимікробну активність зразків визначали методом зон пригнічення росту, який дозволяє оцінити чутливість тест-штамів мікроорганізмів до біоцидно оброблених матеріалів.

Результати дослідження та їх обговорення. У рамках дослідження були обрані бавовняно-поліестерні тканини з додаванням еластину, які піддавали спеціальній обробці для надання антибактеріальних властивостей. Обробка здійснювалася методом багаторазового занурення тканин у спиртовий розчин продукту феніл-фенольного ряду [19]. Для експерименту відібрали три типи зразків: контрольний (без обробки), після двох занурень та після трьох занурень у розчин. Такий підхід дозволив оцінити та встановити вплив умов отримання антибактріального текстилю, а саме кількості опоряджень на комплекс споживних та експлуатаційних властивостей. У зв'язку з цим робота включала систематичний аналіз гігієнічних, фізико-механічних та експлуатаційних характеристик устілок, виготовлених із цих матеріалів після нанесення бактерицидного покриття.

Гігієнічні властивості зразків досліджували відповідно до актуальних стандартів та нормативної бази (таблиця 1). Результати показали, що всі параметри перебувають у межах допустимих значень. Зокрема, показники гігроскопічності, паропроникності та повітропроникності підтверджують високий рівень обробки та здатність матеріалу



Рис. 1. Гігієнічні показники антибактеріальних текстильних матеріалів

Таблиця 1

Гігієнічні властивості досліджуваних текстильних матеріалів

Зразок	Показник	Дані	Межі (min–max)	Нормативний документ
1	Гігроскопічність, %	5,1	5,0–5,2	МВЛ 7.2-56 (ГОСТ 3816-2009)
	Паропроникність, мг/см ² ·год	14,0	12,1–15,1	МВЛ 7.2-62 (ГОСТ 22900-78)
	Повітропроникність, дм ³ /м ² ·с	91,0	83,3–97,2	ДСТУ ISO 9237:2003
2	Гігроскопічність, %	4,0	3,8–4,2	МВЛ 7.2-56
	Паропроникність, мг/см ² ·год	13,9	12,6–14,5	МВЛ 7.2-62
	Повітропроникність, дм ³ /м ² ·с	39,4	37,5–41,7	ДСТУ ISO 9237:2003
3	Гігроскопічність, %	4,16	4,1–4,2	МВЛ 7.2-56
	Паропроникність, мг/см ² ·год	13,9	13,4–14,7	МВЛ 7.2-62
	Повітропроникність, дм ³ /м ² ·с	47,6	44,4–50,0	ДСТУ ISO 9237:2003

підтримувати комфортний мікроклімат усередині взуття (рис. 1).

Контрольний зразок 1 мав найвищу гігроскопічність – 5,1 %, що відображає більшу частку натуральних волокон. Зразки 2 та 3 мали дещо менші значення (4,0–4,16 %), що свідчить про більшу частку синтетичних волокон. Паропроникність усіх зразків була приблизно однаковою (13,9–14 мг/см²·год), що свідчить про стабільну здатність матеріалу виводити водяну пару. Повітропроникність зразка 1 виявилася найвищою (91 дм³/м²·с), тоді як зразки 2 і 3 демонстрували нижчі показники (39,4 і 47,6 дм³/м²·с відповідно), що пов'язано з ущільненням структури. Це свідчить, що обробка знижує пористість текстильного матеріалу, але не виходить за межі допустимих значень для устілок, забезпечуючи задовільний газообмін.

Фізико-механічні властивості тканин (таблиця 2) оцінювали за розривним навантаженням та видовженням відповідно до ДСТУ EN ISO 13934-1:2018 [20]. Контрольний зразок 1 мав найвищу міцність за основою (877 Н) і за утком (493 Н). Зразки 2 та 3 демонстрували дещо менші показники (770–789 Н за основою та 468–474 Н за утком), але залишалися у межах нормативних значень. Видовження зразків за утком значно

перевищувало показники за основою (56–60 % проти 13–15 %), що свідчить про високу еластичність тканини, збереження здатності витримувати механічні навантаження та довговічність устілок при експлуатації. Результати розривних випробувань наведені на рис. 2 для наочності.

Стійкість забарвлення зразків до різних фізико-хімічних впливів (прання, контакт з потоутворенням, тертя) досліджено за стандартними методиками (таблиця 3). Контрольний зразок 1 продемонстрував максимальну стійкість – 5 балів у всіх тестах. Зразки 2 та 3, що пройшли біоцидну обробку, характеризуються показниками 4–5 балів, особливо під впливом поту та тертя. Водночас вони забезпечували більш виражену антибактеріальну активність через більшу кількість опоряджень у розчині.

Антимікробні властивості зразків оцінювали за зонами затримки росту бактерій і грибів (таблиця 4, рис. 3) [21, 22]. Тестування проводилося на *Pseudomonas aeruginosa*, *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* та *Candida albicans* – ключових патогенах, що визначають гігієну стопи та можливі ризики при носінні взуття [13].

Для зразка 2 визначено:

Таблиця 2

Механічні характеристики антибактеріальних текстильних матеріалів

Зразок	Показник	Основа (Н)	Межі	Уток (Н)	Межі	Нормативні дані
1	Розривне навантаження	877	871-880	493	481-505	ДСТУ EN ISO 13934-1:2018
	Видовження, %	15	-	60	-	-
2	Розривне навантаження,	789	771-811	474	463-485	ДСТУ EN ISO 13934-1:2018
	Видовження, %	13	-	56	-	-
3	Розривне навантаження	770	754-782	468	460-477	ДСТУ EN ISO 13934-1:2018
	Видовження, %	13	-	59	-	-

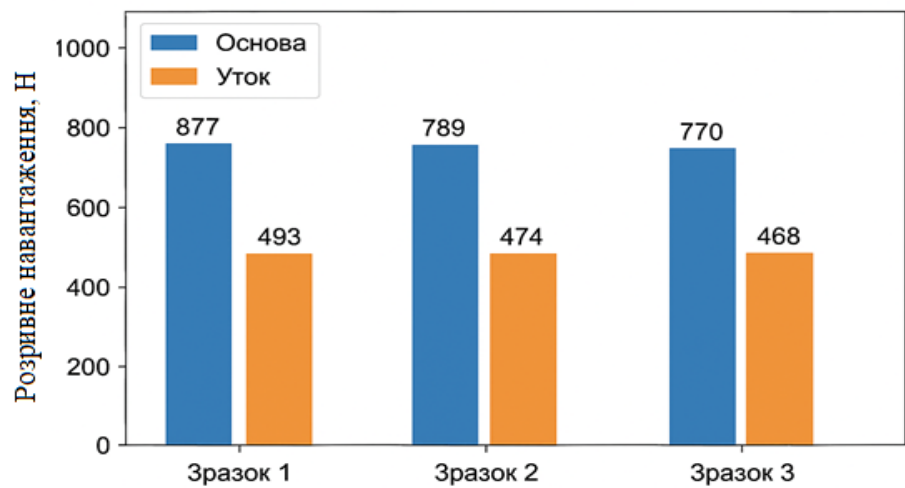


Рис. 2. Розривне навантаження зразків антибактеріального текстилю

- *P. aeruginosa* ATCC 9027 — зона затримки 4 мм, результат «Відповідає»;
- *E. coli* ATCC 8739 — 10 мм, «Відповідає»;
- *Candida albicans* ATCC 10231 — 3 мм, «Не відповідає»;
- *S. aureus* ATCC 6538 — 70 мм, «Відповідає».

Зразок 3 продемонстрував ідентичні результати, що підтверджує стабільність антибактеріальної дії незалежно від кількості занурень у розчин. Отже, обробка ефективна щодо грампозитивних і грамнегативних бактерій, але менш дієва проти дріжджових грибів, що вказує на необхідність оптимізації фунгіцидного захисту.

Отримані дані свідчать, що обробка тканин

антибактеріальним засобом не погіршує основні експлуатаційні характеристики устілок. Незначне зниження гігроскопічності та повітропроникності пояснюється ущільненням волокон після нанесення препарату, а збереження високої паропроникності та механічної міцності забезпечує комфорт і довговічність виробу.

Підтверджено ефективність антимікробної обробки проти *S. aureus*, *E. coli* та *P. aeruginosa*, що є ключовими патогенами, здатними викликати дерматологічні та запальні процеси стопи в умовах підвищеної вологості. Водночас обмежена активність проти *Candida albicans* визначає напрям подальших досліджень – необхідність комбінування біоцидного агента з фунгіцидними компонентами.

Висновки. Проведені дослідження

Таблиця 3

Стійкість пофарбування текстильних матеріалів

Зразок	Вплив	Оцінка, бал	НД
1	Прання 60°C	5/5/5	ДСТУ ISO 105-C06
	Прання 40°C	5/5/5	ДСТУ ISO 105-C06
	Піт (лужний)	5/5/5	ДСТУ ISO 105-E04
	Піт (кислий)	5/5/5	ДСТУ ISO 105-E04
	Сухе тертя	5	ДСТУ ISO 105-X12
	Мокре тертя	5	ДСТУ ISO 105-X12
2	Прання 60°C	4/4–5/5	ДСТУ ISO 105-C06
	Прання 40°C	4–5/4–5/5	ДСТУ ISO 105-C06
	Піт (лужний)	5/4/4	ДСТУ ISO 105-E04
	Піт (кислий)	5/4/4	ДСТУ ISO 105-E04
	Сухе тертя	4	ДСТУ ISO 105-X12
	Мокре тертя	4	ДСТУ ISO 105-X12
3	Прання 60°C	4/4–5/5	ДСТУ ISO 105-C06
	Прання 40°C	4–5/4–5/5	ДСТУ ISO 105-C06
	Піт (лужний)	5/4/4	ДСТУ ISO 105-E04
	Піт (кислий)	5/4/4	ДСТУ ISO 105-E04
	Сухе тертя	4	ДСТУ ISO 105-X12
	Мокре тертя	4	ДСТУ ISO 105-X12



Рис. 3. Зовнішній вигляд зразків текстильних матеріалів та їх дія на: а) *Candida albicans* ATCC 10231; б) *P. aeruginosa* ATCC 9027; в) *S. aureus* ATCC 6538

Таблиця 4

Ефективність біоцидної обробки текстильних матеріалів

Зразок	Показники	Зона затримки росту через 24 год, мм	Оцінка (за потреби)
2	P. aeruginosa ATCC 9027	4	Відповідає
	Escherichia coli ATCC 8739	10	Відповідає
	Candida albicans ATCC 10231	3	Недостатня
	S. aureus ATCC 6538	70	Відповідає
3	P. aeruginosa ATCC 9027	4	Відповідає
	Escherichia coli ATCC 8739	10	Відповідає
	Candida albicans ATCC 10231	3	Недостатня
	S. aureus ATCC 6538	70	Відповідає

підтвердили, що антибактеріальна обробка тканин не погіршує їх основні експлуатаційні властивості. Контрольний зразок 1 характеризувався найвищою гігроскопічністю та повітропроникністю, тоді як зразки 2 та 3 показали незначне зниження цих параметрів через ущільнення структури у ході опорядження. Фізико-механічні показники залишаються у нормативних межах, а стійкість пофарбування достатня для щоденного використання багатшарової функціональної устілки у взутті. Біоцидне покриття ефективно пригнічує ріст S. aureus, E. coli та P. aeruginosa, але не забезпечує достатнього захисту проти Candida albicans, що визначає напрям подальших досліджень.

Розроблена лабораторна технологія одержання двошарових устілок, що поєднують у собі антибактеріальний текстиль та натуральну вовняну повсть, з'єднаних оверлочним швом та стабілізованих термічно при 120 °С, забезпечує: формостійкість та стабільність геометрії, високу механічну надійність, еластичність та стійкість до деформацій, комфортний мікроклімат стопи, антибактеріальний захист. Це підтверджує практичну доцільність застосування запропонованого матеріалу у виробництві функціональних устілок для взуття.

Список використаної літератури

1. Товарознавство (Непродовольчі товари). Частина 2. Товарознавство одягово-взуттєвих і парфумерно-косметичних товарів [Текст] : курс лекцій / М-во освіти і науки України, Донец. нац. ун-т економіки і торгівлі ім. М. Туган-Барановського, Каф. підпр. і торгівлі ; С.В. Волошина. – Кривий Ріг : [ДонНУЕТ], 2017. – 146 с.

2. Hu J., Lu J., Kumar B. Handbook of fibrous materials, 2 volumes : volume 1 : production and characterization / volume 2: applications in energy, environmental science and healthcare. Wiley & Sons, Incorporated, John, 2020. 1040 p.

3. Chang Y., Wang X. Sweat and odor in

References

1. Tovaroznavstvo (Neprodovol'chi tovary). Chastyna 2. Tovaroznavstvo odiahovo-vzuttyevykh i parfumerno-kosmetychnykh tovariv [Tekst] : kurs lektsiy / M-vo osvity i nauky Ukrainy, Donets. nats. un-t ekonomiky i torhivli im. M. Tugan-Baranovskoho, Kaf. pidpr. i torhivli ; S.V. Voloshyna. – Kryvyi Rih : [DonNUET], 2017. – 146 s.

2. Hu J., Lu J., Kumar B. Handbook of fibrous materials, 2 volumes : volume 1 : production and characterization / volume 2 : applications in energy, environmental science and healthcare. Wiley & Sons, Incorporated, John, 2020. 1040 p.

sportswear – A review. IScience. 2023. P. 107067. URL: <https://doi.org/10.1016/j.isci.2023.107067>.

4. Determination of the efficiency of application of packages of textile materials for the production of a special purpose jacket / O. Haranina et al. Herald of Khmelnytskyi National University. Technical sciences. 2022. Vol. 315, no. 6(1). P. 61–65. URL: <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2022-315-6-61-65>.

5. Techniques, applications, and challenges in textiles for sustainable future / M. T. Hossain et al. Journal of open innovation: technology, market, and complexity. 2024. P. 100230. URL: <https://doi.org/10.1016/j.joitmc.2024.100230>.

6. Influence of the structure of footwear upper and lining materials on their electrical properties / V. Jankauskaitė et al. Fibres and textiles in eastern europe. 2018. Vol. 26, no. 2(128). P. 87–92. URL: <https://doi.org/10.5604/01.3001.0011.5744> (date of access: 03.12.2025).

7. Rafikov A., Mirzayev N., Alimkhanova S. Multilayer nonwoven lining materials made of wool and cotton for clothing and footwear. Journal of industrial textiles. 2022. P. 6173S–6194S. URL: <https://doi.org/10.1177/15280837211060881>.

8. Raha S. Documentation on protective textile: existing technical textile products & new developments. International journal for multidisciplinary research. 2025. Vol. 7, no. 3. URL: <https://doi.org/10.36948/ijfmr.2025.v07i03.48306>.

9. Gupta, A.K., Simkovich, A.J., & Hall, D.C. (2022). The march against onychomycosis: a systematic review of the sanitization methods for shoes, socks, and textiles. Journal of the American Podiatric Medical Association, 112(4), 21–223.

10. Development of antimicrobial textiles using zinc pyrithione Available to Purchase/ Anil Kumar JainCorresponding Author; Addisu Ferede Tesema/ Research Journal of Textile and Apparel (2017) 21 (3): 188–202. Режим доступу: [<https://doi.org/10.1108/RJTA-06-2017-0031>] - (дата звернення: 20.04.2025).

11. Triclosan applications for biocidal functionalization of polyester and cotton surfaces/ Mehmet Orhan/ Режим доступу: [<https://doi.org/10.1177/1558925020940104>] - (дата звернення: 20.04.2025).

12. Козарь О. П., Січ Г. Й. (2020). Покращення антибактеріальних властивостей взуття. [Тези конференції з біотехнологій, хімії та екології, КНУТД]. Режим доступу: [<https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/15610>] - (дата звернення: 20.04.2025).

13. Silver Nanoparticles Used in Iran-Made Antibacterial Insoles Proper for Diabetic Patients/ Режим доступу: [https://ana.ir/en/news/3537/silver-nanoparticles-used-in-iran-made-antibacterial-insoles-proper-for-diabetic-patients?utm_source=chatgpt.com] - (дата звернення: 20.04.2025).

3. Chang Y., Wang X. Sweat and odor in sportswear – A review. IScience. 2023. P. 107067. URL: <https://doi.org/10.1016/j.isci.2023.107067>.

4. Determination of the efficiency of application of packages of textile materials for the production of a special purpose jacket / O. Haranina et al. Herald of Khmelnytskyi National University. Technical sciences. 2022. Vol. 315, no. 6(1). P. 61–65. URL: <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2022-315-6-61-65>.

5. Techniques, applications, and challenges in textiles for sustainable future / M. T. Hossain et al. Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity. 2024. P. 100230. URL: <https://doi.org/10.1016/j.joitmc.2024.100230>.

6. Influence of the structure of footwear upper and lining materials on their electrical properties / V. Jankauskaitė et al. Fibres and Textiles in Eastern Europe. 2018. Vol. 26, no. 2(128). P. 87–92. URL: <https://doi.org/10.5604/01.3001.0011.5744> (date of access: 03.12.2025).

7. Rafikov A., Mirzayev N., Alimkhanova S. Multilayer nonwoven lining materials made of wool and cotton for clothing and footwear. Journal of Industrial Textiles. 2022. P. 6173S–6194S. URL: <https://doi.org/10.1177/15280837211060881>.

8. Raha S. Documentation on protective textile: existing technical textile products & new developments. International Journal for Multidisciplinary Research. 2025. Vol. 7, no. 3. URL: <https://doi.org/10.36948/ijfmr.2025.v07i03.48306>.

9. Gupta A.K., Simkovich A.J., Hall D.C. The march against onychomycosis: a systematic review of the sanitization methods for shoes, socks, and textiles. Journal of the American Podiatric Medical Association. 2022. 112(4), 21–223.

10. Jain A.K., Tesema A.F. Development of antimicrobial textiles using zinc pyrithione. Research Journal of Textile and Apparel. 2017. 21(3), 188–202. URL: <https://doi.org/10.1108/RJTA-06-2017-0031> (accessed: 20.04.2025).

11. Orhan M. Triclosan applications for biocidal functionalization of polyester and cotton surfaces. URL: <https://doi.org/10.1177/1558925020940104> (accessed: 20.04.2025).

12. Kozar O.P., Sich H.Y. Pokrashchennya antybakteryinykh vlastyvostey vzuttya [Tezy konferentsiyi z biotekhnolohiy, khimiyi ta ekolohiyi, KNUITD]. 2020. URL: <https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/15610> (accessed: 20.04.2025).

13. Silver nanoparticles used in Iran-made antibacterial insoles proper for diabetic patients. URL: https://ana.ir/en/news/3537/silver-nanoparticles-used-in-iran-made-antibacterial-insoles-proper-for-diabetic-patients?utm_

14. Mala L, Lalouckova K, Skrivanova E, Houdkova M, Strakova M, Kokoska L. In Vitro Growth-Inhibitory Synergistic Effect of Zinc Pyrithione in Combination with Gentamicin against Bacterial Skin Pathogens of Livestock. *Antibiotics* (Basel). 2022 Jul 17;11(7):960. Режим доступу: [https://doi.org/10.3390/antibiotics11070960] - (дата звернення: 22.04.2025).
15. Yan, D., Li, Y., Liu, Y., Li, N., Zhang, X., & Yan, C. (2021). Antimicrobial Properties of Chitosan and Chitosan Derivatives in the Treatment of Enteric Infections. *Molecules*, 26(23), 7136. Режим доступу: [https://doi.org/10.3390/molecules26237136] - (дата звернення: 23.04.2025).
16. Farasati Far, B., Naimi-Jamal, M.R., Jahanbakhshi, M. et al. Enhanced antibacterial activity of porous chitosan-based hydrogels crosslinked with gelatin and metal ions. *Sci Rep* 14, 7505 (2024). Режим доступу: [https://doi.org/10.1038/s41598-024-58174-9] - (дата звернення: 25.04.2025).
17. Варданян А.О. Дослідження комплексних показників якості антибактеріальних текстильних матеріалів [Електронний ресурс] / А. О. Варданян, О. О. Гараніна, Я. В. Редько // Fashion industry. –2024. –No1. –С.61–70. – Режим доступу: [https://doi.org/10.30857/2706-5898.2024.1.3] (дата звернення: 31.03.2025).
18. Офіційний сайт: Інститут громадського здоров'я імені О. М. Марзєєва НАМН України // Режим доступу: [https://health.gov.ua/] (дата звернення: 30.09.2025р.).
19. Influence of Fibre Diameter on the Wool-Based Felt Properties. December 2021. *Materials Circular Economy* 4(3):7 Pedro Silva, Miguel Navarro, João Bessa, Acácio Coelho, Fernando Eduardo Cunha, // Режим доступу: [DOI:10.1007/s42824-021-00047-x] (дата звернення: 08.09.2025р.).
20. ДСТУ EN ISO 13934-1:2018 Текстиль. Розривні властивості тканин. Частина 1. Визначення максимального зусилля та видовження за максимального зусилля методом прямокутного шматка Режим доступу: [https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=77622] (дата звернення: 15.10.2025р.).
21. Benjamin Tawiah Advances in the Development of Antimicrobial Agents for Textiles: The Quest for Natural Products. Review. *Fibres and Textiles in Eastern Europe*. 2016. Vol. 24, no. 3(117).P. 136–149. Режим доступу: [http://dx.doi.org/10.5604/12303666.1196624] (дата звернення: 04.03.2025р.).
22. Gao Y and Cranston R. Recent advances in antimicrobial treatments of tex-tiles. *Textile Research Journal*; 78(1): 60-72.
source=chatgpt.com (accessed: 20.04.2025)
14. Mala L, Lalouckova K, Skrivanova E, Houdkova M, Strakova M, Kokoska L. In vitro growth-inhibitory synergistic effect of zinc pyrithione in combination with gentamicin against bacterial skin pathogens of livestock. *Antibiotics* (Basel). 2022. 11(7):960. URL: https://doi.org/10.3390/antibiotics11070960 (accessed: 22.04.2025)
15. Yan D., Li Y., Liu Y., Li N., Zhang X., Yan C. Antimicrobial properties of chitosan and chitosan derivatives in the treatment of enteric infections. *Molecules*. 2021. 26(23):7136. URL: https://doi.org/10.3390/molecules26237136 (accessed: 23.04.2025)
16. Farasati Far B., Naimi-Jamal M.R., Jahanbakhshi M. et al. Enhanced antibacterial activity of porous chitosan-based hydrogels crosslinked with gelatin and metal ions. *Sci Rep*. 2024. 14:7505. URL: https://doi.org/10.1038/s41598-024-58174-9 (accessed: 25.04.2025)
17. Vardanyan A.O., Haranina O.O., Redko Y.V. Doslidzhennya kompleksnykh pokaznykiv yakosti antybakteryinykh tekstylnykh materialiv [Elektronnyi resurs]. *Fashion Industry*. 2024. No. 1. S. 61–70. URL: https://doi.org/10.30857/2706-5898.2024.1.3 (accessed: 31.03.2025)
18. Ofitsiinyi sait: Instytut hromadskoho zdorov'ya imeni O.M. Marzeyeva NAMN Ukrayiny. URL: https://health.gov.ua/ (accessed: 30.09.2025)
19. Silva P., Navarro M., Bessa J., Coelho A., Cunha F.E. Influence of fibre diameter on the wool-based felt properties. *Materials Circular Economy*. 2021. 4(3):7. URL: https://doi.org/10.1007/s42824-021-00047-x (accessed: 08.09.2025)
20. DSTU EN ISO 13934-1:2018 Tekstyl'. Rozryvni vlastyivosti tkanyn. Chastyna 1. Vyznachennya maksimal'noho zusylyla ta vydovzhennya za maksimal'noho zusylyla metodom pryamokutnoho shmatka. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=77622 (accessed: 15.10.2025)
21. Tawiah B. Advances in the development of antimicrobial agents for textiles: the quest for natural products. *Fibres and Textiles in Eastern Europe*. 2016. 24(3(117)):136–149. URL: http://dx.doi.org/10.5604/12303666.1196624 (accessed: 04.03.2025)
22. Gao Y., Cranston R. Recent advances in antimicrobial treatments of textiles. *Textile Research Journal*. 78(1):60–72.