

<https://doi.org/10.30857/2786-5371.2026.3.3>

Received: 29.04.2026
Revised: 18.05.2026
Accepted: 29.05.2026
Published: 29.05.2026

Ольга ПАРАСКА¹, Віта НЕГОРУЙ¹, Андрій ГОРБАНЬ²

¹Хмельницький національний університет, Україна

²Чорноморський національний університет імені Петра Могили,
Миколаїв, Україна

УДК 677.076.4:602.4:
615.46

БІОТЕХНОЛОГІЧНІ ПІДХОДИ ДО СТВОРЕННЯ ІННОВАЦІЙНИХ НЕТКАНИХ МАТЕРІАЛІВ З АНТИМІКРОБНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ

Мета. Обґрунтування та аналіз біотехнологічних методів створення інноваційних нетканних матеріалів з антимікробними властивостями для підвищення безпечності та функціональних властивостей готових виробів.

Методика дослідження полягає у комплексному аналізі сучасних біотехнологічних способів модифікації нетканних полотен, фізико-хімічних методах оцінювання структури та властивостей матеріалів. Просочення методом занурення текстильного матеріалу використано як технологічний спосіб біомодифікації нетканних матеріалів антимікробними агентами на основі декаметоксину. У процесі дослідження використано методи аналізу наукових джерел, структурно-функціонального оцінювання матеріалів, а також методи визначення антимікробної активності та стійкості модифікованих поверхонь.

Результати. Дослідження показали, що застосування біотехнологічних методів модифікації нетканних матеріалів сприяє формуванню стійких антимікробних властивостей зі збереженням їх структурної цілісності після антимікробної обробки. Встановлено, що використання методу просочення композиціями на основі декаметоксину забезпечує рівномірний розподіл антимікробного агента на поверхні матеріалу та підвищує ефективність пригнічення патогенної мікрофлори.

Наукова новизна. Обґрунтовано біотехнологічні підходи до функціоналізації інноваційних нетканних матеріалів із використанням антимікробних агентів та визначенні ролі декаметоксину у формуванні стабільних антимікробних структур. Підтверджено доцільність біомодифікації нетканних матеріалів для підвищення їх біоцидної активності без погіршення експлуатаційних властивостей.

Практична значимість. Систематизовано біотехнологічні підходи створення інноваційних санітарно-гігієнічних виробів, спеціалізованих нетканних матеріалів, медичних матеріалів із пролонгованою антимікробною дією. Запропоновані рішення сприяють підвищенню рівня безпеки, біосумісності, гігієнічності та функціональності сучасних нетканних матеріалів.

Ключові слова: неткані матеріали; біотехнологічні підходи; антимікробні властивості; декаметоксин; вологі серветки.

Вступ. Актуальність дослідження зумовлена зростанням потреби у функціональних текстильних матеріалах, здатних забезпечувати ефективний антимікробний захист, біосумісність та безпечність використання. Неткані матеріали найбільше застосовують в гігієнічному секторі, який охоплює майже 32% їх використання. Одним із ключових напрямів цього сектору є виробництво для охорони здоров'я та гігієнічного призначення, серед яких: операційні покриття, драпірувальні матеріали, медичні тканини, покривала, постільна білизна, гігієнічні серветки тощо. За типом структури, світовий ринок поділяють наступним чином: близько 15% припадає на ткани матеріали, 20% – на трикотажні, а переважна частка 65% на неткані матеріали. Медичний текстиль – один із динамічних напрямів технічного текстилю у світі. За оцінками експертів, у 2019 році обсяг ринку медичних технологій становив близько 17 млрд дол. США, у 2025 році спостерігалось зростання до 24 млрд дол. США, демонструючи середньорічний приріст до 5% [1, 2].

В асортименті медичного текстилю особливе місце займають серветки – одноразові виробництво з нетканого полотна, просочені спеціальними засобами. Їх класифікують на два основні типи: вологі та сухі. Волога серветка (або вологий рушник) – це заздалегідь зволожений засіб для очищення, який часто використовують для догляду за тілом, медичним

обладнанням та побутового прибирання. Основною перевагою таких серветок є зручність у використанні, у порівнянні з традиційними мийними та дезінфекційними засобами [3, 4].

Забезпечення належної гігієни поверхонь у закладах охорони здоров'я, медичного обладнання є важливим аспектом профілактики інфекцій, пов'язаних із наданням медичної допомоги. Одним із найбільш ефективних методів локальної дезінфекції є використання серветок, просочених дезінфекційними засобами. Антимікробні серветки використовують для швидкої та цільової обробки поверхні шкіри, робочих поверхонь, елементів медичного обладнання. Їх перевага полягає у поєднанні механічного очищення та хімічної дезінфекції в одному продукті, що дозволяє значно скоротити час обробки та забезпечити рівномірний розподіл антимікробних речовин у поверхні волокна. Ефективність вологих серветок значною мірою залежить від складу просочувального розчину, текстильного матеріалу та часу контакту з поверхнею. Визначним фактором, який обумовлює вибір дезінфекційного засобу, є ризик розвитку резистентності до антимікробних препаратів, що важливим аргументом на користь застосування готових серветок із контрольованим вмістом активних речовин, які забезпечують стандартизовану та відтворювану дію під час щоденної обробки поверхонь.

Таким чином, антимікробні серветки є невід'ємною частиною сучасної системи інфекційного контролю, а їх застосування для очищення має науково обґрунтований та практично ефективний підхід інфекційного контролю в закладах охорони здоров'я. Однак деякі серветки можуть бути агресивними для шкіри через вміст спирту або консервантів, наприклад, таких як метилхлорізогіазолінон. Часте застосування таких виробів може спричинити подразнення, висипання, сухість, почервоніння чи інші негативні реакції, особливо при використанні на чутливих ділянках, наприклад, на обличчі. Як альтернатива, дедалі більшої популярності набувають вологі серветки на основі біорозкладних та екологічно безпечних матеріалів [1, 3, 5].

Постановка завдання. Обґрунтування та аналіз біотехнологічних підходів до створення інноваційних нетканих матеріалів з антимікробними властивостями для розширення сфер їх практичного застосування у санітарно-гігієнічних, медичних та спеціалізованих виробках.

Результати дослідження. Антимікробні серветки, як правило, складаються з двох основних складових: абсорбувальної основи та антисептичного розчину. Основа виконує функцію носія, що забезпечує механічну міцність виробу та сприяє рівномірному розподілу активного складу. Основу нетканих матеріалів виготовляють з натуральних, синтетичних волокон або їх комбінацій [3, 6]. Основні типи сировини для основи нетканих матеріалів та їх характеристики детально проаналізовано в таблиці 1.

Таблиця 1

Властивості матеріалів основи для виготовлення антимікробних серветок


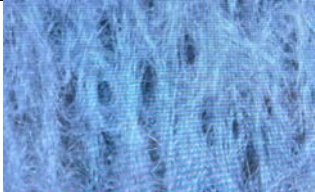




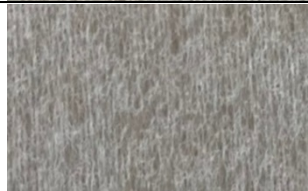
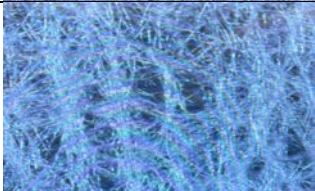


Матеріал	Характеристика
Бавовна	М'яка на дотик, добре поглинає вологу, висока міцність
Віскоза	Дуже м'яка на дотик, висока поглинальна здатність, середня міцність
Поліестер	Висока механічна міцність
Деревна целюлоза	Має велику площу поверхні та стрічкоподібну морфологію, що покращує очищення
Поліпропілен	Висока міцність
Поліамід	М'який на дотик, гнучкий, забезпечує комфортне відчуття
Поліетилен	Низька густина, висока гнучкість
Сумішеві матеріали (поліестер/віскоза, льон/віскоза)	Поєднують властивості обох компонентів у суміші
Льон, джут, шовк, рамі, коноплі	Висока міцність, гігроскопічність, повітропроникність, стійкість до зношування

За даними таблиці 1, тип волокнистого матеріалу істотно впливає на властивості антимікробних серветок, зокрема їх міцність, поглинальну здатність, біорозкладність та екологічну безпеку.

Морфологічна структура антимікробних серветок з нетканих матеріалів визначає функціональні властивості: міцність, вологопоглинання, ворсоутворення, бар'єрні властивості готових виробів, що безпосередньо впливає на фізико-механічні властивості матеріалу. Для детального вивчення структурних особливостей дослідних зразків нетканих матеріалів за допомогою цифрового мікроскопу Andonstar ADSM 301 (Shenzhen Andonstar Technology Co. Ltd., Китай), було проведено мікроскопічний аналіз поверхні, проаналізовано волокнистий склад (аналіз будови) на структурному рівні, поверхневу щільність, товщину зразків, які є ключовими показниками при виборі матеріалів для виробництва антимікробних серветок [6, 7]. Товщину зразків вимірювали за допомогою мікрометричного пристрою з плоскою вимірювальною платформою та пресувальним елементом – товщиноміром Shahe 5317-10 (Shahe®, Китай). Для стабілізації показників перед вимірюванням дослідні зразки витримували за кімнатної температури та нормальної вологості протягом доби. Узагальнені дані, наведено в таблиці 2.

Таблиця 2

Структурно-морфологічні властивості дослідних зразків нетканих матеріалів

Зразок	Зовнішній вигляд дослідних зразків	Зображення зразка під мікроскопом	Волокнистий склад, %	Товщина, мм
№1			Віскоза, 100%	0,3
№2			Бавовна, 100%	0,32
№3			Віскоза, 30%; поліестер 70%	0,28
№4			Віскоза, 10%; поліестер, 90%	0,19
№5			Віскоза, 80%; віскоза (BioFlush), 20%	0,4

Аналіз структурно-морфологічних властивостей дослідних зразків нетканих матеріалів показав, що їх товщина значною мірою залежить від волокнистого складу. Зразки № 1, № 2,

виготовлені з переважанням целюлозних волокон (віскоза, бавовна), мають більшу товщину, що обумовлено особливостями структури та щільності волокон. Натомість матеріали з високим вмістом поліестеру, зразок № 3, № 4 мають меншу товщину, що може бути пов'язано з більш щільним упорядкуванням синтетичних волокон. Зразок № 5 з (BioFlush) має найвищу товщину серед досліджених, що свідчить про можливість створення матеріалів із покращеними фізичними властивостями для застосування у виготовленні антимікробних серветок із підвищеною міцністю та комфортом використання. Візуальний аналіз зразків під мікроскопом підтверджує різноманітність волокнистої структури, що визначає їх функціональні характеристики.

З метою комплексного аналізу дослідних зразків нетканих матеріалів було проведено органолептичне дослідження, що включало визначення швидкості горіння, характеру запаху при термічному розкладанні, а також реакції зразків на дію концентрованих мінеральних кислот. Результати досліджень наведено в таблиці 3.

Таблиця 3

Органолептичні характеристики дослідних зразків нетканих матеріалів

№ зразка	Волокнистий склад	Поверхнева щільність, г/м ²	Швидкість горіння	Запах при горінні	Розчинність в хімічних реагентах
1	Віскоза, 100%	40	Горить швидко без кіптяви	Паленого паперу	Розчинність в HCl _{конц.} , H ₂ SO ₄ конц.
2	Бавовна, 100%	45	Горить швидко без кіптяви	Паленого паперу	При взаємодії з HCl _{конц.} спостерігають жовте забарвлення
3	Віскоза, 30%; поліестер 70%	40	Помірне горіння з утворенням оплавленого краю	Слабко виражений солодкуватий	Часткова стійкість до HCl _{конц.} , деформація в H ₂ SO ₄ конц.
4	Віскоза, 10%; поліестер, 90%	25	Повільне горіння з оплавленням	Солодкуватий	Не розчинні в HCl _{конц.} , H ₂ SO ₄ конц.
5	Віскоза, 80%; віскоза (BioFlush), 20%	60	Горить швидко без кіптяви	Паленого паперу	Розчинність в HCl _{конц.} , H ₂ SO ₄ конц.

Зазначені показники таблиці 3 дозволяють оцінити не лише термічну та хімічну стійкість матеріалів, але й зробити припущення щодо їх екологічної безпечності, ступеня біорозкладності та придатності до використання в умовах підвищених гігієнічних вимог.

Аналіз органолептичних характеристик нетканих матеріалів різного волокнистого складу показав, що домінування целюлозних компонентів (віскози, бавовни) зумовлює швидке горіння з утворенням запаху паленого паперу та високу чутливість до концентрованих мінеральних кислот (HCl_{конц.}, H₂SO₄конц.). Такі матеріали легко розчинні під дією кислот, що свідчить про їхню низьку хімічну стійкість, але високу екологічну здатність до біодеструкції. Натомість у зразках з переважанням синтетичних волокон, зокрема поліестеру, спостерігають уповільнене горіння, формування оплавленого краю, солодкуватий запахом та виражену хімічну стійкість до кислотних середовищ. Матеріали змішаного складу мають проміжні характеристики, що свідчить про можливість варіювання властивостей шляхом зміни

співвідношення волокон. Високу поверхневу щільність має зразок № 5 з BioFlush, що може забезпечити покращення механічних та сорбційних властивостей виробу, водночас підвищуючи його екологічну безпечність.

Таким чином, на морфологічну структуру антимікробних серветок впливає основа нетканих матеріалів, яка забезпечує необхідні функції: очищення, поглинання, дезінфекція, мінімальна контамінація. Тип волокон, метод спікання або з'єднання, поверхнева обробка формують специфічні властивості антимікробних серветок. Отримані результати дозволяють диференційовано підходити до вибору інноваційних нетканих матеріалів залежно від вимог до їх термостійкості, хімічної інертності чи здатності до біодеструкції в умовах медичного або гігієнічного використання [4, 6].

Дослідження капілярності (h , мм) нетканих матеріалів є важливим етапом оцінки їх гігроскопічних властивостей. Капілярність нетканих матеріалів, що використовують для виготовлення антимікробних серветок, визначали з метою оцінки їх здатності поглинати та рівномірно розподіляти рідину поверхнею матеріалу. Цей показник важливий для забезпечення ефективного змочування, рівномірного розподілу активних речовин та збереження споживчих властивостей готового виробу [6, 8]. Капілярність характеризує поглинання рідини поздовжніми капілярами матеріалу, оцінюють – висотою підйому рідини протягом години у зразку матеріалу, який одним кінцем занурений у забарвлений розчин. Для визначення капілярності зразки розміром 50×300 мм фіксували в затискачі таким чином, щоб один кінець залишався вільним, а інший занурювали в ємність з розчином барвника. Кінетичне вимірювання висоти підняття рідини h , мм проводили з інтервалом 10 хвилин протягом 1 години. Результати дослідження капілярності дослідних зразків нетканих матеріалів наведено на рис. 1.

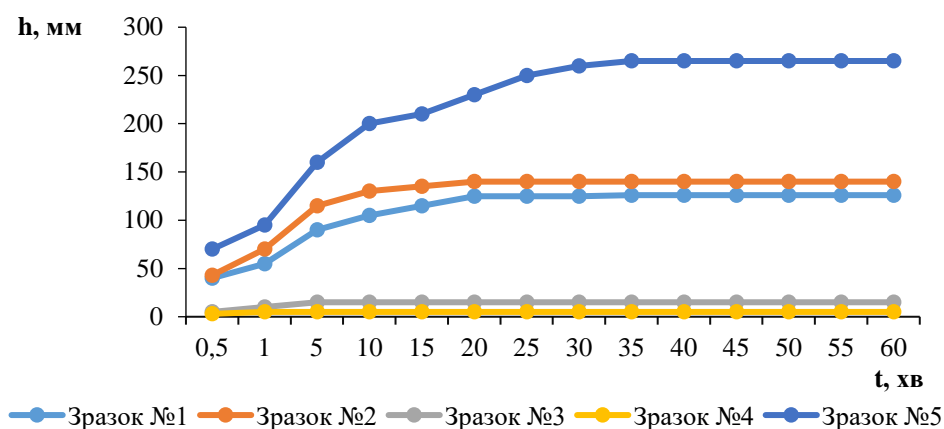


Рис. 1. Кінетика підйому рідини (h , мм) у дослідних зразках нетканих матеріалів

Графічне представлення результатів дослідження капілярного підняття рідини, свідчить про суттєву різницю в абсорбційній здатності досліджуваних нетканих матеріалів залежно від їхнього складу та поверхневої щільності.

Найвищу капілярну активність продемонстрував зразок № 5 (віскоза 80%, віскоза BioFlush, 20%, щільністю 60 г/м^2), який вже упродовж перших 30 хвилин досяг висоти підняття понад 260 мм, після чого спостерігалось насичення. Такий результат зумовлений високою гідрофільністю віскозних волокон у поєднанні з оптимальною щільністю матеріалу. Високі значення також показав зразок № 2 (бавовна, 100%, щільністю 45 г/м^2) – до 140 мм, що пояснюють природною абсорбційною здатністю бавовняних волокон та добре розвиненою пористою структурою полотна.

Зразок № 1 (віскоза, 100%, щільністю 40 г/м^2) продемонстрував середню капілярну активність – до 125 мм, що свідчить про ефективну, але дещо нижчу порівняно із зразком № 5 здатність до вологопоглинання. Натомість зразок № 3 (віскоза 30%, поліестер, 70%, щільністю

40 г/м²) та зразок № 4 (віскоза, 10%, поліестер, 90%, щільністю 25 г/м²) показали суттєво нижчі значення менше 20 мм, що обумовлено переважним вмістом гідрофобного поліестеру та зниженою щільністю, особливо у зразка № 4.

Таким чином, результати дослідження показують доцільність застосування нетканих матеріалів з високим вмістом віскози або бавовни та підвищеною щільністю у виробництві інноваційних нетканих матеріалів для забезпечення ефективного змочування, рівномірного розподілу дезінфекційного розчину і комфортного використання споживачами.

Біотехнологічні підходи до створення інноваційних нетканих матеріалів з антимікробними властивостями передбачають використання методів біомодифікації, іммобілізації антимікробних агентів, функціоналізації поверхні та просочування матеріалів біологічно активними композиціями з метою надання їм стійких антимікробних, гігієнічних і захисних властивостей без погіршення фізико-хімічних та експлуатаційних характеристик [9, 10]. Аналіз біотехнологічних підходів показав, що біомодифікація, функціоналізація поверхні та іммобілізація антимікробних агентів забезпечують формування стійких антимікробних властивостей нетканих матеріалів. Найбільш ефективними є окуночні методи просочування та нанесення біологічно активних композицій, які сприяють рівномірному розподілу антимікробних речовин, збереженню фізико-хімічних характеристик нетканих матеріалів, підвищенню їх безпечності та функціональності.

Крім того, сучасні біотехнологічні підходи створення інноваційних нетканих матеріалів з антимікробними властивостями мають забезпечувати використання ефективних та безпечних антимікробних компонентів для формування функціональних покриттів і модифікації поверхні. З урахуванням вимог впливу на шкіру, широкого спектра антимікробної активності, стабільності та сумісності з нетканими матеріалами, як антисептичний компонент було обрано водний розчин декаметоксину [11, 12]. Декаметоксин є катіонною поверхнево-активною речовиною, що належить до класу четвертинних амонієвих сполук. Структурну формулу декаметоксину зображено на рис. 2.

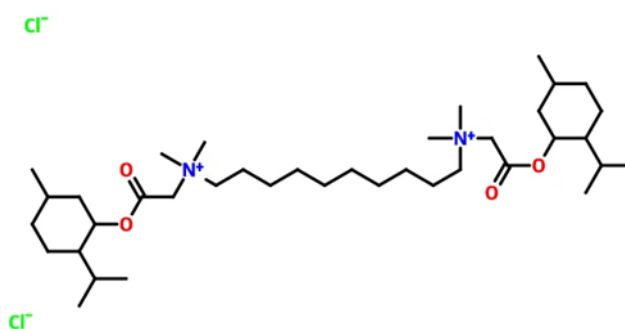


Рис. 2. Структурна формула декаметоксину

Механізм антимікробної дії декаметоксину зумовлений здатністю до порушення цілісності клітинних мембран мікроорганізмів, що призводить до втрати осмотичної рівноваги, руйнування цитоплазматичних структур і загибелі клітини. Декаметоксин проявляє високу активність щодо грампозитивних та грамнегативних бактерій, включаючи *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, а також щодо дріжджоподібних грибів *Candida albicans* та вірусів, зокрема з ліпідною оболонкою.

Важливою перевагою декаметоксину та препаратів на його основі, є низька токсичність, відсутність кумулятивного ефекту, а також відсутність подразнювальної дії на шкіру та слизові оболонки, що дозволяє його застосування у виробі особистої гігієни, включно з продукцією для дітей та осіб з підвищеною чутливістю шкіри. На відміну від інших антисептиків, декаметоксин не сприяє розвитку резистентних форм мікроорганізмів при тривалому застосуванні.

З технологічної точки зору, декаметоксин є стабільним у водному середовищі, не вступає в реакцію з іншими компонентами антимікробної композиції, добре фіксується на целюлозовмісних та синтетичних волокнах, зберігаючи антисептичну активність упродовж усього терміну зберігання виробу.

Таким чином, вибір розчину декаметоксину як активного компонента для просочення нетканих матеріалів є доцільним з погляду ефективності, безпечності та технологічної сумісності, що дозволяє створювати інноваційні гігієнічні вироби із антимікробною дією. Слід зазначити, що використання декаметоксину відповідає принципами зеленої хімії, оскільки препарат не містить токсичних чи канцерогенних домішок, не створює побічних продуктів та має низьке екотоксикологічне навантаження. Відсутність летких органічних сполук у водних розчинах декаметоксину сприяє зменшенню негативного впливу на довкілля [3, 5].

З екологічної точки зору, просочення нетканих матеріалів водними розчинами декаметоксину сприяє реалізації цілей сталого розвитку (ЦСР), зокрема забезпеченню здоров'я та добробуту (ЦСР 3), відповідального споживання і виробництва (ЦСР 12), а також зменшенню забруднення водних екосистем (ЦСР 6 – чиста вода та санітарія, ЦСР 14 – збереження морських екосистем) [1, 5, 13].

Таким чином, використання розчинів декаметоксину забезпечує баланс між функціональністю, безпекою та екологічністю при створенні сучасних безспиртових вологих серветок.

Одним із перспективних біотехнологічних підходів в текстильному опорядженні є надання нетканим матеріалам антимікробних властивостей з метою підвищення їхньої функціональності та безпечності у використанні. Це особливо актуально для виробів гігієнічного і медичного призначення, де необхідно забезпечити захист від патогенних мікроорганізмів. Біотехнологічні підходи процесів антимікробної обробки забезпечують високу ефективність, економічну доцільність застосування технології, що не погіршує споживчих властивостей інноваційних нетканих матеріалів. Загальна схема технологічного процесу антимікробної обробки нетканих матеріалів включає три основні стадії (рис. 3). А саме вибір нетканої основи, підготовка антимікробного розчину, просочення та герметичне пакування.



Рис. 3. Схема технологічного процесу антимікробної обробки

Оптимальний підбір параметрів технологічного процесу антимікробної обробки нетканих матеріалів забезпечує ефективність знезараження, стабільність препарату та безпечність використання. Кожен із зазначених етапів відіграє важливу роль у досягненні кінцевого результату. Підготовка зразків забезпечує належні умови для подальшої антимікробної обробки. Як видно з рис. 3, надання антимікробних властивостей здійснюють за контрольованими параметрами (тривалість від 5 до 10 хв., температура 20 °C). В процесі фасування необхідно забезпечити збереження властивостей матеріалу до моменту використання. Така структура технологічного процесу відповідає сучасним біотехнологічним

підходам, є універсальною основою для подальшої оптимізації умов та адаптації до конкретних типів нетканних матеріалів.

З метою надання антимікробної обробки дослідні зразки оброблено водними розчинами декаметоксину (ТОВ Юрія-Фарм, Україна) різної концентрації (0,02%; 0,01%; 0,005%) при нормальних умовах методом просочення, тривалість обробки від 5 до 10 хвилин з плюсуванням. Витрати антимікробного розчину 1 мл на 1 зразок нетканого матеріалу розмірами 25x25 мм.

Для оцінювання ефективності антимікробної обробки було здійснено мікробіологічне дослідження. Зразки нетканних матеріалів помістили в чашки Петрі в хромогенне середовище (таблиця 4) для виділення і диференціації патогенів [4, 8]. Головне призначення хромогенного середовища – швидке виявлення патогенних мікроорганізмів в посівах із сечостатевого тракту. Однак використання може бути ширшим – в якості загального поживного агару для ізоляції різноманітних мікроорганізмів.

Таблиця 4

Середовище для виділення і диференціації патогенів

Склад	С, г/л
Пептон і дріжджовий екстракт	17
Хромогенна суміш	1
Агар	15

Хромогенна суміш містить субстрат, який проникає в середину мікроорганізму і там взаємодіє з специфічним ферментом. Кольоровий продукт спричиняє локалізацію забарвлення в місці росту колонії (рис. 4). Різні мікроорганізми набувають насичених специфічних кольорів.

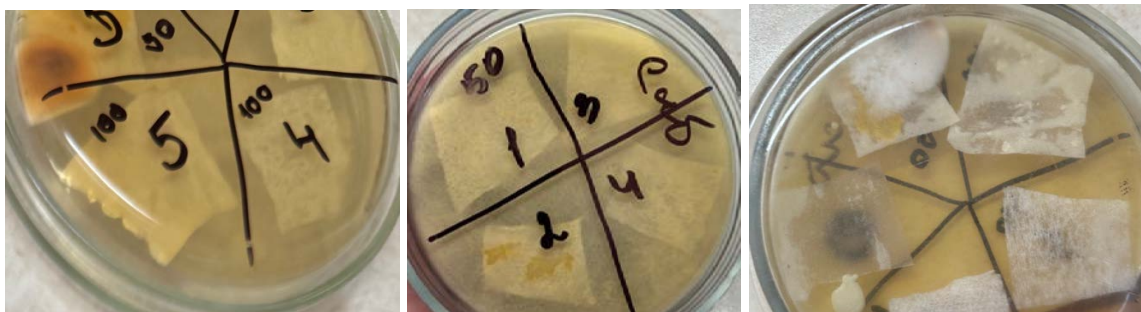


Рис. 4. Зразки нетканних матеріалів в хромогенному середовищі

Посів проводять за допомогою пінцету в антисептичних умовах. Якщо чашку з готовим середовищем зберігають в холодильнику, її необхідно нагріти при кімнатній температурі до 25 °С. Після використання кожного дослідного зразка пінцет обов'язково підносять до полум'я пальника на відстані до 10 см для знезараження, після чого наносять дослідні зразки на чашку Петрі. Інкубацію проводять в аеробних умовах при 37 °С від 18 до 24 годин.

Для виявлення антимікробної дії провели оцінювання росту мікроорганізмів за такими групами: ентерококи, представники кишкової групи, стафілококи *Staphylococcus aureus*, кокова мікрофлора та гриби, зокрема *Aspergillus spp.* Також використовували контрольний зразок, у якому не було зафіксовано росту жодного виду мікроорганізмів [14, 15]. Результати дослідження наведено у таблицях 5–7.

Зразки, оброблені розчином декаметоксину у концентрації 0,02%, продемонстрували найбільш виражену антимікробну дію. Ентерококи, представники кишкової групи, кокова мікрофлора та кишкові палички були відсутні. Із грибів виявлено лише *Aspergillus spp.* у зразку № 1, при цьому концентрація була незначною. Щодо *Staphylococcus aureus*, ріст зафіксовано лише у зразках № 3 і № 5. У зразках № 1, № 2 та № 4 стафілококи не виявлені.

Таблиця 5

Вплив мікроорганізмів на антимікробні властивості нетканих матеріалів, оброблених розчином декаметоксину концентрацією 0,02%

Зразок нетканого матеріалу	Мікроорганізми	Колонії	Гриби	Колонії
1	-	-	-	-
2	-	-	<i>Aspergillus</i>	1·10 ⁴
3	<i>Staphylococcus Aureus</i>	1·10 ⁷	-	-
4	-	-		
5	<i>Staphylococcus Aureus</i>	1·10 ⁷		

Таблиця 6

Вплив мікроорганізмів на антимікробні властивості нетканих матеріалів, оброблених розчином декаметоксину концентрацією 0,01%

Зразок нетканого матеріалу	Мікроорганізми	Колонії	Гриби	Колонії
1, 2, 4	-	-	<i>Aspergillus</i>	1·10 ⁴
3, 5	<i>Staphylococcus Aureus</i>	1·10 ⁷		

Зниження концентрації декаметоксину до 0,01% демонструє відсутність росту бактерій із досліджених груп, проте в цих зразках виявлено колонії грибів *Aspergillus spp.* При цьому антимікробну дія проти *Staphylococcus aureus* зберігають зразки № 3 та № 5, що свідчить про високу чутливість бактерій до концентрації 0,01% декаметоксину. Водночас виявлення грибкової мікрофлори вказує на обмежену ефективність розчинів декаметоксину при цій концентрації щодо грибкових інфекцій, що потребує удосконалення складу або режиму обробки.

Таблиця 7

Вплив мікроорганізмів на антимікробні властивості нетканих матеріалів, оброблених розчином декаметоксину концентрацією 0,005%

Зразок нетканого матеріалу	Мікроорганізми	Колонії	Гриби	Колонії
1, 3, 4	-	-	<i>Aspergillus</i>	1·10 ⁴
2, 5	<i>Staphylococcus Aureus</i>	1·10 ⁷		

При концентрації декаметоксину 0,005% спостерігають зниження ефективності антимікробної дії. Усі досліджувані зразки демонструють наявність колоній грибів *Aspergillus spp.*, а в зразках № 2 та № 5 спостерігають активний ріст *Staphylococcus aureus*. Це свідчить про те, що дана концентрація декаметоксину недостатня для забезпечення належного контролю як бактеріальної, так і грибкової стійкості нетканих матеріалів.

Таким чином, встановлено, що антимікробна дія розчинів декаметоксину є концентраційно залежною. При 0,02% вмісті діючої речовини спостерігають значне зменшення загальної мікробної контамінації, включаючи грибкові та бактеріальні компоненти. Використання декаметоксину у концентрації 0,01% дозволяє досягти часткового знезараження, головним чином проти бактерій, але є менш ефективним щодо грибкової мікрофлори.

Для детального дослідження взаємодії розчину декаметоксину з поверхнею волокон проведено спектральний аналіз зразків нетканих матеріалів після обробки розчинами декаметоксину. Вплив розчинів декаметоксину на структуру нетканих матеріалів досліджено за допомогою методів ІЧ-спектроскопії на ІЧ-Фур'є спектрометрі IRAffinity-1 (Shimadzu®, Японія), що наведено на рис. 4.

В результаті ІЧ-спектроскопії встановлено, що смуги зв'язаної абсорбованої води зміщені в область низьких частот, а також спостерігають зменшення їх інтенсивності внаслідок витягування ОН-груп.

Спектральний аналіз засвідчив, що целюлозні і поліестерні зразки містять первинні та вторинні -ОН групи, які мають максимумами приблизно рівної інтенсивності: 3856 см^{-1} – первинна -ОН та 3508 см^{-1} – вторинна -ОН, що здатні утворювати водневий зв'язок різної сили.

Первинні групи утворюють такий зв'язок швидше, однак він слабкіший за силою взаємодії, а вторинні групи – повільніше, але зв'язок сильніший. Завдяки водневим зв'язкам забезпечується здатність розчину декаметоксину добре сорбуватися та утримуватися на поверхні і всередині структури волокон.

SHIMADZU

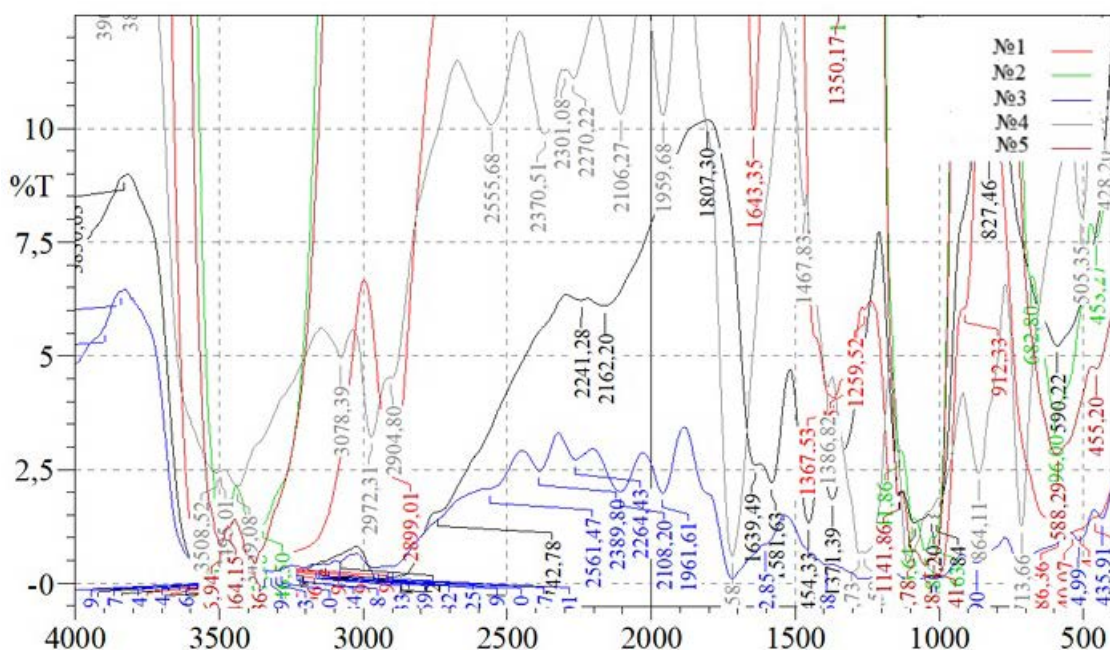


Рис. 5. Спектральний аналіз нетканних матеріалів

Зафіксувати безпосередньо наявність адсорбованих розчинів декаметоксину на волокнах методом ІЧ-спектроскопії складно, оскільки основні характеристичні смуги груп атомів компонентів суміші перекривають характеристичні смуги груп волокон.

Комплексне дослідження біотехнологічних підходів до створення інноваційних нетканних матеріалів з антимікробними властивостями показало, що зразки № 3, № 4 з високим вмістом поліестеру мають низку капілярність, а відповідно низьку ефективність проникнення антимікробних засобів в структуру матеріалів. Тому не рекомендовано для вибору основи інноваційних нетканних матеріалів з антимікробними властивостями.

Зразки № 1, № 2, № 5 продемонстрували високі значення капілярності, що пояснюють природною абсорбційною здатністю целюлозних волокон та добре розвинуеною пористою структурою полотна. Однак при дослідженні антимікробної стійкості зразка № 5 зафіксовано ріст *Staphylococcus aureus*, при всіх концентраціях антимікробної речовини.

Тому оптимальними матеріалами для створення інноваційних нетканних матеріалів з антимікробними властивостями є зразки № 1 та № 2. Використання 0,02 % розчину декаметоксину сприяє значному зменшенню загальної мікробної контамінації, включаючи грибові та бактеріальні компоненти. Використання 0,01 % розчину декаметоксину дозволяє досягти часткового знезараження, головним чином проти бактерій, але є менш ефективним щодо грибової мікрофлори.

Висновки. У результаті проведеного дослідження обґрунтовано доцільність застосування біотехнологічних підходів для створення інноваційних нетканних матеріалів з

антимікробними властивостями. Встановлено, що використання сучасних методів біомодифікації забезпечує формування стійкої антимікробної активності матеріалів.

Доведено ефективність методу просочення як технологічного способу функціоналізації нетканих полотен розчинами на основі декаметоксину. Визначено, що така модифікація сприяє рівномірному розподілу антимікробного агента на поверхні матеріалу, підвищує рівень пригнічення патогенної мікрофлори та забезпечує стабільність антимікробного ефекту.

Запропоновано технологію антимікробної обробки нетканих матеріалів методом просочення. Проаналізовано вплив біомодифікації на властивості нетканих матеріалів і підтверджено збереження їх структурної цілісності після антимікробної обробки. Встановлено перспективність використання декаметоксину як ефективного антимікробного компонента для створення медичних, санітарно-гігієнічних та спеціалізованих текстильних виробів із пролонгованою захисною дією.

Практичне значення отриманих результатів полягає у можливості впровадження запропонованих біотехнологічних рішень у виробництво інноваційних нетканих матеріалів підвищеної безпечності, біосумісності та функціональності. Отримані результати можуть бути використані для подальшого удосконалення технологій створення функціональних текстильних матеріалів із антимікробною дією.

References

Література

1. Tanasa, F., Teaca, C.-A., Nechifor, M., Ignat, M., Duceac, I. A., & Ignat, L. (2023). Highly specialized textiles with antimicrobial functionality – advances and challenges. *Textiles*, 3(2), 219–245. DOI: <https://doi.org/10.3390/textiles3020015>.
2. Textile Exchange (n.d.). Materials Market Report 2025. URL: <https://textileexchange.org/knowledge-center/reports/materials-market-report-2025/>.
3. Ramya, K. K., & Amutha, K. K. (2021). Eco-Friendly Wet Wipes – A Review. *ICATT 2021 – International Conference Advances In Technical Textiles* (pp. 60–66). Tamilnadu, India. URL: https://www.researchgate.net/publication/355522200_Eco-Friendly_Wet_Wipes_-A_Review.
4. Song, X., Vossebein, L., & Zille, A. (2019). Efficacy of disinfectant-impregnated wipes used for surface disinfection in hospitals: a review. *Antimicrob Resist Infect Control*, 8, 139. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13756-019-0595-2>.
5. Shahid-ul-Islam, Shahid, M., & Mohammad, F. (2013). Green chemistry approaches to develop antimicrobial textiles based on sustainable biopolymers – a review. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 52(15), 5245–5260. DOI: <https://doi.org/10.1021/ie303627x>.
6. Kuschevskiy, M. O., & Shvets, G. S. (2021). *Materialoznavstvo shveinoho vyrobnyctva* [Materials science of garment production: a textbook]. Kyiv: Condor. 412 p. [in Ukrainian].
7. Kaikobad, M., Mahmud, M. F., Sayam, A., Paul, S. C., Reza, M. A., Faruque, M. O., Apel, N. A., & Sarker, M. E. (2023). Evaluation of physical and mechanical characteristics of three-thread fleece knit fabric for their structural changes. *Heliyon*. 2023. Vol. 9.
1. Tanasa F., Teaca C.-A., Nechifor M., Ignat M., Duceac I.A., Ignat L. Highly specialized textiles with antimicrobial functionality – advances and challenges. *Textiles*. 2023. Vol. 3, No. 2. P. 219–245. DOI: <https://doi.org/10.3390/textiles3020015>.
2. Materials Market Report 2025. *Textile Exchange*. URL: <https://textileexchange.org/knowledge-center/reports/materials-market-report-2025/>.
3. Ramya K. K., Amutha K. K. Eco-Friendly Wet Wipes – A Review. *ICATT 2021 – International Conference Advances In Technical Textiles*. Tamilnadu, India, 2021. P. 60-66. URL: https://www.researchgate.net/publication/355522200_Eco-Friendly_Wet_Wipes_-A_Review.
4. Song X., Vossebein L., Zille A. Efficacy of disinfectant-impregnated wipes used for surface disinfection in hospitals: a review. *Antimicrob Resist Infect Control*. 2019. Vol. 8. Art. 139. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13756-019-0595-2>.
5. Shahid-ul-Islam, Shahid M., Mohammad F. Green chemistry approaches to develop antimicrobial textiles based on sustainable biopolymers – a review. *Industrial & Engineering Chemistry Research*. 2013. Vol. 52, No. 15. P. 5245–5260. DOI: <https://doi.org/10.1021/ie303627x>.
6. Кущевський М. О., Швець Г. С. *Матеріалознавство швейного виробництва: навчальний посібник*. К.: Кондор, 2021. 412 с.
7. Kaikobad M., Mahmud M. F., Sayam A., Paul S. C., Reza M. A., Faruque M. O., Apel N. A., Sarker M. E. Evaluation of physical and mechanical characteristics of three-thread fleece knit fabric for their structural changes. *Heliyon*. 2023. Vol. 9.

- fabric for their structural changes. *Heliyon*, 9, e21588. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e21588>.
8. Paraska, O., Nehorui, V., Gorban, A., & Buratowski, T. (2025). Analysis of the effectiveness of the application of the composition biosurfactants in technologies of antimicrobial treatment of fleece materials for military and civil purposes. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (6 (136)), 23–34. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2025.337901>.
9. Lourenço, M., Duarte, N., & Ribeiro, I. A. (2024). Exploring biosurfactants as antimicrobial approaches. *Pharmaceuticals*, 17(9), 1239. DOI: <https://doi.org/10.3390/ph17091239>.
10. Falk, N. A. (2019). Surfactants as antimicrobials: a brief overview of microbial interfacial chemistry and surfactant antimicrobial activity. *Journal of Surfactants and Detergents*, 22(5), 1119–1127. DOI: <https://doi.org/10.1002/jsde.12293>.
11. YURiA-PHARM (n.d.). Pharmaceutical group. URL: <https://www.uf.ua/>
12. Faustova, M., Ananieva, M., Loban, G., Chumak, Y., & Petrenko, R. (2021). Film-forming properties of *Streptococcus* spp. in the presence of antiseptics based on cationic surface-active compounds. *Current problems of modern medicine: Bulletin of the Ukrainian Medical Stomatological Academy*, 21 (3(75)), 218–221. DOI: <https://doi.org/10.31718/2077-1096.21.3.218>.
13. Reshma, A., Priyadarisini, V., & Amutha, K. (2018). Sustainable antimicrobial finishing of fabrics using natural bioactive agents – a review. *Int J Life Sci Pharma Res.*, 8(4), 10–20. DOI: <https://doi.org/10.22376/ijpbs/lpr.2018.8.4.L10-20>.
14. Paraska, O., Synyuk, O., Radek, N., Zolotenko, E., & Mychajlovskiy, Y. (2023). Usage of biosurfactants as environmental friendly detergents for textile products cleaning. *Fibres and Textiles*, 30(5), 42–51. DOI: <https://doi.org/10.15240/tul/008/2023-5-005>.
15. McKenna, P. P., Naughton, P. J., Dooley, J. S. G., Ternan, N. G., Lemoine, P., Banat, I. M. (2024). Microbial Biosurfactants: Antimicrobial Activity and Potential Biomedical and Therapeutic Exploits. *Pharmaceuticals*, 17(1), 138. DOI: <https://doi.org/10.3390/ph17010138>.
- Art. e21588. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e21588>.
8. Paraska O., Nehorui V., Gorban A., Buratowski T. Analysis of the effectiveness of the application of the composition biosurfactants in technologies of antimicrobial treatment of fleece materials for military and civil purposes. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2025. Vol. 4, No. 6 (136). P. 23–34. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2025.337901>.
9. Lourenço M., Duarte N., Ribeiro I. A. Exploring biosurfactants as antimicrobial approaches. *Pharmaceuticals*. 2024. Vol. 17(9). Art. 1239. DOI: <https://doi.org/10.3390/ph17091239>.
10. Falk N. A. Surfactants as antimicrobials: a brief overview of microbial interfacial chemistry and surfactant antimicrobial activity. *Journal of Surfactants and Detergents*. 2019. Vol. 22 (5). P. 1119–1127. DOI: <https://doi.org/10.1002/jsde.12293>.
11. YURiA-PHARM. Pharmaceutical group. URL: <https://www.uf.ua/>
12. Faustova M., Ananieva M., Loban G., Chumak Y., Petrenko R. Film-forming properties of *Streptococcus* spp. in the presence of antiseptics based on cationic surface-active compounds. *Актуальні проблеми сучасної медицини: Вісник Української медичної стоматологічної академії*. 2021. Т. 21, № 3 (75). С. 218–221. DOI: <https://doi.org/10.31718/2077-1096.21.3.218>.
13. Reshma A., Priyadarisini V., Amutha K. Sustainable antimicrobial finishing of fabrics using natural bioactive agents – a review. *Int J Life Sci Pharma Res*. 2018. Vol. 8 (4). P. 10–20. DOI: <https://doi.org/10.22376/ijpbs/lpr.2018.8.4.L10-20>.
14. Paraska O., Synyuk O., Radek N., Zolotenko E., Mychajlovskiy Y. Usage of biosurfactants as environmental friendly detergents for textile products cleaning. *Fibres and Textiles*. 2023. Vol. 30, № 5. P. 42–51. DOI: <https://doi.org/10.15240/tul/008/2023-5-005>.
15. McKenna P. P., Naughton P. J., Dooley J. S. G., Ternan N. G., Lemoine P., Banat I. M. Microbial Biosurfactants: Antimicrobial Activity and Potential Biomedical and Therapeutic Exploits. *Pharmaceuticals*. 2024. Vol. 17, № 1. Art. 138. DOI: <https://doi.org/10.3390/ph17010138>.

PARASKA OLGA

Doctor of Technical Science, Professor,
Department Chemistry and Chemical Engineering,
Khmelnyskyi National University, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-3803-0382>
Scopus Author ID: 56226918000
Researcher ID: HTR-2763-2023
E-mail: olgaparaska@khnmu.edu.ua

NEHORUI VITA

PhD student,
Department Chemistry and Chemical Engineering,
Khmelnyskyi National University, Ukraine
<https://orcid.org/0009-0003-9262-8689>
E-mail: nehoruyyv@khnmu.edu.ua

Andriy GORBAN

Doctor of Medical Science,
Department of Morphology and Public Health,
Petro Mohyla Black Sea National University, Mykolaiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-3023-3505>
E-mail: minf01@ukr.net

Olga PARASKA¹, Vita NEHORUI¹, Andriy GORBAN²

¹Khmelnyskyi National University, Ukraine

²Petro Mohyla Black Sea National University, Mykolaiv, Ukraine

**BIOTECHNOLOGICAL APPROACHES TO THE CREATION OF INNOVATIVE
NONWOVEN MATERIALS WITH ANTIMICROBIAL PROPERTIES**

Purpose. To substantiate and analyze biotechnological approaches for the development of innovative nonwoven materials with antimicrobial properties aimed at improving the safety and functional characteristics of finished products.

Methodology. The study is based on a comprehensive analysis of modern biotechnological methods for modifying nonwoven fabrics and physicochemical methods for evaluating the structure and properties of materials. The dip-impregnation method was applied as a technological approach for the biomodification of nonwoven materials using antimicrobial agents based on decamethoxin. The research involved the analysis of scientific literature, structural and functional assessment of materials, as well as methods for determining the antimicrobial activity and stability of modified surfaces.

Findings. Studies have shown that the use of biotechnological methods for modifying nonwoven materials contributes to the formation of stable antimicrobial properties. It was established that the use of the dot impregnation method with decamethoxin-based compositions ensures a uniform distribution of the antimicrobial agent on the surface of the material and increases the effectiveness of inhibiting pathogenic microflora.

Originality. The study substantiates biotechnological approaches to the functionalization of innovative nonwoven materials using antimicrobial agents and determines the role of decamethoxin in the formation of stable antimicrobial structures. The feasibility of biomodification of nonwoven materials to enhance their biocidal activity without compromising their performance properties has been confirmed.

Practical value. Biotechnological approaches to the creation of innovative sanitary and hygienic products, specialized nonwoven materials, medical materials with prolonged antimicrobial action are systematized. The proposed solutions contribute to improving the safety, biocompatibility, hygienic properties, and functionality of modern nonwoven materials.

Keywords: nonwoven materials; biotechnological approaches; antimicrobial properties; decamethoxin; wet wipes.