

УДК 615.28:628.1:547.495.9:615.076

DOI <https://doi.org/10.32782/2786-9067-2026-31-9>

МОДЕЛЮВАННЯ ПІДХОДІВ ЩОДО ВИПРОБУВАНЬ ДЕЗІНФЕКЦІЙНИХ ЗАСОБІВ ПОХІДНИХ ГУАНІДИНУ ДЛЯ ЗНЕЗАРАЖЕННЯ ВОДИ У ШТУЧНИХ БАСЕЙНАХ

Платонова І.Л., Сирота Г.І., Патько І.М., Руда І.А.

ДНТ «Львівський національний медичний університет імені Данила Галицького», Львів, Україна

Анотація. На сьогодні, відсутні нормативні документи, які б регламентували обсяг та умови проведення випробувань засобів дезінфекційних для знезараження води у басейнах. Мета роботи – змодельовати підходи до випробувань дезінфекційних засобів похідних гуанідину для знезараження води у басейнах.

Матеріали і методи. Випробуванню на мікробіцидну активність підлягав засіб «ЦЕ СРІБЛО. Сила наносрібла», виробництва ПП «Терміт», Україна. Діюча речовина полігексаметиленгуанідин гідрохлорид (ПГМГ ГХ). Дослідження проведені на основі базових ДСТУ EN 1276:2019, ДСТУ EN 1650:2019 в «чистих» умовах, за температури 30 °С, експозиції 60 хв, з пролонгацією часу контакту – 120 хв, 180 хв, 240 хв та 24 год. Використані штами мікроорганізмів: *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Enterococcus hirae*, *Candida albicans*, *Aspergillus niger*.

Результати та обговорення. Показано, що пролонгація часу контакту дозволила встановити активні, наближені до ГДК (0,10 мг/дм³) концентрації продукту, з достатнім мікробіцидним ефектом. Отримано ефективну за лімітуючим штамом бактерицидну ($\lg R > 5$) та дріжджоцидну ($\lg R > 4$) активність при експозиції 240 хв для концентрації 7,0 мг/дм³ (0,0007%), фунгіцидну активність до *Aspergillus niger* – для 1050 мг/дм³ (0,105%), $\lg R > 4$. При 24 год. експозиції виявлено найнижчу дієву бактерицидну концентрацію – 3,5 мг/дм³ (0,00035%), яка демонструвала показник редуції $\lg R = 4,78$ з мікробним забрудненням постреакційного субстрату 25 КУО/см³, що відповідало вимогам встановленим для води питної.

Висновки. Ефективними концентраціями для високомолекулярних катіонних біоцидів слід вважати ті, які за показником загального мікробного числа дозволяли утримували чистоту води у басейні менше 50 КУО/см³ й демонстрували показник редуції для бактеріальних штампів – $\lg R \geq 4,7$, для дріжджоподібних грибів – $\lg R \geq 3,6$. Пролонгація контакту до 180 хв, 240 хв показувала у 50–100 разів нижчі, дієві концентрації продукту, ніж 60 хв експозиція.

Ключові слова: випробування деззасобів, похідні гуанідину, знезараження води у басейнах.

Вступ. Полігуанідини – високомолекулярні катіонні полімери, похідні гуанідину, належать до сильних органічних основ. Більшість із них добре розчинні у воді, утворюють водні колоїдні розчини, погано розчиняються у неполярних органічних розчинниках. Мають високу бактерицидну, дріжджоцидну, фунгіцидну, обмежену віруліцидну, інсектицидну дію. Разом з мікробіцидними властивостями у похідних гуанідину наявні альгіцидні і флокулюючі властивості, тому їх рекомендують для боротьби з біообростанням дамб, гребель, басейнів, будівельних конструкцій, для знезараження та водоочищення [1; 2].

Механізм антимікробної дії високомолекулярних катіонних біоцидів пов'язаний із його катіонною природою, здатністю взаємодіяти з негативно зарядженими компонентами клітинної оболонки – з мембранними фосфоліпідами, ліпополісахаридами, тейхоевими кислотами, що призводить до руйнування структури цитоплазматичної мембрани, викликає втрату іонів і метаболітів, порушення осмотичного балансу, внаслідок чого клітина гине. Разом з тим, полігуанідинові сполуки пригнічують енергетичний метаболізм, реплікацію і синтез білка, блокують клітинне дихання [8; 16-18].

Найбільш значимими представниками полігуанідинів є полігексаметиленгуанідин (ПГМГ), зокрема його фосфатні та хлоровмісні солі, які знайшли широке застосування у різних сферах народного господарства, випускаються різними товаровиробниками під торговими марками такими як: Гуанполісепт, Полісепт, Біопаг, Акватон, Дезавід, Фосфопаг та ін.

Полігексаметиленгуанідин гідрохлорид (ПГМГ-ГХ), у порівнянні з іншими дезінфектантами, низькотоксичний, без запаху, не алергенний. При шкірному шляху надходження в організм його відносять до IV класу малонебезпечних речовин, при надходженні через шлунок – до III класу помірно небезпечних речовин. ПГМГ-ГХ проявляє низьку корозійність до матеріалів, відносну хімічну інертність та сумісність з багатьма компонентами, у навколишньому середовищі добре піддається біорозпаду [1; 10].

Разом з тим, відома й інша сторона застосування ПГМГ – висока його токсичність для легень, зафіксована в 2006-2011рр. у Південній Кореї під час спалаху тяжких захворювань серед дітей та дорослих. Проведені дослідження показали, що причиною смерті у пацієнтів був фіброз легень, обумовлений використанням ПГМГ в аерозольних зволожувачах повітря [14; 15]. Це єдиний зафіксований й визнаний випадок токсичного, з летальними наслідками, впливу ПГМГ на організм людини, що вимагає зваженості, обережності та дотримання інструкційних вимог при розрахунку безпечно-дієвих мікробіцидних концентрацій, відповідно до сфери використання препарату та дотримання санітарно гігієнічних вимог безпеки щодо його експлуатації.

Вимоги до дезінфекційних засобів, обсяг та умови випробувань регламентовані відповідними нормативними документами, це: Наказ МОЗ України від 03 вересня 2020 р. № 2024 зі змінами, внесеними Наказом МОЗ України від 02 грудня 2024 р. № 1998, ДСТУ EN 14885:2019 [3; 7; 9]. Проте на сьогодні відсутні стандарти, які б нормували підходи щодо випробувань деззасобів, які використовують для знезараження води у басейнах.

Нормативні та методичні документи на проведення випробувань деззасобів для вузькоспеціалізованих сфер застосування, таких як вода басейнів, вимагають дещо іншого підходу до випробувань – не схематичну, чітко прописану, як у наявних стандартах методологію досліджень деззасобів, а адаптовану під цей напрям процедуру, яка визначає специфічну активність засобу, з іншої сторони – розглядає ефективні, безпечні для здоров'я мікробіцидні концентрації орієнтовані на медико-санітарні показники безпеки. Саме це визначило мету даної роботи.

Мета дослідження. Змодельовати підходи до випробувань дезінфекційних засобів похідних гуанідину для знезараження води у басейнах.

Матеріали та методи. Об'єктом для випробувань був дезінфекційний засіб «ЦЕ СРІБЛО. Сила наносрібла». Виробник ПП «Терміт», Україна. Комплексний препарат із двох складових – «Комплекс наносрібла» та «Потужність міді». «Комплекс наносрібла» це біоцидний полімер з наночастинками срібла ARGENTIS NANO™. «Потужність міді» – комплекс сполук міді, четвертинних амонієвих сполук (ЧАС) та катіонного полімеру. Діюча речовина – полігексаметиленгуанідин гідрохлорид (ПГМГ-ГХ). Сумарний вміст ПГМГ-ГХ в обох складових – 17,5%. У «Комплексі наносрібла» – 15,0%, у комплексі «Потужність міді» – 2,5%.

Препарат призначений для очистки та знезараження води у басейнах: плавальних публічних та приватних (з системами циркуляції, фільтрації та без таких), оздоровчих, спортивних, дитячих; аквапарків, штучних водойм з прісною та морською водою; фонтанів; знезараження води господарських водоймищ з твердим дном та берегами. Спосіб застосування та дозування вказані в інструкції-вкладці до препарату [6].

Випробування специфічної активності засобу здійснено кількісним суспензійним методом нейтралізації розведеного розчину, на основі базових ДСТУ EN 1276:2019, ДСТУ EN 1650:2019 з використанням тест-штамів мікроорганізмів: *Escherichia coli* NCTC 10418 / ATCC 10536, *Staphylococcus aureus* NCTC 7447 / ATCC 6538P, *Pseudomonas aeruginosa* NCTC 13359 / ATCC 15442, *Enterococcus hirae* NCTC 13383 / ATCC 10541, *Candida albicans* ATCC 10231, *Aspergillus niger* ATCC 16404 [4; 5].

Зберігання тест-культур та їх підготовку до досліджень проводили згідно з EN 12353:2006 [13]. Кількість клітин у випробній мікробній суспензії визначали денситометрично при довжині хвилі $\lambda = 550$ нм. Діапазон дозволених значень для бактерій – від $1,5 \times 10^8$ КУО/см³ до $5,0 \times 10^8$ КУО/см³; для дріжджів, спор грибів – від $1,5 \times 10^7$ КУО/см³ до $5,0 \times 10^7$ КУО/см³.

Підбір умов досліджень специфічної активності засобу направлений на сферу застосування препарату, максимально наближений до практичних умов його застосування, скерований на виявлення мінімальних, безпечних для здоров'я концентрацій з дієвим мікробіцидним ефектом.

Випробування проведено в «чистих» умовах, з використанням бичачого сироваткового альбуміну в концентрації 0,3 г/дм³. Нейтралізуюча речовина – комплексна сполука за рецептурою: polysorbat-80 – 30 г/л + saponin – 30 г/л + lecithin – 3 г/л + L-histidine – 1,0 г/л + тиосульфат натрію 5 г/л розбавляли у розчині для розведення: триптон (панкреатичний гідролізат казеїну) – 1,0 г, NaCl – 8,5 г, вода – 1000 см³. Температура випробувань – (30,0 ± 1,0) °С. Експозиція: 60 хв, 120 хв, 180 хв, 240 хв. Випробувані концентрації засобу за діючою речовиною (ПГМГ ГХ): 0,1095 мг/дм³ (0,00001095%), 0,438 мг/дм³ (0,0000438%), 0,875 мг/дм³ (0,0000875%), 1,31 мг/дм³ (0,000131%), 1,75 мг/дм³ (0,000175%), 3,5 мг/дм³ (0,00035%), 5,25 мг/дм³ (0,000525%), 7,0 мг/дм³ (0,0007%), 10,5 мг/дм³ (0,00105%), 14,0 мг/дм³ (0,0014%), 21,0 мг/дм³ (0,0021%), 52,5 мг/дм³ (0,00525%), 105 мг/дм³ (0,0105%), 525 мг/дм³ (0,0525%), 1050 мг/дм³ (0,105%), 5250 мг/дм³ (0,525%), 10500 мг/дм³ (1,05%). Вказаний концентраційний ряд пройшов випробування бактерицидної активності до *Escherichia coli* і був використаний для визначення оптимального і дієвого концентраційного діапазону на відрізьку низьких концентрацій для подальших досліджень мікробіцидної активності щодо інших тестових штамів бактерій, дріжджів, плісневих грибів.

Для виявлення активних мікробіцидних концентрацій, наближених до ГДК (0,10 мг/дм³) [11] за умови пролонгації часу контакту до 24 год проводили випробування бактерицидної активності для концентрацій: 0,1095 мг/дм³ (0,00001095%), 0,438 мг/дм³ (0,0000438%), 0,875 мг/дм³ (0,0000875%), 1,31 мг/дм³ (0,000131%), 3,5 мг/дм³ (0,00035%) до *Escherichia coli*.

Відповідно до сфери застосування продукту, для розбавлення й приготування робочих розчинів деззасобу використовували звичайну воду з централізованого водогону, дехлоровану шляхом відстоювання упродовж 20 годин, з подальшою стерилізацією методом мембранної фільтрації за допомогою целюлозонітратного фільтру з діаметром пор 0,45 мкм.

Для культивування тест-штамів мікроорганізмів використовували середовища, ростові властивості та стерильність яких перевіряли перед початком досліджень. Бактеріальні культури висівали на триптоно-соевий агар (TSA – Tryptone Soya Agar) виробництва «HiMedia», Індія; дріжджі, спори гриба – на агар солодового екстракту (MEA – Malt extract agar) виробництва «Condalab», Іспанія. Культивування випробних суспензій бактеріальних тест-культур проводили при температурі (37,0±1,0) °С упродовж 24-48 год; дріжджів при (30,0 ± 1,0) °С, 42-48 год; спор плісені при (30,0 ± 1,0) °С, 48-72 год.

Процедуру дослідження специфічної активності засобу та процедуру валідації методу – контроль експериментальних умов (А), контроль відсутності токсичності нейтралізатора (В), контроль ефективності нейтралізації (С), обрахунок та інтерпретацію даних проводили згідно нормативних документів. У кількісному суспензійному методі, відповідно до стандартів, деззасіб повинен демонструвати показник редукції не менше 5 lg (lg R ≥ 5) для бактерій, не менше 4 lg (lg R ≥ 4) для дріжджоподібних та плісневих грибів [4; 5].

Запропоновані підходи до випробувань специфічної активності деззасобів для знезараження води у басейнах можуть бути використані для високомолекулярних катіонних біоцидів. В основу моделювання процесу випробувань покладено два основні принципи. Перший – максимально наближена адаптація випробувань до практичного застосування препарату для виявлення мінімальних, ефективних мікробіцидних концентрацій. Другий – вихід на санітарні показники безпеки для води басейнів.

Результати дослідження. Воду у басейнах за санітарно-гігієнічними вимогами порівнюють до води питної. За бактеріологічними показниками безпеки загальне мікробне забруднення не повинно перевищувати 50 КУО в 1 см³, у 100 см³ – відсутні бактерії групи кишкових паличок, золотистого стафілококу, синьогнійної палички; за фізико-хімічними критеріями – показ-

ник мутності менше 1,0 NTU, водневий показник – рН 7,2-7,6, концентрації хімічних сполук для знезараження води – безпечні для організму людини [12]. Тому, випробування засобів для дезінфекції води басейнів повинні бути завідома орієнтовані на низькі, наближені до гранично допустимої концентрації (ГДК) препарату з достатньою мікробіцидною активністю для досягнення бажаного ефекту (загальне мікробне забруднення не більше ≤ 50 КУО/см³). Ця умова вимагає проведення випробувань специфічної активності розширеного концентраційного ряду для визначення оптимального, активного відрізка шкали в умовах пролонгації експозиційної компоненти, що було здійснено на прикладі одного тест-штаму мікроорганізму – *Escherichia coli*. Обраний діапазон концентрацій став робочим у дослідженнях щодо інших тестових штамів. Випробування змодельовані відповідно до умов практичного застосування препарату: «чисті» умови, температура у досліді (30±1) °С, приготування досліджуваних концентрацій на основі дехлорованої води з центрального водогону, пролонгація часу взаємодії компонентів.

Пролонгація часу взаємодії компонентів більша, ніж це регламентують чинні нормативні документи (60 хв) [3-5; 7; 9] й тісно пов'язана з фізико-хімічними властивостями основної, діючої компоненти у продукті – ПГМГ ГХ, стійкої до деструкції сполуки, здатної утворювати полімерні плівки на поверхнях, з тривалим мікробіцидним ефектом. Це обґрунтувало збільшення експозиційного часу з 60 хв до 120 хв, 180 хв, 240 хв, 24 год й дало можливість для виявлення низьких, наближених до ГДК концентрацій з ефективною мікробіцидною активністю. Результати випробувань бактерицидної активності засобу до *Escherichia coli* за обраних експозицій представлені у табл. 1.

Таблиця 1

Показники бактерицидної активності розширеного концентраційного ряду засобу дезінфекційного «ЦЕ СРІБЛО. Сила наносрібла» до *Escherichia coli*

Тест штам	Концентрація за діючою речовиною ПГМГ ГХ мг/дм ³ (%)	Показник редукції (lg R) / залишок життєздатних КУО/см ³			
		60 хв	120 хв	180 хв	240 хв
<i>Escherichia coli</i> NCTC 10418 /ATCC 10536	0,1095 (0,00001095)	<3,88/>330	<3,88 />330	<3,88 />330	<3,88 />330
	0,438 (0,0000438)	<3,88 />330	<3,88 />330	<3,88 />330	<3,88 />330
	0,875 (0,0000875)	<3,88 />330	<3,88 />330	<3,88 />330	<3,88 />330
	1,313 (0,000131)	<3,88 />330	<3,88 />330	<3,88 />330	<3,88 />330
	1,75 (0,000175)	<3,88 />330	<3,88 />330	<3,88 />330	<3,88 />330
	3,5 (0,00035)	<3,88 />330	<3,88 />330	3,94 / 290	4,40 / 97
	5,25 (0,000525)	<3,88 />330	<3,88 />330	4,16 / 175	5,07 /*22
	7,0 (0,0007)	<3,88 />330	3,98 / 265	4,41 / 98	>5,25 /*11
	10,5 (0,00105)	<3,88/>330	4,29 / 129	5,16 /*18	>5,25 /*2
	21,0 (0,0021)	<3,88 />330	4,37 / 107	5,18 /*17	>5,25 /*1
	52,5 (0,00525)	3,99 / 259	4,50 / 80	>5,25 /*12	>5,25 /*1
	105,0 (0,0105)	4,82 /*38	4,99 /*26	>5,25 /*0	>5,25 /*0
	525,0 (0,0525)	5,08 /*21	>5,25 /*2	>5,25 /*0	>5,25 /*0
	1050,0 (0,105)	>5,25 /*7	>5,25 /*0	>5,25 /*0	>5,25 /*0
5250,0 (0,525)	>5,25 /*0	>5,25 /*0	>5,25 /*0	>5,25 /*0	

Примітка *Показники редукції, які входять у межі норми для води питної за показником ЗМЧ (норма ≤ 50 КУО/см³).

Проведеними дослідженнями визначено відрізок активних щодо *Escherichia coli* концентрацій за експозиції 180 хв та 240 хв, який обрали для подальшого вивчення мікробіцидної активності продукту щодо інших тест-штамів мікроорганізмів, зокрема: 5,25 мг/дм³ (0,000525%), 7,0 мг/дм³ (0,0007%), 10,5 мг/дм³ (0,00105%), 21,0 мг/дм³ (0,0021%), 52,5 мг/дм³ (0,00525%), 105 мг/дм³ (0,0105%), 525 мг/дм³ (0,0525%).

Випробуваннями встановлені мінімальні, найбільш наближені до ГДК концентрації – 5,25 мг/дм³ (0,000525%) та 7,0 мг/дм³ (0,0007%), які демонстрували за експозиції 240 хв зниження рівня життєздатності *Escherichia coli* на $\lg R = 5,07$ та $\lg R > 5,25$ із залишком життєздатних бактеріальних клітин в 1 см³ постреакційного субстрату – 22 КУО та 11 КУО, відповідно. Концентрації препарату 10,5 мг/дм³ (0,00105%), 21,0 мг/дм³ (0,0021%), 52,5 мг/дм³ (0,00525%), 105 мг/дм³ (0,0105%) були активні за умов 180 хв контакту – з показником редукції $\lg R = 5,16$ (22 КУО/см³), $\lg R = 5,18$ (17 КУО/см³), $\lg R > 5,25$ (12 КУО/см³), $\lg R > 5,25$ (0 КУО/см³), відповідно. Разом з тим, для концентрації деззасобу 105 мг/дм³ (0,0105%) показники редукції отримані при 60 хв ($\lg R = 4,82$ (38 КУО/см³)) та 120 хв ($\lg R = 4,99$ (25 КУО/см³)) експозиції по залишку життєздатних бактерій у субстраті прирівнювалися до загального мікробного числа води питної (ЗМЧ ≤ 50 КУО/см³). Концентрації: 525 мг/дм³ (0,0525%), 1050 мг/дм³ (0,105%), 5250 мг/дм³ (0,525%) були дієвими за експозиції 60 хв з показниками редукції $\lg R = 5,08$, $\lg R > 5,25$, $\lg R > 5,25$, відповідно.

Для наближення активної концентраційної шкали у бік ГДК провели випробування неактивних, за експозиції 240 хв, малих розведень засобу – 0,1095 мг/дм³ (0,00001095%), 0,438 мг/дм³ (0,0000438%), 0,875 мг/дм³ (0,0000875%), 1,31 мг/дм³ (0,000131%), 3,5 мг/дм³ (0,00035%) за температури (30 ± 1) °С, у чистих умовах при збільшенні часу контакту до 24 год. Слід відзначити, що кількість клітин *Escherichia coli* КУО/см³ у випробуваній бактеріальній суспензії через 24 год після її приготування, в умовах зберігання в термостаті при 37 °С зменшилася в 1,67 разів, з ($2,5 \times 10^8$) КУО/см³, $\lg N = 8,40$ до ($1,5 \times 10^8$) КУО/см³, $\lg N = 8,17$. Результати випробувань, наведені у табл. 2.

Таблиця 2

Показники бактерицидної активності наближених до ГДК концентрацій засобу «ЦЕ СРІБЛО. Сила наносрібла» до *Escherichia coli* за експозиції 24 год, температури (30 ± 1) °С

Тест штамп	Концентрація за діючою речовиною ПГМГ ГХ мг/дм ³ (%)	Кількість КУО/см ³ в постреакційній суміші	Показник редукції (lg R)
<i>Escherichia coli</i> NCTC 10418 / ATCC 10536	0,1095 (0,00001095)	<330	<3,65
	0,438 (0,0000438)	<330	<3,65
	0,875 (0,0000875)	<330	<3,65
	1,313 (0,000131)	<330	<3,65
	1,75 (0,000175)	<330	<3,65
	3,5 (0,00035)	25	4,78*
Кількість клітин <i>Escherichia coli</i> у бактеріальній суспензії на початку випробувань (t_0), КУО/см ³		$N = 2,5 \times 10^8$; $\lg N = 8,40$ $N_0 = 2,5 \times 10^7$; $\lg N_0 = 7,40$	
Кількість клітин <i>Escherichia coli</i> у бактеріальній суспензії через 24 год після приготування суспензії (t_{24}), КУО/см ³		$N = 1,5 \times 10^8$; $\lg N = 8,17$ $N_0 = 1,5 \times 10^7$; $\lg N_0 = 7,17$	

Примітка *Показники редукції, які входять у межі норми для води питної за показником ЗМЧ (норма ≤ 50 КУО/см³).

Випробування, на прикладі *Escherichia coli*, бактерицидної активності близьких до ГДК (0,10 мг/дм³) концентрацій продукту в чистих умовах за температури (30 ± 1) °С виявили найнижчу активну концентрацію продукту – 3,5 мг/дм³ (0,00035%), яка при 24 годинному контакті за бактеріальним навантаженням постреакційного субстрату – 25 КУО/ см³, прирівнювала воду у басейні до води питної та демонструвала показник редукції lg R = 4,78.

Аналіз результатів досліджень бактерицидної та дріжджоцидної активності концентраційного ряду продукту: 5,25 мг/дм³ (0,000525%), 7,0 мг/дм³ (0,0007%), 10,5 мг/дм³ (0,00105%), 21,0 мг/дм³ (0,0021%), 52,5 мг/дм³ (0,00525%), 105 мг/дм³ (0,0105%), 525 мг/дм³ (0,0525%) до тест-культур *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginos*, *Enterococcus hirae*, *Candida albicans* за експозиції 60 хв, 120 хв, 180 хв, 240 хв, температури у досліді 30 °С виявив два лімітуючі штами – *P. aeruginosa* і *E. hirae*, для яких у дворазових випробуваннях встановлено за експозиції 240 хв мінімальну ефективну концентрацію препарату – 7,0 мг/дм³ (0,0007%), lg R > 5. Також, за аналогічних умов дана концентрація проявляла дієву дріжджоцидну активність, lg R > 4. Для *E. coli* та *S. aureus* мінімальна ефективна концентрація за експозиції 240 хв – 5,25 мг/дм³ (0,000525%), lg R > 5.

Узагальнені за лімітуючими штамами (*P.aeruginos*, *E. hirae*,) показники бактерицидної та дріжджоцидної активності засобу «ЦЕ СРІБЛО. Сила наносрібла» у чистих умовах за температури 30 °С відображені у табл. 3.

Таблиця 3

Узагальнені за лімітуючими штамами показники бактерицидної та дріжджоцидної активності засобу «ЦЕ СРІБЛО. Сила наносрібла»

Специфічна активність	Концентрація за діючою речовиною ПГМГ ГХ мг/дм ³ (%)	Показник редукції (lg R) / залишок життєздатних КУО/см ³			
		60 хв	120 хв	180 хв	240 хв
1	2	3	4	5	6
Бактерицидна активність	5,25 (0,000525)	<3,86 />330	<3,86 />330	4,07/202	4,67/52
	7,0 (0,0007)	<3,86 />330	3,97 /258	4,52 /73	>5,23 /* 9
	10,5 (0,00105)	<3,86 />330	4,22 /146	5,04 /*22	>5,23 /*3
	21,0 (0,0021)	<3,86 />330	4,30 /119	5,17 /*17	>5,23 /*1
	52,5 (0,00525)	3,99 /246	4,50 /75	>5,23 /*11	>5,23 /*1
	105,0 (0,0105)	4,71 /*47	4,93 /*29	>5,23 /*0	>5,23 /*0
	525,0 (0,0525)	5,04*22	>5,23 /*1	>5,23 /*0	>5,23 /*0
	1050,0 (0,105)	>5,23*3	>5,23 /*0	>5,23 /*0	>5,23 /*0
	5250,0 (0,525)	>5,23*0	>5,23 /*0	>5,23 /*0	>5,23 /*0
Дріжджоцидна активність	5,25 (0,000525)	<2,68 />330	<2,68 />330	3,03 /149	3,97 /*17
	7,0 (0,0007)	<2,68 />330	2,78 /266	3,20 /100	4,04 /*14
	10,5 (0,00105)	<2,68 />330	2,96 /174	3,83 /*24	>4,05 /*5
	21,0 (0,0021)	<2,68 />330	3,06 /138	4,02 /*15	>4,05 /*0
	52,5 (0,00525)	2,86 /218	3,35 /70	>4,05 /*0	>4,05 /*0
	105,0 (0,0105)	3,53 /*47	3,80 /*25	>4,05 /*0	>4,05 /*0
	525,0 (0,0525)	4,01 /*16	>4,05 /*2	>4,05 /*0	>4,05 /*0
	1050,0 (0,105)	>4,05 /*0	>4,05 /*0	>4,05 /*0	>4,05 /*0
	5250,0 (0,525)	>4,05*	>4,05*	>4,05*	>4,05*

Примітка *Показники редукції, які входять у межі норми для води питної за показником ЗМЧ (норма ≤ 50 КУО/см³).

Дослідженнями встановлено мінімальну, за лімітуючими штамми (*P. aeruginosa*, *E. hirae*), ефективну бактерицидну концентрацію, за якої показники мікробного забруднення за кількістю КУО/см³ у постреакційному субстраті було б співставиме до величин норми по ЗМЧ (≤ 50 КУО/см³) для води питної. Це концентрація 7,0 мг/дм³ (0,0007%), яка в «чистих» умовах при температурі 30 °С знижувала кількість життєздатних бактерій за експозиції 240 хв на показник $\lg R > 5,23$ з мікробним навантаженням в 1 см³ субстрату – 23 КУО. Концентрації 10,5 мг/дм³ (0,00105%), 21,0 мг/дм³ (0,0021%), 52,5 мг/дм³ (0,00525%) були активні за умов 180 хв контакту – з показником редукції $\lg R = 5,04$ (22 КУО/см³), $\lg R = 5,17$ (17 КУО/см³), $R > 5,23$ (11 КУО/см³), відповідно. При 60 хв експозиції демонстрували свою ефективність наступні розведення препарату: 105,0 мг/дм³ (0,0105%), $\lg R = 4,71$ (47 КУО/см³); 525,0 мг/дм³ (0,0525%), $\lg R = 5,04$ (22 КУО/см³); 1050,0 мг/дм³ (0,105%), $\lg R > 5,23$ (3 КУО/см³); 5250,0 мг/дм³ (0,525%), $\lg R > 5,23$ (0 КУО/см³).

Дріжджоцидна активність засобу «ЦЕ СРІБЛО. Сила наносрібла» була ідентичною до бактерицидної активності. Найнижчими концентраціями продукту, які за санітарно-мікробіологічним показником безпеки (ЗМЧ) були ефективними при експозиції 240 хв відповідали 5,25 мг/дм³ (0,000525%) з показником редукції $\lg R = 3,97$ (17 КУО/см³) та 7,0 мг/дм³ (0,0007%), $\lg R > 4$ (14 КУО/см³). За умов 60 хв контакту (максимальна регламентована експозиція) ефективними концентраціями були: 105,0 мг/дм³ (0,0105%), $\lg R = 3,53$ (47 КУО/см³); 525,0 мг/дм³ (0,0525%), $\lg R = 4,01$ (16 КУО/см³); 1050,0 мг/дм³ (0,105%), $R > 4,05$ (0 КУО/см³); 5250,0 мг/дм³ (0,525%) $R > 4,05$ (0 КУО/см³).

Результатами випробувань показано, що мікробне навантаження ≤ 50 КУО/см³, яке за показником загального мікробного числа є нормою для води питної, досягається при бактерицидній активності препарату з показником редукції меншим на 0,3 \lg від регламентованого ДСТУ EN 1276:2019 – (5 – 0,3) \lg , це $\lg R \geq 4,7$; для дріжджоцидної – з показником редукції меншим на 0,4 \lg від регламентованого ДСТУ EN 1650:2019 – (4 – 0,4) \lg , це $\lg R \geq 3,6$. Тобто, ефективними концентраціями для високомолекулярних катіонних деззасобів для знезараження води басейнів можна вважати ті, які демонструють показник зниження рівня життєздатності бактерій на $\lg R \geq 4,7$, дріжджів на $\lg R \geq 3,6$.

Висновки. Випробування засобу дезінфекційного «ЦЕ СРІБЛО. Сила наносрібла», відповідно до вимог чинних нормативних документів показали, що за умов 60 хвилинної експозиції, при температурі 30 °С в чистих умовах зниження рівня життєздатності бактерій: *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Enterococcus hirae* на показник $\lg R \geq 5$, *Candida albicans* – на $\lg R \geq 4$ досягнуто за концентрації 525 мг/дм³ (0,0525%); спор *Aspergillus niger* – 5250 мг/дм³ (0,525%), $\lg R > 4,05$. Моделювання підходів до випробувань з врахуванням сфери застосування препарату, його фізико-хімічних властивостей, пролонгації часу взаємодії до 180 хв, 240 хв дозволило знизити у 50 – 100 разів концентрацію продукту у розчині з демонстрацією ефективної бактерицидної ($\lg R > 5$) та дріжджоцидної ($\lg R > 4$) дії.

За експозиції 240 хв встановлено мінімальну за лімітуючими штамми *Pseudomonas aeruginosa* та *Enterococcus hirae* найбільш наближену до ГДК бактерицидну та дріжджоцидну концентрації засобу дезінфекційного «ЦЕ СРІБЛО. Сила наносрібла» для знезараження води у басейнах, яку за показником мікробного забруднення порівнювали б до води питної це – 7,0 мг/дм³ (0,0007%), що знижувала показник життєздатності бактерій на $\lg R > 5,0$ із залишком мікробних клітин у постреакційному субстраті до 9 КУО/см³, дріжджів на $\lg R > 4,0$ (9 КУО/см³).

Загальне мікробне навантаження ≤ 50 КУО/см³ для води басейнів досягається при бактерицидній активності препарату з показником редукції меншим на 0,3 \lg від регламентованого ДСТУ EN 1276:2019 – 4,7 \lg ; для дріжджоцидної – з показником редукції меншим на 0,4 \lg від регламентованого ДСТУ EN 1650:2019 – 3,6 \lg .

Ефективними концентраціями для високомолекулярних катіонних біоцидів (похідні гуанідину) слід вважати ті, які за показником загального мікробного числа дозволяли утримували чистоту води у басейні менше 50 КУО/см³ й демонстрували показник редуції для бактеріальних штамів – lg R ≥ 4,7, для дріжджоподібних грибів – lg R ≥ 3,6.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Бусигіна М.В., Гевод В.С., Курінна Н.С., Смотров Р. Синтез і властивості похідних полігуанідинів та їх використання для очищення води : доповідь. Тези доповідей X Ювілейної Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції здобувачів вищої освіти та молодих учених «Хімія та сучасні технології». Дніпро, 2021. С. 115–117. URL: <https://www.researchgate.net>
2. Грегірчак Н.М. Biocidal action of combined agents based on polyhexamethylene guanidine. *Technology Audit and Production Reserves*. 2013. Т. 5, № 4(13). С. 28–30. <https://doi.org/10.15587/2312-8372.2013.18231>
3. ДСТУ EN 14885:2019. Засоби хімічні дезінфікувальні та антисептики. Застосування європейських стандартів для хімічних дезінфікувальних засобів та антисептиків (EN 14885:2018, IDT). Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2019. 69 с.
4. ДСТУ EN 1276:2019. Засоби хімічні дезінфікувальні та антисептики. Кількісний суспензійний метод оцінювання для визначення бактерицидної активності хімічних дезінфікувальних засобів та антисептиків, використовуваних у закладах харчування, промисловості, домашньому господарстві та суспільних закладах. Метод випробування та вимоги (етап 2, крок 1) (EN 1276:2009, IDT, з поправкою № 1:2019). Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2019. 44 с.
5. ДСТУ EN 1650:2019. Засоби хімічні дезінфікувальні та антисептики. Кількісний суспензійний метод оцінювання для визначення фунгіцидної або еластичної активності хімічних дезінфікувальних засобів та антисептиків, використовуваних у закладах харчування, промисловості, домашньому господарстві та суспільних закладах. Метод випробування та вимоги (етап 2, крок 1) (EN 1650:2008 + A1:2013, IDT). Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2019. 48 с.
6. Інструкція-вкладка щодо застосування засобу дезінфікуючого «ЦЕ СРІБЛО. Сила наносрібла» для знезараження води у відкритих та закритих басейнах. 2025. 2 с.
7. Зміни до Методів випробувань дезінфекційних засобів, контролю за їх відповідністю вимогам стандартів, інших нормативних документів : Наказ Міністерства охорони здоров'я України від 02 грудня 2024 р., № 1998.
8. Лисиця А.В. Механізми бактерицидної дії полігексаметиленгуанідину : електронний ресурс. *Наукові доповіді Національного університету біоресурсів і природокористування України*. 2011. Т. 25, № 3. URL: http://www.nbu.gov.ua/ejournals/Nd/2011_3/11lav.pdf
9. Методи проведення досліджень специфічної активності, безпечності, якості (ефективності) дезінфекційних засобів та їх випробування на практиці : Наказ Міністерства охорони здоров'я України від 03 вересня 2020 р., № 2024. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0694-24#Text>
10. Про затвердження Технічного регламенту щодо безпечності хімічної продукції : Постанова Кабінету Міністрів України від 23 липня 2024 р., № 847. URL: <https://zakon.rada.gov.ua>
11. Про затвердження Гігієнічних нормативів якості води водних об'єктів для задоволення питних, господарсько-побутових та інших потреб населення : Наказ Міністерства охорони здоров'я України від 02 травня 2022 р., № 721 (із змінами, внесеними згідно з Наказом МОЗ № 77 від 13.01.2023). URL: <https://zakon.rada.gov.ua>
12. Про затвердження Державних санітарних норм та правил «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною» (ДСанПіН 2.2.4-171-10) : Наказ МОЗ України від 12.05.2010 № 400. База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/z0452-10>
13. EN 12353:2013. Chemical disinfectants and antiseptics – Preservation of test organisms used for the determination of bactericidal (including Legionella), mycobactericidal, sporocidal, fungicidal and virucidal (including bacteriophages) activity. Brussels, Belgium : Management Centre, 2013. 33 p.
14. Lachenmeier D.W. (2015). Chapter 24. Antiseptic Drugs and Disinfectants. *Side Effects of Drugs Annual*, 37, 273–279. DOI: 10.1016/bs.seda.2015.06.005.

15. Lee J.-H., Kim Y.-H., Kwon J.-H. Fatal misuse of humidifier disinfectants in Korea: Importance of screening risk assessment and implications for management of chemicals in consumer products. *Env. Sci. Technol.*, 2012. 46, 2498–2500.

16. Mandygra M.S., Lysytsya A.V. Some aspects of the polyhexamethyleneguanidine salts effect on cell cultures. *Agricultural Science and Practice*, 2014. 1(1), 62–67.

17. Paliienko K.O., Veklich T.O., Shatursky O.Y., Shkrabak O.A., Pastukhov A.O., Galkin M.O., Krisanova N.V., Chunikhin A.J., Rebriev A.V., Lysytsya A.V., Borisova T.A., Kosterin S.O. Membrane action of polyhexamethylene guanidine hydrochloride revealed on smooth muscle cells, nerve tissue and rat blood platelets: a biocide driven pore-formation in phospholipid bilayers. *Toxicol. In Vitro*, 2019. 60, 389–399. DOI: 10.1016/j.tiv.2019.06.008.

18. Walczak M., Richert A., Burkowska-But A. The effect of polyhexamethylene guanidine hydrochloride (PHMG) derivatives introduced into polylactide (PLA) on the activity of bacterial enzymes. *J. Ind. Microbiol. Biotechnol.*, 2014. 41(11), 1719–1724.

REFERENCES

1. Busyhina, M.V., Hevod, V.S., Kurinna, N.S., & Smotraiev, R. (2021). Syntez i vlastyvoli pokhidnykh polihuanidyniv ta yikh vykorystannia dlia ochyshchennia vody [Synthesis and properties of polyguanidine derivatives and their use for water purification]. In Proceedings of the 10th Anniversary International Scientific and Practical Internet Conference of Higher Education Students and Young Scientists «Chemistry and Modern Technologies» (pp. 115–117). Dnipro [in Ukrainian].

2. Hrehirchak, N.M. (2013). Biocidal action of combined agents based on polyhexamethylene guanidine. *Technology Audit and Production Reserves*, 5(4), 28–30. <https://doi.org/10.15587/2312-8372.2013.18231>

3. Derzhavne pidpriumstvo «UkrNDNC». (2019). DSTU EN 14885:2019. Zasoby khimichni dezinfikutsiyini ta antiseptiky. Zastosuvannia yevropeyskykh standartiv dlia khimichnykh dezinfikutsiyinykh zasobiv ta antiseptykiv [Chemical disinfectants and antiseptics. Application of European standards for chemical disinfectants and antiseptics] (EN 14885:2018, IDT). Kyiv, Ukraine: Derzhavne pidpriumstvo «UkrNDNC» [in Ukrainian].

4. Derzhavne pidpriumstvo «UkrNDNC». (2019). DSTU EN 1276:2019. Zasoby khimichni dezinfikutsiyini ta antiseptiky. Kilkisnyi suspensiynyi metod otsiniuvannia dlia vyznachennia bakteritsydnoi aktyvnosti khimichnykh dezinfikutsiyinykh zasobiv ta antiseptykiv, vykorystovuvanikh u zakladakh kharchuvannia, promyslovosti, domashnomu hospodarstvi ta suspilnykh zakladakh. Metod vyprobuvannia ta vymohy (etap 2, krok 1) [Chemical disinfectants and antiseptics. Quantitative suspension method for evaluating bactericidal activity of chemical disinfectants and antiseptics used in food service, industry, households, and public facilities. Test method and requirements (stage 2, step 1)] (EN 1276:2009, IDT, Corrigendum № 1:2019). Kyiv, Ukraine: Derzhavne pidpriumstvo «UkrNDNC» [in Ukrainian].

5. Derzhavne pidpriumstvo «UkrNDNC». (2019). DSTU EN 1650:2019. Zasoby khimichni dezinfikutsiyini ta antiseptiky. Kilkisnyi suspensiynyi metod otsiniuvannia dlia vyznachennia funhitsydnoi abo elastychnoi aktyvnosti khimichnykh dezinfikutsiyinykh zasobiv ta antiseptykiv, vykorystovuvanikh u zakladakh kharchuvannia, promyslovosti, domashnomu hospodarstvi ta suspilnykh zakladakh. Metod vyprobuvannia ta vymohy [Chemical disinfectants and antiseptics. Quantitative suspension method for determining fungicidal or yeasticidal activity of chemical disinfectants and antiseptics used in food service, industry, households, and public facilities. Test method and requirements (stage 2, step 1)] (EN 1650:2008 + A1:2013, IDT). Kyiv, Ukraine: Derzhavne pidpriumstvo «UkrNDNC» [in Ukrainian].

6. Ministry of Health of Ukraine. (2025). Instruksiiia-vkladka shchodo zastosuvannia zasobu dezinfikuiuchoho «TSE SRIBLO. Sylia nanosriblya» dlia znyezarazhennia vody u vidkrytykh ta zakrytykh baseynakh [Insert instructions for the use of disinfectant «TSE SRIBLO. Power of nanosilver» for water disinfection in open and closed pools]. Kyiv, Ukraine: Ministry of Health of Ukraine [in Ukrainian].

7. Ministry of Health of Ukraine. (2024, December 2). Zminy do metodiv vyprobuvan dezinfektsiyinykh zasobiv, kontroliu za yikh vidpovidnistiu vymoham standartiv, inshykh

normatyvnykh dokumentiv [Amendments to the methods for testing disinfectants, control of their compliance with standards and other normative documents] (Order № 1998). <https://zakon.rada.gov.ua> [in Ukrainian].

8. Lysytsya, A. V. (2011). Mekhanizmy bakteritsydnoi dii poliheksametylenhuanidynu [Mechanisms of bactericidal action of polyhexamethylene guanidine]. *Naukovi dopovidi Natsionalnoho universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannia Ukrainy*, 25(3). http://www.nbu.gov.ua/ejournals/Nd/2011_3/11lav.pdf [in Ukrainian].

9. Ministry of Health of Ukraine. (2020, September 3). Metody provedennia doslidzhen spetsyficnoi aktyvnosti, bezpechnosti, yakosti (efektyvnosti) dezinfektsiinykh zasobiv ta yikh viprobuвання na praktytsi [Methods for conducting studies of specific activity, safety, and quality (effectiveness) of disinfectants and their practical testing] (Order № 2024). <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0694-24> [in Ukrainian].

10. Cabinet of Ministers of Ukraine. (2024, July 23). Pro zatverdzhennia Tekhnichnoho rehlamentu shchodo bezpechnosti khimichnoi produktsii [On approval of the Technical Regulation on the safety of chemical products] (Resolution № 847). <https://zakon.rada.gov.ua> [in Ukrainian].

11. Ministry of Health of Ukraine. (2022, May 2). Pro zatverdzhennia Hihienichnykh normatyviv yakosti vody vodnykh ob'ektiv dlia zadovolennia pytnykh, hospodarsko-pobutovykh ta inshykh potreb naselennia [On approval of hygienic standards for water quality in water bodies for drinking, domestic, and other needs of the population] (Order № 721, as amended by Order № 77 of 13 January 2023). <https://zakon.rada.gov.ua> [in Ukrainian].

12. Ministry of Health of Ukraine. (2010). DSanPiN 2.2.4-171-10 «Hihienichni vymohy do vody pytnoi, pryznachenoї dlia spozhyvannia liudynoi» [Hygienic requirements for drinking water intended for human consumption]. Kyiv, Ukraine: Ministry of Health of Ukraine [in Ukrainian].

13. European Committee for Standardization. (2013). EN 12353:2013. Chemical disinfectants and antiseptics – Preservation of test organisms used for the determination of bactericidal (including Legionella), mycobactericidal, sporocidal, fungicidal and virucidal (including bacteriophages) activity. Brussels, Belgium: Management Centre.

14. Lachenmeier, D. W. (2015). Antiseptic drugs and disinfectants. In *Side Effects of Drugs Annual* (Vol. 37, pp. 273–279). <https://doi.org/10.1016/bs.seda.2015.06.005>

15. Lee, J.-H., Kim, Y.-H., & Kwon, J.-H. (2012). Fatal misuse of humidifier disinfectants in Korea: Importance of screening risk assessment and implications for management of chemicals in consumer products. *Environmental Science & Technology*, 46(5), 2498–2500. <https://doi.org/10.1021/es203720v>

16. Mandygra M.S., & Lysytsya, A. V. (2014). Some aspects of the polyhexamethyleneguanidine salts effect on cell cultures. *Agricultural Science and Practice*, 1(1), 62–67.

17. Paliienko, K.O., Veklich, T.O., Shatursky, O.Y., Shkrabak, O.A., Pastukhov, A.O., Galkin, M.O., Krisanova, N.V., Chunikhin, A.J., Rebriev, A.V., Lysytsya, A.V., Borisova, T.A., & Kosterin, S.O. (2019). Membrane action of polyhexamethylene guanidine hydrochloride revealed on smooth muscle cells, nerve tissue and rat blood platelets: A biocide-driven pore formation in phospholipid bilayers. *Toxicology in Vitro*, 60, 389–399. <https://doi.org/10.1016/j.tiv.2019.06.008>

18. Walczak, M., Richert, A., & Burkowska-But, A. (2014). The effect of polyhexamethylene guanidine hydrochloride (PHMG) derivatives introduced into polylactide (PLA) on the activity of bacterial enzymes. *Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology*, 41(11), 1719–1724. <https://doi.org/10.1007/s10295-014-1506-4>

MODELING APPROACHES TO TESTING DISINFECTANTS DERIVATIVES OF GUANIDINE FOR DISINFECTION OF WATER IN

Platonova I.L., Syrota H.I., Patko I.M., Ruda I.A.

Abstract. Currently, there are no regulatory documents that would regulate the scope and conditions for testing disinfectants for water disinfection in swimming pools. The purpose of the work is to model approaches to testing disinfectants of guanidine derivatives for water disinfection in swimming pools.

Materials and methods. The microbicidal activity of the product «THIS SILVER. The power of nanosilver», manufactured by PP «Termit», Ukraine, was tested. The active ingredient is polyhexamethyleneguanidine hydrochloride (PHMG GC). The studies were conducted on the basis of basic DSTU EN 1276:2019, DSTU EN 1650:2019 in «clean» conditions, at a temperature of 30 °C, exposure of 60 min, with prolongation of contact time – 120 min, 180 min, 240 min and 24 h. The strains of microorganisms used were: *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Enterococcus hirae*, *Candida albicans*, *Aspergillus niger*.

Results and discussion. It was shown that prolonging the contact time allowed to establish active, close to the maximum permissible concentration (0,10 mg/dm³) product concentrations, with a sufficient microbicidal effect. Effective bactericidal (lg R > 5) and yeasticidal (lg R > 4) activity were obtained for the limiting strain at an exposure time of 240 min for a concentration of 7,0 mg/dm³ (0,0007%), fungicidal activity against *Aspergillus niger* – for 1050 mg/dm³ (0,105%), lg R > 4. At 24 h. exposure revealed the lowest effective bactericidal concentration – 3,5 mg/dm³ (0,00035%), which demonstrated a reduction index of lg R = 4,78 with microbial contamination of the post-reaction substrate of 25 CFU/cm³, which met the requirements established for drinking water.

Conclusions. Effective concentrations for high-molecular cationic biocides should be considered those that, according to the total microbial count, allowed maintaining the purity of the water in the pool below 50 CFU/cm³ and demonstrated a reduction index for bacterial strains – lg R ≥ 4,7, for yeast-like fungi – lg R ≥ 3,6. Prolongation of contact to 180 min, 240 min showed 50-100 times lower, effective product concentrations than 60 min exposure.

Key words: testing of disinfectants, guanidine derivatives, water disinfection in swimming pools.

Платонова Ірина Львівна, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3171-5706>

Сирота Ганна Ігорівна, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7910-3525>

Патько Ілона Михайлівна, ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-6597-5163>

Руда Ірина Андріївна, ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-6482-6542>

Creative Commons Attribution 4.0
International (CC BY 4.0)



Дата першого надходження статті до видання: 25.02.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 20.03.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 27.05.2026