

ГОРОХОВ Ігор

Херсонський національний технічний університет

ORCID ID: [0000-0002-9483-4123](https://orcid.org/0000-0002-9483-4123)e-mail: [gorohov2410@gmail.com](mailto: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](mailto: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](mailto:tatisevna@gmail.com)

САРІБСКОВА Юлія

Херсонський національний технічний університет

ORCID ID: [0000-0001-6430-6509](https://orcid.org/0000-0001-6430-6509)e-mail: [ysaribyekova@gmail.com](mailto:ysaribyekova@gmail.com)

## ДОСЛІДЖЕННЯ АНТИМІКРОБНОЇ ОБРОБКИ ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ПРИГНІЧУВАННЯ БАКТЕРІАЛЬНОГО ЗАБРУДНЕННЯ ІЗ ДОВКІЛЛЯ

Мета роботи полягає у розробці антимікробного складу та дослідженні якості антимікробної обробки бавовняних текстильних матеріалів.

В якості об'єкту дослідження як ефективний, безпечний антимікробний препарат використано водний розчин полігексаметиленгуанідін хлориду. Для підвищення стійкості обробки до прання досліджено добавки гліцидилових ефірів, здатних до реакції зшивання, різних за функціональністю та масовою часткою епоксидних груп. Обробку бавовняної тканини здійснено методом просочення водним розчином полігексаметиленгуанідін хлориду та гліцидиловими ефірами у опоряджувальній ванні з наступним сушінням і термофіксацією. Перевірку антимікробного ефекту бавовняної тканини проводили за аналізом дифузії диску тканини на засіяному з повітря агарі після обробки антимікробним складом та після прання.

У роботі наведено результати дослідження якості обробки бавовняної тканини від застосування у антимікробному складі полігексаметиленгуанідін хлориду та різноманітних гліцидилових ефірів для підвищення стійкості ефекту до прання. Встановлено ефективність пригнічування бактеріального забруднення із довкілля оброблених антимікробним складом зразків тканин. Результати експерименту показали, що практично всі зразки тканини, модифіковані полігексаметиленгуанідін хлоридом та гліцидиловими ефірами, характеризуються вираженою зоною інгібування мікрофлори, засіяної з повітря, але більшу стійкість до прання має склад зі вмістом моногліцидилового ефіру бутилцелозольву з масовою часткою епоксидних груп 16,0 – 20,0%.

Доведено, що введення моногліцидилового ефіру бутилцелозольву з масовою часткою епоксидних груп 16,0 – 20,0% до опоряджувального складу на основі полігексаметиленгуанідін хлориду дозволяє забезпечити антимікробну дію текстильного матеріалу та підвищити стійкість антимікробного ефекту до прання.

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

Ключові слова: антимікробна обробка, полігексаметиленгуанідін хлорид, гліцидилові ефіри, бавовняна тканина, бактеріальне забруднення, метод засівання з повітря.

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

## INVESTIGATION OF ANTIMICROBIAL TREATMENT OF TEXTILE MATERIALS ON THE EFFECTIVENESS OF INHIBITION OF BACTERIAL CONTAMINATION FROM THE ENVIRONMENT

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

An aqueous solution of polyhexamethylene guanidine chloride was used as an object of study as an effective, safe antimicrobial agent. To increase the stability of the treatment to washing, additives of glycidyl ethers capable of crosslinking reaction, with epoxy groups of different functionality and mass fraction were studied. The treatment of cotton fabric was carried out by impregnation with an aqueous solution of polyhexamethylene guanidine chloride and glycidyl ethers in a finishing bath, followed by drying and curing. Checking the antimicrobial effect of cotton fabric was carried out by the settle plate method by analyzing the diffusion of the fabric disc on agar after treatment with an antimicrobial composition and after washing.

The paper presents the results of a study of the quality of cotton fabric treatment from the use of polyhexamethylene guanidine chloride and various glycidyl ethers in the antimicrobial composition to increase the resistance to washing. The efficiency of inhibition of bacterial contamination from the environment of fabric samples treated with the antimicrobial composition was established. The results of the experiment showed that almost all fabric samples modified with polyhexamethylene guanidine chloride and glycidyl ethers are characterized by a pronounced zone of inhibition of microflora seeded from the air, but a composition containing butyl cellosolve monoglycidyl ether with a mass fraction of epoxy groups of 16.0 – 20.0% has a greater resistance to washing.

It has been proven that the introduction of butyl cellosolve monoglycidyl ether with a mass fraction of epoxy groups of 16.0 – 20.0% into a finishing composition based on polyhexamethylene guanidine chloride makes it possible to provide an antimicrobial effect of a textile material and increase the resistance of the antimicrobial effect to washing.

*The obtained results of the experiment are of practical importance for the development of new finishing compositions in order to impart antimicrobial properties to textile materials.*

*Keywords: antimicrobial treatment, polyhexamethylene guanidine chloride, glycidyl ethers, cotton fabric, bacterial contamination, settle plate method.*

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

Текстиль виконує захисну функцію у житті людини і в той же час може вміщувати різні типи мікробів, спроможних взаємодіяти з мікрофлорою шкіри [1].

В галузях охорони здоров'я, гігієни, упаковки харчових продуктів, автомобільного текстилю, опалення, вентиляції та кондиціонування повітря, повітряних фільтрів та систем очищення води використовуються антимікробний текстиль. Він також використовується для захисту медичного персоналу як функціональний одяг, для побутових тканин, наразі – масок для обличчя. Антимікробний текстиль також популярний серед сучасного спортивного одягу та одягу для активного способу життя [2].

Більшість протимікробних агентів, що використовуються в текстильній промисловості, характеризуються механізмом контрольованого вивільнення або вилужування у присутності вологи. Вилужувальна дія призводить до поступового зниження активної речовини. Додатки можуть бути введені всередину волокнистої матриці під час формування та екструзії, або вони можуть бути нанесені на текстильні поверхні за допомогою звичайного процесу покриття або просочення, такого як набивання або витяжка [3].

### **Аналіз останніх джерел**

Ефективною антимікробною обробкою бавовняних тканин, що призначені для використання у побуті та громадських приміщеннях з покриттями на основі різних типів полімерів, є обробка гуанідинами або полімерними нанокомпозитними матеріалами з постійними антимікробними властивостями без погіршення їх фізико-хімічних та механічних характеристик [4]. Крім того, відоме використання [5] біорозкладних полікарбонатів, функціоналізованих гуанідином, для забезпечення антимікробної активності *in vivo* проти *A. baumannii*, *E. coli*, *Klebsiella pneumoniae*, *S. aureus* і *P. Aeruginosa*.

В іншому дослідженні [6] повідомлено про полімерні плівкові покриття на основі ПВС/хітозан з додаванням полігексаметиленгуанідину, які характеризуються антибактеріальними властивостями.

Полігуанідини широко застосовуються як універсальний дезінфікуючий засіб у багатьох галузях промисловості, відносяться до мало небезпечних речовин (3 клас безпеки по токсикологічній класифікації), характеризуються низькою токсичністю для людини, практично відсутністю корозійної активності до більшості матеріалів. Полігуанідини спроможні до плівкоутворення на оброблених поверхнях, що вказує на пролонговану активність препаратів. Відносяться до полікатионних амінів, спроможні до руйнування бактеріальної клітини за рахунок електростатичного притягування [7, 8].

Полібігуаніди, як полімерні полікатионні аміни, в основному складаються з ланок катионного бігуаніду, що повторюються, з вуглеводневими лінкерами однакової або різної довжини. Цей клас біоцидних полімерів добре відомий як життєво важливий, завдяки їх високій гідрофільності, чудовій біоцидній ефективності проти широкого спектру мікробів та нетоксичності. Катионні групи, що взаємодіють із бігуанідом, можуть зв'язуватися з негативно зарядженими групами (COOH) целюлози. Одним з найбільш застосованих полімерів на основі бігуаніду є полігексаметиленгуанідин хлорид через його низьку токсичність та розчинність у воді.

Бактерицидні властивості гуанідинових речовин обумовлені руйнівним електрохімічним впливом на оболонку клітини (клітинну мембрану), яка відіграє роль молекулярного фільтра, що захищає цитоплазматичну мембрану від руйнівних токсинів. Внаслідок електрохімічних властивостей, контактуючи з поверхнею клітинної оболонки, молекули полігексаметиленгуанідину викликають відтік компонентів, що забезпечують цілісність клітинної мембрани. Молекули полігексаметиленгуанідину зв'язуються з молекулами, що знаходяться ззовні клітини, утворюючи в ній проломи, через які залишкові кількості полігексаметиленгуанідину проникають до цитоплазматичної мембрани, порушуючи її цілісність. На першому етапі спостерігається витік молекул із низькою молекулярною масою, насамперед іонів калію. Вже при бактериостатичних кількостях полігексаметиленгуанідину клітина втрачає близько 40% калію, що міститься в ній.

Враховуючи, що текстильні матеріали експлуатуються в побуті, транспорті, суспільних місцях і піддаються дії різноманітної мікрофлори, яка переноситься у повітрі, **метою роботи** є проведення дослідження якості антимікробної обробки текстильних матеріалів на ефективність пригнічування бактеріального забруднення із довкілля. У роботі використовували метод седиментаційного аналізу, який відноситься до найбільш простих, але, в той же час, швидких і показових методів вивчення мікрофлори повітря і використовується для порівняльного аналізу бактеріального забруднення повітря.

### **Виклад основного матеріалу**

Для визначення антимікробної дії текстильні матеріали різноманітного сировинного складу обробляли водним розчином полігексаметиленгуанідин хлориду (ПГМГ), структурна формула якого наведена на рис. 1, у концентраціях 1–6%.

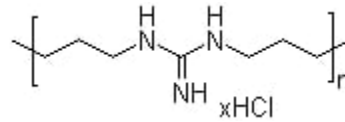


Рис. 1. Структурна формула полігексаметиленгуанідін хлориду

Просочення тканин здійснювали на двовальній плюсовці з дворазовим зануренням і віджиманням до залишкової вологості 90%. На наступному етапі тканину висушували при температурі 80°C, та, після охолодження, витримували оброблені зразки тканин в ексікаторі протягом доби. Антимікробні властивості текстильних матеріалів визначали за допомогою аналізу дифузії тканинного диску. Для цього чашки Петрі з приготованим застиглим агаром залишали на відкритому просторі у приміщенні та витримували протягом 15 хв. Далі зразки тканини поміщали до чашок Петрі на поверхню засіяного з повітря агару, закривали, вносили до термостату та витримували 72 год. при температурі 38°C для інкубації посівів. Результати дослідження представлені на рис. 2.

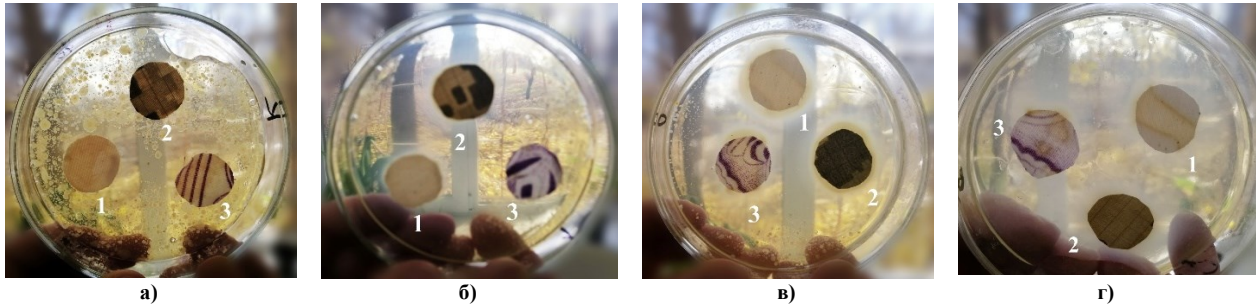


Рис. 2. Антимікробна дія полігексаметиленгуанідін хлориду на різних за волокнистим складом текстильних матеріалах та концентраціях: а) зразок без обробки; б) 1% розчин ПГМГ; в) 3% розчин ПГМГ; г) 6% розчин ПГМГ; 1 – поліефір 47% та бавовна 53%; 2 – бавовна 50% та нейлон 50%; 3 – бавовна 100%

Визначення ефективності антимікробної обробки проводилося на текстильних матеріалах різного сировинного складу без опорядження та з обробкою при різних концентраціях полігексаметиленгуанідін хлориду. Представлені фото демонструють високе забруднення усіх текстильних матеріалів, які не оброблені антимікробним препаратом (рис. 2 а). Обробка полігексаметиленгуанідін хлоридом при концентрації 1% (рис. 2 б) є достатньою для текстильних матеріалів із вмістом синтетичних волокон, так як навколо них не спостерігається бактеріального забруднення. Бактеріальне забруднення навколо бавовняної тканини зменшується лише з підвищенням концентрації препарату, і оптимальною є концентрація 6% (рис. 2 г).

Враховуючи, що саме натуральні волокна найбільш піддаються мікробній атаці та забрудненню, що викликано спроможністю натуральних волокон до вологоутримання, в подальшому дослідженні для розробки антимікробного складу використовували зразки тканини з бавовняного волокна. В роботі досліджували вплив добавок гліцидилових ефірів як потенційних зшиваючих агентів для підвищення стійкості антимікробної обробки до прання, враховуючи, що полігексаметиленгуанідін хлорид відноситься до плівкоутворюючих речовин, але має високу розчинність у воді. В таблиці 1 наведені характеристики досліджуваних гліцидилових ефірів з різною функціональністю та масовою долею епоксидних груп.

Таблиця 1

#### Характеристики досліджуваних гліцидилових ефірів

Хімічний склад	Функціональність	Масова частка епоксидних груп, %	В'язкість при 25°C, мПа·с
Моногліцидиловий ефір бутилцелозольву	1	16,0 – 20,0	3 – 8
Моногліцидиловий ефір алкілфенолу	1	11,0 – 14,0	100 – 150
Дигліцидиловий ефір поліоксіпропіленгліколю	2	7,5 – 10,5	70 – 120

При використанні епоксидів як зшиваючих агентів задіюються як карбоксильні, так і гідроксильні функціональні групи, що призводить до утворення ефірних зв'язків. Формування тривимірної полімерної структури інгібує гідроліз ефірних зв'язків ефективніше у разі застосування епоксидів, ніж меламіноформальдегідних смол, в результаті досліджуваних в роботі опоряджувальні складі безпечніші і більш стійкі до зовнішніх факторів. Епоксиди є мультигідроксидними сполуками і можуть ввести точки розгалуження в основний ланцюг полімеру з утворенням сітчастої зшитої структури. Ефективність застосування епоксидів засвідчує і публікація [8] з повідомленням про використання дигліцидилового ефіру поліпропіленгліколю разом з полігексаметиленгуанідін хлоридом, у якій підтверджується отримання значної антимікробної активності бавовняних тканин, які не втрачають антимікробні властивості навіть після прання з розчином миючого засобу.

В роботі опоряджувальний розчин готували розбавленням водою полігексаметиленгуанідін хлориду до концентрації 6%, далі до складу розчину вводили гліцидилові ефіри у концентрації 1% (таблиця 1). Технологічний процес обробки включав: просочування бавовняної тканини на двовальній плюсовці з подвійним зануренням і віджимом до залишкової вологості 90%; висушування при температурі 80°C та термофіксацію при температурі 120°C протягом 4 хв. В таблиці 2 показані результати обробки тканини до та після прання, в залежності від використовуваних гліцидилових ефірів, які характеризуються різною часткою епоксидних груп та функціональністю.

Таблиця 2

**Вплив гліцидилових ефірів на антимікробний ефект бавовняної тканини**

Епоксидна складова антимікробного складу (концентрація 1%)	Антимікробна дія опоряджувального складу	Стійкість антимікробного ефекту до 1 прання	Стійкість антимікробного ефекту після 5 циклів прання	Масова частка епоксидних груп, %
Моногліцидиловий ефір бутилцелозольву	+++	++	+	16,0 – 20,0
Моногліцидиловий ефір алкілфенолу	+	+	-	11,0 – 14,0
Дигліцидиловий ефір поліоксіпропіленгліколю	+	+ -	-	7,5 – 10,5

+ – вираженість антимікробного ефекту.

Перевірку антимікробного ефекту бавовняної тканини проводили методом засівання мікроорганізмів з повітря. Антимікробні властивості тканини визначали за аналізом дифузії диску тканини на засіяному з повітря агарі. На фото (рис. 3) представлені результати дослідження бавовняної тканини без опорядження та з включенням до складу розчину полігексаметиленгуанідін хлориду гліцидилових ефірів з різною функціональністю та масовою часткою епоксидних груп.

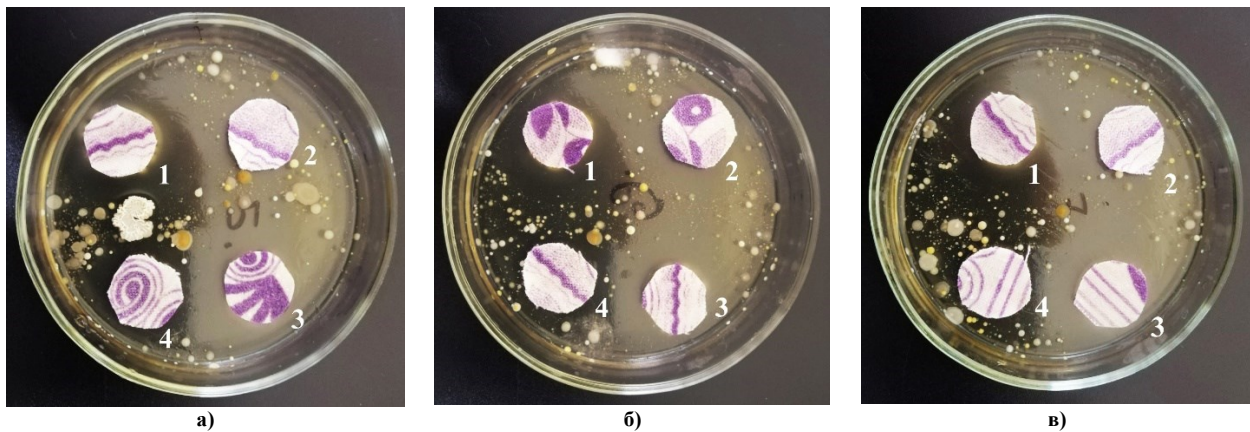


Рис. 3. Аналіз дифузії диску з бавовняної тканини:

а) моногліцидиловий ефір бутилцелозольву; б) моногліцидиловий ефір алкілфенолу;  
в) дигліцидиловий ефір поліоксіпропіленгліколю;

1, 3 – зразки бавовняної тканини, обробленої антимікробним складом; 2 – зразок після першого прання;  
4 – зразок після п'ятого прання

Як бачимо на фото, представлених на рис. 3, значна кількість різноманітної мікрофлори, що переноситься повітрям, сконцентрована саме у зоні, де немає зразків тканини. Виражена зона інгібування, близько 8–10 мм, наявна навколо дисків тканини під номерами 1 та 3, які модифіковані полігексаметиленгуанідін хлоридом та усіма досліджуваними гліцидиловими ефірами. Найкращий показник проявляє диск тканини, у якого до опоряджувального складу входить моногліцидиловий ефір бутилцелозольву з масовою часткою епоксидних груп 16,0–20,0 % (рис.3 а). Стійкість антимікробного ефекту після першого прання при використанні моногліцидилового ефіру бутилцелозольву (зразок 2, рис. 3 а) дещо знижується, зона інгібування складає 2–4 мм, однак, після п'ятого прання (зразок 4, рис. 3 а) тканина все ще проявляє незначні антимікробні властивості (зона інгібування близько 1 мм, але не для всіх патогенів). Зона інгібування навколо оброблених антимікробним складом дисків тканини після інкубації підтверджує їх антимікробні властивості.

Обробка складом з вмістом моногліцидилового ефіру алкілфенолу з масовою часткою епоксидних груп 11,0–14,0% (рис. 3 б) та дигліцидилового ефіру поліоксіпропіленгліколю з масовою часткою епоксидних груп 7,5–10,0% (рис. 3 в) ефективна лише при використанні тканини, яка не підлягає мокрої обробки. Тканина, оброблена переліченими препаратами, втрачає антимікробну стійкість під час мокрої обробки при першому пранні, а після п'ятого прання антимікробного ефекту не спостерігається.

**Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі**

Таким чином, антимікробні властивості бавовняної тканини, визначені за допомогою аналізу дифузії тканинного диску, та зона інгібування, що утворилася навколо тканини після інкубаційного періоду, підтверджують, що модифікований полігексаметиленгуанідін хлоридом та моногліцидиловим ефіром бутилцелозольову бавовняний текстиль є ефективним проти значної кількості бактерій, що переносяться у повітрі.

**References**

1. Sanders D. A review of clothing microbiology: the history of clothing and the role of microbes in textiles / D. Sanders, A. Grunden, R.R. Dunn // *Biol Lett.* – 2021. – 17(1). – P. 20200700. – DOI: 10.1098/rsbl.2020.0700.
2. Gulati R. Antimicrobial textile: recent developments and functional perspective / R. Gulati, S. Sharma, R.K. Sharma // *Polymer Bulletin.* – 2022. – 79. – P. 5747–5771. – DOI: 10.1007/s00289-021-03826-3.
3. Abo El-Ola S.M. Recent Developments in Finishing of Synthetic Fibers for Medical Applications / S.M. Abo El-Ola // *Designed Monomers and Polymers.* – 2008. – 11(6). – P. 483-533. – DOI: 10.1163/156855508X363816.
4. Chin W. A macromolecular approach to eradicate multidrug resistant bacterial infections while mitigating drug resistance onset / W. Chin, G. Zhong, Q. Pu, et al. // *Nat. Commun.* – 2018. – 9(1). – P. 917. – DOI: 10.1038/s41467-018-03325-6.
5. Cao Y. Guanidine-functionalized cotton fabrics for achieving permanent antibacterial activity without compromising their physicochemical properties and cytocompatibility / Y. Cao, J. Gu, S. Wang, et al. // *Cellulose.* – 2020. – 27(10). – P. 6027-6036. – DOI: 10.1007/s10570-020-03137-2
6. 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.
7. 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.
8. 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.

Надійшла/Paper received : 05.08.2022 р.    Надрукована/Printed : 01.11.2022 р.