



UDC 661.17+677.017.8

BIOCIDAL PROTECTION OF TEXTILE MATERIALSDaria S. Kachuk^{*1}, Elena V. Mishchenko², Elena A. Venger², Tatiana A. Popovych³¹Mykolayiv National Agrarian University, 9 Georgiy Gongadze Str., Mykolayiv, 54020, Ukraine²Kherson National Technical University, 24 Berislavske shose, Kherson, 73008, Ukraine³Kherson State University, 27 University Str., Kherson, 73003, Ukraine

Received 16 August 2021; accepted 2 May 2022, Available online 25 July 2022

Abstract

An overview of the scientific literature on the provision of biocidal protection to textile materials intended for the creation of clothing has been made. The range of biocidal preparations used to produce textile materials with antibacterial properties was reviewed. At the same time, attention is paid to natural compounds as the most meeting the requirements for biocides for textile materials. Peculiarities of pectins and lignin as biocidal compounds are defined. Methods which can be used to provide increased resistance of biocidal effect on textile materials are proposed. For water-insoluble biocides, the method used in pigment technologies is acceptable, namely, fixing the biocide on the surface of the fabric with a suitable polymer film, which is formed directly on the textile material during its treatment with the biocide. The use of metal compounds capable of complexing may be acceptable for fixing water-soluble biocides. The metal can form a bond with both the biocide molecule and the fiber polymer, so it is able to act as an intermediary in linking the biocide with the fiber polymer. At the same time, complexes of the polymer fiber-metal-biocide composition can be formed, in which the biocide will act as an organic ligand, due to which the textile material becomes a carrier of biocidal properties.

Keywords: textile material; biocidal compound; pectin; lignin; complex formation; nanoparticle.

БІОЦИДНИЙ ЗАХИСТ ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВДар'я С. Качук¹, Олена В. Міщенко², Олена О. Венгер², Тетяна А. Попович³¹Миколаївський національний аграрний університет, вул. Георгія Гонгадзе, 9, Миколаїв, 54020, Україна²Херсонський національний технічний університет, Бериславське шосе, 24, Херсон, 73008, Україна³Херсонський державний університет, вул. Університетська, 27, Херсон, 73003, Україна**Анотація**

Зроблено огляд наукової літератури з надання біоцидного захисту текстильним матеріалам, призначеним для створення одягу. Оглянуто асортимент біоцидних препаратів, що використовуються для одержання текстильних матеріалів з антибактеріальними властивостями. Увагу приділено таким природним сполукам, що найбільше відповідають вимогам щодо біоцидів для текстильних матеріалів. Визначено особливості пектинів і лігніну як біоцидних сполук. Запропоновано методи, що можуть бути використані для забезпечення підвищеної стійкості біоцидного ефекту на текстильних матеріалах. Для нерозчинних у воді біоцидів прийнятним є метод, що застосовується у пігментних технологіях, а саме закріплення біоциду на поверхні тканини відповідною полімерною плівкою, яку формують безпосередньо на текстильному матеріалі в процесі його оброблення біоцидом. Для закріплення розчинних у воді біоцидів прийнятним може бути використання сполук металів, здатних до комплексоутворення. Метал може утворити зв'язок як з молекулою біоциду, так і з полімером волокна, тому здатен виконати роль посередника у зв'язку біоциду з полімером волокна. У процесі можуть формуватися комплекси складу полімер волокна – метал – біоцид, в яких біоцид виконуватиме роль органічного ліганду, завдяки якому текстильний матеріал стає носієм біоцидних властивостей.

Ключові слова: текстильний матеріал; біоцидна сполука; пектин; лігнін; комплексоутворення; наночастинка.

^{*}Corresponding author: e-mail address: daria_kachuk@ukr.net

© 2022 Oles Honchar Dnipro National University;

doi: 10.15421/jchemtech.v30i2.238977

Вступ

У теперішній час рівень негативних факторів оточуючого середовища, що впливають на людину, багаторазово зріс, відповідно до чого підвищується потреба в текстильних матеріалах (ТМ) з біоцидними властивостями, а отже і актуальність створення технологій захисних обробок текстильних матеріалів [1–4]. Біоцидна обробка ТМ – це обробка останніх біоцидними препаратами, до якої відносять антимікробну, протигрибкову, репелентну, протигнилісну та протиалергенну обробки. Тканини з антимікробною і протигрибковою обробками на сьогодні є найбільш затребуваними з боку споживачів [1; 5–9].

Як біоцидні препарати для надання тканинам антимікробних і протигрибкових властивостей використовують органічні сполуки і неорганічні речовини, які мають такі властивості [1; 5; 6; 10–16]. Серед сполук, здатних надавати тканинам біоцидної активності, увагу, зокрема, привертають природні вуглеводи, а саме гетерополісахариди, що містяться в рослинній сировині: фруктах, овочах, стеблах і кошиках соняшнику та інших рослинах [17–19].

Однак, незважаючи на високу потребу в тканинах з біоцидними властивостями, систематичні дослідження в цій галузі в Україні практично не проводяться, чого не можна відмітити для країн Європи, США, Південно-Східної Азії [1; 5; 6]. Навпаки, у багатьох розвинутих країнах застосування біоцидних засобів для текстилю поряд із засобами особистої гігієни є стандартом [20; 21]. Треба відмітити, що на теперішній час внесок щодо дослідження біоцидного захисту текстильних матеріалів зробили українські вчені, серед яких Супрун Н. П., Качан Р. В., Андрєєва О. А. та інші [22; 23]. Оригінальну роботу виконано в Херсонському національному технічному університеті, результатом якої є технологія застосування хромоформуючого протигрибкового препарату для надання панчішно-шкарпетковим виробам антимікробного ефекту одночасно з фарбуванням виробів [24–26].

Поява резистентних штамів мікроорганізмів, зростання рівня несприятливих зовнішніх факторів, збільшення штамів збудників грибкових захворювань і розповсюдження мікотичних інфекцій веде до збільшення частоти

інфікованості населення і потребує з боку держави проведення інтенсивних дій у справі захисту людини, інтенсифікації наукових досліджень та підвищення їх результативності.

У зв'язку з викладеним вище виникає необхідність здійснити узагальнення даних про органічні і неорганічні речовини, які мають біоцидні властивості, основні вимоги до препаратів, що можуть забезпечити текстильним матеріалам біоцидний захист, сформулювати теоретичні засади щодо шляхів підвищення стійкості біоцидного ефекту на текстильних матеріалах до зовнішніх впливів.

Біоцидні препарати. При виборі препаратів з антибактеріальними властивостями керуються основними вимогами, що висуваються до останніх, а саме: екологічність [27], активність, сумісність з іншими компонентами композицій. Основна увага приділяється екологічному фактору, оскільки останній визначає безпечність одягу і сумісність зі шкірою людини.

Серед неорганічних речовин широко використовують сполуки металів: срібла, міді, цинку та інших [28]. За допомогою срібла надають тканинам антимікробні властивості відносно широкого спектру мікроорганізмів: стафілококів, стрептококів, мікрококів, коринебактерій і бактерій роду *Bacillus* [29; 30].

Сполукам срібла приділяється найбільша увага [23; 31; 32], оскільки вони мають широкий спектр антимікробної активності і позбавлені недоліків, характерних для інших препаратів, до яких патогенні мікроорганізми проявляють резистентність [33]. З розвитком нанотехнологій увага дослідників до сполук срібла зросла [34]. У формі наночастинок срібло характеризується великою питомою площею поверхні, що забезпечує збільшення області контакту з бактеріями, підвищує антимікробну дію срібла і зменшує його «робочу» концентрацію за збереження бактерицидних властивостей [31; 35; 36].

Автори роботи [23] методами енергодисперсійного спектроскопічного хімічного аналізу та інфрачервоної спектроскопії провели дослідження структури і поверхневих змін в матеріалах, оброблених наночастинами срібла. Авторами показано, що срібло у субстратах перебуває не в іонному стані, а в дисперсному, тобто стан срібла на волокні є металічний.

Автори не зафіксували ані фізичних, ані хімічних зв'язків між сріблом і волокнами.

Але за даними [37–39] та інших авторів застосування наночастинок срібла є небезпечним для людини. Наночастинки срібла за даними Завгороднього [37] зберігають токсичні властивості протягом тривалого часу. Токсичну дію мають і наночастинки міді. Автори зазначають, що наночастинки і супутні їм шкідливі домішки із нанотекстилю при потрапленні в організм людини можуть обумовлювати захворювання легенів, печінки, нирок, центральної нервової системи, шлунково-кишкового тракту та інших органів.

На думку авторів Галика І. С. та Семака Б. Д. [38], видається доцільним і своєчасним створення і затвердження міжгалузевого Державного стандарту України «Безпека нанотекстилю і одягу», гармонізованого з вимогами міжнародних стандартів.

Виражену антибактеріальну дію має мідь, яку використовують у вигляді наночастинок купрум (II) оксиду за концентрації 0.1–0.5 мг/мл. Солі міді як d-металу, здатного до комплексоутворення, використано у науковій розробці технології водовідштовхувального оброблення камуфляжних тканин, що є ефективною з точки зору забезпечення високої якості ефекту водовідштовхування, матеріалоемності технології та її енергоемності [40]. Подальші дослідження з встановлення ролі металу у даній розробці дозволили виявити його позитивний вплив на надання тканині поряд з водовідштовхувальним ефектом одночасно антимікробних властивостей [41]. Також досліджено вплив солі міді у порівнянні з сіллю цинку.

Методами для немігруючих біоцидних препаратів оцінено антимікробну і антибактеріальну активність тканин після оброблення відносно наступних мікроорганізмів: *Staphylococcus aureus* (золотистий стафілокок) та *Escherichia coli* (кишкова паличка). Встановлено значне зниження динаміки росту мікроорганізмів на зразках тканини, що оздоблювалася у присутності солі міді.

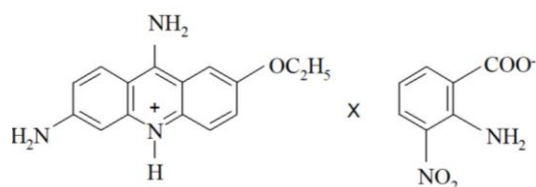
Серед органічних сполук застосування знаходять такі сполуки як ацетилсаліцилова кислота, кислота гіалуронова, індометацин, фурагін, діоксидин, хлоргексидин, димексид, фталоціаніни та їх комплекси з металами.

Останні сполуки заслуговують на увагу текстильників, оскільки фталоціаніни використовують у процесах забарвлення текстильних матеріалів.

У процесі фарбування тканин пігментами з метою забезпечення стійкості забарвлення використовують фталоціаніни та їх комплекси з металами, а саме пігменти фталоціаніновий блакитний та фталоціаніновий яскраво-зелений. Проти інших пігментних барвників ці барвники забезпечують високу стійкість забарвлення завдяки наявності у їх структурі атому Купруму, що є здатним до утворення координаційних зв'язків, за рахунок чого і підвищується стійкість забарвлення [42]. Разом з цим відомо, що зазначений метал надає тканинам антибактеріальних властивостей. Отже, можна очікувати, що застосування фталоціанінових барвників для фарбування тканин може надати їм одночасно і антибактеріальну активність. Спосіб одночасного фарбування і надання текстильним матеріалам антимікробної активності може мати значення і становити інтерес для такого асортименту як одягові тканини, ТМ з покриттям, палаткові, для забарвлення яких широко застосовуються пігментні технології фарбування.

Можливість обрати для фарбування відповідного асортименту тканин барвники з бактерицидними властивостями показано у статті [43] на прикладі фарбування внутрішніх деталей взуття, що постійно контактують з мікроорганізмами. Проведено порівняльну оцінку бактерицидних властивостей трьох барвників: брильянтового зеленого, фуксину та метиленового синього. Оцінку якості антимікробної обробки після фарбування проводили за визначенням величини затримки росту мікроорганізмів на живильному агарі навколо зразка шляхом вимірювання відстані від краю до межі росту мікроорганізму. У пошуках якісних протигрибкових препаратів і під час вивчення біологічної активності хімічних сполук було названо групу акридинових сполук, що мають антимікробні і протигрибкові властивості.

У роботі [24] було досліджено і обґрунтовано застосування 6,9-діаміно-2-етоксіякridинію-3-нітроантранілату (препарату 102-СГ) для протигрибкової обробки волокнистих матеріалів:



Сполука здатна впливати на епісомальні генетичні елементи патогенних грибів і бактерій та містить у структурі кислотний залишок 3-нітроантранілової кислоти, що сприяє зниженню токсичності препарату. Препарат одночасно ідентифіковано як дисперсний барвник, оскільки він містить хромофорну частину і здатен забарвлювати волокнисті матеріали зі стійким

забарвленням. Цей препарат запропоновано для одночасного фарбування і антисептичної обробки.

У роботі [25] показано, що препарат забезпечує стійкість біоцидного ефекту до фізико-механічних дій навіть після десятого прання, оскільки як барвник він має спорідненість до волокна. Автори розраховали такі термодинамічні показники процесу фарбування як спорідненість, теплота та ентропія і встановили, що за одержаними величинами показників біоцид з фарбувальними властивостями може бути визначений одночасно і як дисперсний барвник (табл.).

Table
Thermodynamic characteristics of dyeing of polyamide fiber with biocidal product 102-SG in comparison with disperse dyes

Таблиця

Термодинамічні характеристики фарбування поліамідного волокна біоцидним препаратом 102-СГ у порівнянні з дисперсними барвниками

Dyes	Dyeing temperature, °C	Thermodynamic characteristics Affinity to fiber, $\Delta\mu^0$, kJ/mol	Thermal effect, ΔH^0 , kJ/mol
Disperse yellow G	60	50.3	41.3
	95	52.2	
Dispersed blue K	60	20.3	15.6
	95	21.8	
Preparation 102-SG	60	42.7	36.6
	95	43.3	

Отже, за допомогою такої характеристики як спорідненість до волокна, можна зробити і висновки щодо стійкості біоцидного ефекту.

В останній час у якості біоцидів для тканин пропонують композити різного складу. Так, пропонуються композити водорозчинних полімерів (полівінілпіролідону, метилцелюлози, карбоксиметилцелюлози та інших естерів целюлози) з похідними порфірину та їх металокомплексами, зокрема з цинком. Полімери, модифіковані цинковим комплексом порфірину, є активними щодо грам-позитивних і грам-негативних штамів бактерій і грибів роду *Candida* та інактивують їх.

Хітозан широко використовується як біологічно активний природний полімер [44–48]. Це полісахарид, що має бактерицидні і протигрибкові властивості і здатний закріплюватися на натуральних волокнах без додаткових речовин. Його властивості як бактерициду для тканин значно посилюють додаванням до апретів на основі хітозану цинк (II) оксиду. Водночас вирішено проблему одержання ультратонких дисперсій ZnO – хітозан-композитів.

Хітозан використовують для іммобілізації на ТМ лікарських речовин для одержання текстильних виробів медичного призначення.

Світовим лідером з розробки та випуску біоцидних речовин для текстилю є швейцарська фірма Sanitized AG, в асортименті якої є препарати як на основі неорганічних речовин, так і органічних сполук – біоцидів. Найбільш поширеним біоцидним препаратом є триклозан, який вперше було випущено в 1965 році фірмою Ciba. Препарат має широкий спектр дії і різні області застосування.

Триклозан – 5-хлоро-2-(2,4-дихлорофеноксифенол) – є нетоксичним, не канцерогенним продуктом, не акумулюється в органах і тканинах, не викликає мутагенних змін і сьогодні дозволений до застосування у багатьох країнах світу та широко використовується при виробництві косметичних засобів. Однак є побоювання, що він може вступати у додаткову реакцію з хлором, який міститься у воді, виділяючи при цьому хлороформ, а також утворювати отруйний діоксин [49]. Проте ці побоювання стосуються триклозану в косметичних

засобах. Триклозан, що використовується для оброблення ТМ, перманентно закріплюється на волокні і знаходиться на ньому у значно меншій концентрації, ніж у косметичних засобах, витримуючи до 20 прань. Практично триклозан на шкіру людини з виробу не переходить і не впливає на неї, створюючи при цьому захисний бар'єр на шляху мікроорганізмів. Це основна перевага препарату, яка забезпечується способом фіксації триклозану на волокні. Препарат утворює з полімером волокна ТМ ковалентний зв'язок, закріплюючись на поверхні волокна вертикально і створюючи патогенним бактеріям бар'єр на шляху з оточуючого середовища до шкіри людини.

Для текстилю рекомендують Санітайзед Т 96-21 на основі триклозану. Цей препарат володіє широким спектром дії. Пропонується також препарат на основі четвертинної амонійної сполуки кремнію – Санітайзед Т 99-19 для обробки тканин для пошиття верхнього одягу, робочого і професійного, а також трикотажних виробів. Препарат забезпечує антимікробний і протигрибковий захист. Санітайзед Т 99-19 може бути застосований для тканин із поліестеру, якщо їх попередньо модифікувати розчином карбаміду. Також фірмою Sanitized AG пропонується препарат на основі срібла – Санітайзед Т 25-25 для обробки тканин, з яких виготовляють спортивний одяг, одяг для відпочинку, для роботи в медичних закладах та закладах харчової промисловості, білизну, шкарпетки.

Пектин і лігнін як біоцидні сполуки. У літературі наводять відомості про антибактеріальні і лікувальні властивості полісахаридів і лігніну, які є супутниками целюлози бавовняного і лляного волокон [50].

Пектин знаходить широке застосування у медицині, оскільки нешкідливий, нетоксичний, володіє вираженим бактерицидним ефектом [17]. Однак в медицині він переважно знаходить застосування для отримання лікувальних засобів разового використання – бактерицидний пластр, марлеві пов'язки, аплікатори. Для цих потреб пектин використовують у вигляді гідрогелю.

Під впливом пектинів знижується дія гнилісних бактерій в кишечнику та відбувається детоксикація, під час якої адсорбуються екзо- і ендогенні отрути [51].

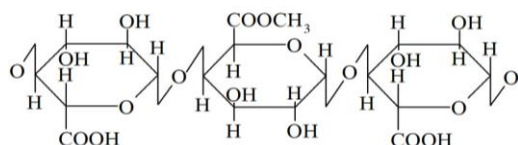
На даний час завдяки здатності пектину проявляти протизапальні, антиалергенні, антимікробні властивості вчені проводять інтенсивні пошуки нетрадиційних джерел сировини для отримання пектину. Останнім часом показано, що у деяких трав'янистих рослин вміст пектину сягає 20 %. Це свідчить про те, що використання пектину має перспективу і з точки зору сировинної бази, яка не вимагає спеціального синтезу біоциду і надає йому перевагу з екологічної точки зору.

Текстильна промисловість може запропонувати відходи лляного волокна – кострицю, пачоси, вміст пектину в яких сягає 6 %. Молярна маса такого пектину складає приблизно 15000-20000 г/моль.

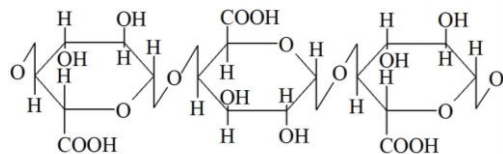
Основний обсяг виробництва пектинів складає десятки тисяч тон і припадає на компанії «CP Kelco» (США), «Herbstreith & Fox» (Німеччина), «Degussa» (Франція), «Danisco», «Citrico» (Іспанія), «Unipektin», «Obipektin» (Швейцарія), які виробляють повний спектр класичних яблучних і цитрусових пектинів, комбінованих пектинів і розчинних, які використовують у харчовій промисловості, медицині та фармації. Незважаючи на великий тоннаж виробництва пектинів у світі і значне щорічне зростання обсягів їх виробництва (3–3.5 %), потреба країни в пектині повною мірою сьогодні не задовольняється, а, враховуючи стійке зростання попиту на цей продукт і розширення галузей використання пектинів, в останній час можна відмітити дефіцит цих продуктів в Україні. Проте ми можемо віднести пектини до перспективних сполук для медичної і фармацевтичної галузей, а також для біоцидного захисту текстильних матеріалів, оскільки маємо в країні значну сировинну базу для випуску пектину, в тому числі за рахунок вторинних ресурсів (стебла і кошики соняшнику, вичавки плодів і овочів та інше).

Кожен пектин являє собою суміш молекул з різною довжиною ланцюга та різним складом залежно від сировини та способу отримання. Основою хімічної будови пектинів є полімери α -D-галактуранової кислоти, ланки якої сполучені α -1,4 зв'язками [52]. Це так звані кислі пектини. Вміст галактуранової кислоти в пектині для фармацевтичних і медичних препаратів має становити не менше 74 %.

Кислі пектини поділяють на дві групи, а саме, пектинові кислоти загальної формули:



і пектові кислоти:



У пектинових кислотах частина кислотних ланок існує у вигляді метилового естеру, у пектових кислотах естерні групи в кислотних ланках відсутні. Кількість естерних груп в пектинових кислотах може бути різною: від 30 до 80 % від кількості ланок галактуранової кислоти. У медичній галузі застосовують пектини з високим (68–78 %) і низьким (38–44 %) ступенем естерифікації. Частина гідроксильних груп біля другого й третього атомів Карбону може бути ацетильована, а частина естерних груп біля шостого атому Карбону може існувати у формі амідів (після відповідної хімічної модифікації). Масова частка пектинових речовин у рослинах може коливатися у межах 0.1–50 %. Окрім полімерів на основі α -D-галактуранової кислоти до складу пектинів входять нейтральні полісахариди – гомоглікани, на кшталт D-галактанів та L-арабінанів.

Універсального сорту пектину, який міг би застосовуватися у різних виробництвах, не існує. Для кожної галузі випускають пектини з вимоговими з боку споживача показниками та з відповідної сировини, що може забезпечити необхідні показники. Технології отримання пектину принципово відрізняються одна від одної.

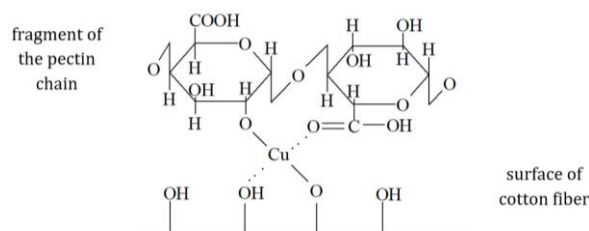
До основних показників відносяться: молекулярна маса, метоксильне число, ацетильне число, розчинність у воді, в'язкість золю, здатність до гелеутворення, яка є найважливішою властивістю пектинів. Велике значення для здатності пектину до гелеутворення має метоксильне число (не нижче 7 %). Від нього також залежить розчинність пектину у воді. Навпаки, ацетильні групи мають негативний вплив на гелеутворення, тому їх вміст для пектину обмежений до 1 %.

Кожна галузь виробництва висуває конкретні вимоги для пектинів і, якщо для таких галузей, як харчова (кондитерські вироби, консерви, молочні продукти),

косметично-лікувальна та медична основні вимоги до пектинів визначені, то для застосування їх в текстильній галузі цю роботу ще треба здійснити, враховуючи водночас економічну доцільність.

До переліку характерних властивостей пектину треба додати його здатність до комплексоутворення. Комплексоутворююча здатність (КЗ) пектину визначається кількістю міліграмів іонів металу, яку зв'яже 1 г пектину. Цей показник залежить від первинної структури пектину, природи металів та рН середовища [51]. Така властивість пектину може використовуватися для забезпечення стійкості антимікробного ефекту, одержаного цією сполукою на текстильному матеріалі.

Можна очікувати, що за умови використання пектину разом із солями металів на целюлозному волокні можуть бути сформовані стійкі комплекси такої загальної будови:



Утворення таких комплексів сприятиме утриманню пектину на поверхні виробу, а отже і стійкості біоцидного ефекту.

Таким чином, можна зробити наступний висновок з огляду відомостей про будову, властивості та застосування пектину. Пектин відповідає всім вимогам біоцидних речовин, придатних для антисептичної обробки тканини:

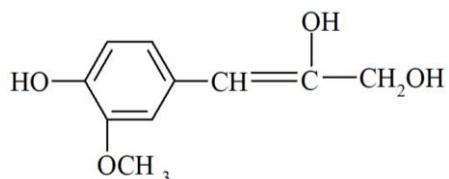
- має біоцидні властивості;
- сумісний з целюлозою бавовни і льону, являючись природним супутником целюлози;
- є екологічно чистою сполукою, сумісною зі шкірою людини.

До цих факторів слід додати те, що пектин має перспективну сировинну базу для виробництва, а також має комплексоутворюючі властивості, що може забезпечити отримання стійкого антимікробного ефекту тканини, тобто за його допомогою може бути вирішена одна з основних задач дослідження: забезпечення стійкості ефекту. Отже, пектини заслуговують на увагу текстильників щодо їх застосування

у технологіях надання тканинам біоцидного ефекту.

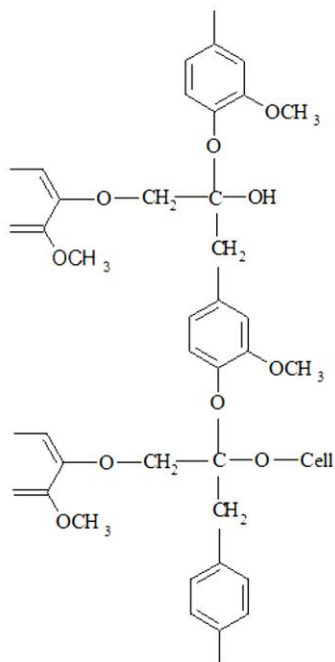
Другою речовиною, що має повернути увагу текстильників, є лігнін.

Лігнін, як пектин, текстильникам знайомий як домішка целюлози бавовни та льону, що утворюється в рослині в процесі її росту. Лігніном називають комплекс ароматичних речовин, близьких за будовою, що є похідними фенолпропану. Основною структурною ланкою лігніну є β -оксиконіфериловий спирт:



У технологічному плані текстильники під лігніном розуміють частину льняного волокна, що не гідролізує в концентрованій сульфатній кислоті. Припускається, що лігнін відноситься до високомолекулярних сполук, що мають тривимірну структуру. У структурі лігніну є такі функціональні групи як метоксильні, гідроксильні, спиртові, фенольні, відмічається також наявність ацетальних зв'язків і зв'язків типу етерів.

На основі вивчення продуктів розпаду лігніну Шоригін П. П. запропонував наступну формулу полімерної речовини лігніну, в якій залишки β -оксиконіферилового спирту сполучені між собою етерними і напівацетальними зв'язками:



У формулі показано можливість включення у комплекс вуглеводів, наприклад, целюлози.

Відмічається велике технічне значення реакції сульфитування лігніну, яка відбувається при обробці лігніновмісних речовин натрій бісульфітом і призводить до утворення розчинних лігнінсульфонової кислот.

Очевидно, що ту біологічну активність і ті біоцидні властивості, які приписують лляному волокну, зазначаючи його унікальні властивості, можна пояснити наявністю в його складі пектину і лігніну як супутників целюлози [18; 19]. Вміст лігніну у льоні сягає 5.5 %, кількість пектину – 3.7 %. Вміст цих сполук у лляному волокну може коливатися залежно від ступеня дозрілості волокна, місця зростання, сорту.

Забезпечення стійкості біоцидного ефекту на тканині. Ефект, одержаний від обробки текстильного матеріалу біоцидними препаратами, має обмежену стійкість і в багатьох випадках зникає вже після першого прання одягу. Для медичного текстилю здебільшого цей фактор значення не має, оскільки текстильна продукція медичного призначення частіше за все є одноразовою, тобто є витратним матеріалом. На відміну від медичного, одяговий текстиль, якому надають в процесі його опорядження нові властивості, повинен їх зберігати протягом тривалого часу, тобто біоцидний ефект повинен бути стійким до прання одягу, тертя, витирання та впливів інших факторів. Відповідно до цих вимог в процесі розробки технології біоцидної обробки тканин однією з основних задач є забезпечення стійкості досягнутого ефекту антибактеріальної активності тканини [53]. Стійкість одержаного ефекту залежить від стану молекул біоциду або його частинок на волокну та ступеня зв'язування молекули біоциду з полімером волокна, що визначається типом зв'язків між ними.

Біоциди здатні утворювати з волокном як фізичні зв'язки, так і хімічні. Залежно від типів зв'язків між волокном і біоцидом антимікробні препарати поділяють на мігруючі і немігруючі. Мігруючі препарати не мають хімічних зв'язків з волокном і вільно переміщуються по поверхні волокна та з волокна в оточуюче середовище, тому не можуть забезпечити високу стійкість ефекту. Немігруючі препарати, навпаки, міцно закріплюються на волокну, оскільки здатні утворити хімічні зв'язки з останнім.

Тип зв'язку біоциду з волокном і здатність до міграції є важливим показником його придатності для оброблення текстильного матеріалу. Показник здатності біоциду до міграції важливий також тому, що він визначає метод дослідження для оцінки якості біоцидної обробки.

Визначення ролі типу зв'язку біоциду з волокном у забезпеченні стійкості біоцидного ефекту на тканині дозволяє визначитися зі шляхами підвищення цього показника. Цю задачу треба сформулювати наступним чином: забезпечити у ході технології обробки тканини біоцидом утворення більш стійкого зв'язку між ним і волокном.

Для вирішення цієї задачі найбільш придатним способом є застосування солей металів, здатних до комплексоутворення. Метал може утворити зв'язок як з молекулою біоциду, так і полімером волокна, тому здатен виконати роль посередника у зв'язку біоциду з полімером волокна. Нижче, на Схемі 1, показано можливий зв'язок біоцидного препарату хлоргексидину, що є активним до грам-позитивних і грам-негативних аеробних і анаеробних бактерій з целюлозним волокном, на поверхню якого нанесено сіль цинку:

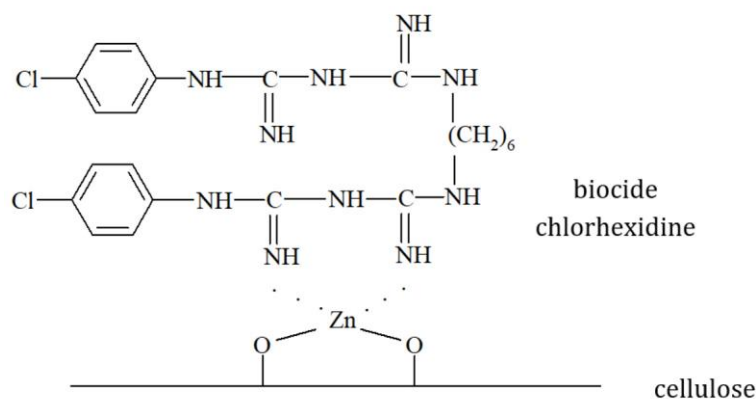


Схема 1. Можливий зв'язок хлоргексидину з целюлозним волокном, на поверхню якого нанесено сіль цинку
Scheme 1. Possible connection of chlorhexidine with cellulose fiber on the surface of which zinc salt is applied

Утворюється комплекс складу полімер волокна – метал – біоцид. У запропонованій Схемі 1 хлоргексидин виступає в ролі органічного ліганда, який має біоцидні властивості і завдяки якому тканина стає носієм цих властивостей. При застосуванні, наприклад, солі міді, може відбутися не тільки підвищення стійкості ефекту, але і його біоцидної активності.

Другий спосіб забезпечення стійкості ефекту біоактивності волокна можна сформулювати з позицій колоїдної хімії як створення на поверхні тканини дисперсної системи типу Т/Т, в якій біоцид виконує роль дисперсної фази, а роль дисперсійного середовища належить полімерній плівці, сформованій на тканині полімерною дисперсією, застосованою разом з біоцидом. Для цього можуть бути використані водні полімерні дисперсії, емульсії та розчини, які формують в процесі оброблення ТМ біоцидом полімерну плівку в процесі сушіння

просоченої розчином чи дисперсією полімеру тканини [54]. Формується комплекс, загальну схему утворення якого можна представити Схемою 2.

На стадії просочення дисперсією полімеру тканина адсорбує частинки полімеру одночасно з біоцидом. В утвореному комплексі плівка адгезійно зв'язана і утримується поверхнею тканини, а біоцид, як дисперсна фаза, розподілений в об'ємі плівки у вигляді колоїдної суспензії, що достатньо міцно утримується на поверхні текстильного матеріалу плівкою.

Коефіцієнт дифузії біоцидів з полімерної плівки визначається порядком 10^{-12} см²/с, тобто дифузія характеризується малою швидкістю. Завдяки невисокій швидкості дифузії антимікробних препаратів з полімерного матеріалу текстильний матеріал набуває стійкі антимікробні властивості і тривалу біологічну активність.

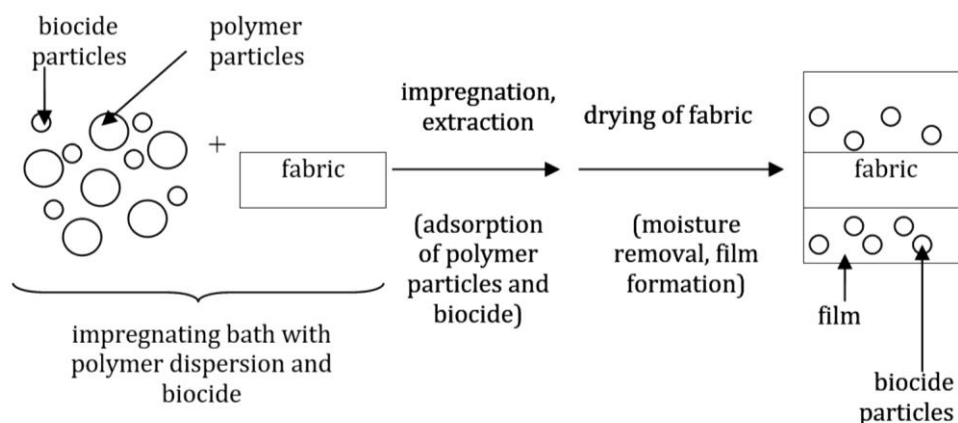


Схема 2. Процес формування стійкого ефекту біоактивності волокна закріпленням біоциду на поверхні тканини полімерною плівкою

Scheme 2. The process of forming a sustainable effect of fiber bioactivity by fixing the biocide on the surface of the fabric with a polymer film

Очевидно, що швидкість дифузії з плівок, сформованих різними типами полімерів, буде різною, оскільки залежатиме від ступеня спорідненості біоциду до полімеру, густини полімеру, поруватості плівки, тобто від ступеня проникності полімерної плівки. Тому до переліку задач, які треба вирішити, повинні бути включені задачі визначення, який з полімерів є найбільш придатним для суміщення з біоцидною обробкою, та забезпечення необхідної проникності плівки.

У процесі експлуатації одягу з антибактеріальною обробкою біоцидний препарат буде видалятися з її поверхні, порушуючи рівноважний тиск парів на поверхні і всередині полімеру. Порушення рівноваги викликає міграцію біоциду до поверхні до відновлення рівноваги. У результаті цих процесів буде знижуватися біоцидна активність текстильного матеріалу і захисний ефект одягу.

Відповідно, якість біоцидної обробки тканин повинна оцінюватися після їх тривалої експлуатації. Показником якості обробки є кількість прань, протягом яких ефект зберігається.

Спосіб закріплення біоциду шляхом формування на поверхні тканин дисперсних систем з полімеру та біоциду є технологічним, оскільки може бути реалізований за типовою технологією апретування тканин полімерами. Фізико-хімічні і технологічні параметри процесів апретування тканин полімерами і біоцидної обробки співпадають.

При виборі типу полімерної дисперсії для суміщеного способу обробки тканин полімером і біоцидом необхідно враховувати властивості полімерної плівки. Полімерний матеріал повинен бути біологічно інертним,

достатньо міцним, мати активні функціональні групи, на яких можлива іммобілізація молекул біоциду. Для цього може бути здійснена модифікація полімеру. Волокна, що використовують для створення одягових тканин, такої модифікації у своїй більшості не потребують, оскільки виготовляються, головним чином, з бавовни, вовни, льону, що мають у своїх макромолекулах такі активні функціональні групи як -ОН, -COOH, -NH₂, угруповання -NH-CO- та інші.

У медичних цілях використовують тканини та неткані матеріали з синтетичних волокон, як наприклад, поліпропілен, поліакрилове волокно. Вони потребують модифікації, яка може бути здійснена за відомими у хімічній технології волокнистих матеріалів методами хімічного окиснення та термоокиснення, введення металів, що здійснюється в процесі формування волокна.

Під час створення медичного текстилю введення антибактеріальних і протигрибкових препаратів здійснюють безпосередньо у полімерну матрицю [55; 56]. Полімерні матриці в такому випадку використовують як системи доставки препарату [57; 58]. Широко використовуються як наноматриці полімери природного походження [56]. Відмічають такі їх переваги: сумісність з біологічними тканинами, здатність до біодеструкції, нетоксичність [59]. Особливо відзначають циклодекстрин, який є універсальною матрицею для багатьох препаратів, та його комплексоутворюючу здатність, спроможність до прискорення або уповільнення виділення препаратів [60–62]. Тобто спосіб використання препаратів у

полімерних матрицях дає змогу регулювати швидкість дифузії препарату та визначати термін його дії.

Способи нанесення препаратів. Обробка тканин біоцидами не є складною.

Біоцидну обробку суміщають з апретуванням тканин полімерами, тобто з процесом заключної обробки тканин, що здійснюється для нанесення на текстильні матеріали апретів, надання останнім товарного вигляду, певного грифа, надання ТМ спеціальних властивостей і підвищення зносостійкості [59]. Основними компонентами апретів частіше за все виступають полімери і передполімери. Отже, в апреті суміщають полімери різних типів з антисептичними препаратами.

При неперервному способі тканину просочують розчином апрету, віджимають до 80 % приросту ваги, після чого сушать за температури 80 °С. Висушену тканину за необхідності піддають термообробці протягом 3-5 хвилин за температури 150 °С.

Процес здійснюється також періодичним способом.

Біоцидний препарат може бути нанесений також методом текстильного друку через сітчастий шаблон. Для цього водна дисперсія або розчин з антисептичним засобом загущується спеціальними полімерними загусниками – натрій альгінатом, колагеном, хітозаном, сукцинатом хітозану. Всі ці речовини є біодеградуєчими біополімерами з високим ступенем біосумісності. Вони надають системам необхідну в'язкість.

У результаті обробки на ТМ наносять 0.5–2.5 % препарату.

Виділяють також спрей-спосіб, за якого розчин біоциду розпилюється над поверхнею ТМ у малій концентрації. Після цього тканину висушують.

Оцінка якості біоцидної обробки тканин. Задля оцінки якості антимікробної обробки ТМ, що контактують зі шкірою людини, необхідно здійснити вибір методу оцінки. З цією метою необхідно визначити тип препарату – мігруючий чи немігруючий.

Тести на антимікробну та протигрибкову дію поділяються на три основні групи:

- дифузійні, або якісні;

Reference

[1] Gulati, R., Sharma, S., Sharma, R. K. (2021). Antimicrobial textile: recent developments and functional perspective. *Polym. Bull.*, 1–25. doi: 10.1007/s00289-021-03826-3.

– кількісні з використанням рідких поживних середовищ і розведення препарату;

- рахункові («count test»).

Дифузійні методи і методи кількісні з розведенням застосовні при використанні мігруючих препаратів. У випадку немігруючих препаратів, зв'язаних з волокном хімічними зв'язками, застосовують рахункові методи. Контроль якості антимікробної та антигрибкової біоцидної обробки з використанням рахункових методів здійснюють відповідно до міжнародних стандартів:

- стандарти SN 195920, AATCC 147, JIS L 1902, ASTM E21-49 (антимікробна дія);
- SAN BIO 12/94, AATCC 30, ASTM G21-96, EN ISO 11721-1 (протигрибкові біоциди).

Висновки

Показана затребуваність в теперішній час біоцидного захисту текстильних матеріалів для одягу та можливість налагодження випуску тканин з біоцидною активністю на стадії їх апретування, тобто на заключній стадії опорядження тканин.

Зроблено огляд біоцидних препаратів з числа сучасного асортименту, що можуть бути використані для біоцидної обробки одягових тканин.

Визначено особливості пектинів і лігніну як біоцидних сполук та відмічено доцільність їх використання для одягового текстилю.

Відзначено основні вимоги до біоцидних препаратів, що можуть бути придатними для надання тканинам біоцидної активності, серед яких стійкість наданого ефекту до фізико-механічних дій, зокрема до багаторазового прання.

Сформульовано теоретичні засади щодо шляхів підвищення стійкості біоцидного ефекту на тканинах та запропоновано методи, що можуть їх забезпечити. Серед цих методів – формування на поверхнях тканин дисперсних систем типу Т/Т, в яких біоцид виконує роль дисперсної фази у дисперсійному середовищі, сформованому полімером апрету, та утворення на волокні комплексів, в яких біоцидний препарат відіграє роль ліганду, завдяки якому тканина стає носієм біоцидних властивостей.

[2] Salat, M., Petkova, P., Hoyo, J., Perelshtein, I., Gedanken, A., Tzanov, T. (2018). Durable antimicrobial cotton textiles coated sonochemically with ZnO nanoparticles embedded in an in-situ enzymatically

- generated bioadhesive. *Carbohydr. Polym.*, 189, 198–203. doi: 10.1016/j.carbpol.2018.02.033.
- [3] Adomavičiūtė, E., Baltušnikaitė-Guzaitienė, J., Juškaitė, V., Žilius, M., Briedis, V., Stanys, S. (2018). Formation and characterization of melt-spun polypropylene fibers with propolis for medical applications. *The Journal of The Textile Institute*, 109(2), 278–284. doi:10.1080/00405000.2017.1341295.
- [4] Chatha, S. A. S., Asgher, M., Asgher, R., Hussain, A. I., Iqbal, Y., Hussain, S. M., Bilal, M., Saleem, F., Iqbal, H. M. N. (2019). Environmentally responsive and anti-bugs textile finishes – Recent trends, challenges, and future perspectives. *Sci. Total Environ.*, 690, 667–682. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.06.520.
- [5] Mondal, M. I. H. (2021). Antimicrobial Textiles from Natural Resources. *Woodhead Publishing*, 700.
- [6] Emam, H. E. (2019). Antimicrobial cellulosic textiles based on organic compounds. *3 Biotech.*, 9(1), 1–14. doi: 10.1007/s13205-018-1562-y.
- [7] Li, Z., Chen, J., Cao, W., Wei, D., Zheng, A., Guan, Y. (2018). Permanent antimicrobial cotton fabrics obtained by surface treatment with modified guanidine. *Carbohydr. Polym.*, 180, 192–199. doi: 10.1016/j.carbpol.2017.09.080.
- [8] Hassan, M. M. (2018). *Antimicrobial Coatings for Textiles*, In A. Tiwari (Ed.), *Handbook of Antimicrobial Coatings*, Elsevier, 321-355, doi: 10.1016/B978-0-12-811982-2.00016-0.
- [9] Morris, H., Murray, R. (2020). Medical textiles. *Textile Progress*, 52(1-2), 1–127. doi:10.1080/00405167.2020.1824468.
- [10] Shahid-ul-Islam, Butola, B.S. (2019). Recent advances in chitosan polysaccharide and its derivatives in antimicrobial modification of textile materials. *Int. J. Biol. Macromol.* 121, 905–912. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2018.10.102.
- [11] Zhang, S., Yang, X., Tang, B., Yuan, L., Wang, K., Liu, X., Zhu, X., Li, J., Ge, Z., Chen, S. (2018). New insights into synergistic antimicrobial and antifouling cotton fabrics via dually finished with quaternary ammonium salt and zwitterionic sulfobetaine. *Chemical Engineering Journal*, 336, 123–132, doi: 10.1016/j.cej.2017.10.168.
- [12] Dastjerdi, R., Montazer, M. (2010). A review on the application of inorganic nano-structured materials in the modification of textiles: Focus on anti-microbial properties. *Colloids Surf B Biointerfaces*, 79(1), 5–18. doi: 10.1016/j.colsurfb.2010.03.029.
- [13] Rehan, M., El-Naggar, M. E., Mashaly, H.M., Wilken, R. (2018). Nanocomposites based on chitosan/silver/clay for durable multi-functional properties of cotton fabrics. *Carbohydr. Polym.* 182, 29–41. doi: 10.1016/j.carbpol.2017.11.007.
- [14] Rezaie, A. B., Montazer, M., Rad, M. M. (2018). Environmentally friendly low cost approach for nano copper oxide functionalization of cotton designed for antibacterial and photocatalytic applications. *J. Cleaner Prod.*, 204, 425–436. doi: 10.1016/j.jclepro.2018.08.337.
- [15] Benltoufa, S., Miled, W., Trad, M., Slama, R. B., Fayala, F. (2020). Chitosan hydrogel-coated cellulosic fabric for medical end-use: Antibacterial properties, basic mechanical and comfort properties. *Carbohydr. Polym.* 227, 115352. doi: 10.1016/j.carbpol.2019.115352.
- [16] El-Khatib E.M., Ali N.F., El-Mohamedy R.S.R. (2020). Influence of Neem oil pretreatment on the dyeing and antimicrobial properties of wool and silk fibers with some natural dyes. *Arab J Chem.*, 13(1), 1094–1104. doi: 10.1016/j.arabjc.2017.09.012.
- [17] Freitas, C. M. P., Coimbra, J. S. R., Souza, V. G. L., Sousa, R. C. S. (2021). Structure and applications of pectin in food, biomedical, and pharmaceutical industry: A review. *Coatings*. 11(8), 922. doi: 10.3390/coatings11080922.
- [18] Sari, F. P., Falah, F., Ismayati, M., Lubis, M. A. R., Fatriasari, W., Santoso, E. B., Syafii, W. (2021). Lignin as an active biomaterial: a review. *Jurnal Sylva Lestari*, 9(1), 1–22. doi: 10.23960/jsl191-22.
- [19] Lobo, F., Franco, A. R., Fernandes, E. M., Reis, R. L. (2021). An overview of the antimicrobial properties of lignocellulosic materials. *Molecules*, 26(6), 1749. doi: 10.3390/molecules26061749.
- [20] Kahru, A., Dubourguier, H.-C., Blinova, I., Ivask, A., Kasemets, K. (2008). Biotests and biosensors for ecotoxicology of metal oxide nanoparticles: A minireview. *Sensors*, 8, 5153–5170. doi: 10.3390/s8085153.
- [21] Shahverdy, A. R., Fakhimi, A., Shahverdy, H. R., Minaian, S. (2007). Synthesis and effect of silver nanoparticles on the antibacterial activity of different antibiotics against *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli*. *Nanomedicine*, 3(2), 168–171. doi: 10.1016/j.nano.2007.02.001.
- [22] Suprun, N. P., Brychka, S. Ya. (2016). [Formuvannia nanorozmirnykh chastok sribla v netkanykh polotnakh dlia ranovykh pokryttiv na bazi shovkovykh volokon]. *Bulletin of the Kyiv National University of Technologies and Design. Technical Science Series*, 2, 134–140 (in Ukrainian).
- [23] Lytvynova, O. I., Suprun, N. P., Brychka, S. Ia., Balko, O. B. (2016.) [Rozrobka netkanykh tekstylnykh osnov dlia ranovykh pokryttiv na bazi bavovnianykh volokon z nadanymy bakterytsydnymy vlastyvostiamy]. *Herald of Khmelnytskyi national university. Technical sciences*, 4, 78–81 (in Ukrainian).
- [24] Kruhlenko, N. V., Isaiev, S. H., Sumska, O. P., Palii, H. K., Kryzhanovska, A. V. (2009). [Poiednannia farbuвання ta antymikotychnoi obrobky trykotazhnykh tekstylnykh materialiv]. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2(4), 23–25 (in Ukrainian).
- [25] Kruhlenko, N. V., Mishchenko, H. V. (2012.) [Zastosuvannia termodynamichnykh kharakterystyk protsesu farbuвання dlia otsinky stiikosti protyhyrbkovykh vlastyvostei panchishno-shkarpetkovykh vyrobiv]. *Tovarnoznavchyy visnik*, 5, 78–86 (in Ukrainian).
- [26] Kruhlenko, N. V., Sumska, O. P., Kruhlenko, V. P. (2006). [Oderzhannia ta otsinka protyhyrbkovoї obrobky bavovnianoho trykotazhu]. *Problemy legkoi tekstil'noy promyshlennosti Ukrainy*, 2(12), 94–97 (in Ukrainian).
- [27] El-Naggar, M. E., Soliman, R. A., Morsy, O. M., Abdel-Aziz, M. S. (2020). Nanoemulsion of Capsicum fruit extract as an eco-friendly antimicrobial agent for production of medical bandages. *Biocatal. Agric. Biotechnol.*, 23, 101516, doi: 10.1016/j.bcab.2020.101516.
- [28] Hassabo, A. G., El-Naggar, M. E., Mohamed, A. L., Hebeish, A. A. (2019). Development of multifunctional modified cotton fabric with tri-component nanoparticles of silver, copper and zinc oxide. *Carbohydr. Polym.*, 210, 144–156, doi: 10.1016/j.carbpol.2019.01.066.
- [29] Rai, M., Yadav, A., Gade, A. (2009). Silver nanoparticles as a new generation of antimicrobials. *Biotechnol Adv*, 27(1), 76–83. doi: 10.1016/j.biotechadv.2008.09.002.
- [30] Srisod, S., Motina, K., Inprasit, T., Pisitsak, P. (2018). A green and facile approach to durable antimicrobial

- coating of cotton with silver nanoparticles, whey protein, and natural tannin. *Prog. Org. Coat.*, 120, 123–131. doi: 10.1016/j.porgcoat.2018.03.007.
- [31] Radetić, M. (2012). Functionalization of textile materials with silver nanoparticles. *J Mater Sci*, 48(1), 95–107. doi:10.1007/s10853-012-6677-7.
- [32] Simončič, B., Klemenčič, D. (2015). Preparation and performance of silver as an antimicrobial agent for textiles: A review. *Textile Research Journal*, 86(2), 102–223. doi:10.1177/0040517515586157.
- [33] Pareek, V., Gupta, R., Panwar, J. (2018). Do physico-chemical properties of silver nanoparticles decide their interaction with biological media and bactericidal action? A review. *Mater Sci Eng C Mater Biol Appl*, 90, 739–749. doi: 10.1016/j.msec.2018.04.093.
- [34] Chen, X., Schluesener, H. J. (2008). Nanosilver: a nanoparticle in medical application. *Toxicol Lett*, 176(1), 1–12. doi: 10.1016/j.toxlet.2007.10.004.
- [35] Rujitanaroj, Pim-on, Pimpha, Nuttaporn, Supaphol, Pitt. (2008). Wound-dressing materials with antibacterial activity from electrospun gelatin fiber mats containing silver nanoparticles. *Polymer*, 49, 4723–4732. doi: 10.1016/j.polymer.2008.08.021.
- [36] Wei, X., Luo, M., Li, W., Yang, L., Liang, X., Xu, L., Kong, P., Liu, H. (2012). Synthesis of silver nanoparticles by solar irradiation of cell-free *Bacillus amyloliquefaciens* extracts and AgNO₃. *Bioresour Technol*, 103(1), 273–278. doi: 10.1016/j.biortech.2011.09.118.
- [37] Zavorodnii, I. V., Dmukhovska, T. M., Sydorenko, M. O., Semenova, N. V. (2013). [Problemy hihieny pratsi ta bezpeky u vyrobnytstvi ta vykorystanni nanochastynok i nanotekhnolohii]. *Medytsyna sohodni i zavtra*, 3, 52–56 (in Ukrainian).
- [38] Halyk, I. S., Semak, B. D. (2016). [Problemy formuvannia ta otsiniuvannia bezpechnosti nanotekstyliu i odiahu]. *Herald of Khmelnytskyi national university. Technical sciences*, 4, 71–77 (in Ukrainian).
- [39] Schrand, A. M., Rahman, M. F., Hussain, S. M., Schlager, J. J., Smith, D. A., Syed, A. F. (2010). Metal-based nanoparticles and their toxicity assessment. *Wiley Interdiscip Rev Nanomed Nanobiotechnol*, 2(5), 544–568. doi: 10.1002/wnan.103.
- [40] Nazarova, V. V., Mishchenko, H. V. (2008). [Pidvyshchennia stiičnosti hidrofobnoi obrobky tkanyn kremniiorhanichnykh spolukamy]. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6(4 (36)), 62–65 (in Ukrainian).
- [41] Nazarova, V. V., Mishchenko, H. V. (2008). [Do mekhanizmu dii solei d-metaliv v protsesi nadannia tekstylnym materialam hidrofobnoho efektu kremniiorhanichnykh spolukamy]. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2(4(36)), 59–62 (in Ukrainian).
- [42] Mishchenko, H. V., Mishchenko, O. V., Venher, O. O., Kachuk, D. S., Popovych, T. A. (2019). [Pidvyshchennia hidrolitychnoi stiičnosti plivok poliuretanovykh ionomeriv, shcho vykorystovuiutsia dlia pihmentnykh zabarvlen]. *Voprosy Khimii i Khimicheskoi Tekhnologii*, 5, 84–92. (in Ukrainian). doi: 10.32434/0321-4095-2019-126-5-84-92.
- [43] Suprun, N. P., Tarasenko, H. V., Shchutska, H. V., Yakubovska, T. O. (2012). [Vyznachennia antybakteryialnykh vlastyvostei tekstylnykh materialiv dlia pidkladky vzuttia]. *Bulletin of the Kyiv National University of Technologies and Design*, 2(64), 104–107 (in Ukrainian).
- [44] Bajpai, S. K., Ahuja, Sonam, Chand, N., Bajpai, M. (2017). Nano cellulose dispersed chitosan film with Ag NPs/Curcumin: An in vivo study on Albino Rats for wound dressing. *Int J Biol Macromol*, 104, 1012–1019. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2017.06.096.
- [45] Dumont, M., Villet, R., Guirand, M., Montembault, A., Delair, T., Lack, S., Barikosky, M., Crepet, A., Alcouffe, P., Laurent, F., David, L. (2018). Processing and antibacterial properties of chitosan-coated alginate fibers. *Carbohydr. Polym.*, 190, 31–42. doi: 10.1016/j.carbpol.2017.11.088.
- [46] Yu, J., Pang, Z., Zhang, J., Zhou, H., Wei, Q. (2018). Conductivity and antibacterial properties of wool fabrics finished by polyaniline/chitosan. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 548, 117–124. doi: 10.1016/j.colsurfa.2018.03.065.
- [47] Zhao, D., Yu, S., Sun, B., Gao, S., Guo, S., Zhao, K. (2018). Biomedical applications of chitosan and its derivative nanoparticles. *Polymers*, 10(4), 462. doi: 10.3390/polym10040462.
- [48] Khan, A. M., Islam, Md. M., Khan, Md. M. R. (2020). Chitosan incorporation for antibacterial property improvement of jute-cotton blended denim fabric. *J Text Inst.*, 111(5), 660–668, doi: 10.1080/00405000.2019.1657220.
- [49] Dhillon, G. S., Kaur, S., Pulicharla, R., Brar, S. K., Cledón, M., Verma, M., Surampalli, R. Y. (2015). Triclosan: Current Status, Occurrence, Environmental Risks and Bioaccumulation Potential. *Int J Environ Res Public Health*, 12(5), 5657–5684. doi: 10.3390/ijerph120505657.
- [50] Popovych, T. A., Mishchenko, H. V., Beschasnyi, S. P. (2021). Antymikrobni vlastyvosti lihninu yak pryrodnoho biotsydu dlia zakhystu tekstyliu. *Herald of Khmelnytskyi national university. Technical sciences*, 4(299), 142–153 (in Ukrainian). doi: 10.31891/2307-5732-2021-299-4-142-153.
- [51] Petrova, Zh. O., Sniezkin, Yu. F. (2018). [Kompleksoutvoriuvachi vlastyvosti funktsionalnykh poroshkiv]. *Yaderna ta Radiatsiina Bezpeka*, 2(78), 59–64 (in Ukrainian).
- [52] Noreen, A., Nazli, Z.-i-H., Akram, J., Rasul, I., Mansha, A., Yaqoob, N., Iqbal R., Tabasum, S., Zuber, M., Zia, K. M. (2017). Pectins functionalized biomaterials; a new viable approach for biomedical applications: A review. *Int J Biol Macromol*, 101, 254–272. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2017.03.029.
- [53] Gao, D., Li, Y., Lyu, B., Lyu, L., Chen, S., Ma, J. (2019). Construction of durable antibacterial and anti-mildew cotton fabric based on P(DMDAAC-AGE)/Ag/ZnO composites. *Carbohydr. Polym.*, 204, 161–169. doi: 10.1016/j.carbpol.2018.09.087.
- [54] Sultan, I., Masood, R., Bibi, I., Sajid, I., Islam, A., Atta, S., Uroos, M., Safa, Y., Bhatti, H. N. (2019). Impact of soft segment size on physicochemical and antimicrobial properties of waterborne polyurethane dispersions for textile application. *Prog. Org. Coat.* 133, 174–179. doi: 10.1016/j.porgcoat.2019.04.051.
- [55] Orel, L. A., Sinelnikov, S. I., Kobrina, L. V., Boiko, V. V., Riabov, S. V. (2017). [Polimerni matrytsi na osnovi alhinatu natriiu: syntez i kinytyka vyvilnennia metoprololu]. *Voprosy Khimii i Khimicheskoi Tekhnologii*, (6), 32–38 (in Ukrainian).
- [56] Orel, L. A., Riabov, S. V., Kobrina, L. V., Honcharenko, L. A. (2016). [Polimery pryrodnoho pokhodzhennia yak nanomatrytsi dlia transportu likarskykh preparativ]. *Polymer Journal*, 38(3), 185–191 (in Ukrainian).

- [57] Sachan, N. K., Pushkar, S., Jha, A., Bhattcharya, A. (2009). Sodium alginate: the wonder polymer for controlled drug delivery. *J Pharm Res*, 2(8), 1191–1199.
- [58] Lee, K. Y., Mooney, D. J. (2012). Alginate: properties and biomedical applications. *Prog Polym Sci*, 37, 106–126. doi: 10.1016/j.progpolymsci.2011.06.003.
- [59] Avnesh, K., Yadav, S. K., Yadav, S. C. (2010). Biodegradable polymeric nanoparticles based drug delivery systems. *Colloids Surf B Biointerfaces*, 75(1), 1–18. doi: 10.1016/j.colsurfb.2009.09.001.
- [60] Loftsson, T., Duchene, D. (2007). Cyclodextrins and their pharmaceutical applications. *Int J Pharm*, 329(1-2), 1–11. doi: 10.1016/j.ijpharm.2006.10.044.
- [61] Rudrangi, S. R. S., Bhomia, R., Trivedi, V., Vine, G. J., Mitchell, J. C., Alexander, B. D., Wicks, S. R. (2015). Influence of the preparation method on the physicochemical properties of indomethacin and methyl- β -cyclodextrin complexes. *Int J Pharm*, 479(2), 381–390. doi: 10.1016/j.ijpharm.2015.01.010.
- [62] Pawar, S., Shende, P., Trotta, F. (2019). Diversity of β -cyclodextrin-based nanosponges for transformation of actives. *Int J Pharm*, 565, 333–350. doi: 10.1016/j.ijpharm.2019.05.015.