

ГОРОХОВ ІгорХерсонський національний технічний університет
ORCID ID: [0000-0002-9483-4123](https://orcid.org/0000-0002-9483-4123)
e-mail: gorohov2410@gmail.com**КУЛІШ Ірина**Херсонський національний технічний університет
ORCID ID: [0000-0002-0961-5904](https://orcid.org/0000-0002-0961-5904)
e-mail: kulish.in.411@gmail.com**АСАУЛЮК Тетяна**Херсонський національний технічний університет
ORCID ID: [0000-0001-5961-6895](https://orcid.org/0000-0001-5961-6895)
e-mail: tatisevna@gmail.com**САРІБЕКОВА Юлія**Херсонський національний технічний університет
ORCID ID: [0000-0001-6430-6509](https://orcid.org/0000-0001-6430-6509)
e-mail: ysaribekova@gmail.com

ЕФЕКТИВНІСТЬ ОБРОБКИ АНТИМІКРОБНИМИ СКЛАДАМИ ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ, ПРИЗНАЧЕНИХ ДЛЯ ВИКОРИСТАННЯ У ПОБУТІ ТА ГРОМАДСЬКИХ ПРИМІЩЕННЯХ

*Мета роботи полягає у розробці антимікробного складу та дослідженні ефективності антимікробної обробки текстильних матеріалів. В якості об'єкту дослідження як ефективні безпечні антимікробні препарати використовували полігексаметиленгуанідін хлорид з антимікробними препаратами на біологічній основі. Обробку бавовняної тканини здійснено методом просочення водним розчином полімеру та полігексаметиленгуанідін хлориду і антимікробними препаратами на біологічній основі у опоряджувальній ванні з наступним сушінням і термофіксацією. Зміну структурних параметрів акрилового полімеру та кількість шивок в об'ємі полімерного утворення визначали за властивістю шитих полімерних систем до обмеженого набухання у розчинниках. Перевірку антимікробного ефекту текстильних матеріалів проводили за аналізом дифузії диску тканини на засіяному з повітря агарі після обробки антимікробним складом та після прання. Для визначення ефективності антимікробної дії препаратів на біологічній основі як тест-культуру використовували одного з представників раньової мікрофлори – грампозитивну бактерію *Staphylococcus ruoqenes* з Української колекції мікроорганізмів. У роботі наведено результати дослідження текстильних матеріалів після опорядження антимікробними препаратами на біологічній основі та полігексаметиленгуанідін хлориду. Підвищення стійкості антимікробного ефекту до прання досягали введенням до опоряджувального складу акрилового полімеру, структуроутворення якого оцінювалося за кількістю ацетононерозчинної фракції сформованих на скляній підложці полімерних плівок під час екстрагування у розчинниках. Результати дослідження показали, що введення антимікробних препаратів до складу полімеру підвищує ступінь шивки полімерної плівки за рахунок використання полігексаметиленгуанідін хлориду. Доведена ефективність антимікробної дії препаратів на біологічній основі за результатом проведення дослідження на тест-культурі грам позитивної бактерії *Staphylococcus ruoqenes*, що підтверджується появою зони інгібування мікроорганізму навколо досліджуваного зразка тканини. Дослідження за методикою засівання мікрофлори з оточуючого повітря показали, що усі зразки тканини, оброблені антибактеріальним складом, характеризуються вираженою зоною затримки росту мікрофлори.*

Наукова новизна. Доведено, що опоряджувальний склад на основі акрилового полімеру, що містить полігексаметиленгуанідінхлорид та препарати на біологічній основі, дозволяє забезпечити антимікробну дію текстильного матеріалу та покращити стійкість антимікробного ефекту до прання за рахунок підвищення ступеня шивки акрилового полімеру.

Практична значимість. Отримані результати експерименту мають практичне значення для розробки нових опоряджувальних складів для надання текстильним матеріалам антимікробних властивостей.

Ключові слова: антимікробна обробка, полігексаметиленгуанідін хлорид, препарати на біологічній основі, текстильні матеріали, бактеріальне забруднення, метод засівання з повітря, зона затримки росту мікроорганізмів.

HOROKHOV Ihor, KULISH Irina, ASAULYUK Tatyana, SARIBYEKOVA Yulia
Kherson National Technical University

EFFECTIVENESS OF THE ANTIMICROBIAL TREATMENT OF TEXTILE MATERIALS FOR USE AT HOME AND IN PUBLIC SPACES

Purpose. The purpose of the work is to develop an antimicrobial composition and study the effectiveness of antimicrobial treatment of textile materials.

Methodology. Polyhexamethylene guanidine chloride with bio-based antimicrobial preparations were used as the objects of the study as effective safe antimicrobial agents. The treatment of cotton fabric was carried out by impregnation with an aqueous solution of polymer and polyhexamethylene guanidine chloride and bio-based antimicrobial preparations in a finishing bath, followed by drying and thermal fixation. Changes in the structural parameters of the acrylic polymer and the number of crosslinks in the bulk of the polymer formation were determined from the property of crosslinked polymer systems to swell in solvents to a limited extent. Examination of the antimicrobial effect of textile materials was carried out by analyzing the diffusion of the fabric disk on agar after treatment with the

antimicrobial composition and after washing. To determine the effectiveness of the antimicrobial action of bio-based preparations, one of the representatives of the wound microflora, the gram-positive bacterium *Staphylococcus pyogenes* from the Ukrainian collection of microorganisms, was used as a test culture. Findings. The results of the study of textile materials after treatment with bio-based antimicrobial preparations and polyhexamethylene guanidine chloride are presented. An increase in the resistance of the antimicrobial effect to washing was achieved by introducing an acrylic polymer into the finishing composition, the structure formation of which was evaluated by the amount of the acetone-insoluble fraction of polymer films during extraction in solvents. The results of the study showed that the introduction of antimicrobial agents into the polymer composition increases the degree of crosslinking of the polymer film due to the use of polyhexamethylene guanidine chloride. The effectiveness of the antimicrobial action of bio-based preparations has been proven by the results of a study on a test culture of a gram-positive bacterium *Staphylococcus pyogenes*, which is confirmed by the appearance of a zone of inhibition of the microorganism around the studied fabric sample. Studies using the settle plate method showed that all fabric samples treated with the antibacterial composition are characterized by a pronounced zone of microflora growth inhibition.

Originality. It has been proven that an acrylic polymer-based finishing composition containing polyhexamethylene guanidine chloride and bio-based preparations provides an antimicrobial effect to a textile material and will improve the wash resistance of the antimicrobial effect by increasing the degree of crosslinking of the acrylic polymer.

Practical value. The obtained results of the experiment are of practical importance for the development of new finishing compositions for imparting antimicrobial properties to textile materials.

Keywords: antimicrobial treatment, polyhexamethylene guanidine chloride, bio-based preparations, textile materials, bacterial contamination, settle plate method, microbial growth inhibition zone.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Застосування текстильних матеріалів із антибактеріальними властивостями направлено, насамперед, на захист людини від дії патогенної мікрофлори, і в той же час, на збереження текстильних виробів від мікробіологічного псування. Крім цього, виробництво текстильних матеріалів, що володіють бар'єрними властивостями до патогенних мікроорганізмів, грибів та вірусів забезпечує виконання вимог, регламентованих Урядом України щодо потреби у захисному одязі від інфекційних хвороб для багаторазового необмеженого використання, визначених переліком товарів, робіт і послуг, необхідних для здійснення заходів, спрямованих на запобігання виникненню та поширенню епідемій та пандемій гострої респіраторної хвороби COVID-19, спричиненої коронавірусом SARS-CoV-2 на території України, затвердженим постановою Кабінету міністрів України від 20.03.20 р. за № 225. Такий текстиль, у першу чергу, використовується для медичного персоналу, у публічних закладах, для військового спорядження, у транспорті, для спортивного одягу, панчішно-шкарпеткових виробів та ін.

Текстильні волокна, особливо природного походження, є легкою здобиччю для різноманітних мікроорганізмів, так як вони легко утримують воду і мікробні ферменти та можуть гідролізувати їх полімерні зв'язки. Натуральні волокна характеризуються також різноманітним періодом зберігання мікрофлори. Тому надання текстильним матеріалам антимікробних властивостей переслідує дві основні цілі: захист від дії мікроорганізмів і захист від дії патогенної мікрофлори об'єктів, що контактують з текстильними матеріалами.

Аналіз досліджень та публікацій

Наразі увагу дослідників привертають антимікробні препарати на біологічній основі, що є результатом прагнення суспільства до використання екологічно чистої продукції та продуктів, що не генеруються з нафти. [1-3].

Вченими розробляються та вдосконалюються препарати для антимікробної обробки тканин з урахуванням засад «зелених технологій», а саме дослідження біологічно активних добавок, спроможних впливати на патогенну мікрофлору, яка загрожує здоров'ю людини. Серед натуральних рослинних продуктів антибактеріальні властивості мають екстракти німу, гранату, алое вера, куркуми, гвоздики тощо [4]. Біологічно активні речовини можуть додаватися до синтетичних волокон у процесі формування [5], таким чином, поліакрилонітрильні, ацетатні та поліпропіленові волокна з антимікробною обробкою вже представлені на ринку. Однак, цей спосіб модифікації є принципово неможливим для обробки природних волокон.

Більш універсальним способом модифікації волокон є формування на текстильному матеріалі полімерного покриття, що дає змогу іммобілізувати різноманітні функціональні речовини в залежності від призначення текстилю та вимог споживачів [6]. Наприклад, рекомендується склад із хітозаном – речовиною, що отримується із панцирів ракоподібних, для надання антимікробних властивостей найлону [7], бавовні [8] та вовни [9]. Недоліками хітозану є необхідність його застосування у високих концентраціях, що погіршує гігієнічні властивості текстильних матеріалів і підвищує їх жорсткість, та недостатня стійкість обробки до прання.

В останній час зацікавленість винахідників викликають біоорганічні склади фітинової кислоти, відомої як інозит-гексафосфатна кислота або фітат у формі солі, яка розглядається як «зелена» молекула, що в достатній кількості утримується в тканинах рослин, таких як боби, злаки, насіння [10]. Як біосумісна, екологічно чиста, нетоксична і легко одержувана органічна кислота, вона широко застосовується в антиоксидантній, біосенсорній, катіонообмінній, наноматеріальній та інших галузях завдяки своїй особливій структурі гексафосфату інозита [11].

Використання фітинової кислоти дозволяє отримувати комплексне опорядження текстильного матеріалу. Бавовняні тканини покривали фітиновою кислотою з кремнієм і нітрогеновміщуючою сполукою, полі-[3-(5,5-ціануровоїкислотапропіл)-силоксан-три-метиламонійпропіл-силоксан-хлорид] шляхом пошарового збирання (Cotton-PEI / (PCQS / PA) 30-Cl). Оброблені бавовняні тканини зменшили дію *E. coli* і *S. aureus* на 100% лише протягом 1 хвилини контакту [12].

Підтвердженою є ефективність антимікробної обробки бавовняних тканин, що призначені для використання у побуті та громадських приміщеннях, з покриттями на основі різних типів полімерів, таких як гуанідини, або полімерних нанокомпозитних матеріалів з постійними антимікробними властивостями без погіршення їх фізико-хімічних та механічних характеристик [13]. Крім того, відоме використання [14] біорозкладних полікарбонатів, функціоналізованих гуанідіном, для забезпечення антимікробної активності *in vivo* проти *A. baumannii*, *E. coli*, *Klebsiella pneumoniae*, *S. aureus* і *P. Aeruginosa*.

В іншому дослідженні [15] було отримано полімерні плівкові покриття на основі ПВС/хітозан з додаванням полігексаметиленгуанідину, які характеризуються антибактеріальними властивостями.

Полігуанідини мають широке застосування як універсальний дезінфікуючий засіб в багатьох галузях промисловості, відносяться до мало небезпечних речовин (3 клас безпеки по токсикологічній класифікації), характеризуються низькою токсичністю для людини, практично відсутня корозійна активність до більшості матеріалів. Полігуанідини спроможні до плівкоутворення на оброблених поверхнях, що вказує на пролонговану активність препаратів.

Активні полімери на основі бігуанідів (полікатіонних амінів) спроможні до руйнування бактеріальної клітини за рахунок електростатичного притягування [16, 17].

Аналіз публікацій свідчить про актуальність досліджуваного напрямку з розробки текстильних матеріалів з антибактеріальними властивостями. Не дивлячись на те, що у світі в останні роки проблема надання текстильним матеріалам антибактеріальних властивостей набуває все більшої актуальності, в Україні на даний час відсутнє виробництво текстилю вказаного асортименту. Слід також відмітити, що до недоліків антимікробної обробки відносять низьку стійкість до прання. Одним із способів підвищення даного показника є введення до оброблювального складу полімерів, спроможних за рахунок сил адгезії фіксувати різноманітні речовини на поверхні текстильних матеріалів різного волокнистого складу, в тому числі і антимікробні агенти. Таким чином, **мета роботи** полягає в розробці ефективних антимікробних складів для текстильних матеріалів різного сировинного складу і призначення.

Виклад основного матеріалу

В роботі досліджували акрилову дисперсію Neoprint NPO, яка в процесі плівкоутворення виступатиме в ролі матриці для утримання антимікробних компонентів та спроможна забезпечувати комплекс необхідних властивостей тканині. У якості антимікробних препаратів біологічного походження використовували фітинову та лимонну кислоти. Для підвищення антибактеріального ефекту до опоряджувального складу вводили полігексаметиленгуанідин хлорид, спроможний до плівкоутворення.

Враховуючи, що структура полімеру визначає остаточні його властивості, досліджували структурні характеристики полімерних плівок, сформованих із акрилового полімеру Neoprint NPO, а також плівок з Neoprint NPO з добавкою фітинової (ФК) та лимонної (ЛК) кислот у співвідношенні 1/1; 3/2. Для підвищення антимікробної властивості до складу також вводили антимікробний препарат полігексаметиленгуанідин хлорид (ГХ). Усі компоненти добре розчинні у воді. Обробка тканини проводилася методом просочення антимікробним складом з наступним сушінням при температурі 80°C, а також термофіксацією при температурі 120°C протягом 3 хв.

Для отримання інформації про структуроутворення полімерної матриці використовують властивості зшитих полімерних систем обмежено набухати у розчинниках. Основне завдання зводилося до визначення кількості зшивок в об'ємі полімерної матриці, а також зв'язку між ступенем зшивки та властивостями композиційної полімерної плівки.

Ефективність зшивки оцінювали за кількістю ацетононерозчинної фракції досліджуваних полімерних плівок протягом екстрагування зразків у розчиннику. Для проведення експерименту попередньо на скляній підложці формували полімерні плівки з індивідуального досліджуваного полімеру та з полімеру, наповненого антибактеріальними компонентами. Золь-гель аналіз проводили за стандартною методикою за допомогою апарата Сокслета шляхом екстрагування полімерних плівок ацетоном протягом 18 год. і бензолом протягом 16 год. Визначали масу набряклого зразка, а також сухий залишок від нього. Кількість бензольного екстракту, який пішов на екстракцію полімеру, відповідає вмісту золь-фракції S (%), що визначається за співвідношенням (1) [22]:

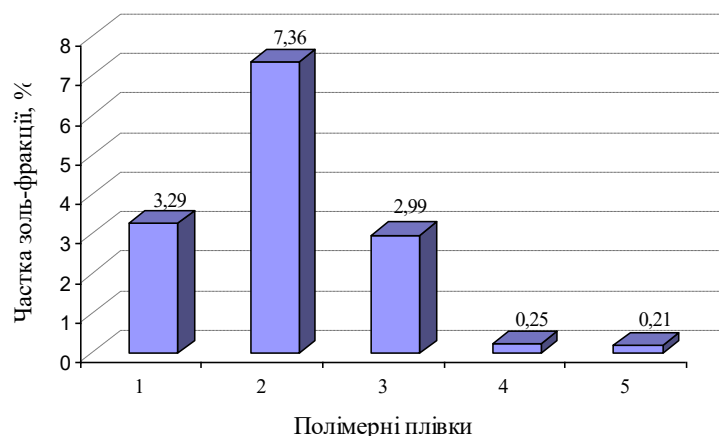


Рис. 1. Золь-фракція полімерних плівок:
1 – без добавок; 2 – з добавкою ФК і ЛК у співвідношенні 1/1;
3 – з добавкою ФК і ЛК у співвідношенні 3/2; 4 – з добавкою ФК і ЛК у співвідношенні 3/2 і ГХ; 5 – з добавкою ФК і ЛК у співвідношенні 3/2 і ГХ після термофіксації.

$$S = \frac{m_a - m_b}{m_a} \cdot 100\%, \quad (1)$$

де m_a – маса зразка після екстрагування ацетоном, г; m_b – маса зразка після екстрагування бензолом, г. Наявність золь-фракції після екстрагування в апараті Сокслета показує вміст макромолекул, що залишилися поза сіткою у зшитому зразку композиційної полімерної плівки. Золь-фракція вимивається з полімерної плівки розчинником, оскільки не пов'язана в тривимірну сітку полімерного утворення. На діаграмі, що представлена на рис. 1, показана частка золь-фракції у досліджуваних композиційних плівках.

Аналіз кількості золь-фракції композиційних полімерних плівок показує, що індивідуальні полімерні плівки, сформовані з Neoprint NPO, малорозчинні в ацетоні та здатні забезпечити якісні показники полімерного покриття. У той же час, на рис. 1 представлені дані про вплив різних співвідношень фітинової та лимонної кислот, а також полігексаметиленгуанідін хлориду на стійкість полімерних плівок до дії органічного розчинника, що характеризує ступінь їх твердіння. В результаті дослідження встановлено, що зі збільшенням вмісту наповнювачів кількість золь-фракції знижується. Найбільш високим ступенем твердіння характеризується композиційна плівка, наповнена фітиновою та лимонною кислотами у співвідношенні 3/2 з добавками полігексаметиленгуанідін хлориду, а при проведенні термофіксації композиційної полімерної плівки вміст золь-фракції знижується ще на 12,5 %. Таким чином, наявність функціональних антимікробних добавок не погіршує властивості полімеру, та у процесі експлуатації текстильних виробів не відбуватиметься вимивання полімеру.

Ступінь зшивання полімеру (коефіцієнт зшивання), який показує число мономерних ланцюгів, за якими утворилася зшивка, у перерахунку на середньо чисельну макромолекулу, визначали за співвідношенням (2):

$$j = \frac{1}{S + \sqrt{S}}, \quad (2)$$

Долю активних ланцюгів полімеру знаходили за формулою (3):

$$V_c = (1 - S)^2 (1 - 2jS)(1 + jS), \quad (3)$$

Коефіцієнт зшивання в перерахунку на середньо масову макромолекулу визначали із співвідношення (4):

$$@ = \frac{2}{S + \sqrt{S}}, \quad (4)$$

Результати розрахунків представлені у табл. 1.

Таблиця 1

Структурні характеристики сформованих полімерних плівок

Склад полімерної плівки	Ступінь зшивання полімеру, j, %	Коефіцієнт зшивання	Доля активних ланцюгів полімеру, V_c , моль/см ³
Без добавок	4,66	9,33	0,74
ФК/ЛК = 1/1	2,90	5,80	0,59
ФК/ЛК = 3/2	5,02	9,86	0,76
ФК/ЛК = 3/2 + 6% ГХ	19,16	38,31	0,94
ФК/ЛК = 3/2 + 6% ГХ (термофіксація)	20,72	41,45	0,95

Як бачимо з отриманих даних, структурні характеристики полімерних плівок змінюються у різній мірі в залежності від їх наповнення. При додаванні фітинової та лимонної кислот у рівних кількостях щільність сітки поперечних зв'язків полімеру, порівняно з ненаповненою плівкою, зменшується на 37%, при цьому частка активних ланцюгів становить 0,59, порівняно з плівкою без добавок, частка активних ланцюгів якої становить 0,74. При збільшенні концентрації кислот у полімерній плівці ступінь зшивання підвищується до 5,02% і частка активних ланцюгів становить 0,76. Додавання до полімерної композиції полігексаметиленгуанідін хлориду дозволяє підвищити ступінь зшивання плівки до 19,16%, що пов'язане зі здатністю полігексаметиленгуанідін хлориду формувати полімерні плівки, в результаті чого збільшилася кількість взаємних зчеплень макромолекул полімерів. Процес термофіксації композиційної полімерної плівки суттєво не впливає на підвищення ступеня зшивання полімерів.

Виявлення ефективності антибактеріальної чутливості текстильних матеріалів здійснювали на зразках текстильних матеріалів різного сировинного складу. Технологічний процес антимікробної обробки складається із просочення зразків опоряджувальними розчинами при температурі 20 – 25° з наступним віджиманням і сушінням при 90°.

Існує ряд методів, що використовуються для встановлення антимікробних властивостей тканин. Визначення антимікробної дії оброблених зразків досліджуваних текстильних матеріалів проводили на агаризованому середовищі LB, що складається з (г/л): пептон – 10,0; дріжджовий екстракт – 5,0; NaCl – 5,0; агар-агар – 14,0; при рН – 7,0±0,2. Як тест-культуру досліджували одного з представників раньової

мікрофлори – грампозитивну бактерію *Staphylococcus pyogenes* з Української колекції мікроорганізмів, яку культивували при 37° протягом 24 год. Після культивування частину культури вносили до фізіологічного розчину. Із отриманої суспензії аліквоти переносили на свіже агаризоване середовище LB, та вносили диски з тканин, оброблених антимікробними складами. Після витримання в ексикаторі протягом доби визначали стійкість оброблених зразків тканин до дії мікроорганізмів. На рис.2 показана зона затримки росту бактеріальної мікрофлори навколо зразка сумішевої тканини складу поліефір 47% та бавовна 53%, обробленого фітиновою і лимонною кислотами.

Антимікробну дію оцінювали за ступенем пригнічення росту бактерій культури *Staphylococcus pyogenes* під час інкубації, в порівнянні з контрольними зразками, що не були оброблені антимікробним складом. Результати досліджень показали, що в необроблених зразках спостерігається високий ріст мікроорганізмів. В оброблених зразках відмічається зона затримки росту мікроорганізмів *Staphylococcus pyogenes* в межах 1–4 мм (рис. 2).

Так як текстильні матеріали експлуатуються в побуті, транспорті та інших суспільних місцях, представляло інтерес проведення дослідження мікрофлори оточуючого повітря і ефективність антимікробної обробки до пригнічення бактеріального забруднення навколо оброблених текстильних матеріалів. Цей метод відноситься до найбільш простих і швидких методів вивчення мікрофлори повітря та використовується для порівняльного аналізу бактеріального забруднення довкілля. Для засівання мікрофлорою з оточуючого середовища чашки Петрі з застиглим агаром виставляли на відкритому просторі у приміщенні на 15 хв. Зразок тканини у вигляді круглого диску розміщували у чашці Петрі на поверхні засіяного з повітря агару, закривали, вносили до термостату та витримували 72 год. при температурі 38° для інкубації посівів. Антимікробні властивості текстильних матеріалів визначали за допомогою аналізу дифузії диску тканини. Результати дослідження представлені на рис. 3–5.

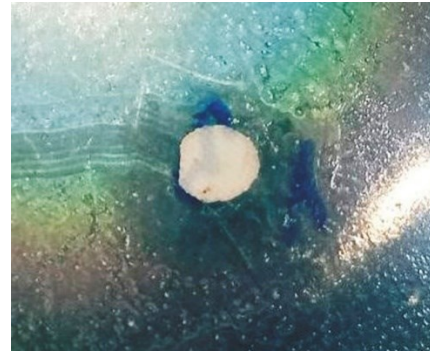


Рис. 2. Зона затримки росту культури *Staphylococcus pyogenes* навколо зразка тканини, обробленого фітиновою і лимонною кислотами

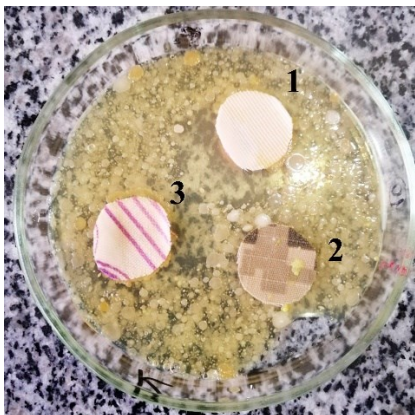


Рис. 3. Зразки тканин без обробки.

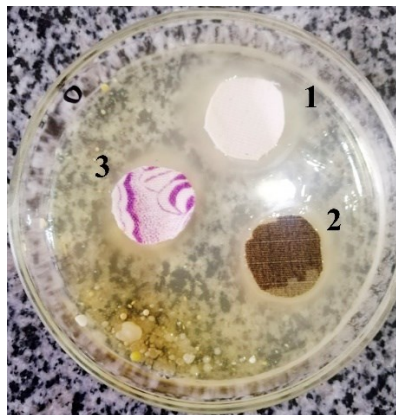


Рис. 4. Зразки тканин з антибактеріальною обробкою.

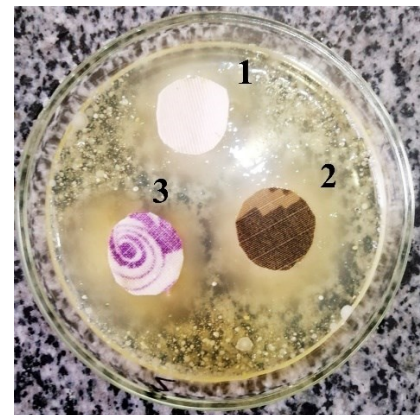


Рис. 5. Зразки тканин з антибактеріальною обробкою після прання.

1 – поліефір 47% та бавовна 53%; 2 – бавовна 50% та нейлон 50%; 3 – бавовна 100%

Як видно із фото на рис. 3, диски зі зразків тканин без антимікробної обробки характеризуються високим бактеріальним забрудненням та відсутністю навколо них зони інгібування. Зразки тканин, представлені на рис. 4, характеризуються значною зоною затримки росту бактеріальної мікрофлори навколо дисків тканин в межах 4–8 мм. Таким чином, виражена зона інгібування після проведення процесу інкубації підтверджує антимікробні властивості досліджуваних текстильних матеріалів. Зразки текстильних матеріалів після прання, які показані на рис. 5, також демонструють достатньо значну зону затримки росту бактеріальної мікрофлори навколо дисків тканин.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

Аналіз дифузії диску тканини та зона інгібування, що утворилася навколо зразків текстильних матеріалів, оброблених полігексаметиленгуанідін хлоридом та біологічною фітиновою кислотою, підтверджують ефективність антимікробної обробки проти значної кількості бактерій, що переносяться у повітрі.

References

1. Kolb V.M. Green Organic Chemistry and Its Interdisciplinary Applications (1st ed.) / V.M. Kolb. – CRC Press: Boca Raton, FL, USA, 2016. – 193 p. – DOI: <https://doi.org/10.1201/9781315371856>.
2. Kim H.J. Phytic Acid Doped Polyaniline Nanofibers for Enhanced Aqueous Copper(II) Adsorption Capability / H.J. Kim, S. Im, J.C. Kim, W.G. Hong, K. Shin, H.Y. Jeong, Y.J. Hong // ACS Sustainable Chem. Eng. – 2017. – 5(8). – P. 6654 – 6664. – DOI: <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.7b00898>.
3. Malucelli G. Textile finishing with biomacromolecules: A low environmental impact approach in flame retardancy // The impact and prospects of green chemistry for textile technology. – Woodhead Publishing, 2019. – P. 251 – 279. – DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102491-1.00009-5>.
4. Reshma A. Sustainable antimicrobial finishing of fabrics using natural bioactive agents – a review / A. Reshma, V. Brindha Priyadarisini, K. Amutha // Int. J. Life Sci. Pharma Res. – 2018. – 8(4). – P. 10 – 20. – DOI: <http://dx.doi.org/10.22376/ijpbs/lpr.2018.8.4.L10-20>.
5. Perepelkin K.E. Principles and Methods of Modification of Fibres and Fibre Materials. A Review / K.E. Perepelkin // Fibre Chemistry. – 2005. – 37. – P. 123 – 140. – DOI: <https://doi.org/10.1007/s10692-005-0069-6>.
6. Billah S.M.R. Textile Coatings / S.M.R. Billah // Functional Polymers: [monograph]. Edited by Jafar Mazumder M., Sheardown H., Al-Ahmed A. – Cham: Springer International Publishing, 2019. – 10. – P. 825 – 882. – DOI: [10.1007/978-3-319-95987-0_30](https://doi.org/10.1007/978-3-319-95987-0_30).
7. Sadeghi-Kiakhani M. Improvement of dyeing and antimicrobial properties of nylon fabrics modified using chitosan-poly(propylene imine) dendreimer hybrid / M. Sadeghi-Kiakhani, S. Safapour // Journal of Industrial and Engineering Chemistry. – 2016. – 33. – P. 170 – 177. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2015.09.034>.
8. Arif D. Preparation of Antibacterial Cotton Fabric Using Chitosan-silver Nanoparticles / D. Arif, M. Niazi, N. Ul-Haq, M. Anwar, E. Hashmi // Fibers and Polymers. – 2015. – 16. – P. 1519 – 1526. – DOI: <https://doi.org/10.1007/s12221-015-5245-6>.
9. Xue Z. Microwave-assisted antimicrobial finishing of wool fabric with chitosan derivative / Z. Xue // Indian Journal of Fibre and Textile Research. – 2015. – 40(1). – P. 51 – 56.
10. Mocolini S.K. Bean sprout peroxidase biosensor based on l-cysteine self-assembled monolayer for the determination of dopamine / S.K. Mocolini, S.C. Fernandes, I.C. Vieira // Sensors and Actuators B: Chemical. – 2008. – 133(2). – P. 364 – 369. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.snb.2008.02.039>.
11. Laufer G. Intumescent Multilayer Nanocoating, Made with Renewable Polyelectrolytes, for Flame-Retardant Cotton / G. Laufer, C. Kirkland, A.B. Morgan, J.C. Grunlan // Biomacromolecules. – 2012. – 13(9). – P. 2843 – 2848. – DOI: <https://doi.org/10.1021/bm300873b>.
12. Li S. Phosphorus-nitrogen-silicon-based assembly multilayer coating for the preparation of flame retardant and antimicrobial cotton fabric / S. Li, X. Lin, Y. Liu, R. Li, X. Ren, T.-S. Huang // Cellulose. – 2019. – 26. – P. 4213 – 4223. – DOI: <https://doi.org/10.1007/s10570-019-02373-5>.
13. Chin W. A macromolecular approach to eradicate multidrug resistant bacterial infections while mitigating drug resistance onset / W. Chin, G. Zhong, Q. Pu et al. // Nature Communications. – 2018. – 9(1). – P. 917. – DOI: <https://doi.org/10.1038/s41467-018-03325-6>.
14. Cao Y. Guanidine-Functionalized Cotton Fabrics for Achieving Permanent Antibacterial Activity Without Compromising their Physicochemical Properties and Cytocompatibility / Y. Cao, J. Gu, S. Wang, Z. Zhang, H. Yu, J. Li, S. Chen // Cellulose. – 2020. – 27(10). – P. 6027 – 6036. – DOI: <https://doi.org/10.1007/s10570-020-03137-2>.
15. Olewnik-Kruszkowska E. Antibacterial Films Based on PVA and PVA-Chitosan Modified with Poly-(Hexamethylene Guanidine) / E. Olewnik-Kruszkowska, M. Gierszewska, E. Jakubowska, et al. // Polymers. – 2019. – 11(12). – P. 2093. – DOI: [10.3390/polym11122093](https://doi.org/10.3390/polym11122093).
16. Zhao T. Halogenated phenols and polybiguanides as antimicrobial textile finishes / T. Zhao, Q. Chen // Antimicrobial Textiles. – 2016. – P. 141 – 153. – DOI: [10.1016/B978-0-08-100576-7.00009-2](https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100576-7.00009-2).
17. Li Z. Permanent antimicrobial cotton fabrics obtained by surface treatment with modified guanidine / Z. Li, J. Chen, W. Cao, et al. // Carbohydr Polym. – 2018. – 180. – P. 192 – 199. – DOI: [10.1016/j.carbpol.2017.09.080](https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.09.080).

Надійшла/Paper received : 05.09.2022 р. Надрукована/Printed : 15.11.2022 р.