

# Експериментальні випробування біоцидної обробки охолоджуючої води систем безпеки енергоблоків Рівненської атомної електростанції

## ■ Кузнєцов Павло Миколайович

Відокремлений підрозділ «Рівненська атомна електростанція»

Державного підприємства «Національна атомна енергогенеруюча компанія «Енергоатом», м. Вараш, Рівненська область, Україна

Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне, Україна  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8263-0000>

## ■ Бєдункова Ольга Олександрівна

Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне, Україна  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4356-4124>

Важливим елементом забезпечення безпеки є наукові дослідження та інженерні розробки, спрямовані на удосконалення проєктних рішень і підвищення надійності систем та елементів АЕС. Система технічного водопостачання відповідальних споживачів є забезпечуючою системою безпеки АЕС, на надійність, безпеку, виконання функцій та ефективність якої впливає встановлений водно-хімічний режим. З огляду на те, що система технічного водопостачання відповідальних споживачів забезпечує охолоджуючою водою системи споживачів реакторного відділення та резервних дизельних електростанцій, підтримання водно-хімічного режиму цієї системи також може позначитись на роботі інших систем безпеки та систем, важливих для безпеки. Модифікація водно-хімічного режиму системи технічного водопостачання відповідальних споживачів, з впровадженням нових реагентів, може вплинути на безпеку внаслідок корозійного впливу на конструкційні матеріали, тому введення нових методів корекційної обробки водно-хімічного режиму має відбуватися з дотриманням вимог проведення модифікацій ядерних установок та порядку оцінки їх безпеки. У статті описано етапи впровадження нових методів корекційної обробки охолоджуючої води систем безпеки АЕС України згідно з чинними нормативними документами з ядерної та радіаційної безпеки та природоохоронної діяльності. Стаття містить результати проведеного гідробіологічного моніторингу, що обґрунтовує необхідність впровадження біоцидної обробки, результати визначення ефективної дози біоцидів, корозійних випробувань з визначенням впливу реагентів на конструкційні матеріали системи технічного водопостачання відповідальних споживачів та режими технологічного впровадження обробки. Запропоновані біоциди за результатами експериментальних досліджень ефективно діють проти наявних у системі технічного водопостачання відповідальних споживачів біологічних перешкод, їх застосування не призводить до корозійного впливу на конструкційні матеріали. Експериментальні дослідження підтвердили забезпечення безпеки експлуатації АЕС, екологічність застосування запропонованих біоцидів та можливість підвищення надійності експлуатації технологічного обладнання завдяки зменшенню біологічних перешкод.

Ключові слова: АЕС, біообробання, біоцидна обробка, система технічного водопостачання відповідальних споживачів.

© Кузнєцов П. М., Бєдункова О. О., 2023

## Вступ

Типова АЕС має системи та елементи, більшість яких для забезпечення нормальної експлуатації використовують охолодження, джерелом якого є вода технічного водопостачання [1]. Надійність експлу-

тації системи технічного водопостачання, з погляду хімічного аспекту, пов'язана з високою ймовірністю того, що в системі не виникнуть відмови, пов'язані з хімічними процесами [2]. Відхилення показників якості та недосконалість ведення водно-хімічного режиму (ВХР) систем технічного водопостачання може спричинити відмови в роботі обладнання,

інтенсифікувати процеси корозії конструкційних матеріалів та вплинути на експлуатаційні параметри, як-то: температура, перепади тиску, ефективність і продуктивність системи [3].

Система технічного водопостачання відповідальних споживачів (СТВВС) призначена для забезпечення охолоджуючою технічною водою споживачів реакторного відділення і резервних дизельних електростанцій [4]. СТВВС є забезпечуючою системою безпеки (СБ), що поєднує функції системи нормальної експлуатації і системи, важливої для безпеки (СВБ). Важливими елементами забезпечення безпеки АЕС є наукові дослідження та інженерні розробки, спрямовані на удосконалення проєктів енергоблоків, підвищення надійності систем і елементів, розв'язання проблем, які виникають під час експлуатації [5]. Встановлений ВХР СТВВС, згідно з [6], повинен підтримувати швидкості корозії на прийнятному рівні, попереджувати корозійні пошкодження обладнання та трубопроводів, мінімізувати біологічне забруднення і рівні скидів зі зворотними водами. ВХР, який не забезпечує встановлені вимоги, підлягає модифікації з впровадженням результатів наукових досліджень, інженерних рішень з його вдосконалення.

Забезпечення оптимального ВХР є вагомим чинником у функціонуванні як СТВВС, так і пов'язаних з системою охолоджуючої води елементів СБ та СВБ реакторного відділення [4]. Вибір реагенту для забезпечення ВХР охолоджуючої води СТВВС, що має корозійну агресивність, може позначатись на цілісності обладнання як самої СТВВС, так і пов'язаних систем, які використовують охолоджуючу воду, та вплинути на безпеку АЕС загалом через можливість невиконання своїх функцій елементами та системами АЕС.

Проєктом Рівненської АЕС передбачено водо-підготовку з корекційною хімічною обробкою охолоджуючої води, що забезпечує протинакипний та антикорозійний захист, однак не передбаченим проєктом є метод обробки, що попереджує потрапляння та розвиток біологічного забруднення [7]. Найбільш важливим фактором, який сприяє підвищенню біологічного забруднення систем охолодження, є постійне постачання організмів поживними речовинами безперервним потоком води [8].

Кожен вид біологічного забруднення має специфічний вплив на ефективність, безпеку та надійність експлуатації технологічного обладнання систем технічного водопостачання. Нижчі рослини (передусім водорості), безхребетні тварини (передусім молюски) утворюють біообростання на обладнанні та гідротехнічних спорудах, які здатні забивати прохідні ділянки, сітки, насоси, що може спричинити необхідність непланового виведення обладнання в ремонт для очищення. Бактерії та найпростіші утворюють біоплівки на поверхні обладнання, під якими відбувається інтенсифікація корозійних процесів,

притому біоплівки знижують ефективність охолодження теплообмінного обладнання СТВВС [9].

Унаслідок потрапляння та розвитку біологічного забруднення створюються біологічні перешкоди в експлуатації, які збільшують перепад тиску в контурі охолодження, відбувається блокування потоку і зниження ефективності теплопередачі [10] та виникають умови, що призводять до ерозійної корозії [11]. Біообростання є популяцією мікробних клітин, занурених у товсту слизову матрицю із позаклітинних полімерних речовин [12], на якій через високі температури води та надмірну кількість поживних речовин здатні оселятись і розвиватись більш крупні форми організмів [13]. Переважно біологічний фактор має більший вплив на показники якості охолоджуючої води, ніж техногенний, що визначається температурним впливом та концентруванням під час випаровування [14].

Тому, для попередження виникнення експлуатаційних подій АЕС, причинами яких є біологічні перешкоди, необхідно розробляти і впроваджувати в технологічний процес ефективні методи запобігання та боротьби з біологічним забрудненням. Найпоширенішим у світовій практиці методом зменшення біологічного забруднення є застосування біоцидної обробки [15], [16].

Впровадження нових методів корекційної хімічної обробки охолоджуючої води системи безпеки СТВВС для АЕС проводиться за СОУ НАЕК 067:2013 [6] з дотриманням вимог ядерної та радіаційної безпеки під час проведення модифікацій ядерних установок згідно з НП 306.2.106-2005 [17].

### Аналіз літературних даних

Досі питання наявності біологічного забруднення та впровадження методів його мінімізації в системах охолоджуючої води атомної енергетики залишається актуальним [18], [19]. Переважна більшість аварійних зупинів АЕС та гідроелектростанцій, пов'язаних з водопостачанням, була спричинена біологічним забрудненням [20].

Проблеми біологічного забруднення охолоджуючих систем технічного водопостачанням властиві як зарубіжним [21], так і АЕС України, зокрема Хмельницькій АЕС [22], Запорізькій АЕС [18], Південноукраїнській АЕС [23].

Для попередження та боротьби з біологічним забрудненням застосовують механічні, біологічні, фізичні та хімічні методи. Для мінімізації біологічного забруднення систем технічного водопостачання АЕС України впровадили біологічний метод поліпшення якості вхідної води у фоновому водоймищі, а саме зариблення ставків-охолоджувачів [20]. Впровадження аналогічного досвіду для Рівненської АЕС є неможливим, з огляду на проєктне рішення для цієї АЕС з охолодження технічної води через за-

бір та скид води в проточну природну водойму – р. Стир, без використання фонового ставка охолоджувача [24]. Для АЕС, що не мають ставків охолоджувачів, ефективним є впровадження хімічних методів із застосуванням біоцидної обробки, втім їх застосування обмежено корозійним впливом на матеріали та дотриманням екологічних норм скиду зворотної води [25].

Відомі численні експериментальні дослідження щодо ефективності дії біоцидів у різних промислових секторах, а самі біоциди класифікуються Європейським хімічним агентством (ECHA) за 22 типами [26]. Для охолоджуючої води систем технічного водопостачання здебільшого використовують сильноокиснюючі речовини, передусім похідні хлору [16], [27], причому вони вимагають одночасного використання антикорозійних хімічних продуктів [28]. Як доводить світовий досвід, за таких умов їхня сумісність з іншими реагентами, які використовуються для антикорозійної та протинакипної корекційної обробки, є вирішальною, а їх ефективність повинна підтримуватися ретельно обґрунтованими дозуваннями [29]. Такі схеми сумісного використання антикорозійних та біоцидних препаратів у експериментальних установках систем технічного водопостачання демонстрували ефективність інгібування корозії та видалення біологічного обростання на 99,69 % та 22,21 % відповідно [30].

Впровадження біоцидної обробки охолоджуючої води СТВВС енергоблоків № 3, 4 Рівненської АЕС повинно проводитись з урахуванням таких вимог ядерної та радіаційної безпеки, як [5], [6], [17].

#### **Постановка завдань дослідження та мета статті**

Досвід експлуатації АЕС демонструє застосування та ефективність методів біоцидної обробки охолоджуючої води систем технічного водопостачання для попередження та боротьби з біологічним забрудненням [25]. Водночас існує складність впровадження таких методів обробки на АЕС України, зумовлена, зокрема, відсутністю затверджених гранично-допустимих концентрацій (ГДК) у водоймах для сучасних біоцидних реагентів. Відповідно до основних положень безпеки АЕС [5], технічні рішення, технології, конструкції, системи і елементи, матеріали, закладені в проєкт АЕС, повинні бути апробовані досвідом експлуатації, або їх застосовність доводиться результатами досліджень і випробувань, до того вони повинні вдосконалюватися з урахуванням нових науково-технічних досліджень.

Метою наших досліджень є удосконалення існуючої проєктної технології забезпечення ВХР, завдяки проведенню робіт з впровадження біоцидної обробки охолоджуючої води забезпечуючої системи безпеки СТВВС енергоблоків № 3, 4 Рівненської

АЕС, що дозволить підвищити як надійність, ефективність технологічного обладнання АЕС, так безпеку АЕС загалом.

#### **Матеріали дослідження, експериментальна частина**

Охолоджуючою водою СТВВС енергоблоків № 3, 4 Рівненської АЕС є вода, яка пройшла попередню водопідготовку та корекційні (протинакипну та протикорозійну) обробки. Проєктними рішеннями не передбачається біоцидна обробка, додатковим чинником, сприяючим росту біологічного забруднення, є протинакипна обробка охолоджуючої води Рівненської АЕС оксіетилідендифосфоновою кислотою, що містить біогенний елемент фосфор, який провокує збільшення біологічного забруднення в СТВВС.

Впровадження біоцидної обробки СТВВС згідно з вимогами [6] передбачає такі основні етапи: обґрунтування необхідності виконання біоцидної обробки, розробка концептуального технічного рішення, проведення стендових випробувань, розробка та погодження звіту з аналізу безпеки, проведення дослідно-промислових випробувань, впровадження програми біоцидної обробки в промислово експлуатацію.

Вимоги [5], [6], [17] регламентують аналогічні етапи та методологію впровадження біоцидної обробки СТВВС на інших АЕС України, якщо за результатами оцінки стану системи буде обґрунтована необхідність такої обробки.

Індикаторами кількісного біологічного забруднення та ефективності застосування біоцидів використовували рекомендовані [25] показники якості: загальне мікробне число (ЗМЧ), бактеріологічне тестування за типом та загальну чисельність клітин водоростей (ЗКВ). Визначення виконували за рекомендаціями [19]: ЗМЧ з використанням тест-системи Envirochek Contact TVC, носій агар-агар, витримка протягом 48 годин за температури  $36 \pm 1$  °C, ЗКВ підрахунком кількості клітин у камері Нажота.

#### **1. Гідробіологічний моніторинг**

Для системи технічного водопостачання Рівненської АЕС у теплий період року спостерігається недотримання проєктних значень температури охолоджуючої води та систематичне використання механічного очищення теплообмінників-споживачів у періоди виведення в ремонт СБ, через наявне забруднення їх внутрішніх поверхонь, що зумовлено, зокрема, наявними біологічними перешкодами. Застосування механічних методів очистки не усуває проблему потрапляння та розвитку біологічного забруднення, а зменшує лише наслідки його прояву.

Види біологічного забруднення, виявлені в СТВВС енергоблоків № 3, 4 Рівненської АЕС, за результатами гідробіологічного моніторингу (ГБМ) наведені в таблиці 1. Серед біологічного забруднення ідентифіковано три основні групи: нижчі рослини, бактерії та найпростіші, а також безхребетні тварини, кожні з яких мають свій специфічний вплив на створення біологічних перешкод експлуатації.

Кількісні значення мікробіологічного забруднення охолоджуючої води СТВВС енергоблоків № 3, 4 Рівненської АЕС, зазначені в таблиці 2, фіксують значний вміст бактеріального та фітопланктонного забруднення. Згідно з вимогами [6], [25], [31] відповідні значення кількісних показників біологічного забруднення потребують впровадження хімічної біоцидної обробки із застосуванням препаратів альгіцидної та бактерицидної дії.

За результатами ГБМ СТВВС енергоблоків № 3, 4 Рівненської АЕС, з огляду на якісні та кількісні показники наявного біологічного забруднення й можливий вплив на ефективність роботи і надійність технологічного обладнання АЕС через наявність біологічних перешкод, необхідним є впровадження заходів зменшення біологічного забруднення, зокрема проведення біоцидної обробки.

## 2. Визначення ефективної дози біоцидів

Скид зворотних вод Рівненської АЕС здійснюється в р. Стир, умовою вибору біоцидних препаратів є наявність та неперевищення ГДК у водоймах рибогосподарського призначення (РГП). Застосування гіпохлориту натрію (ГН) регламентовано [31], у продувній воді системи технічного водопостачання активний хлор повинен бути відсутній. Біоцид 2,2-дибром-3-нітрілпропіонамід (ДБНПА) гідролітично розкладається до бромід-іонів, ГДК бромід-іонів у водоймах РГП складає 12 мг/дм<sup>3</sup> [32].

Для визначення ефективної дози проводились три серії вимірювань, введення біоцидів та витримка проводились протягом 24 години для ГН та 7 діб для ДБНПА [33]. Залежно від концентрації діючої речовини біоцидів, у діапазоні концентрацій 0-10 мг/дм<sup>3</sup>, фіксувалась зміна значень ЗМЧ та ЗКВ після введення препаратів (ГН/ДБНПА) до проб води СТВВС (рисунки 1-4). Відгук до зменшення ЗМЧ спостерігається з концентрації ГН та ДБНПА з 2,0 мг/дм<sup>3</sup> та більше, зниження ЗКВ спостерігається за концентрації ГН з 4,0 мг/дм<sup>3</sup> та більше, ДБНПА з 2,0 мг/дм<sup>3</sup> та більше. За результатами досліджень дії біоцидів ГН та ДБНПА фіксується більша альгецидна дія ДБНПА.

Таблиця 1 – Ідентифіковані види біологічного забруднення СТВВС енергоблоків № 3, 4 Рівненської АЕС

Нижчі рослини	Бактерії та найпростіші	Безхребетні тварини
Зелені та жовто-зелені водорості роду <i>Cladophora glomerata</i> , Chlorophyta, Cyanophyta, Tribonema	Бактерії загальні коліформи, ентерококи, залізні бактерії <i>Leptothrix echinata</i> . Найпростіші класу джгутикові (переважно соняшники <i>Heliozoa Actinophrys</i> ), амеба <i>Anthophysa vegetans</i>	Личинки черв'яків роду <i>Nematoda</i> , молюски (равлики родини <i>Viviparidae</i> )

Таблиця 2 – Кількісні показники мікробіологічного забруднення СТВВС енергоблоків № 3 та № 4 Рівненської АЕС

Параметр	Одиниці вимірювання	СТВВС енергоблоків № 3, 4 Рівненської АЕС
Загальне мікробне число	КУО/см <sup>3</sup>	10 <sup>5</sup> – 10 <sup>7</sup>
Загальні коліморфи	КУО/см <sup>3</sup>	виявлені
<i>Escherichia coli</i>	КУО/см <sup>3</sup>	виявлені
Ентерококи	КУО/см <sup>3</sup>	не виявлені
Загальна кількість водоростей	кл/см <sup>3</sup>	300000 - 350000

Примітка. КУО – колонієутворюючі одиниці, кл – клітин.

За результатами досліджень ЗМЧ та ЗКВ було визначено оптимальну ефективну та шоківу ефективну дози біоцидів (ОЕДБ і ШЕДБ відповідно). ШЕДБ використовується у разі неефективності використання біоцидів в ОЕДБ. Установлена ОЕДБ складає для ГН та ДБНПА –  $2,0 \pm 1,0$  мг/дм<sup>3</sup>, ШЕДБ для ГН та ДБНПА –  $6,0 \pm 3,0$  мг/дм<sup>3</sup>. ОЕДБ для ГН обрана враховуючи наявність відгука до зниження ЗМЧ за результатами експериментальних досліджень та рекомендацій пп. 7.3.11 [31] щодо підтримання дози хлору  $1,5-2,5$  мг/дм<sup>3</sup> для запобігання біобростанням у системах технічного водопостачання.

За результатами досліджень біоциди ГН та ДБНПА в ОЕДБ та/чи ШЕДБ проявляють ефективну бактерицидну та алгїцидну дію і можуть бути застосовані для ефективного зменшення біологічних перешкод СТБВС енергоблоків № 3, 4 Рівненської АЕС. Для дотримання вимог безпеки під час проведення модифікацій ядерних установок за [6], [17] для ГН, ДБНПА в ОЕДБ та/чи ШЕДБ необхідно визначити корозійний вплив реагентів на конструкційні матеріали СТБВС за допомогою стендових корозійних випробувань.

### 3. Стендові корозійні випробування дії біоцидів

Стендові корозійні випробування проведені для матеріалів (зразків-свідків), що визначені як аналоги конструктивних матеріалів СТБВС енергоблоків № 3, 4 Рівненської АЕС, відповідно до вимог [6]. Умови експлуатації СТБВС імітувались на стенді, зокрема підтримувалась температура води  $45 \pm 2$  °С, ОЕДБ чи ШЕДБ для ГН та/чи ДБНПА. Вимірювання швидкості корозії під час корозійних випробувань проводилось гравіметричним методом, кількість зразків кожного матеріалу бралась у трикратній повторності, час випробувань становив 1008 годин (таблиці 3, 4). Виїмка зразків-свідків проводилась з періодичністю згідно з [6], швидкість корозії після 780 годин не змінювалась для всіх досліджувальних зразків-свідків. За результатами огляду корозійного стану зразків-свідків, після видалення продуктів корозії, корозійних уражень проявів місцевої корозії поверхні не зафіксовано. Тип корозійного впливу характеризується як рівномірний. Значення швидкості корозії зразків-свідків в охолоджуючій воді СТБВС енергоблоків № 3, 4 Рівненської АЕС

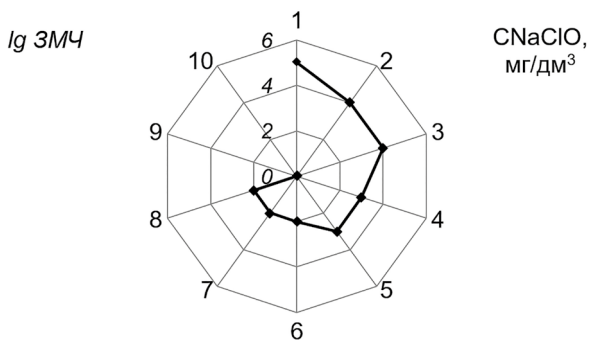


Рисунок 1 – Діаграма змін значень десятичного логарифму ЗМЧ ( $lg ZMC$ , КУО/см<sup>3</sup>) залежно від концентрації ГН

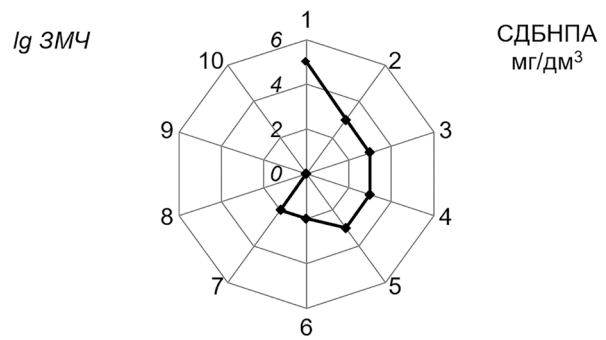


Рисунок 2 – Діаграма змін значень десятичного логарифму ЗМЧ ( $lg ZMC$ , КУО/см<sup>3</sup>) залежно від концентрації ДБНПА

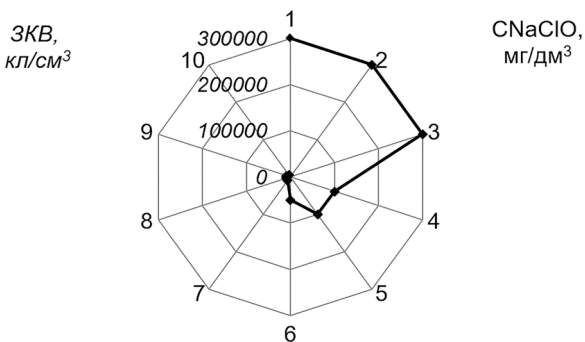


Рисунок 3 – Діаграма змін значень ЗКВ залежно від концентрації ГН

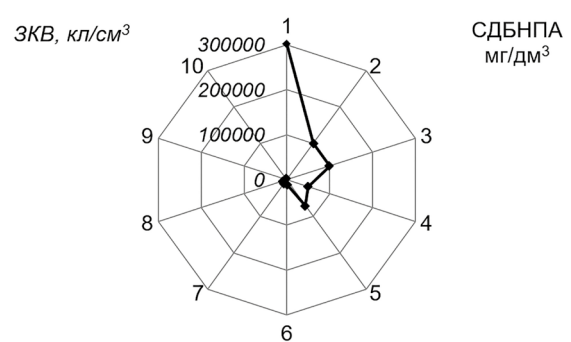


Рисунок 4 – Діаграма змін значень ЗКВ залежно від концентрації ДБНПА

Таблиця 3 – Швидкість корозії зразків-свідків у воді СТВВС енергоблоків № 3, 4 Рівненської АЕС для біоцидів в ОЕДБ

Середовище Матеріал	Швидкість корозії зразків – свідків, г/(м <sup>2</sup> /год) ± D			
	Ст.20	МНЖ	X18H10T	AI
Без біоцидів	0,16 ± 0,02	0,005 ± 0,002	≤ 0,001	0,025 ± 0,005
ДБНПА	0,14 ± 0,02	0,003 ± 0,002	≤ 0,001	0,034 ± 0,006
ГН	0,15 ± 0,02	0,004 ± 0,002	0,0010 ± 0,0001	0,042 ± 0,011
ГН+ДБНПА	0,16 ± 0,03	0,005 ± 0,002	0,0014 ± 0,0005	0,039 ± 0,016

Примітка: <sup>1)</sup> похибка вимірювань корозії за P=0,95 для n=3.

Таблиця 4 – Швидкість корозії зразків-свідків у воді СТВВС енергоблоків № 3, 4 Рівненської АЕС для біоцидів в ШЕДБ

Середовище Матеріал	Швидкість корозії зразків – свідків, г/(м <sup>2</sup> /год) ± D			
	Ст.20	МНЖ	X18H10T	AI
Без біоцидів	0,16 ± 0,02	0,005 ± 0,002	≤ 0,001	0,025 ± 0,005
ДБНПА	0,17 ± 0,02	0,006 ± 0,003	≤ 0,001	0,034 ± 0,009
ГН	0,15 ± 0,02	0,009 ± 0,004	0,0013 ± 0,0005	0,042 ± 0,011
ГН+ДБНПА	0,15 ± 0,02	0,008 ± 0,004	0,0123 ± 0,0015	0,039 ± 0,016

Примітка: <sup>1)</sup> похибка вимірювань швидкості корозії за P=0,95 для n=3.

без введення біоцидів та з біоцидами ГН чи ДБНПА співставні, відповідно до критеріїв корозійної стійкості матеріалів та корозійної агресивності середовища за [6], застосування біоцидів ГН чи ДБНПА у встановлених дозах не призводить до збільшення швидкості корозії зразків-свідків, значення швидкостей корозії знаходяться у прийнятному діапазоні, корозійна активність системи низька, а матеріали корозійно стійкі в цьому середовищі.

Комбінація двох біоцидів ДБНПА та ГН, за отриманими значеннями швидкості корозії, не перевищила прийнятне значення, але це зумовило збільшення швидкості корозії зразків-свідків зі сталі X18H10T: у ОЕДБ у 1,4 разів, у ШЕДБ у 12 разів (таблиці 3, 4). Комбінація ДБНПА та ГН може зумовити синергетичний корозійний вплив, через затримку розкладання активного хлору ГН завдяки присутності продукту розкладання ДБНПА. Враховуючи наявність збільшення значень швидкості корозії, комбінація ДБНПА та ГН не рекомендована до застосування для реалізації біоцидної обробки СТВВС, оскільки може спровокувати інтенсифікацію корозії обладнання.

Окреме застосування біоцидів ДБНПА та ГН в ОЕДБ і ШЕДБ не перевищують прийнятне значення за [6] швидкості корозії зразків-свідків, що визначені як аналоги конструкційних матеріалів СТВВС, корозійний вплив на конструкційні матеріали СТВВС відсутній, біоциди можуть бути застосовані

для реалізації технології біоцидної обробки з урахуванням вимог дотримання безпеки АЕС.

#### 4. Реалізація дослідно-промислових випробувань

Для реалізації дослідно-промислових випробувань біоцидної обробки СТВВС енергоблоків № 3, 4 Рівненської АЕС, враховуючи технологічні параметри експлуатації та сезонні умови навколишнього середовища, були розроблені режимні карти реалізації біоцидної обробки (таблиця 5). За умовами реалізації технології біоцидної обробки [34] не допускається одночасне введення біоцидів ГН та ДБНПА, зміна реагенту проводиться після повного розкладання та підтвердження відсутності реагенту в охолоджуючій воді хімічним аналізом.

Біоциди ГН та ДБНПА ефективно знешкоднують, але не видаляють з охолоджуючого контуру, біологічне забруднення. Потрапляння решток відмерлих організмів унаслідок біоцидної обробки охолоджуючої води може впливати на безпеку АЕС, оскільки може спричинити занесення решток у споживачі охолоджуючої води СТВВС, що зі свого боку може спровокувати невиконання функцій обладнання з охолодження. Для попередження цього та з метою забезпечення вимог безпеки АЕС, враховуючи технологічні параметри експлуатації та поточний рівень біологічного забруднення (таблиці 1, 2),

Таблиця 5 – Режимна карта технології обробки біоцидами охолоджуючої води СТВВС енергоблоків № 3, 4 Рівненської АЕС

Місяць року	ГН					ДБНПА		Водообмін, м <sup>3</sup>
	Дозування		Доза ГН, мг/дм <sup>3</sup> 100 %	Витрата ГН, кг 100 %		Періодичність дозування, кіл/місяць	Витрата ДБНПА, кг 100 %	
	год.	днів		дозув.	місяць			
за дозування в ОЕДБ								
січень	3	1	7,0	67	67	1	250	-
лютий	3	1	7,0	67	67	1	250	-
березень	3	2	10,0	95	190	2	500	1000
квітень	3	2	15,0	140	280	2	500	3000
травень	3	3	15,0	140	420	3	750	6000
		4			560			
		5			700			
червень	3	3	20,0	190	574	3	750	4000
		4			765			
		5			960			
липень	3	3	20,0	190	574	3	750	5000
		4			765			
		5			960			
серпень	3	3	15,0	140	420	3	750	6000
		4			560			
		5			700			
вересень	3	3	10,0	95	285	3	750	1000
жовтень	3	2	7,0	67	134	2	500	-
листопад	3	1	7,0	67	67	1	250	-
грудень	3	1	7,0	67	67	1	250	-
за дозування в ШЕДБ								
січень	3	1	13,0	190	190	1	750	3000
лютий	3	1	13,0	190	190	1	750	3000
березень	3	2	16,0	234	468	2	1500	3000
квітень	3	2	19,0	278	556	2	1500	3000
травень	3	3	19,0	278	834	3	2250	5000
червень	3	3	24,0	351	1053	3	2250	5000
липень	3	3	24,0	351	1053	3	2250	6000
серпень	3	3	19,0	278	834	3	2250	8000
вересень	3	3	16,0	234	702	3	2250	8000
жовтень	3	2	16,0	234	468	2	1500	6000
листопад	3	1	13,0	190	190	1	750	3000
грудень	3	1	13,0	190	190	1	750	3000

встановлена умова [34] до продування з визначенням необхідної величини водообміну бризкальних басейнів СТВВС (таблиця 5) для видалення відмерлих решток організмів під час біоцидної обробки.

Апробацію технології біоцидної обробки води СТВВС проведено моделюванням режимів біоцидної обробки відповідно до таблиці 5 у лабораторних умовах. Після завершення періоду повного розкладання, що відповідає 24 годинам та 7 добам для ГН та ДБНПА відповідно, визначали вміст активного хлору, бромід-іона ДБНПА за методиками виконання вимірювань [35], [36], [37] відповідно. За результатами вимірювань вміст активного хлору та ДБНПА менше межі виявлення за методиками виконання вимірювань, вміст бромід-іонів знаходився в діапазоні 6,0 - 10,2 мг/дм<sup>3</sup>, що не перевищує ГДК РГП і підтверджує можливість скиду зворотних вод після витримки, що відповідає часу повного розкладання біоцидів.

### Апробація результатів

Рівненська АЕС є пілотною АЕС України з впровадження біоцидної обробки СТВВС. Результати досліджень апробовані і впроваджені у вигляді розроблених технічних рішень, програм проведення біоцидної обробки СТВВС енергоблоків № 3, 4 Рівненської АЕС, що відповідає 24 годинам та 7 добам, які погоджені з державними органами влади, як-то Державна інспекція ядерного регулювання України і Державна служба України з питань безпеки харчових продуктів та захисту споживачів.

### Висновки

Проведені експериментальні дослідження біоцидної обробки охолоджуючої води СТВВС енергоблоків № 3, 4 Рівненської АЕС підтвердили забезпечення безпеки експлуатації АЕС, показали екологічність застосування і можливість підвищення надійності експлуатації та ефективності роботи технологічного обладнання завдяки зменшенню біологічного забруднення. Удосконалення проєктних рішень забезпечення ВХР охолоджуючої води СТВВС з впровадження біоцидної обробки дозволить підвищити безпеку АЕС загалом завдяки мінімізації біологічних перешкод.

Застосовані механічні методи очищення обладнання систем технічного водопостачання усувають наслідки прояву біологічного забруднення, але не запобігають його надходженню й подальшому розвитку, тому впровадження біоцидної обробки є актуальним. За результатами ГБМ СТВВС енергоблоків № 3, 4 Рівненської АЕС ідентифіковано наявні біологічні забруднення, що характеризується своїм специфічним негативним впливом на стан конструкцій

системи технічного водопостачання, обґрунтовано необхідність впровадження та забезпечення безпеки під час здійснення біоцидної обробки. Біоцидами обрано ГН та ДБНПА, активні речовини яких втрачають токсичність у воді за короткий проміжок часу, вони є достатніми для ефективної дії проти усіх ідентифікованих біологічних забруднень СТВВС, залишкова концентрація біоцидів є нижчою за встановлену ГДК у водоймах РГП. За результатами стендових випробувань доведено відсутність корозійного впливу на конструкційні матеріали для безпечної експлуатації СТВВС, окреме застосування ДБНПА та ГН у встановлених ефективних дозах не призводить до інтенсифікації корозійних процесів конструкційних матеріалів СТВВС.

Розроблено режимні карти впровадження технології біоцидної обробки охолоджуючої води СТВВС енергоблоків № 3, 4 Рівненської АЕС, встановлено технологічні режими здійснення біоцидної роботи, які враховують заходи, що мають унеможливити невиконання функцій елементів та систем з охолодження під час реалізації технології біоцидної обробки.

Нормативні документи регламентують аналогічні етапи та методологію впровадження біоцидної обробки СТВВС на інших АЕС України, а, враховуючи однаковість вимог природоохоронних норм та типовість конструкційних матеріалів, діючі речовини біоцидів та їх оптимальні концентрації можуть бути застосовані для інших АЕС з реакторами типу ВВЕР. Необхідність впровадження біоцидної обробки СТВВС на інших АЕС визначається фактичним станом системи з наявними біологічними забрудненнями, яке впливає на ефективність, безпеку та надійність експлуатації технологічного обладнання системи, з обґрунтуванням доцільності такої обробки.

### Список використаної літератури

1. Suganya P., Swaminathan G., Anoop B., Siva Prasad, G. V. R. S. G., Nagarajan J. Assessing the factors affecting the water chemistry parameters in the auxiliary water system of a nuclear power plant. *SN Applied Sciences*. 2020. Vol. 2, no. 11. doi:10.1007/s42452-020-03693-z.
2. Stewart M. Piping system components. *Surface Production Operations*. 2016. Vol. 3. P. 193–300. doi:10.1016/b978-1-85617-808-2.00004-3.
3. Rajaković-Ognjanović V. N., Zivojinovicet D. Z., Grgur B. N., Rajakovi L. V. Improvement of chemical control in the water-steam cycle of thermal power plants. *Applied Thermal Engineering*. 2011. Vol. 31, no. 1. pp. 119–128. doi:10.1016/j.applthermaleng.2010.08.028.
4. Інструкція з експлуатації. Система технічного водопостачання відповідальних споживачів групи «А» енергоблоків № 3, 4 з охолодженням води в бризкальних басейнах. Забезпечуюча система безпеки. Блоки № 3, 4. 28 с.



5. НП 306.2.141-2008. Загальні положення безпеки атомних станцій. Затверджено наказом Держатомрегулювання України від 19.11.2007 № 162, зареєстровано в Міністерстві юстиції України 25.01.2008 за № 56/14747. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0056-08#Text>.
6. СОУНАЕК 067:2013. Управление химическими технологиями. Водно-химический режим системы технического водоснабжения ответственных потребителей АЭС с ВВЭР. Общие требования. К.: ДП «НАЕК «Енергоатом», 2013.
7. Регламент ведення водно-хімічного режиму циркуляційної системи технічного водопостачання Рівненської АЕС 171-1-Р-ХЦ, 68 с.
8. Rao T. S. Biofouling (macro-fouling) in seawater intake systems. *Water-Formed Deposits*. 2022. P. 565–587. doi:10.1016/b978-0-12-822896-8.00016-9.
9. Кузнєцов П. М., Бєдункова О. О. Порівняльний гідробіологічний моніторинг вод систем технічного водопостачання атомних електростанцій. *Водні біоресурси та аквакультура*. 2022. Вип. 2 №12. С. 180–190 с. doi:10.32851/wba.2022.2.13.
10. Rajagopal S., Sasikumar N., Azariah J., Nair K. V. K. Some observations on biofouling in the cooling water conduits of a coastal power plant. *Biofouling*. 1991. Vol. 3, no. 4. P. 311–324. doi: 10.1080/08927019109378185.
11. 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. doi: 10.1016/j.corsci.2009.08.049.
12. Al-Bloushi M., Saththasivam J., Al-Sayeghc S., Jeong S., Ng K. C., Amy G. L., Leiknes T. O. Performance assessment of oxidants as a biocide for biofouling control in industrial seawater cooling towers. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*. 2018. Vol. 59. P. 127–133. doi:10.1016/j.jiec.2017.10.015.
13. Rao T. S. Chapter 6 – Biofouling in Industrial Water Systems. *Mineral Scales and Deposits*. 2015. P. 123–140. doi:10.1016/b978-0-444-63228-9.00006-1.
14. Gao R., Shen C., Wang X., Yao Y. Experimental study on long-term fouling of enhanced tubes: Effect of water quality. *Science and Technology for the Built Environment*. 2020. Vol. 26, no. 9. P. 1191–1203. doi:10.1080/23744731.2020.1790268.
15. Chajduk E., Bojanowska-Czajka A. Corrosion mitigation in coolant systems in nuclear power plants. *Progress in Nuclear Energy*. 2016. Vol. 88. P. 1–9. doi:10.1016/j.pnucene.2015.11.011.
16. Shen Y., Weitz D. A., Forde N. R., Shayegan M. Line optical tweezers as controllable micromachines: techniques and emerging trends. *Soft Matter*. 2022. Vol. 18, P. 5359–5365, doi:10.1039/d2sm00259k.
17. НП 306.2.106-2005. Вимоги до проведення модифікацій ядерних установок та порядку оцінки їх безпеки. Затверджено наказом Держатомрегулювання України від 10.01.2005 р. № 4., зареєстровано в Міністерстві юстиції України 24.01.2005 р. за 78/10358. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0078-05#Text>.
18. Федоненко О. В., Маренков О. М., Петровський О. О. Проблема біологічних перешкод в роботі АЕС (на прикладі експлуатації техноекосистеми Запорізької АЕС). *Ядерна та радіаційна безпека*. 2019. № 2(82). С. 54–60. doi:10.32918/nrs.2019.2(82).10.
19. Giacobone A.F.F., Pizarro R.A., Rodríguez S.A., Belloni M., Croatto F. J., Ferrari F., Herrera C. et al. Biocorrosion at Embalse Nuclear Power Plant. Analysis of the Effect of a Biocide Product. *Procedia Materials Science*. 2015. Vol. 8. P. 101–107. doi:10.1016/j.mspro.2015.04.053.
20. Yesipova N., Marenkov O., Sharamok T., Nesterenko O., Kurchenko V. Development of the regulation of hydrobiological monitoring in circulation cooling system of the Zaporizhzhia nuclear power plant. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2022. Vol. 2, no. 10 (116). P. 6–17. doi:10.15587/1729-4061.2022.255537.
21. Rao T. S. Chapter 5 - Microfouling in industrial cooling water systems. *Water-Formed Deposits*. 2022. P. 79–95. doi:10.1016/b978-0-12-822896-8.00023-6.
22. Кражан С. А., Протасов О. О., Базаєва А. М., Григоренко Т. В., Силаєва А. А. Гідробіологічний стан водойми-охолоджувача Хмельницької атомної електростанції в осінній період. *Рибогосподарська наука України*. 2011. Вип. 3, № 17. С. 29–35. URL: <https://fsu.ua/index.php/uk/2011/3-2011-17/2011-03-029-03>.
23. Слепнев А. Е., Силаєва А. А. О натурализации *Melanoides tuberculata* (Thiaridae, Gastropoda) в водоеме-охладителе Южно-Украинской АЭС. *Вестник зоологии*. 2013. Вип. 47 № 2. С. 178. URL: [http://mail.izan.kiev.ua/vz-pdf/2013/2/22\\_Prokopenko.pdf](http://mail.izan.kiev.ua/vz-pdf/2013/2/22_Prokopenko.pdf).
24. Звіти з оцінки впливу нерадіаційних факторів ВП «Рівненська АЕС» ДП «НАЕК «Енергоатом» на довкілля за 2018-2021 роки.
25. Бенчмаркинг «Водно-химический режим второго контура и системы технического водоснабжения» АЭС Козлодуй. 25-26 июня 2019 г. URL: <https://www.wano.info/>.
26. Європейська хімічна агенція. <https://echa.europa.eu/>.
27. Garrido Arias B., Merayo N., Millán A., Negro C. Reclaimed water use in industrial cooling circuits: Compatibility with TP11 biocides. *Journal of Water Process Engineering*. 2021. Vol. 43. P. 102227. doi:10.1016/j.jwpe.2021.102227.
28. Nicoll P. G., Thompson N., Gray V. Forward osmosis applied to evaporative cooling make up water. *Power Plant Chemistry*. 2012. Vol. 14(10). P. 632–640. URL: <https://www.osti.gov/etdeweb/biblio/22073151>.
29. Su W., Tian Y., Peng S. The influence of sodium hypochlorite biocide on the corrosion of carbon steel in reclaimed water used as circulating cooling water. *Applied Surface Science*. 2014. Vol. 315. P. 95–103. doi:10.1016/j.apsusc.2014.07.095.
30. Chen C., Wang Y., Liu S., Feng R., Gu X., Qiao C. Research on the application of compound microorganism preparation in reusing urban reclaimed water in circulating cooling water system. *Water Science and Technology*. 2019. Vol. 80, no. 9. P. 1763–1773. doi: 10.2166/wst.2019.430.
31. ГКД 34.20.507-2003. Технічна експлуатація електричних станцій і мереж. Правила (у редакції наказу від 21.06.2019 № 271). URL: [http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id\\_doc=86234](http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=86234).
32. Обобщенный перечень предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно безопасных

уровней воздействия (ОБУВ) вредных веществ для воды рыбохозяйственных водоемов. Главрыбвод Минрыбхоз СССР, 1990, 96 с.

33. Рабочая програма «Лабораторні (стендові) випробування біоцидів. Блок № 3, 4. ПАТ Техенерго. Львів, 2018. 22 с.

34. Розробка режимних карт підтримання ВХР та періодичності вводу біоцидів та складання звіту. № 19.05.81/48 № 19.05.81/48 -122 -08 -19 -08952 від 06.12.2019 р. 89 с.

35. Унифицированные методы исследования качества вод. Ч. 1, Т. 1. М.: СЭВ, 1987 г. 1099 с.

36. ДСТУ 8929:2019. Якість води. Методика визначення масової концентрації бромід-іонів рефлектометричним методом. Державний Стандарт України. 34 с.

37. DOW Antimicrobial 7287 and DOW Antimicrobial 8536: The fast-acting, broad-spectrum biocides with low environmental impact Handling/Toxicology/Environmental. URL: [https://aniq.org.mx/pqta/pdf/ANTIMICROBIANO%20%207287%20\(HT\).pdf](https://aniq.org.mx/pqta/pdf/ANTIMICROBIANO%20%207287%20(HT).pdf).

## References

1. Suganya, P., Swaminathan, G., Anoop, B., Siva Prasad, G. V. R. S. G., Nagarajan, J. (2020). Assessing the factors affecting the water chemistry parameters in the auxiliary water system of a nuclear power plant. *SN Applied Sciences*, 2(11). Doi: 10.1007/s42452-020-03693-z.

2. Stewart, M. (2016). Piping system components. *Surface Production Operations*, 3, 193–300. doi: 10.1016/b978-1-85617-808-2.00004-3.

3. Rajaković-Ognjanović, V. N., Živojinović, D. Z., Grgur, B. N., Rajaković, L. V. (2011). Improvement of chemical control in the water-steam cycle of thermal power plants. *Applied Thermal Engineering*, 31(1), 119–128. doi: 10.1016/j.applthermaleng.2010.08.028.

4. Operating Instructions. Group "A" essential service water supply system of power units No. 3, 4 with water cooling in spray ponds. Support safety system. Units No. 3, 4. 28 p.

5. NP 306.2.141-2008. General safety provisions for nuclear power plants. Approved by SNRCU Order No. 162 of 19 November 2007, registered in the Ministry of Justice of Ukraine on 25 January 2008 under No. 56/14747. Retrieved from: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0056-08#Text>.

6. SOU NAEK 067:2013. Management of chemical technologies. Water chemistry of the essential service water supply system of VVER NPP. General requirements. Kyiv, NNEGC Energoatom, 2013.

7. Regulations for maintaining the water chemistry for the circulation service water supply system of the Rivne NPP. 171-1- R-KhTs, 68 p.

8. Rao, T. S. (2022). Biofouling (macro-fouling) in seawater intake systems. *Water-Formed Deposits*, 565–587. doi: 10.1016/b978-0-12-822896-8.00016-9.

9. Kuznietsov, P., Biedunkova, O. (2022). Comparative hydrobiological monitoring of water in service water supply systems of nuclear power plants. *Water Bioresources and Aquaculture*, 2(12), 180–190. doi: 10.32851/wba.2022.2.13.

10. Rajagopal, S., Sasikumar, N., Azariah, J., Nair, K. V. K. (1991). Some observations on biofouling in the cooling water conduits of a coastal power plant. *Biofouling*, 3(4), 311–324. doi: 10.1080/08927019109378185.

11. İlhan-Sungur, E., Çotuk, A. (2010). Microbial corrosion of galvanized steel in a simulated recirculating cooling tower system. *Corrosion Science*, 52(1), 161–171. doi: 10.1016/j.corsci.2009.08.049.

12. Al-Bloushi, M., Saththasivam, J., Al-Sayeghc, S., Jeong, S., Ng, K. C., Amy, G. L., Leiknes, T. (2018). Performance assessment of oxidants as a biocide for biofouling control in industrial seawater cooling towers. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 59, 127–133. doi: 10.1016/j.jiec.2017.10.015.

13. Rao, T. S. (2015). Chapter 6 – Biofouling in industrial water systems. *Mineral Scales and Deposits*, 123–140. doi: 10.1016/b978-0-444-63228-9.00006-1.

14. Gao, R., Shen, C., Wang, X., Yao, Y. (2020). Experimental study on long-term fouling of enhanced tubes: effect of water quality. *Science and Technology for the Built Environment*, 26(9), 1191–1203. doi: 10.1080/23744731.2020.1790268.

15. Chajduk, E., Bojanowska-Czajka, A. (2016). Corrosion mitigation in coolant systems in nuclear power plants. *Progress in Nuclear Energy*, 88, 1–9. doi: 10.1016/j.pnucene.2015.11.011.

16. Shen, Y., Weitz, D. A., Forde, N. R., Shayegan, M. (2022). Line optical tweezers as controllable micromachines: techniques and emerging trends. *Soft Matter*, 18, 5359–5365. doi: 10.1039/d2sm00259k.

17. NP 306.2.106-2005. Requirements for modifications of nuclear installations and their safety assessment procedure. Approved by SNRIU Order No. 4 dated 10 January 2005, registered in the Ministry of Justice of Ukraine on 24 January 2005 under No. 78/10358. Retrieved from: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0078-05#Text>.

18. Fedonenko, O., Marenkov, O., Petrovskiy, O. (2019). The problem of biological obstacles in the operation of nuclear power plants (illustrated by the operation of Zaporizhzhia NPP techno-ecosystem). *Nuclear and Radiation Safety*, 2(82), 54–60. doi: 10.32918/nrs.2019.2(82).10.

19. Giacobone, A. F. F., Pizarro, R. A., Rodríguez, S. A., Belloni, M., Croatto, F. J., Ferrari, F., Herrera, C., Mendizábal, M. I., Montes, J., Aliciardi, M. R., Saucedo, R., Ovando, L. E., Burkart, A. L. (2015). Biocorrosion at embalse nuclear power plant. analysis of the effect of a biocide product. *Procedia Materials Science*, 8, 101–107. doi: 10.1016/j.mspro.2015.04.053.

20. Yesipova, N., Marenkov, O., Sharamok, T., Nesterenko, O., Kurchenko, V. (2022). Development of the regulation of hydrobiological monitoring in circulation cooling system of the Zaporizhzhia nuclear power plant. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2(10), 116, 6–17. doi: 10.15587/1729-4061.2022.255537.

21. Rao, T. S. (2022). Chapter 5 – Microfouling in industrial cooling water systems. *Water-Formed Deposits*, 79–95. doi: 10.1016/b978-0-12-822896-8.00023-6.

22. Krazhan, S., Protasov, O., Bazaieva, A., Hryhorenko, T., Sylaiyeva, A. (2011). Hydrobiological state of cooling reservoir of the Khmelnytsky nuclear power plant during autumn period. *Fisheries Science of Ukraine*, 3(17), 29–35. Retrieved from: <https://fsu.ua/index.php/uk/2011/3-2011-17/2011-03-029-03>.

23. Slepnev, A., Sylaiyeva, A. (2013). About Naturalization of *Melanoides tuberculata* (Thiaridae, Gastropoda) in Cooling Pond of the South-Ukrainian Nuclear Power Plant. *Bulletin of Zoology*, 47(2), 178. Retrieved from: [http://mail.izan.kiev.ua/vz-pdf/2013/2/22\\_Prokopenko.pdf](http://mail.izan.kiev.ua/vz-pdf/2013/2/22_Prokopenko.pdf).

24. Reports on assessing the impact of non-radiational factors on the environment of the Energoatom Rivne NPP for 2018-2021.

25. Benchmarking "Water chemistry of the secondary side and service water supply system" of Kozloduy NPP, June 25-26, 2019. Retrieved from: <https://www.wano.info/>.

26. European Chemicals Agency. Retrieved from: <https://echa.europa.eu/>.

27. Garrido Arias, B., Merayo, N., Millán, A., Negro, C. (2021). Reclaimed water use in industrial cooling circuits: compatibility with TP11 biocides. *Journal of Water Process Engineering*, 43, 102227 p. doi: 10.1016/j.jwpe.2021.102227.

28. Nicoll, P. G., Thompson, N., Gray, V. (2012). Forward osmosis applied to evaporative cooling makeup water. *Power Plant Chemistry*, 14(10), 632–640. Retrieved from: <https://www.osti.gov/etdeweb/biblio/22073151>.

29. Su, W., Tian, Y., Peng, S. (2014). The influence of sodium hypochlorite biocide on the corrosion of carbon steel in reclaimed water used as circulating cooling water. *Applied Surface Science*, 315, 95–103. doi: 10.1016/j.apsusc.2014.07.095.

30. Chen, C., Wang, Y., Liu, S., Feng, R., Gu, X., Qiao, C. (2019). Research on the application of compound microorganism preparation in reusing urban reclaimed water in circulating cooling water system. *Water Science and Technology*, 80(9), 1763–1773. doi: 10.2166/wst.2019.430.

31. GKD 34.20.507-2003. Technical operation of electrical stations and networks. Rules (as amended by Order No. 271 dated 21 June 2019) ID#1151484584. Retrieved from: [http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id\\_doc=86234](http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=86234).

32. Generalized list of maximum permissible concentrations (MPC) and indicatively safe exposure levels (ISEL) of harmful substances for water in fishery reservoirs. Glavrybkhhoz Minrybkhhoz USSR, 1990, 96 p.

33. Working program "Laboratory (bench) testing of biocides. Block No. 3, 4. PJSC Tekhenergo. (2018). Lviv, 22 p.

34. Development of regime maps of WCh support and frequency of introduction of biocides and development of the report. No. 19.05.81/48 -122 -08 -19 -08952 of 6 December 2019.

35. Unified methods for studying water quality, 1(1), Moscow, 1987, 1099 p.

36. DSTU 8929:2019. Water quality. Technique for determining the mass concentration of bromide-ions by the reflectometric method. Sovereign Standard of Ukraine, 34 p.

37. DOW Antimicrobial 7287 and DOW Antimicrobial 8536. The fast-acting, broad-spectrum biocides with low environmental impact Handling/Toxicology/Environmental. Retrieved from: [https://aniq.org.mx/pqta/pdf/ANTIMICROBIANO%20%207287%20\(HT\).pdf](https://aniq.org.mx/pqta/pdf/ANTIMICROBIANO%20%207287%20(HT).pdf).

## Experimental Tests of Biocidal Treatment for Cooling Water of Safety Systems at Rivne NPP Units

P. Kuznietsov<sup>1,2</sup>, O. Biedunkova<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Rivne NPP, National Nuclear Energy Generating Company "Energoatom", Varash, Ukraine

<sup>2</sup>National University of Water and Environmental Engineering, Rivne, Ukraine

An important element of safety is scientific studies and engineering achievements aimed at improving design solutions and increasing the reliability of NPP systems and components. The essential service water supply system is a support NPP safety system, whose reliability, safety, performance of functions and efficiency are influenced by the established water chemistry. Taking into account that the essential service water supply system provides the reactor compartment and standby diesel generators with cooling water, maintenance of the water chemistry for this system may impact the operation of other safety systems and systems important to safety. Modification of the water chemistry for the essential service water supply system with the introduction of new reagents can impact safety due to the corrosive impact on structural materials, therefore, new methods for corrective treatment of the water chemistry should be implemented in compliance with the requirements for modifications of nuclear installations and safety assessment procedure. The article describes the stages of implementing new methods for corrective (biocidal) treatment of cooling water for safety systems at Ukrainian NPPs in accordance with regulatory documents on nuclear and radiation safety and environment protection activities in force in Ukraine. The effort contains the results of the conducted hydrobiological monitoring, which justifies the need for biocidal treatment, results of determining the effective dose of biocides, corrosion tests with the determination of the impact of reagents on structural materials of the essential service water supply system and modes for technological implementation of the treatment. According to the results of experimental studies, the proposed biocides are effective against biological impacts available in the essential service water supply system, their use does not lead to an increase in the corrosion rate of structural materials. Experimental studies confirmed safety of NPP operation, environmental friendliness of using the proposed biocides and possibility to increase the reliability of process equipment operation due to reducing biological impacts.

Keywords: nuclear power plant, essential service water supply systems, biofouling, biocidal treatment.

Отримано 08.12.2022