

**Бедункова О. О., д.б.н., професор; Кузнєцов П. М., здобувач
третього рівня вищої освіти (Національний університет водного
господарства та природокористування, м. Рівне,
o.o.biedunkova@nuwm.edu.ua; p.m.kuznietsov@nuwm.edu.ua)**

МЕТОДОЛОГІЯ ЗАСТОСУВАННЯ КОРЕКЦІЙНОЇ ОБРОБКИ БІОЦИДАМИ СИСТЕМ ТЕХНІЧНОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ

Актуальність теми зумовлена проблемою біологічного обростання технічних елементів електростанцій, внаслідок постійно діючих високих температур та присутності поживних речовин у оборотній воді. Угруповання гідробіонтів, які з'являються при цьому, проявляють високу життєздатність порівняно з їх представниками в природних водоймах, а отже, потребують підбору спеціальних методів боротьби, що будуть безпечними як для комплектуючих агрегатів, так і для природних водойм, до яких надходять зворотні води електростанцій. У роботі представлена методологія впровадження корекційної обробки біоцидами систем технічного водопостачання (СТВ) електростанцій на прикладі впровадження біоцидної обробки СТВ Рівненської атомної електростанції (ВП РАЕС). Наведені вимоги до етапів впровадження корекційної (біоцидної) обробки електростанцій згідно з діючими в Україні нормативними документами, що включають проведення гідробіологічного моніторингу, вибір типу та визначення ефективної дози біоцидів, корозійні випробування впливу дози біоцидів на конструкційні матеріали. Робота містить огляд методів попередження та боротьби з біологічним забрудненням, вимоги до проведення контролю та технічного оснащення системи дозування біоцидів, зокрема для умови, коли проєктом електростанції не передбачена штатна система дозування біоцидів. Обґрунтовані вимоги екологічної безпечності застосування біоцидів для СТВ, на прикладі ВП РАЕС показало, що у визначених ефективних дозах, при реалізації промислової експлуатації корекційної обробки, активні речовини біоцидів втрачають токсичність у воді

за короткий проміжок часу, але він є достатнім для ефективної дії проти усіх виявлених забруднень біологічного походження, залишкова концентрація біоцидів є нижчою за встановлену гранично-допустиму концентрацію у водних об'єктах. Зроблено узагальнення про важливість проведення експериментальних досліджень та гідробіологічного моніторингу при визначенні ефективної дози біоцидів для боротьби з обростанням.

Ключові слова: системи технічного водопостачання; біообростання; біоцидна обробка; дослідно-промислові випробування.

Вступ. Важливою частиною загальної стратегії контролю обладнання на існуючих об'єктах електростанцій є стан систем технічного водопостачання (СТВ), адже умови, що виникають в їх конструкціях сприяють появі корозії та біообростанню. Біообростання, або біоплівка, є популяцією мікробних клітин, занурених у товстий слизовий матрикс із позаклітинних полімерних речовин [1], на якій через високі температури води та надмірну кількість поживних речовин здатні оселятись та розвиватись більш крупні форми гідробіонтів [2]. Такі процеси, зокрема в системах охолодження, знижують ефективність тепловіддачі, ушкоджують дороге обладнання, збільшують витрати на технічне обслуговування та спричиняють втрати виробництва [3]. Тому широко розповсюдженим методом у світовій практиці є застосування біоцидної обробки охолоджуючої води СТВ електростанцій. Водночас існує складність впровадження таких методів обробки СТВ, що насамперед обумовлено відсутністю гранично-допустимих концентрацій у водоймах для сучасних біоцидних реагентів та довготривалою процедурою погодження з наглядовими органами технології їх використання. По-друге, враховуючи результати відомих наукових розробок, стає очевидним, що біоцидна обробка охолоджуючої води СТВ має проводитись виключно з урахуванням особливостей самого препарату, його взаємодії з антикорозійною та протинакипною обробкою, науково обґрунтованих доз та доведеної ефективності дії.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Як результат розвитку мікробних суспільств на занурених поверхнях у водному середовищі, біоплівка є загальним явищем, яке можна спостерігати практично в усіх водних об'єктах, незалежно від температури (від -12° С до 115° С), рН (від 0 до 13) та тиску [4].

Експресія генів бактерій, що живуть у біоплівках, значно відрізняється від експресії вільноживучих клітин і може бути опосередкована процесом «відчуття кворуму» [5], тобто біоплівки є захищеним способом росту, який дозволяє мікроорганізмам виживати в суворих умовах. Цікаво, що бактерії у біоплівці стійкіші до протимікробних препаратів ніж планктонні клітини.

Натепер відомі численні експериментальні дослідження щодо ефективності дії біоцидів у різних промислових секторах, а самі біоциди класифікуються Європейським хімічним агентством (ЕЧА) на 22 типи [6]. Наприклад, у лабораторних умовах доведена ефективність обробки мембран 2,2-дібром-3-нітрилоропіонамідом у системах водного охолодження мембран нафтохімічної промисловості [7]. У ході експериментальної оцінки біоцидної ефективності та рентабельності трьох препаратів на основі хлору, було показано, що NaClO є найбільш доцільним засобом контролю біологічного обростання в циркуляційних системах охолодження електростанцій, що використовують для підживлення рециркуляційного очищення продувочних вод [8]. Водночас відомі дослідження доводять, що 1% дозування хлору в СТВ може спричиняти утворення таких побічних продуктів дезінфекції, як тригалометани, галоїдацетатні сліди, галоїдовуглеводні, галофеноли та галоїдуксусні кислоти [9]. Більш безпечним виявляється оксид хлору, основними перевагами якого є менша реакційна здатність з органічними речовинами, проте він виявляється менш ефективним у боротьбі з найпростішими роду *Cryptosporidium* [4].

Ще одним широко розповсюдженим активним інгредієнтом біоцидів є тетракіс гідроксиметилфосфорний сульфат (THPS), що характеризується низькою токсичністю продуктів розкладу та ефективними бактерицидними властивостями, однак залежно від характеристик води в якій він розчиняється, цей інгредієнт може спричинювати вторинний ріст біоплівки [10]. Альтернативним прикладом є використання ізотіазолонів, які характеризуються високим біоцидним потенціалом через присутність 5-хлор-3-ізотіазолону, хоча економічна доцільність його використання не завжди виправдана [11].

Основними тенденціями розвитку гідробіонтів в СТВ електростанцій згідно з [12] можна виділити:

- постійне адаптування видів джерел біологічного забруднення до умов експлуатації та освоєння біотипів;

- вселення та асиміляція нових біотипів;
- формування біологічних наносів з можливою асиміляцією потенційно небезпечних для здоров'я людини мікроорганізмів;
- різноспрямований характер впливу біоти в донних та планктонних угрупованнях;
- цілорічний розвиток гідробіонтів з домінуванням сезонного максимуму розповсюдження біотипів.

Мета, завдання та методики проведення досліджень. Враховуючи сучасний стан природоохоронних вимог та вимог до застосування хімічних реагентів, метою наших досліджень було показати методологію застосування біоцидної обробки СТВ електростанцій на прикладі її впровадження для СТВ ВП РАЕС.

Виклад основного матеріалу дослідження. Усі майданчики електростанцій при експлуатації СТВ стикаються з основними проблемами біологічного забруднення, відкладенням накипу та корозії. Високий вміст забруднень біологічного характеру у воді СТВ електростанцій може призводити до інтенсивного росту швидкості корозії, знижувати теплообмін, продуктивність та ефективність роботи систем в цілому. Температурні фактори обумовлюють зміну сезонної динаміки наявності у воді СТВ гідробіонтів на цілорічну сталість, а наявність поживних речовин, внаслідок концентрування та запровадженної корекційної хімічної обробки, сприяють постійному нагромадженню біологічного забруднення [13].

Біологічні відкладення на внутрішніх поверхнях теплообмінного обладнання викликають зниження тепловіддачі, провокують корозію теплообмінного обладнання і трубопроводів. Корозія внаслідок дії біологічного забруднення проявляється двома типами: активна, при безпосередній хімічній взаємодії мікроорганізмів із матеріалами та пасивна, коли корозійне пошкодження виникає під шаром біоплівки. Планктонні гідробіонти СТВ представлені передусім водоростями: фітопланктоном та перифітоном [14]. На сонячних ділянках водорості утворюють щільні волокнисті плівки, під якими розвиваються бактеріальне забруднення, а процес зростання кількості водоростей супроводжується підвищенням концентрації розчиненого кисню. Типові види бактеріологічного забруднення охолоджуючої води СТВ вказані в табл. 1.

Можливі типові види бактеріального забруднення
 охолоджуючої води СТВ [12]

Види бактеріологічного забруднення СТВ			
Сульфат-відновлюючі бактерії (<i>Desulfovibrio</i> , <i>Desulfomonas</i> , <i>Desulfotomaculum</i>) – анаеробні, для їх активного росту необхідна наявність сульфатів або сульфідів, ці бактерії можуть існувати при температурі до 80° С і в діапазоні значень рН від 5 до 9 од	Кислотоутворюючі бактерії (передусім <i>Thiobacillus thiooxidans</i> і <i>Clostridium</i>), які утворюють органічні або неорганічні кислоти в залежності від виду бактерій. Кислоти, утворені бактеріями, знижують рН, що зазвичай призводить до прискорення процесу корозії металів	Залізо-бактерії (ниткоподібні бактерії, передусім <i>Gallionella</i> , <i>Sphaerotilus</i> , <i>Crenothrix</i> і <i>Leptothrix</i>), що провокують окиснення заліза, кінцевим продуктом є тривалентний гідроксид заліза, викликають депасивацію поверхні сталей з проявом локальних корозійних пошкоджень	Слизоутворюючі бактерії (передусім <i>Pseudomonas</i>) аеробні, але можуть розвиватися в середовищі з низьким вмістом кисню, утворюють щільну плівку на поверхні конструкційних матеріалів

Методи попередження та боротьби з біологічними перешкодами у СТВ. Для зменшення біологічного забруднення застосовуються фізичні та хімічні методи. Найбільш утилітарним та вживаним [12] є застосування хімічних методів боротьби з перевагами надання технологіям, що націлені на попередження біообростань, зокрема боротьби з статобластами та реагентам, що вирішують комплексні проблеми антикорозійної та протинакипної обробки. Вибір стратегії є індивідуальним для кожного об'єкту енергетики, враховуючи характеристики джерела водопостачання, типу СТВ, динаміку популяцій біоти, наявність статобластів та багатоваріантність їх розвитку. Обрана стратегія повинна бути екологічно безпечною та відповідати умовам природоохоронного законодавства при скиді зворотних вод СТВ у водний об'єкт.

Роботи з впровадження біоцидної обробки СТВ електростанцій включають проведення гідробіологічного моніторингу (ГБМ), вибір типу та визначення ефективної дози біоцидів, корозійні випробування впливу дози біоцидів на конструкційні матеріали [14].

Гідробіологічний моніторинг забруднення СТВ. Гідробіологічний моніторинг (ГБМ) проводять для встановлення властивого

забруднення СТВ з визначенням якісних та кількісних характеристик наявних гідробіонтів, відповідно до рекомендацій [13]. Розповсюдженим та інформативним для ГБМ є метод контролю біологічного забруднення СТВ [12] з використанням гідробоксу (рис. 1), що являє собою циліндричний контейнер з набором пластин (оргскло), який під'єднують до потоку охолоджуючої води СТВ.

Результати гідробіологічного моніторингу СТВ ВП РАЕС зазначені в [15] та на рис. 2, серед біологічного забруднення виявлена наявність біоплівки, водоростей, молюсків.

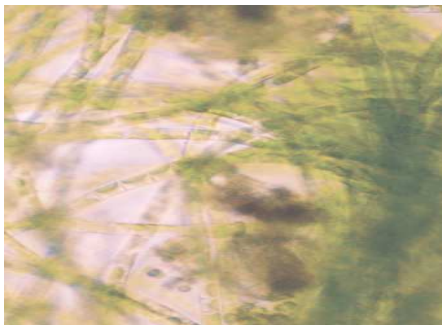


а)

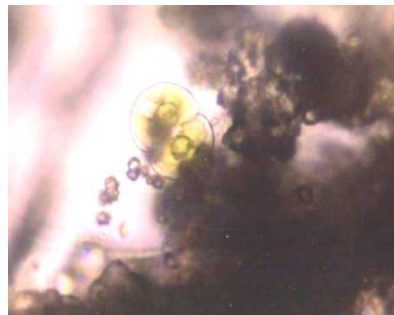


б)

Рис. 1. Гідробокс для контролю біологічного забруднення СТВ:
а) зовнішній вигляд, б) внутрішня вкладка



а)



б)

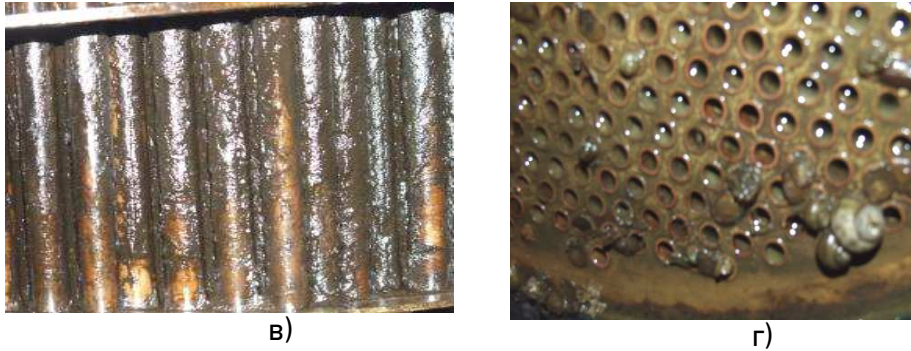


Рис. 2. Видове різноманіття гідробіонтів у біообробанні СТВ Рівненської АЕС: а) мікроскопія зелених водоростей роду Chlorophyta; б) мікроскопія жовто-зелених водоростей роду Tribonema (б); в) біоплівка на поверхні теплообмінниках споживачів; г) безхребетні тварини в складі біоплівки

Класифікація біоцидів, критерії ефективності біоцидів. За класифікацією біоцидів розрізняють: окиснюючі біоциди, що впливають за рахунок окисно-відновної реакції на клітини організмів, та неокиснюючі біоциди, що впливають на метаболізм та мембрани клітин організмів. При застосуванні хімічних речовин, повинна враховуватись екологічна утилітарність, зокрема перевага повинна надаватись сполукам із меншою біоцидною ефективністю, але за умови їх мінімального впливу на довкілля. Екологічність біоцидів визначається часом їх розкладу, тому вживаються сполуки, що самовільно розкладаються у воді протягом короткого проміжку часу [12].

Об'єм гідробіологічного та хімічного контролю ефективності біоцидної обробки на різних етапах впровадження (експериментальних дослідженнях (ЕД), дослідно-промислових дослідженнях (ДПВ) та промислових дослідженнях (ПВ)) зазначено в табл. 2.

Таблиця 2

Контроль ефективності на різних етапах впровадження обробки СТВ

Показник	Етап впровадження біоцидної обробки		
	ЕД	ДПВ	ПВ
Загальне мікробне число ¹⁾	+	+	+
Загальна кількість водоростей ²⁾	+	-	-
Кількісні характеристики розвитку поселень біообробань (кількість біомаси, наявність репродуктивних утворень)	-	+	-

продовження табл. 2

Ефективність зниження загальної площі біообростань, зниження чисельності та біомаси, що осіла в гідробоксі та динаміки проростання статобластів	-	+	-
Контроль корозійної стійкості металів та корозійної активності	+	+	-
Контроль біоциду та продуктів розкладу у зворотних водах ³⁾	+	+	+

Примітка: ¹⁾ ЗМЧ проводять тест системою з носієм агар-агар чи індикаторною тест системою за активністю АТФ; ²⁾ контроль відбором проби шляхом підрахунку кількості у камері Нажота; ³⁾ для СТВ відкритого типу.

При дослідно-промислових випробуваннях перелік контролю, в порівнянні з експериментальними дослідженнями, розширюють. Контроль проводиться в різних об'єктах споживачів СТВ та визначається специфічна ефективність для різних стадій розвитку гідробіонтів з підтвердженням екологічної безпечності технології. На етапі промислової експлуатації, зазвичай достатнім є виконання контролю загального мікробного числа (ЗМЧ) з підтримання його значень в охолоджуючій воді СТВ менше 10^3 КУО/см³ та контроль біоцидів у зворотних водах, для СТВ відкритого типу [11].

Умови промислового застосування біоцидних препаратів залежать від декількох факторів, що визначаються:

- звиканням організмів до одного і того ж біоциду, тому технологія біоцидної обробки передбачає чергування кількох видів біоцидів;

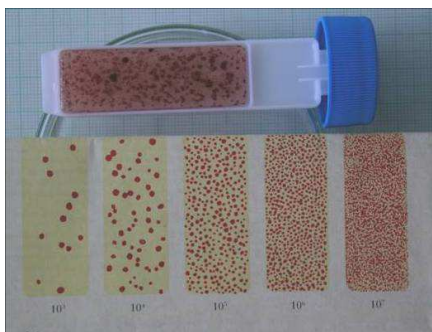
- періодом дії та періодичністю вводу біоцидів, що визначають час перебування води в СТВ, рН води, як фактор, що впливає на гідроліз біоцидів;

- скидом у водний об'єкт, що визначені встановленою гранично-допустимою концентрацією та часом розкладу біоцидів, щоб унеможливити вплив на довкілля для СТВ відкритого типу.

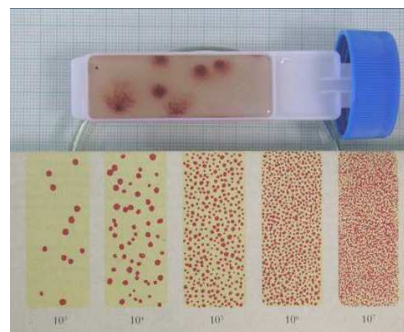
При експериментальному дослідженні біоцидної обробки проводять стендові корозійні випробування для матеріалів (зразків-свідків), що визначені як аналоги конструктивних матеріалів СТВ за методикою [14]. Стендові корозійні випробування повинні підтвердити відсутність корозійного впливу біоцидів на конструкційні матеріали за шкалою оцінки корозійної стійкості металів та корозійної активності середовища. При

експериментальних дослідженнях можливе визначення швидкості корозії лише гравіметричним методом, на етапі дослідно-промислових випробувань, для недопущення інтенсифікації корозійних процесів, необхідним є застосування онлайн-контролю швидкості корозії вольт-амперметричним методом для попередження можливого корозійного впливу.

Впровадження біоцидної обробки СТВ. Біоцидна обробка впроваджена на багатьох європейських АЕС [11]. На Рівненській АЕС проведено експериментальні дослідження з вибору та ефективності дії препаратів біоцидної обробки [17]. За результатами експериментальних досліджень підібрано біоциди гіпохлорид натрію (ГН) та дібромнітрілопропіонамід (ДБНПА). ГН розкладається до хлорид-іонів, ДБНПА до вуглекислого газу та бромід-іонів. Ці речовини мають ГДК речовин в водоймищах рибогосподарського призначення [16]. Апробацію технології біоцидної обробки води СТВ проведено лабораторним шляхом при моделюванні обробки: ГН, ДБНПА з підтримання ОЕДБ протягом 24 години з наступною витримкою 24 години – для ГН та 7 діб – для ДБНПА. Результати контролю проб після апробації технології у лабораторних умовах, складала ЗМЧ $\leq 10^2$ КУО/см³, ЗКВ $\leq 5 \cdot 10^3$ кл/см³, вміст активного хлору та ДБНПА менше межі виявлення за МВВ, вміст бромід іонів у діапазоні 6,0–10,2 мг/дм³, що підтверджує ефективність та екологічність застосованої технології біоцидної обробки (рис. 3).



а)



б)

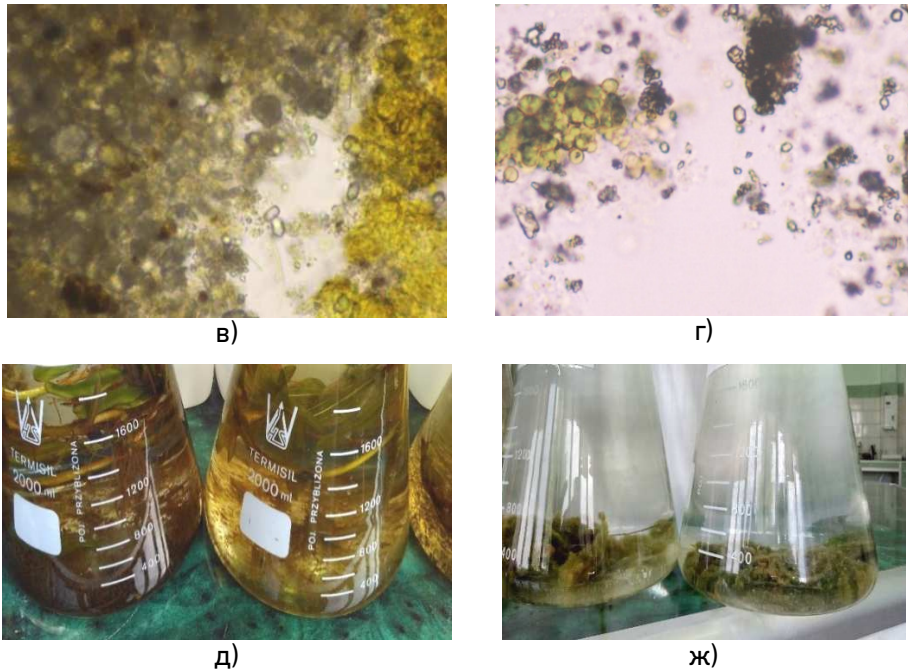


Рис. 3. Ефективність застосування технології обробки біоцидами ГН та ДБНПА охолоджуючої води СТВ ВП РАЕС за показниками ЗМЧ, ЗКВ, візуальними характеристиками: а) визначення тест-системою ЗМЧ охолоджуючої води до обробки; б) визначення тест-системою ЗМЧ охолоджуючої води після обробки; в) мікроскопіювання при підрахунку ЗЧВ охолоджуючої води до обробки; г) мікроскопіювання при підрахунку ЗЧВ охолоджуючої води після обробки; д) візуальний вигляд проб охолоджуючої води до обробки; ж) візуальний вигляд проб охолоджуючої води після обробки

Промислова реалізація біоцидної обробки. Для дозування біоцидів на етапі дослідно-промислових випробувань біоцидної обробки СТВ електростанцій застосовують штатну схему дозування корекційної обробки, якщо проектом не передбачена схема дозування реагентів в СТВ можливим є реалізація обробки з застосуванням універсальної мобільної станції дозування (УМСД). УМСД являє собою мобільний технічний засіб з баками для приготування робочих розчинів біоциду, комплектується насосами та системою трубопроводів для забезпечення необхідного режиму дозування реагентів. УМСД також оснащений блоком управління і контролю, який призначений для управління роботою насосів-дозаторів і контролю параметрів водного середовища.

Подача біоциду в ефективній дозі здійснюється безпосередньо до підживлюючої води, для забезпечення перемішування та рівномірного розподілу біоцидів в контурі СТВ.

Висновки. Система технічного водопостачання енергетичних об'єктів є техноекосистемою, в межах якої температурні фактори та наявність поживних речовин сприяють розвитку біотопів гідробіонтів, які створюють перешкоди в експлуатації, зокрема можуть впливати на ефективність охолодження та надійність обладнання. Процесу розвитку гідробіонтів у СТВ властива зміна сезонної динаміки присутності в поверхневих водах та цілорічна наявність в охолоджуючій воді. Біологічне забруднення та біологічні перешкоди властиві тою чи іншою мірою для СТВ кожної електростанції.

Для кожного майданчику електростанції визначають індивідуальні доцільні та дієві методи, виходячи з параметрів вхідної води та зворотної системи. Критерії вибору методів зменшення біологічного забруднення СТВ повинні носити комплексний підхід, вимоги вибору біоциду для впровадження обробки СТВ повинні враховувати його ефективність, економічність та екологічність застосування.

Роботи з впровадження біоцидної обробки СТВ електростанцій включають проведення експериментальних досліджень, гідробіологічного моніторингу, вибір типу та визначення ефективної дози біоцидів, корозійні випробування впливу дози біоцидів на конструкційні матеріали та дослідно-промислові випробування.

Приведений досвід впровадження біоцидної обробки СТВ ВП РАЕС, активні речовини біоцидів, що запропоновані для використання, втрачають токсичність у воді за короткий проміжок часу, залишкова концентрація біоцидів є нижчою за встановлену ГДК. Результати досліджень були апробовані і впроваджені в практику ВП РАЕС у вигляді розроблених технічних рішень, програм проведення біоцидної обробки СТВВС енергоблоків № 3, 4 ВП РАЕС, та можуть бути застосовані для впровадження біоцидної обробки охолоджуючої води електростанцій, де в якості системи технічного водопостачання застосована система технічного водопостачання зі скидом продувних вод у водоймище рибогосподарського призначення.

1. Ilhan-Sungur E., Çotuk A. Microbial corrosion of galvanized steel in a simulated recirculating cooling tower system. *Corrosion Science*. 2010. Vol.

52, no. 1. P. 161–171. URL: <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2009.08.049> (date of access: 04.12.2022). 2. Cristiani P. Risk assessment of biocorrosion in condensers, pipework and other cooling system components. *Understanding Biocorrosion*. 2014. P. 357–384. 3. Performance assessment of oxidants as a biocide for biofouling control in industrial seawater cooling towers / M. Al-Bloushi et al. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*. 2018. Vol. 59. P. 127–133. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2017.10.015> (date of access: 03.12.2022). 4. Rao T. S. Biofouling (macro-fouling) in seawater intake systems. *Water-Formed Deposits*. 2022. P. 565–587. URL: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-822896-8.00016-9> (date of access: 05.10.2022). 5. Європейська хімічна агенція. <https://echa.europa.eu/> (date of access: 04.12.2022). 6. Application of ozone treatment in cooling water systems for energy and chemical conservation / A. Ataei et al. *Advances in environmental research*. 2015. Vol. 4, no. 3. P. 155–172. URL: <https://doi.org/10.12989/aer.2015.4.3.155> (date of access: 05.12.2022). 7. Chien S.-H., Dzombak D. A., Vidic R. D. Comprehensive Evaluation of Biological Growth Control by Chlorine-Based Biocides in Power Plant Cooling Systems Using Tertiary Effluent. *Environmental Engineering Science*. 2013. Vol. 30, no. 6. P. 324–332. URL: <https://doi.org/10.1089/ees.2012.0502> (date of access: 03.12.2022). 8. Meesters K. P. H., Van Groenestijn J. W., Gerritse J. Biofouling reduction in recirculating cooling systems through biofiltration of process water. *Water Research*. 2003. Vol. 37, no. 3. P. 525–532. URL: [https://doi.org/10.1016/s0043-1354\(02\)00354-8](https://doi.org/10.1016/s0043-1354(02)00354-8) (date of access: 05.12.2022). 9. Reclaimed water use in industrial cooling circuits: Compatibility with TP11 biocides / B. Garrido Arias et al. *Journal of Water Process Engineering*. 2021. Vol. 43. P. 102227. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2021.102227> (date of access: 06.12.2022). 10. Nicoll P. G., Thompson N., Gray V. Forward osmosis applied to evaporative cooling make up water. *Power Plant, Chemistry*. 2012. Cooling Ntchnology Institute. Houston, Texas. Vol. 14 (10). URL: https://www.researchgate.net/publication/269095245_Forward_Osmosis_Applied_to_Evaporative_Cooling_Make-up_Water (date of access: 06.12.2022). 11. Бенчмаркінг «Водно-хімічний режим другого контура і системи технічного водоснабження» АЭС Козлодуй 25–26 июня 2019 г. URL: <https://www.wano.info/> (дата звернення: 06.12.2022). 12. Визначення технічного стану системи технічного водопостачання ВП РАЕС. Техенерго, Львів. 132 с. 13. СОУ НАЕК 178:2019. Охорона довкілля. Порядок розробки регламенту гідробіологічного моніторингу водойми-охолоджувача, систем охолодження і системи технічного водопостачання АЕС з реакторами типу ВВЕР : методичні вказівки. ДП НАЕК «Енергоатом». Київ, 2019. 75 с. 14. СОУ НАЕК 067:2013. «Управление химическими технологиями. Водно-химический режим системы технического водоснабжения ответственных потребителей АЭС с ВВЭР. Общие требования». ДП «НАЕК «Енергоатом». 2013. 15. Кузнецов П. М., Бедункова О. О. Порівняльний гідробіологічний

моніторинг вод систем технічного водопостачання атомних електростанцій. *Водні біоресурси та аквакультура*. 2022. Вип. 2(12). С. 180–190. DOI <https://doi.org/10.32851/wba.2022.2.13>

16. Обобщенный перечень предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно безопасных уровней воздействия (ОБУВ) вредных веществ для воды рыбохозяйственных водоемов. М. : Главрыбвод Минрыбхоза СССР, 1990. 96 с.

17. Kuznietsov P., & Biedunkova O. Експериментальні випробування біоцидної обробки охолоджуючої води систем безпеки енергоблоків Рівненської атомної електростанції. *Ядерна та радіаційна безпека*. 2023. Вип. 1(97). С. 30–40. URL: [https://doi.org/10.32918/nrs.2023.1\(97\).04](https://doi.org/10.32918/nrs.2023.1(97).04). (дата звернення: 06.12.2022).

REFERENCES:

1. Ilhan-Sungur E., Çotuk A. Microbial corrosion of galvanized steel in a simulated recirculating cooling tower system. *Corrosion Science*. 2010. Vol. 52, no. 1. P. 161–171. URL: <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2009.08.049> (date of access: 04.12.2022).
2. Cristiani P. Risk assessment of biocorrosion in condensers, pipework and other cooling system components. *Understanding Biocorrosion*. 2014. P. 357–384.
3. Performance assessment of oxidants as a biocide for biofouling control in industrial seawater cooling towers / M. Al-Bloushi et al. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*. 2018. Vol. 59. P. 127–133. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2017.10.015> (date of access: 03.12.2022).
4. Rao T. S. Biofouling (macro-fouling) in seawater intake systems. *Water-Formed Deposits*. 2022. P. 565–587. URL: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-822896-8.00016-9> (date of access: 05.10.2022).
5. Європейська хімічна агенція. <https://echa.europa.eu/> (date of access: 04.12.2022).
6. Application of ozone treatment in cooling water systems for energy and chemical conservation / A. Ataei et al. *Advances in environmental research*. 2015. Vol. 4, no. 3. P. 155–172. URL: <https://doi.org/10.12989/aer.2015.4.3.155> (date of access: 05.12.2022).
7. Chien S.-H., Dzombak D. A., Vidic R. D. Comprehensive Evaluation of Biological Growth Control by Chlorine-Based Biocides in Power Plant Cooling Systems Using Tertiary Effluent. *Environmental Engineering Science*. 2013. Vol. 30, no. 6. P. 324–332. URL: <https://doi.org/10.1089/ees.2012.0502> (date of access: 03.12.2022).
8. Meesters K. P. H., Van Groenestijn J. W., Gerritse J. Biofouling reduction in recirculating cooling systems through biofiltration of process water. *Water Research*. 2003. Vol. 37, no. 3. P. 525–532. URL: [https://doi.org/10.1016/s0043-1354\(02\)00354-8](https://doi.org/10.1016/s0043-1354(02)00354-8) (date of access: 05.12.2022).
9. Reclaimed water use in industrial cooling circuits: Compatibility with TP11 biocides / B. Garrido Arias et al. *Journal of Water Process Engineering*. 2021. Vol. 43. P. 102227. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2021.102227> (date of access: 06.12.2022).
10. Nicoll P. G., Thompson N., Gray V. Forward osmosis