

<https://doi.org/10.31891/2307-5732-2025-359-5>

УДК 677.027.652:677.025.54/.56

**ГАЛАВСЬКА ЛЮДМИЛА**

Київський національний університет технологій та дизайну

<https://orcid.org/0000-0002-6994-6641>

e-mail: [galavska.ly@knuutd.com.ua](mailto:galavska.ly@knuutd.com.ua)

**ГАРАНІНА ОЛЬГА**

Київський національний університет технологій та дизайну

<https://orcid.org/0000-0002-4715-3851>

e-mail: [helgaranuna@gmail.com](mailto:helgaranuna@gmail.com)

**ДАЙВА МІКУЧОНЕНЕ**

Kaunas University of Technology

<https://orcid.org/0000-0002-2219-2643>

e-mail: [daiva.mikucioniene@ktu.lt](mailto:daiva.mikucioniene@ktu.lt)

**ВАРДАНЯН АННА**

Київський національний університет технологій та дизайну

<https://orcid.org/0009-0004-3297-7550>

e-mail: [annushkavar@gmail.com](mailto:annushkavar@gmail.com)

## ДОСЛІДЖЕННЯ АНТИМІКРОБНОЇ АКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ КОМПРЕСІЙНИХ ТРИКОТАЖНИХ МАТЕРІАЛІВ

Війна в Україні зумовлює актуальність проблеми лікування пацієнтів із мінно-вибуховими пораненнями внаслідок обстрілів, підриву на мінній розтяжці та ін. На етапі первинної ампутації у військових мобільних шпиталях та у шпиталях, що розташовані поблизу зони військового конфлікту, особливо ефективним є використання функціональних компресійних чохла, які забезпечують рівномірний тиск від дистальної до проксимальної області куки. Застосування антимікробної обробки таких чохла може запобігти росту патогенних бактерій в області ранової поверхні ампутованої кінцівки.

У статті досліджується забезпечення антимікробної активності функціональних компресійних трикотажних матеріалів реабілітаційного призначення. Поєднання компресійного та антимікробного ефектів дозволить отримати функціональні компресійні чохла, здатні не лише помірно фіксувати післяопераційну рану, запобігати застою рідини у куки й формуванню набряку, але й знижувати ризик розвитку інфекційних ускладнень у зоні ранової поверхні.

Компресійні властивості забезпечено введенням у структуру трикотажного матеріалу еластомерної нитки. Для надання антимікробних властивостей використано два різні методи поверхневої модифікації трикотажного матеріалу з використанням: інтенсифікатора фенол-фенольного ряду у складі фарбувальної ванни; дезінфікуючого засобу для гігієнічної та хірургічної обробки рук. Проаналізовано вплив прання на збереження функціональних властивостей. Досліджено вплив багаторазового прання на антимікробну активність модифікованого компресійного трикотажного матеріалу. Визначено найбільш ефективний метод антимікробної обробки.

**Ключові слова:** функціональні текстильні матеріали, модифікація поверхні, ефективність антимікробної обробки, антимікробна активність трикотажних матеріалів, *Staphylococcus epidermidis*, *Bacillus cereus*.

**HALAVSKA LIUDMYLA, HARANINA OLHA**

Kyiv National University of Technologies and Design

**MIKUCIONIENE DAIVA**

Kaunas University of Technology

**VARDANIAN ANNA**

Kyiv National University of Technologies and Design

## RESEARCH INTO THE ANTIMICROBIAL ACTIVITY OF FUNCTIONAL COMPRESSION TEXTILES

Currently, the war in Ukraine is causing an increasing relevance of the problem of treating patients with mine-blast injuries resulting from mortar shelling, rocket artillery fire, tripwire mine explosions, etc. At the stage of primary amputation in military mobile hospitals and hospitals located near the zone of military conflict, the use of functional compression sleeves that provide uniform pressure from the distal to the proximal area of the stump is particularly effective. The use of antimicrobial treatment of such sleeves can prevent the growth of pathogenic bacteria in the wound surface of the amputated limb.

The article discusses the issue of ensuring the antimicrobial activity of functional compression knitted materials created for rehabilitation purposes. The combination of compression and antimicrobial effects will result in functional compression sleeves that can not only moderately fix the postoperative wound, prevent fluid stagnation in the stump and the formation of edema, but also reduce the risk of developing infectious complications in the wound surface area.

Compression properties are ensured by introducing an elastomeric thread into the structure of the knitted material. To impart antimicrobial properties, two different methods of surface modification of the knitted material were used: a phenyl-phenolic intensifier in the dye bath; a disinfectant for hygienic and surgical hand treatment. The effect of washing on the preservation of functional properties was analysed. The effect of washing on the antimicrobial activity of modified compression knitted fabric was investigated. The most effective method of antimicrobial treatment was determined.

**Keywords:** functional textile materials, surface modification, antimicrobial treatment efficiency, antimicrobial activity of knitted materials, *Staphylococcus epidermidis*, *Bacillus cereus*.

Стаття надійшла до редакції / Received 03.10.2025

Прийнята до друку / Accepted 15.11.2025

### Постановка проблеми

Медичний текстиль для догляду за ампутованою кінцівкою у післяопераційний період, на етапі реабілітації та підготовки до протезування, відіграє важливу роль у ефективній корекції формування культі. Реабілітація перед протезуванням включає компресійну терапію, масаж рубців, гігієну кукси та фантомне знеболення. Відомо, що текстильні матеріали, які безпосередньо контактують із ураженими ділянками шкіри, є середовищем розповсюдження патогенних мікроорганізмів, зокрема грибової та бактеріальної природи [1-2]. Використання медичного текстилю у післяопераційному догляді за ампутованою кінцівкою потребує поєднання компресійних характеристик із антимікробними властивостями з метою мінімізації ризику поширення патогенних мікроорганізмів при тривалому контакті зі шкірою.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Надання компресійним трикотажним матеріалам антибактеріальних властивостей може здійснюватися шляхом використання спеціальної сировини при виробництві або застосуванням заключного антибактеріального опорядження. Необхідною характеристикою є забезпечення стійкості антибактеріального ефекту після багаторазових циклів прання. Створення функціональних трикотажних чохлах із антимікробним захистом для догляду за куксою є перспективним напрямом. Це дозволяє вирішити актуальну проблему ефективного післяопераційного супроводу пацієнтів з ампутованими кінцівками та сприяє підвищенню результативності реабілітаційних заходів на етапі протезування.

Бавовняні волокна характеризуються високими гігієнічними показниками. Це зумовлює їх широке застосування у медичному текстилі. Водночас, через виражені гідрофільні властивості, матеріали на їх основі створюють сприятливі умови для розмноження мікроорганізмів бактеріальної та грибової природи при безпосередньому контакті з рановою поверхнею [3].

При лікуванні післяопераційних ранових поверхонь текстильні матеріали повинні пригнічувати ріст мікроорганізмів, здатних спричинити негативні наслідки для здоров'я пацієнта [4]. Цей аспект призвів до розвитку і впровадження функціональних текстильних матеріалів із антимікробними властивостями [5].

Найбільш розповсюджені способи надання антибактеріальних характеристик текстильним матеріалам здійснюються в процесі їх опорядження [6]. У науковій літературі представлено низку досліджень, присвячених використанню спеціальних антибактеріальних агентів. Зокрема, розповсюдженим є застосування металів [7], таких як срібло [8], оксиди міді та цинку [9], а також дротів із нержавіючої сталі, інтегрованих у структуру текстильних матеріалів [10, 11] із вираженими антимікробними властивостями. Окрему увагу при опорядженні текстильних матеріалів приділено використанню хітозану [12, 13] та триклозану [14].

Серед антимікробних агентів, що використовуються у функціональних текстильних матеріалах, одним із найпоширеніших є срібло [15]. Популярність срібла пояснюється широким спектром антимікробної активності, зокрема, *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus epidermidis*, *Escherichia coli* та *Klebsiella pneumoniae* [16]. При взаємодії з тканинним ексудатом, срібло переходить у йонізовану форму, вивільняючи катіони, які проникають у клітини мікроорганізмів і знищують їх, забезпечуючи виражений бактерицидний ефект [17]. Застосування срібловмісних антимікробних агентів у текстильну матрицю здійснюється за допомогою широкого спектра технологічних рішень [18]. Однією з відомих антимікробних речовин, що застосовується для функціональної модифікації текстильних матеріалів, є триклозан (5-хлор-2-(2,4-дихлорфенокси)-фенол). Завдяки антибактеріальній та протигрибовій дії, триклозан широко використовується у засобах особистої гігієни, полімерних матеріалах та текстильній промисловості. Механізм антимікробної дії триклозану ґрунтується на інгібуванні ферментів, що беруть участь у синтезі жирних кислот, через імітацію природного субстрату [19-21].

Проаналізовано антимікробну активність текстильних матеріалів із бавовняних, вовняних, поліамідних і поліефірних волокон, а також їхніх комбінованих варіантів після відповідної обробки [22, 23]. Трикотажні матеріали з однаковим волокнистим складом і подібною загальною лінійною щільністю пряжі, але з різною кількістю складених ниток у структурі в'язання, демонструють різний рівень антимікробної активності. Це пов'язано з тим, що збільшення кількості складених ниток у петлі зумовлює зростання площі поверхні, що, відповідно, підвищує ефективність антимікробної дії. Крім того, антимікробні властивості трикотажних матеріалів, у яких нитки з різної сировини розміщені на протилежних поверхнях полотна, залежать від конструктивних особливостей пряжі [24, 25].

Оцінка ефективності текстильних матеріалів передбачає порівняння кількості колоній мікроорганізмів до та після обробки тканини. Одним із ключових критеріїв якості є збереження антимікробної активності після багаторазового прання. Досягнення одночасно високої антимікробної ефективності та стійкості до багаторазового прання є технологічно складним завданням. Це зумовлено необхідністю врахування екологічних, медичних та безпекових аспектів застосування антимікробних агентів [26, 27]. Відомі випадки припинення використання окремих антимікробних сполук через виявлений негативний вплив на здоров'я людини та довкілля [28].

### Формулювання цілей статті

Метою роботи є обґрунтування та експериментальне підтвердження антимікробної активності компресійного трикотажного матеріалу трубчастої форми, модифікованого використанням: триклозану в складі фарбувальної ванни; дезінфікуючого засобу для гігієнічної та хірургічної обробки рук.

У роботі проведено дослідження сучасних підходів до надання антимікробних властивостей текстильним матеріалам, розроблення структури компресійного трикотажу з використанням еластомерної нитки. Окрему увагу приділено впровадженню методів поверхневої модифікації із застосуванням інтенсифікатора феніл-фенольного ряду у складі фарбувальної ванни та альтернативних способів

антимікробної обробки. Висвітлено результати досліджень антимікробної активності отриманих зразків, оцінено стійкість антибактеріального ефекту після багаторазових циклів прання та визначено перспективність використання розроблених матеріалів у клінічній практиці.

### Виклад основного матеріалу

Для здійснення поверхневої модифікації розроблено структуру трикотажного матеріалу трубчастої форми із розташуванням еластомерної нитки в структурі ґрунту у вигляді пресових накидів та протяжок з рапортом прокладання 1×1 та 3×1. В'язання дослідних зразків виконано на круглопанчішному автоматі 13 класу з діаметром циліндра 3,75 дюйма. Для формування ґрунту обрано гладке платироване переплетення. У якості платировочної нитки використано бавовняну пряжу лінійної густини 20 текс, а у якості ґрунтової - текстуровану поліамідну нитку 4,4 текс з еластаном сердечником 2,2 текс. У процесі в'язання змінювали щільність в'язання по вертикалі на трьох рівнях. Швидкість подачі еластомерної нитки у структуру ґрунту контролювалася швидкістю обертання колеса, що її подає у зону в'язання на чотирьох рівнях: 50, 70, 90, 110 хв<sup>-1</sup>. Для подальших досліджень обрано зразки трикотажних матеріалів, які забезпечують I рівень компресії (рівень компресії від 18 до 21 мм рт.ст.). Це зразки трикотажних матеріалів, вироблені зі швидкістю обертання колеса, що її подає у зону в'язання еластомерну нитку з рапортом 1×1 та 3×1, 110 хв<sup>-1</sup> та трьох рівнях щільності в'язання по вертикалі (9, 10, 11 см<sup>-1</sup>). Основні структурні параметри та позначення зразків представлені в таблиці 1.

Таблиця 1

Параметри структури дослідних зразків компресійних трикотажних матеріалів

| Параметри структури дослідних зразків компресійних трикошачних матеріалів |                                                                             |                                         |                                    |                                            |                                         |                                     |                                                                      |
|---------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------------|-----------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| Код зразка                                                                | Частота обертання колеса, що подає еластомерну нитку $n$ , $\text{хв}^{-1}$ | Кількість петельних стовпчиків у 100 мм | Кількість петельних рядів у 100 мм | Поверхнев а густина $m_s$ , $\text{г/м}^2$ | Довжина платировочної нитки в петлі, мм | Довжина ґрунтової нитки в петлі, мм | Середня довжина еластомерної утокової нитки на одну петлю ґрунту, мм |
| рапорт прокладання еластомерної нитки $1 \times 1$                        |                                                                             |                                         |                                    |                                            |                                         |                                     |                                                                      |
| 1                                                                         | 110                                                                         | 85                                      | 110                                | 402.4                                      | 5.6                                     | 5.2                                 | 1.1                                                                  |
| 2                                                                         |                                                                             |                                         | 100                                | 397.6                                      | 6.2                                     | 5.8                                 | 1.2                                                                  |
| 3                                                                         |                                                                             |                                         | 90                                 | 400.8                                      | 6.8                                     | 6.4                                 | 1.1                                                                  |
| рапорт прокладання еластомерної нитки $3 \times 1$                        |                                                                             |                                         |                                    |                                            |                                         |                                     |                                                                      |
| 4                                                                         | 110                                                                         | 90                                      | 110                                | 450.0                                      | 6.1                                     | 5.5                                 | 1.2                                                                  |
| 5                                                                         |                                                                             |                                         | 100                                | 456.8                                      | 6.7                                     | 6.1                                 | 1.3                                                                  |
| 6                                                                         |                                                                             |                                         | 90                                 | 417.6                                      | 7.3                                     | 6.7                                 | 1.2                                                                  |

Для забезпечення технологічної усадки, зразки трикотажних матеріалів підлягали пранню із додаванням рідкого миючого засобу за температури 40°C. У відповідності до ДСТУ ISO 5077:2001 встановлено зміну лінійних розмірів зразків після прання та сушіння. Виявлено, що внаслідок використання у якості ґрунтової нитки текстурованої поліамідної нитки з еластаном сердечником відбувається усадка трикотажного матеріалу вздовж петельного ряду та петельного стовпчика. Лінійні розміри трикотажних матеріалів після наступних етапів прання залишаються стабільними.

Текстильні матеріали з антибактеріальними властивостями готували наступним чином. Перед фарбуванням зразки тканини попередньо обробляли емульсією триклозану (CAS: 3380-34-5) з диспергатором DTS 2 г/л (модуль ванни 10, концентрація інтенсифікатора 0,5-3 г/л, тривалість 1 год, температура 100 °C).

Умови фарбування синтетичної складової трикотажного полотна: модуль ванни 10; дисперсний барвник синій 2 BLN CAS: 12217-79-7 (1-3% маси) (Hongda Chemical Industrial Co., Ltd, Китай); диспергатор DTS (2 г/л); оцтова кислота (CAS: 64-19-7) (1 г/л); тривалість 1 год; температура 100°C. Умови фарбування бавовняної складової тканини: модуль ванни 10; кухонна сіль (40 г/л); активний синій барвник V-RN (1,5-4% маси) (Yorkshire Farben GmbH, Німеччина); кальцинована сода (CAS: 497-19-8) (5 г/л); каустична сода (CAS: 1310-73-2) (2 г/л); тривалість 85 хвилин; температура 60°C. Умови фарбування бавовняної складової у всіх експериментах були незмінними. Після фарбування зразки промивали в гарячій і холодній воді, а також обробляли в мильно-содовому розчині для видалення залишків нефіксованого барвника [29].

Для надання антибактеріальних властивостей розробленим зразкам компресійних трикотажних матеріалів використано 25% розчин дезінфектанта нового покоління без вмісту спирту. Обраний антисептичний розчин для іригації ран, маючи широкий спектр антимікробної, фунгіцидної та віруліцидної дії, сприяє ефективному очищенню ранової поверхні та при цьому не пошкоджує здорові клітини. Антимікробний засіб нанесено на трикотажну основу із застосуванням методу розпилення на відстані 5 см від поверхні.

Антимікробну ефективність оброблених зразків оцінювали щодо представників грамнегативної та грампозитивної мікрофлори: *Escherichia coli* (штам KMY1T) та *Staphylococcus aureus* (штам ATCC25923). Визначення антимікробної активності проводили згідно із стандартом EN ISO 20645:2004 (метод дифузії в умовах чашки Петрі). Після нанесення зразків на поживне середовище чашки Петрі інкубували протягом 18 годин при 37 °C. Після завершення інкубації, антимікробну активність визначали шляхом вимірювання ширини зони інгібування росту мікроорганізмів навколо зразків за формулою:

$$H = \frac{D-d}{2}, \text{ де } H - \text{зона інгібування, мм; } D - \text{загальний діаметр зразка, мм; } d - \text{діаметр зразка, мм.}$$

Після проведення антимікробної обробки зразки трикотажних матеріалів піддавали п'яти циклам прання, після кожного з яких оцінювали антимікробну активність. Прання здійснювали відповідно до міжнародного стандарту ISO 6330:2012. Зразки промивали в мийному розчині з концентрацією прального

засобу 3 г/л протягом  $15 \pm 0,5$  хв при температурі  $40 \pm 2$  °С. Після основного циклу прання кожен зразок тричі ополіскували водою при температурі  $20 \pm 2$  °С; тривалість кожного циклу полоскання становила  $1 \pm 0,1$  хв. Після прання зразки центрифугували протягом  $1 \pm 0,1$  хв при частоті обертання 1000 об/хв, далі сушили на рівній горизонтальній поверхні впродовж 24 годин за стандартних атмосферних умов.

Досліджувані зразки підлягали кодуванню, відповідно до режимів обробки. Зразка з кодом 1-6 підлягали опорядженню з вмістом інтенсифікатора феніл-фенольного ряду з концентраціями від 0,5 до 3 г/л з кроком 0,5, відповідно. Зразок з кодуванням 7 обробляли 25% методом розпилення розчином дезінфектанта нового покоління. Результати визначення антимікробної активності оброблених трикотажних матеріалів та вимірювання зон інгібування наведено у таблиці 2.

Таблиця 2

Антимікробна активність досліджуваних трикотажних полотен

| Код зразка                                              | <i>S.aureus</i>         | <i>E.coli</i> | <i>S.aureus</i> | <i>E.coli</i> | <i>S.aureus</i> | <i>E.coli</i> | <i>S.aureus</i> | <i>E.coli</i> |
|---------------------------------------------------------|-------------------------|---------------|-----------------|---------------|-----------------|---------------|-----------------|---------------|
|                                                         | Перед пранням           |               | Після 1 прання  |               | Після 2 прання  |               | Після 5 прання  |               |
|                                                         | Зона затримки росту, мм |               |                 |               |                 |               |                 |               |
| Біоцидна обробка інтенсифікатором феніл-фенольного ряду |                         |               |                 |               |                 |               |                 |               |
| 1                                                       | 30.2                    | 16.9          | 29.7            | 16.2          | 20.7            | 15.5          | 19.2            | 12.2          |
| 2                                                       | 31.2                    | 15.8          | 31.0            | 15.2          | 23.8            | 14.8          | 19.7            | 13.3          |
| 3                                                       | 31.8                    | 16.7          | 28.2            | 16.5          | 20.7            | 14.8          | 20.0            | 13.7          |
| 4                                                       | 28.7                    | 16.0          | 26.2            | 15.2          | 16.3            | 13.8          | 16.2            | 13.0          |
| 5                                                       | 29.2                    | 15.3          | 27.0            | 15.2          | 17.2            | 15.2          | 16.5            | 14.2          |
| 6                                                       | 28.8                    | 16.2          | 27.0            | 15.3          | 17.5            | 15.0          | 17.2            | 12.3          |
| Дезінфікуюча обробка                                    |                         |               |                 |               |                 |               |                 |               |
| 7                                                       | 6.3                     | 4.3           | 0.8             | 0             | 0               | 0             | -               | -             |

Візуалізацію антибактеріальної активності модифікованого компресійного трикотажного матеріалу з рапортом прокладання еластомерної нитки  $3 \times 1$  до та після прання наведено на рисунках 1–4.

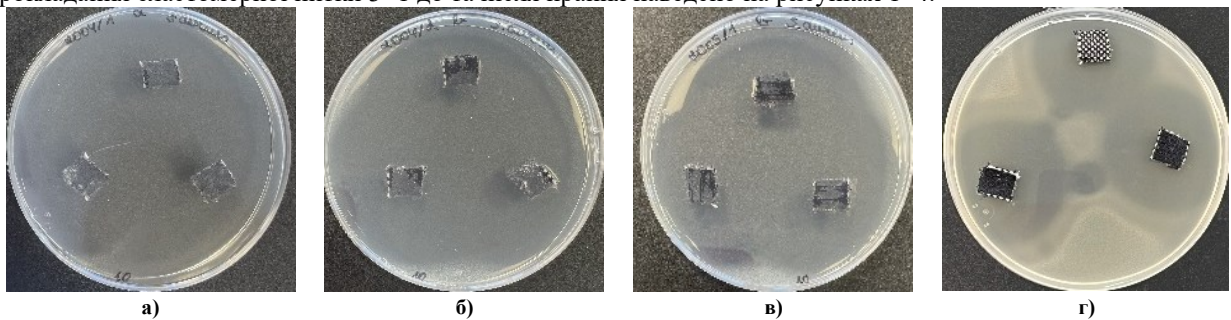


Рис. 1. Антибактеріальна активність компресійного трикотажного матеріалу (рапорт прокладання ел.нитки  $3 \times 1$ , зразок 5), модифікованого інтенсифікатором феніл-фенольного ряду, проти грампозитивної бактерії *S.aureus*: а) перед пранням; б) після 1 прання; в) після 2 прання; г) після 5 прання

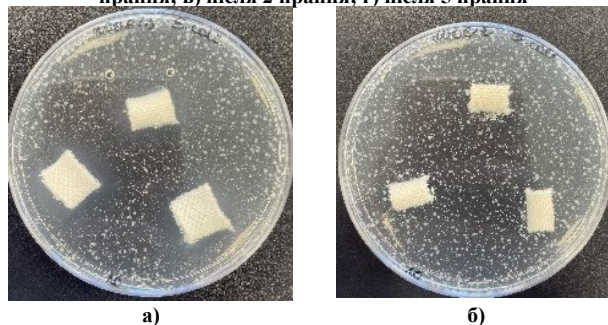


Рис. 2. Антимікробна активність компресійного трикотажного матеріалу (рапорт прокладання еластомерної нитки  $1 \times 1$ , зразок 7), обробленого дезінфікуючим засобом методом розпилення, щодо грампозитивної бактерії *S.aureus*: а) перед пранням; б) після 1 прання

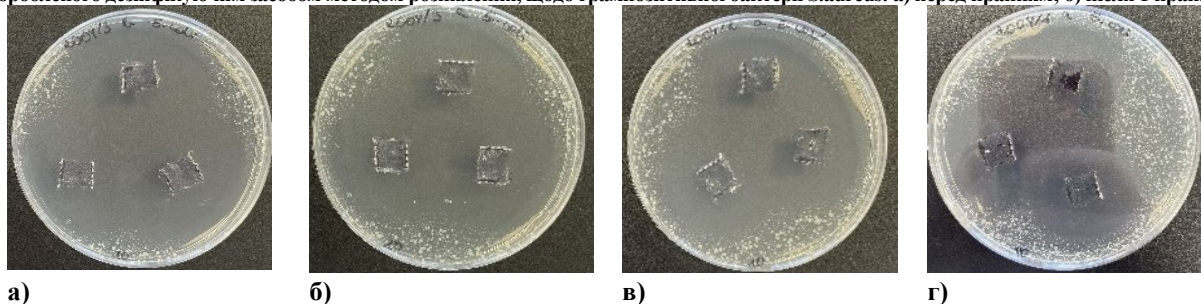


Рис. 3. Антимікробна активність компресійного трикотажного матеріалу (рапорт прокладання еластомерної нитки  $3 \times 1$ , зразок 5), модифікованого інтенсифікатором феніл-фенольного ряду, проти грамнегативної бактерії *E.coli*: а) перед пранням; б) після 1 прання; в) після 2 прання; г) після 5 прання

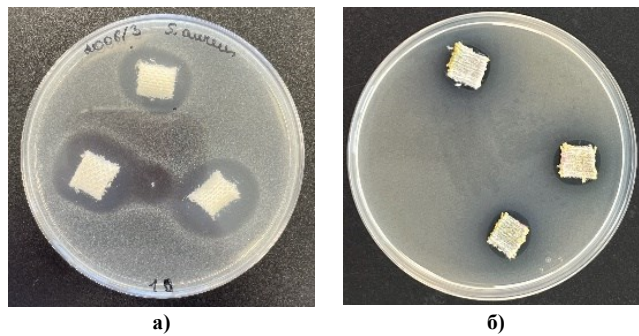


Рис. 4. Антимікробна активність компресійного трикотажного матеріалу (рапорт прокладання еластомерної нитки 1×1, зразок 7), оброблених дезінфікуючим засобом методом розпилення, щодо грамнегативної бактерії *E.coli*: а) перед пранням; б) після 1 прання

Усі зразки трикотажних матеріалів, оброблені антимікробними агентами, виявили виражену антимікробну активність. Аналіз даних свідчить про більш високий рівень антимікробної дії щодо грампозитивних бактерій *S.aureus* порівняно з грамнегативними *E.coli*. Виявлено певні відмінності в антимікробній активності залежно від методу обробки, структури трикотажного матеріалу, а саме рапорту прокладання еластомерної нитки в структуру ґрунту (1×1, 3×1) та щільності в'язання. Після антимікробної обробки всі досліджувані зразки, незалежно від методу антимікробної обробки, продемонструють стабільний ефект, що підтверджується зонами інгібування діаметром 6-31мм щодо *S. aureus* та 4-31 мм щодо *E.coli*.

Отримані результати свідчать про формування стійких зв'язків між антимікробним агентом та трикотажним матеріалом незалежно від методу поверхневої модифікації та структури переплетення. Як зазначалося вище, основним викликом у сфері антимікробної модифікації текстильних матеріалів залишається забезпечення стабільності антимікробного ефекту після багаторазового прання.

Виходячи з даних табл. 2, можна стверджувати, що застосована антимікробна обробка є ефективною та придатною для використання на бавовняновмісних трикотажних матеріалах. Зокрема, встановлено, що антимікробна активність трикотажних матеріалів, модифікованих шляхом введення інтенсифікатора феніл-фенольного ряду у процесі його фарбування щодо грампозитивних бактерій *S.aureus* зберігається на високому рівні (із зоною інгібування) щонайменше протягом 4 циклів прання. Після 5 циклів прання антимікробна активність фіксується на достатньо високому рівні (понад 4мм), хоча її інтенсивність дещо знижується. Зразки трикотажних матеріалів, оброблені дезінфікуючим засобом методом розпилення, після першого циклу прання втратили антимікробну активність. Графіки, наведені на рис. 5 та рис. 6 демонструють ефективність антимікробної обробки після циклів прання (номер зразка відповідає кодуванню, прийнятому в таблиці 2).

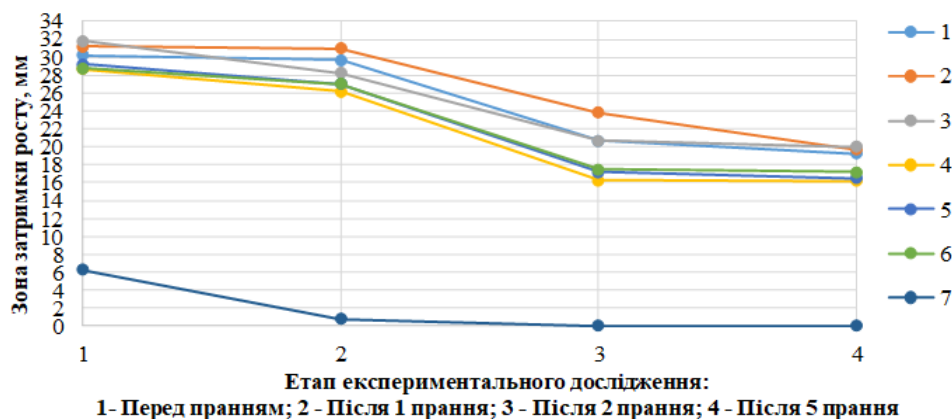


Рис. 5. Антимікробна активність трикотажних матеріалів, щодо грампозитивної бактерії *S. Aureus*

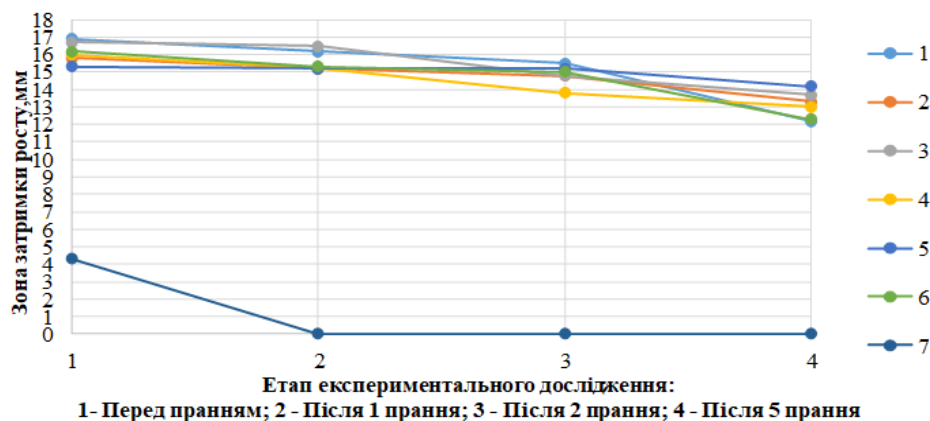


Рис. 6. Антимікробна активність трикотажних матеріалів, щодо грамнегативної бактерії *E. coli*



На антимікробну активність впливає петельна структура трикотажного матеріалу. У випадку прокладання еластомерної нитки за рапортом  $3 \times 1$  спостерігається нижчий рівень антимікробної активності. Це пояснюється формуванням більш рельєфної поверхні у вигляді вертикальних валиків, що призводить до зменшення площі поверхні, яка контактувала з патогенною мікрофлорою. Аналіз антимікробної активності трикотажного матеріалу, модифікованого інтенсифікатором фенілфенольного ряду щодо грамнегативної бактерії *E. coli* (рис. 7) та грампозитивної бактерії *S. Aureus* (рис. 8) є необхідним із урахуванням варіантів повторення візерунка  $1 \times 1$  (а) та  $3 \times 1$  (б), оскільки це може впливати на результати антимікробної активності.

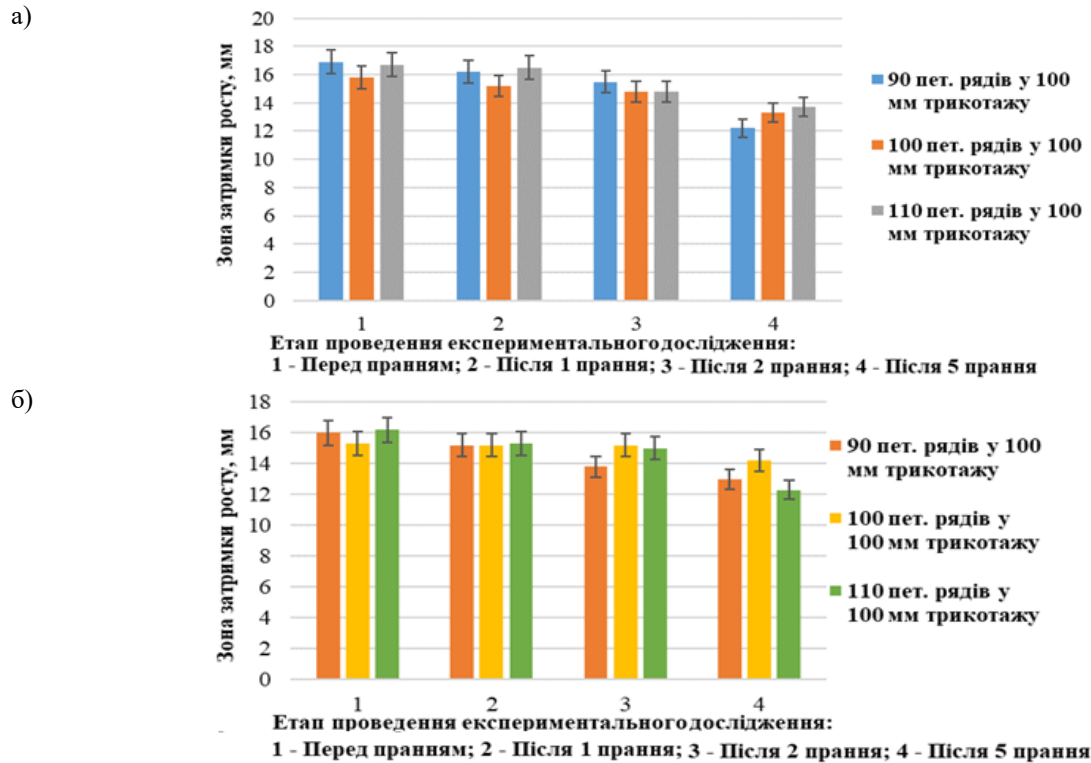


Рис. 7. Антимікробна активність трикотажних матеріалів, модифікованих інтенсифікатором фенілфенольного ряду, щодо грамнегативної бактерії *E. coli*: а) рапорт прокладання еластомерної нитки  $1 \times 1$ ; б) рапорт прокладання еластомерної нитки  $3 \times 1$

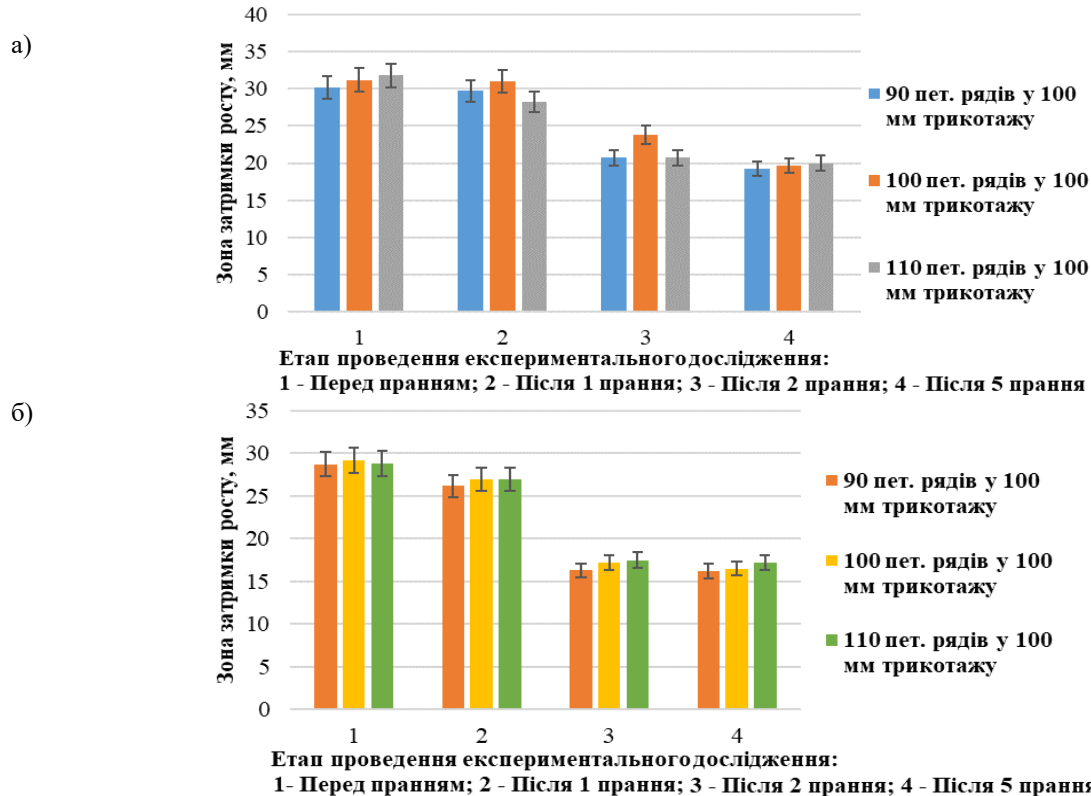


Рис. 8. Антимікробна активність трикотажних матеріалів, модифікованих інтенсифікатором фенілфенольного ряду, щодо грампозитивної бактерії *S. Aureus*: а) рапорт прокладання еластомерної нитки  $1 \times 1$ ; б) рапорт прокладання еластомерної нитки  $3 \times 1$

Як видно з рис. 7, 8 щільність в'язання по вертикалі, яка залежить від довжини нитки в петлі трикотажного матеріалу трубчастої форми, не має значущого впливу на антимікробну активність – вплив становить менше 5%, тобто він нижчий за відносну похибку з середніми значеннями величини антимікробної активності.

### Висновки

Найбільш ефективним методом забезпечення антимікробної активності компресійного трикотажного матеріалу трубчастої форми є метод його поверхневої модифікації з використанням інтенсифікатора феніл-фенольного ряду у складі фарбувальної ванни. Виявлено, що даний метод обробки має дуже хорошу антимікробну активність проти грамнегативної *E. coli* (КМУ1Т) та грампозитивної *S. aureus* (ATCC25923) бактерій, а також високу стійкість до прання та сушіння. Запропонований метод антимікробної обробки текстильних матеріалів є перспективним, з огляду на його потенційну сумісність з іншими технологічними процесами оздоблення, зокрема фарбуванням, друком, промиванням тощо. Додатковою перевагою є можливість застосування цієї обробки до широкого спектра сировинних основ, а також її висока стійкість до багаторазового прання, що забезпечує довготривалий антимікробний ефект. На етапі первинної ампутації у військових мобільних шпиталях та у шпиталях, що розташовані поблизу зони військового конфлікту, доречним також є використання методу поверхневої модифікації трикотажного матеріалу чохла для культі шляхом розпилення дезінфікуючого засобу для гігієнічної та хірургічної обробки рук. Це дозволить уникнути інфікування ранової поверхні під час евакуації та транспортування пацієнта.

**Подяка:** Дослідження виконано у рамках спільного українсько-литовського науково-дослідного проекту «Функціональні текстильні матеріали та вироби для потреб військових, лікарів, госпітальєрів та цивільного населення (акронім - ORTOKNIT)» (договір №М/57-2024 від 30.04.2024р., номер державної реєстрації №0124U002685), підтриманого Міністерством освіти і науки України, та за підтримки Міністерства освіти, науки та спорту Литовської Республіки та Науково-дослідної ради Литви.

### Література

1. Potential sources of contamination on textiles and hard surfaces identified as high-touch sites near the patient environment [Electronic resource] / Erik Nygren [et al.] // Plos one. – 2023. – Vol. 18, no. 7. – P. e0287855. – Mode of access: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0287855> (date of access: 22.09.2025). – Title from screen.
2. Broadhead R. The future of functional clothing for an improved skin and textile microbiome relationship [Electronic resource] / Rosie Broadhead, Laure Craeye, Chris Callewaert // Microorganisms. – 2021. – Vol. 9, no. 6. – P. 1192. – Mode of access: <https://doi.org/10.3390/microorganisms9061192> (date of access: 22.09.2025). – Title from screen.
3. Shahriari-Khalaji M. Cotton-based health care textile: a mini review [Electronic resource] / Mina Shahriari-Khalaji, Abeer Alassod, Zahra Nozhat // Polymer bulletin. – 2022. – Mode of access: <https://doi.org/10.1007/s00289-021-04015-y> (date of access: 22.09.2025). – Title from screen.
4. Considerations for an ideal post-surgical wound dressing aligned with antimicrobial stewardship objectives: a scoping review [Electronic resource] / Karen Ousey [et al.] // Journal of wound care. – 2023. – Vol. 32, no. 6. – P. 334–347. – Mode of access: <https://doi.org/10.12968/jowc.2023.32.6.334> (date of access: 22.09.2025). – Title from screen.
5. Gulati R. Antimicrobial textile: recent developments and functional perspective [Electronic resource] / Rehan Gulati, Saurav Sharma, Rakesh Kumar Sharma // Polymer bulletin. – 2021. – Mode of access: <https://doi.org/10.1007/s00289-021-03826-3> (date of access: 23.09.2025). – Title from screen.
6. Paul R. Functional finishes for textiles: improving comfort, performance and protection / Roshan Paul. – [S. l.] : Elsevier Science & Technology, 2014. – 678 p.
7. Antimicrobial finishing of metals, metal oxides, and metal composites on textiles: a systematic review [Electronic resource] / Vandana Bhandari [et al.] // Industrial & engineering chemistry research. – 2022. – Vol. 61, no. 1. – P. 86–101. – Mode of access: <https://doi.org/10.1021/acs.iecr.1c04203> (date of access: 23.09.2025). – Title from screen.
8. Effect of silver concentration and chemical transformations on release and antibacterial efficacy in silver-containing textiles [Electronic resource] / Eleanor Spielman-Sun [et al.] // NanoImpact. – 2018. – Vol. 11. – P. 51–57. – Mode of access: <https://doi.org/10.1016/j.impact.2018.02.002> (date of access: 23.09.2025). – Title from screen.
9. Surface characterization of textiles modified by copper and zinc oxide nano-antimicrobials [Electronic resource] / N. Ditaranto [et al.] // Surface and interface analysis. – 2016. – Vol. 48, no. 7. – P. 505–508. – Mode of access: <https://doi.org/10.1002/sia.5951> (date of access: 23.09.2025). – Title from screen.
10. Bamboo charcoal/phase change material/stainless steel ring-spun complex yarn and its far-infrared/anion-releasing elastic warp-knitted fabric: fabrication and functional evaluation [Electronic resource] / Jia-Horng Lin [et al.] // Journal of industrial textiles. – 2015. – Vol. 46, no. 2. – P. 624–642. – Mode of access: <https://doi.org/10.1177/1528083715595007> (date of access: 23.09.2025). – Title from screen.
11. A new study on the influencing factors and mechanism of shielding effectiveness of woven fabrics containing stainless steel fibers [Electronic resource] / Yalan Yang [et al.] // Journal of industrial textiles. – 2019. – Vol. 50, no. 6. – P. 830–846. – Mode of access: <https://doi.org/10.1177/1528083719846664> (date of access: 23.09.2025). – Title from screen.
12. Chitosan: a biopolymer for textile processes and products [Electronic resource] / Adel Elamri [et al.] // Textile research journal. – 2022. – P. 004051752211273. – Mode of access: <https://doi.org/10.1177/00405175221127315> (date of access: 23.09.2025). – Title from screen.

13. Use of chitosan as antimicrobial, antiviral and antipollution agent in textile finishing [Electronic resource] / Adel Elamri [et al.] // *Fibres and textiles*. – 2022. – Vol. 29, no. 3. – P. 51–70. – Mode of access: <https://doi.org/10.15240/tul/008/2022-3-006> (date of access: 23.09.2025). – Title from screen.
14. Варданян А. Антибактеріальні агенти для створення текстильних матеріалів – сучасний стан та тенденції розвитку [Електронний ресурс] / Анна Варданян, Яна Редько // *Herald of Khmelnytskyi National University. Technical sciences*. – 2024. – Т. 333, № 2. – С. 112–119. – Режим доступу: <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2024-333-2-17> (дата звернення: 23.09.2025). – Назва з екрана.
15. The influence of methods of functionalization, knitting structures, and washing/drying conditions on the antibacterial activity of silver-functionalized textiles [Electronic resource] / Alexandra Catarina Pinto [et al.] // *Polymer bulletin*. – 2023. – Mode of access: <https://doi.org/10.1007/s00289-023-04775-9> (date of access: 23.09.2025). – Title from screen.
16. Antimicrobial treatment of polymeric medical devices by silver nanomaterials and related technology [Electronic resource] / Markéta Polívková [et al.] // *International journal of molecular sciences*. – 2017. – Vol. 18, no. 2. – P. 419. – Mode of access: <https://doi.org/10.3390/ijms18020419> (date of access: 23.09.2025). – Title from screen.
17. Antibacterial activity of silver and its application in dentistry, cardiology and dermatology [Electronic resource] / Jasminka Talapko [et al.] // *Microorganisms*. – 2020. – Vol. 8, no. 9. – P. 1400. – Mode of access: <https://doi.org/10.3390/microorganisms8091400> (date of access: 23.09.2025). – Title from screen.
18. Mosebolatan Jabar J. Antimicrobial functional textiles [Electronic resource] / Jamiu Mosebolatan Jabar // *Textiles for functional applications [working title]*. – [S. l.], 2021. – P. 2. – Mode of access: <https://doi.org/10.5772/intechopen.97806> (date of access: 23.09.2025). – Title from screen.
19. Triclosan: a small molecule with controversial roles [Electronic resource] / Maria Stefania Sinicropi [et al.] // *Antibiotics*. – 2022. – Vol. 11, no. 6. – P. 735. – Mode of access: <https://doi.org/10.3390/antibiotics11060735> (date of access: 23.09.2025). – Title from screen.
20. Zain N. B. M. Synthetic antimicrobial agent and antimicrobial fabrics: progress and challenges [Electronic resource] / Norashikin Binti Mat Zain, John Olabode Akindoyo, Mohammad Dalour Hossen Beg // *IJUM engineering journal*. – 2018. – Vol. 19, no. 2. – P. 10–29. – Mode of access: <https://doi.org/10.31436/ijumej.v19i2.929> (date of access: 23.09.2025). – Title from screen.
21. Alfihli M. A. Triclosan: an update on biochemical and molecular mechanisms [Electronic resource] / Mohammad A. Alfihli, Myon-Hee Lee // *Oxidative medicine and cellular longevity*. – 2019. – Vol. 2019. – P. 1–28. – Mode of access: <https://doi.org/10.1155/2019/1607304> (date of access: 23.09.2025). – Title from screen.
22. Morais D. Antimicrobial approaches for textiles: from research to market [Electronic resource] / Diana Morais, Rui Guedes, Maria Lopes // *Materials*. – 2016. – Vol. 9, no. 6. – P. 498. – Mode of access: <https://doi.org/10.3390/ma9060498> (date of access: 23.09.2025). – Title from screen.
23. Highly efficient and durable antimicrobial nanocomposite textiles [Electronic resource] / Vinni Thekkudan Novi [et al.] // *Scientific reports*. – 2022. – Vol. 12, no. 1. – Mode of access: <https://doi.org/10.1038/s41598-022-22370-2> (date of access: 23.09.2025). – Title from screen.
24. Mickevičienė A. Influence of raw composition of plain plated knits on their antimicrobial characteristics [Electronic resource] / Agnė Mickevičienė, Daiva Mikučionienė, Lina Ragelienė // *Fibres and textiles in eastern europe*. – 2014. – Vol. 22.5, no. 107. – P. 59–64. – Mode of access: <https://hdl.handle.net/20.500.12259/40906>. – Title from screen.
25. Mikučionienė D. Comparative analysis of the influence of bamboo and other cellulose fibres on selected structural parameters and physical properties of knitted fabrics [Electronic resource] / Daiva Mikučionienė, Edgaras Arbataitis // *Fibres & textiles in eastern europe*. – 2013. – Vol. 21.3, no. 99. – P. 76–80. – Mode of access: <https://bibliotekanauki.pl/articles/231978>. – Title from screen.
26. Advancements in antimicrobial textiles: fabrication, mechanisms of action, and applications [Electronic resource] / Jonathan Tersur Orasugh [et al.] // *ACS omega*. – 2025. – Mode of access: <https://doi.org/10.1021/acsomega.4c11356> (date of access: 24.09.2025). – Title from screen.
27. Popescu A. Enhancing environmental standards in textiles: the role of OEKO-TEX® standard 100 [Electronic resource] / Anca Popescu // *Bulletin of the transilvania university of brasov. series V: economic sciences*. – 2024. – P. 59–68. – Mode of access: <https://doi.org/10.31926/but.es.2024.17.66.1.6> (date of access: 24.09.2025). – Title from screen.
28. Antimicrobial resistance [Electronic resource] // World Health Organization (WHO). – Mode of access: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/antimicrobial-resistance#:~:text=As%20a%20result%20of%20drug,through%20genetic%20changes%20in%20pathogens>. (date of access: 24.09.2025). – Title from screen.
29. Influence of dyeing technological conditions on the color characteristics and antibacterial properties of cotton-polyester textiles [Electronic resource] / Olha Haranina [et al.] // *Fibres and textiles*. – 2025. – Vol. 32, no. 3. – P. 21–27. – Mode of access: <https://doi.org/10.15240/tul/008/2025-3-003> (date of access: 24.09.2025). – Title from screen.

## References

1. Potential sources of contamination on textiles and hard surfaces identified as high-touch sites near the patient environment [Electronic resource] / Erik Nygren [et al.] // *Plos one*. – 2023. – Vol. 18, no. 7. – P. e0287855. – Mode of access: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0287855> (date of access: 22.09.2025). – Title from screen.
2. Broadhead R. The future of functional clothing for an improved skin and textile microbiome relationship [Electronic resource] / Rosie Broadhead, Laure Craeye, Chris Callewaert // *Microorganisms*. – 2021. – Vol. 9, no. 6. – P. 1192. – Mode of access: <https://doi.org/10.3390/microorganisms9061192> (date of access: 22.09.2025). – Title from screen.



3. Shahriari-Khalaji M. Cotton-based health care textile: a mini review [Electronic resource] / Mina Shahriari-Khalaji, Abeer Alassod, Zahra Nozhat // Polymer bulletin. – 2022. – Mode of access: <https://doi.org/10.1007/s00289-021-04015-y> (date of access: 22.09.2025). – Title from screen.
4. Considerations for an ideal post-surgical wound dressing aligned with antimicrobial stewardship objectives: a scoping review [Electronic resource] / Karen Ousey [et al.] // Journal of wound care. – 2023. – Vol. 32, no. 6. – P. 334–347. – Mode of access: <https://doi.org/10.12968/jowc.2023.32.6.334> (date of access: 22.09.2025). – Title from screen.
5. Gulati R. Antimicrobial textile: recent developments and functional perspective [Electronic resource] / Rehan Gulati, Saurav Sharma, Rakesh Kumar Sharma // Polymer bulletin. – 2021. – Mode of access: <https://doi.org/10.1007/s00289-021-03826-3> (date of access: 23.09.2025). – Title from screen.
6. Paul R. Functional finishes for textiles: improving comfort, performance and protection / Roshan Paul. – [S. l.] : Elsevier Science & Technology, 2014. – 678 p.
7. Antimicrobial finishing of metals, metal oxides, and metal composites on textiles: a systematic review [Electronic resource] / Vandana Bhandari [et al.] // Industrial & engineering chemistry research. – 2022. – Vol. 61, no. 1. – P. 86–101. – Mode of access: <https://doi.org/10.1021/acs.iecr.1c04203> (date of access: 23.09.2025). – Title from screen.
8. Effect of silver concentration and chemical transformations on release and antibacterial efficacy in silver-containing textiles [Electronic resource] / Eleanor Spielman-Sun [et al.] // NanoImpact. – 2018. – Vol. 11. – P. 51–57. – Mode of access: <https://doi.org/10.1016/j.impact.2018.02.002> (date of access: 23.09.2025). – Title from screen.
9. Surface characterization of textiles modified by copper and zinc oxide nano-antimicrobials [Electronic resource] / N. Ditaranto [et al.] // Surface and interface analysis. – 2016. – Vol. 48, no. 7. – P. 505–508. – Mode of access: <https://doi.org/10.1002/sia.5951> (date of access: 23.09.2025). – Title from screen.
10. Bamboo charcoal/phase change material/stainless steel ring-spun complex yarn and its far-infrared/anion-releasing elastic warp-knitted fabric: fabrication and functional evaluation [Electronic resource] / Jia-Hong Lin [et al.] // Journal of industrial textiles. – 2015. – Vol. 46, no. 2. – P. 624–642. – Mode of access: <https://doi.org/10.1177/1528083715595007> (date of access: 23.09.2025). – Title from screen.
11. A new study on the influencing factors and mechanism of shielding effectiveness of woven fabrics containing stainless steel fibers [Electronic resource] / Yalan Yang [et al.] // Journal of industrial textiles. – 2019. – Vol. 50, no. 6. – P. 830–846. – Mode of access: <https://doi.org/10.1177/1528083719846664> (date of access: 23.09.2025). – Title from screen.
12. Chitosan: a biopolymer for textile processes and products [Electronic resource] / Adel Elamri [et al.] // Textile research journal. – 2022. – P. 004051752211273. – Mode of access: <https://doi.org/10.1177/00405175221127315> (date of access: 23.09.2025). – Title from screen.
13. Use of chitosan as antimicrobial, antiviral and antipollution agent in textile finishing [Electronic resource] / Adel Elamri [et al.] // Fibres and textiles. – 2022. – Vol. 29, no. 3. – P. 51–70. – Mode of access: <https://doi.org/10.15240/tul/008/2022-3-006> (date of access: 23.09.2025). – Title from screen.
14. Vardanian A. Antybakterialni ahenty dlia stvorennia tekstylnykh materialiv – suchasnyi stan ta tendentsii rozvytku [Elektronnyi resurs] / Anna Vardanian, Yana Redko // Herald of Khmelnytskyi National University. Technical sciences. – 2024. – T. 333, № 2. – S. 112–119. – Rezhym dostupu: <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2024-333-2-17> (data zvernennia: 23.09.2025). – Nazva z ekrana.
15. The influence of methods of functionalization, knitting structures, and washing/drying conditions on the antibacterial activity of silver-functionalized textiles [Electronic resource] / Alexandra Catarina Pinto [et al.] // Polymer bulletin. – 2023. – Mode of access: <https://doi.org/10.1007/s00289-023-04775-9> (date of access: 23.09.2025). – Title from screen.
16. Antimicrobial treatment of polymeric medical devices by silver nanomaterials and related technology [Electronic resource] / Markéta Polívková [et al.] // International journal of molecular sciences. – 2017. – Vol. 18, no. 2. – P. 419. – Mode of access: <https://doi.org/10.3390/ijms18020419> (date of access: 23.09.2025). – Title from screen.
17. Antibacterial activity of silver and its application in dentistry, cardiology and dermatology [Electronic resource] / Jasminka Talapko [et al.] // Microorganisms. – 2020. – Vol. 8, no. 9. – P. 1400. – Mode of access: <https://doi.org/10.3390/microorganisms8091400> (date of access: 23.09.2025). – Title from screen.
18. Mosebolatan Jabar J. Antimicrobial functional textiles [Electronic resource] / Jamiu Mosebolatan Jabar // Textiles for functional applications [working title]. – [S. l.], 2021. – P. 2. – Mode of access: <https://doi.org/10.5772/intechopen.97806> (date of access: 23.09.2025). – Title from screen.
19. Triclosan: a small molecule with controversial roles [Electronic resource] / Maria Stefania Sinicropi [et al.] // Antibiotics. – 2022. – Vol. 11, no. 6. – P. 735. – Mode of access: <https://doi.org/10.3390/antibiotics11060735> (date of access: 23.09.2025). – Title from screen.
20. Zain N. B. M. Synthetic antimicrobial agent and antimicrobial fabrics: progress and challenges [Electronic resource] / Norashikin Binti Mat Zain, John Olabode Akindoyo, Mohammad Dalour Hossen Beg // IIUM engineering journal. – 2018. – Vol. 19, no. 2. – P. 10–29. – Mode of access: <https://doi.org/10.31436/iiujm.v19i2.929> (date of access: 23.09.2025). – Title from screen.
21. Alfihili M. A. Triclosan: an update on biochemical and molecular mechanisms [Electronic resource] / Mohammad A. Alfihili, Myon-Hee Lee // Oxidative medicine and cellular longevity. – 2019. – Vol. 2019. – P. 1–28. – Mode of access: <https://doi.org/10.1155/2019/1607304> (date of access: 23.09.2025). – Title from screen.
22. Morais D. Antimicrobial approaches for textiles: from research to market [Electronic resource] / Diana Morais, Rui Guedes, Maria Lopes // Materials. – 2016. – Vol. 9, no. 6. – P. 498. – Mode of access: <https://doi.org/10.3390/ma9060498> (date of access: 23.09.2025). – Title from screen.
23. Highly efficient and durable antimicrobial nanocomposite textiles [Electronic resource] / Vinni Thekkudan Novi [et al.] // Scientific reports. – 2022. – Vol. 12, no. 1. – Mode of access: <https://doi.org/10.1038/s41598-022-22370-2> (date of access: 23.09.2025). – Title from screen.
24. Mickevičienė A. Influence of raw composition of plain plated knits on their antimicrobial characteristics [Electronic resource] / Agnė Mickevičienė, Daiva Mikučionienė, Lina Ragelienė // Fibres and textiles in eastern europe. – 2014. – Vol. 22.5, no. 107. – P. 59–64. – Mode of access: <https://hdl.handle.net/20.500.12259/40906>. – Title from screen.
25. Mikučionienė D. Comparative analysis of the influence of bamboo and other cellulose fibres on selected structural parameters and physical properties of knitted fabrics [Electronic resource] / Daiva Mikučionienė, Edgaras Arbataitis // Fibres & textiles in eastern europe. – 2013. – Vol. 21.3, no. 99. – P. 76–80. – Mode of access: <https://bibliotekanauki.pl/articles/231978>. – Title from screen.
26. Advancements in antimicrobial textiles: fabrication, mechanisms of action, and applications [Electronic resource] / Jonathan Tersur Orasugh [et al.] // ACS omega. – 2025. – Mode of access: <https://doi.org/10.1021/acsomega.4c11356> (date of access: 24.09.2025). – Title from screen.
27. Popescu A. Enhancing environmental standards in textiles: the role of OEKO-TEX® standard 100 [Electronic resource] / Anca Popescu // Bulletin of the transilvania university of brasov. series V: economic sciences. – 2024. – P. 59–68. – Mode of access: <https://doi.org/10.31926/but.es.2024.17.66.1.6> (date of access: 24.09.2025). – Title from screen.
28. Antimicrobial resistance [Electronic resource] // World Health Organization (WHO). – Mode of access: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/antimicrobial-resistance#:~:text=As%20a%20result%20of%20drug,through%20genetic%20changes%20in%20pathogens> (date of access: 24.09.2025). – Title from screen.
29. Influence of dyeing technological conditions on the color characteristics and antibacterial properties of cotton-polyester textiles [Electronic resource] / Olha Haranina [et al.] // Fibres and textiles. – 2025. – Vol. 32, no. 3. – P. 21–27. – Mode of access: <https://doi.org/10.15240/tul/008/2025-3-003> (date of access: 24.09.2025). – Title from screen.