

ГІДРОЕКОЛОГІЯ

УДК 504.064:502.084:628.113

DOI <https://doi.org/10.32851/wba.2022.2.13>

ПОРІВНЯЛЬНИЙ ГІДРОБІОЛОГІЧНИЙ МОНІТОРИНГ ВОД СИСТЕМ ТЕХНІЧНОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ АТОМНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ

Кузнєцов П.М. – аспірант,

Бедункова О.О. – д.б.н., доцент,

Національний університет водного господарства

та природокористування, м. Рівне, Україна

kuznetpavel@gmail.com

Поява біообростання систем технічного водопостачання атомних електростанцій є суттєвою проблемою техніко-економічного значення. Тому, серед завдань атомної енергетики існує необхідність гідробіологічного дослідження та контролю обростань охолоджуючого обладнання мікро- та макроорганізмами. В даній роботі приведені результати порівняння гідробіологічного моніторингу для вод систем технічного водопостачання трьох атомних електростанцій зі зворотною системою охолодження, що підживлюються з річок: АЕС Моховце (Словаччина) – р. Грон, АЕС Козлодуй (Болгарія) – р. Дунай та Рівненська АЕС (Україна) – р. Стир. Всі досліджувані об'єкти атомної енергетики експлуатуються без водойм охолоджувачів. Проведення систематизації та аналізу результатів гідробіологічного моніторингу конструкцій систем технічного водопостачання виявило присутність явища біообростання на їх конструкційних елементах. Видове різноманіття гідробіонтів свідчило про наявність трьох основних груп біологічних забруднювачів, які характеризуються своїм специфічним впливом на стан конструкцій систем технічного водопостачання: нижчі рослини (водорості), бактерії та безхребетні тварини (черви, молюски). За кількісними показниками бактеріологічного забруднення та забруднення водоростями систем технічного водопостачання досліджуваних АЕС помічено підвищені рівні загального мікробного числа для угруповань біообростання Рівненської АЕС, а також значна чисельність водоростей. Оскільки принциповою відмінністю в експлуатації досліджуваних АЕС є застосування методів хімічної (біоцидної) обробки охолоджуючої води, що зменшує її біологічне забруднення, запропоновано впровадження хімічних методів обробки систем технічного водопостачання для Рівненської АЕС. Критерієм дозування біоцидів (альгецидів) рекомендується встановити значення загального мікробного числа, що перевищує 10^5 КУО/см³. Результати даної роботи були апробовані і впроваджені в практику Рівненської АЕС.

Ключові слова: гідробіологічний моніторинг, атомна електростанція, системи технічного водопостачання, біообростання.

Постановка проблеми. Значні обсяги використання води в технологічних схемах атомних електростанцій обумовлені необхідністю охолодження реакторів, які забезпечують постійно зростаючі потреби людини в електроенергії. Станом на 2020 р. у світі експлуатувалось 448 атомних енергоблоків та здійснювалось будівництво нових [1], адже атомна енергетика має відносно низьку вартість та є стабільною, може замінювати крупні традиційні генеруючі установки та забезпечувати якісну чисту енергію для промислового виробництва та житлового сектора [2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Постійна необхідність у надходженні охолоджуючої води з джерел водопостачання (річки, озера, моря) спричинює ряд потенційних загроз для систем технічного водопостачання (СТВ) атомних електростанцій (АЕС), серед яких особливо активно проявляється корозія комплектуючих та конструкційних матеріалів [3]. Розрізняють кілька видів корозії, характерних для матеріалів комплектуючих СТВ: загальна корозія; розтріскування під дією навколишнього середовища; розтріскування під дією напруги, або опромінення; корозія під дією потоку; корозія аміаку; корозія під мікробіологічним впливом [4].

Зокрема, мікробна корозія тісно пов'язана зі зростанням біообростання на поверхні будь-якої конструкції, змоченої природними водами [5]. Особливо ця проблема торкається теплообмінного обладнання, труб та інших елементів відкритих контурів АЕС [6]. Вода, що надходить до СТВ, як правило містить такі організми як фітопланктон, зоопланктон, личинки безхребетних та личинки риб, які можуть осідати на поверхні комплектуючих та колонізувати металевий субстрат [7]. Нагромадження біообростання на їх поверхні є результатом одночасної дії кількох фізичних, хімічних та біологічних факторів: а) фізичні характеристики: характер субстрату, шорсткість, поверхневий заряд, гідрофобність/гідрофільність, гідродинамічні умови, температура, пора року, глибина, електропровідність та географічний регіон; б) хімічні: рН, розчинений кисень, органічний матеріал, поживні речовини та співвідношення C/N; в) біологічні: бактерії, що ростуть на субстраті, та біохімічний склад субстрату [5, 8, 9]. При цьому, найбільш важливими факторами, що сприяють посиленню росту організмів біообростання усередині системи охолодження, є постійне постачання осілих гідробіонтів поживними речовинами за рахунок безперервного потоку води [9].

Як наслідок, біообростання призводить до ерозійної корозії, яка може зруйнувати цілісність та герметичність комплектуючих СТВ. Наприклад, анаеробний розпад органічних речовин у забитих трубках конденсатора призводить до утворення біогенного сульфіду та аміаку, що сприяє мікробіологічній корозії трубок конденсатора [10]. Біообростання також збільшує падіння тиску в контурі охолодження, відбувається блокування потоку та зниження ефективності теплопередачі [11].

Оскільки біообростання СТВ АЕС є суттєвою проблемою техніко-економічного значення, серед завдань атомної енергетики існує необхідність гідробіологічного дослідження та контролю обростань охолоджуючого обладнання мікро- та макроорганізмами [12]. Іншими словами, така процедура гідробіологічного моніторингу (ГБМ) спрямовується на попередження збоїв у роботі СТВ та розробку заходів покращення їх експлуатаційних характеристик.

Формулювання цілей статті. Метою наших досліджень було проведення порівняльного аналізу результатів гідробіологічного моніторингу вод систем технічного водопостачання для атомних електростанцій зі зворотною системою охолодження на річковому підживленні.

Матеріали і методи дослідження. Об'єктами для проведення порівняльного гідробіологічного моніторингу були обрані три АЕС різних європейських країн, що працюють на зворотній системі охолодження та підживлюються з річок: АЕС Моховце (Словаччина) – р. Грон, АЕС Козлодуй (Болгарія) – р. Дунай, Рівненська АЕС (Україна) – р. Стир. Усі річки за класифікацією Водної рамкової Директиви ЄС мають відмінні типоспецифічні гідро-морфологічні та фізико-хімічні умови [13, додаток XI, карта А]. Зокрема, р. Грон належить до 10 єврорегіону – Карпати; р. Дунай до 7 єврорегіону – Східні Балкани; р. Стир належить до південної частини 16 екорегіону, яка об'єднує типові рівнинні річки та співпадає із перехідною частиною між зонами Полісся та Лісостепу.

Порівняння гідробіологічних угруповань СТВ досліджуваних об'єктів атомної енергетики проводилось з використанням відкритих даних проведення ГБМ АЕС за результатами робочих зустрічей (семінірів) та бенчмаркінгу, проведених Всесвітньою асоціацією організацій, що експлуатують атомні електростанції (ВАО АЕС) [14; 15]. ГБМ для АЕС Моховце та АЕС Козлодуй проводиться з 2003 року, та включає проведення моніторингу, розробку програми ведення водно-хімічного режиму СТВ. ГБМ для Рівненської АЕС проведений у 2018–2019 рр. за методикою [16], з 2019 р. для АЕС України введена в дію методика [17].

Результати досліджень. Дані, що становлять основу ГБМ були отримані для кожного майданчику АЕС за визначеними індивідуальними доцільними та діючими методами, відносно до параметрів вхідної води, типу СТВ та джерела водопостачання. Зовнішній вигляд конструкційних елементів СТВ свідчить про присутність явища біообростання на всіх досліджуваних об'єктах (рис. 1–6).

Визначене за результатами ГБМ видове різноманіття гідробіонтів свідчить про наявність трьох основних групбіологічних забруднювачів СТВ досліджуваних АЕС (табл. 1).



Рис. 1. Забруднення водяних сіток СТВ водоростями (АЕС Моховце)



Рис. 2. Рештки відмерлих організмів на гідротехнічних спорудах СТВ (АЕС Козлодуй)



Рис. 3. Плівка водоростей на опірах градирні (АЕС Моховце)

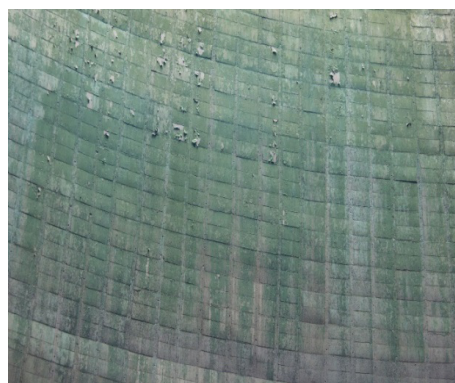


Рис. 4. Внутрішня поверхня баштової градирні з наявною плівкою водоростей (Рівненська АЕС)



Рис. 5. Біоплівка на внутрішньої поверхні теплообмінника – споживача СТВ (Рівненська АЕС)



Рис. 6. Біоплівка (слиз) на поверхні обладнання (АЕС Козлодуй)

Таблиця 1. Видове різноманіття гідробіонтів у біообростанні СТВ досліджуваних АЕС

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

Кожна з представлених груп характеризується своїм специфічним впливом на стан конструкцій СТВ:

– нижчі рослини (водорості) (рис. 7), що утворюють біообростання на обладнанні та гідротехнічних спорудах СТВ, здатні забивати прохідні ділянки, сітки, насоси та можуть спричинювати необхідність виводу обладнання в ремонт для очищення;

– бактеріологічне забруднення та забруднення найпростішими, що утворюють біоплівки на поверхні обладнання, зокрема теплообмінників споживачів СТВ, знижують теплообмін та ефективність охолодження;

– безхребетні тварини (черви та молюски) (рис. 8), що утворюють колонії здатні забивати прохідні ділянки, сітки та насоси СТВ.

Кількісні показники бактеріологічного забруднення та забруднення водоростями СТВ досліджуваних АЕС дозволяють відзначити підвищені рівні загального мікробного числа (ЗМЧ) для угруповань біообростання Рівненської АЕС (табл. 2).

Серед бактеріологічного забруднення у всіх трьох системах відмічались загальні коліморфи та *Escherichia coli*. Присутність ентерококів не

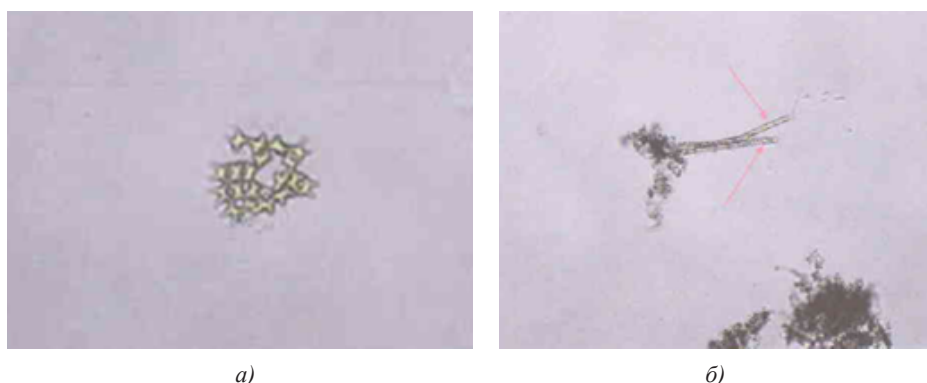


Рис. 7. Представники нижчих рослин (водорості) в біообростаннях конструкцій СТВ досліджуваних АЕС: а) зелені водорості роду *Chlorophyta*; б) жовто-зелені водорості роду *Tribonema*



Рис. 8. Представники безхребетних тварин у біообростаннях конструкцій СТВ досліджуваних АЕС: а) личинки черв'яків родини *Nematoda*; б) молюски родини *Viviparidae*

була виявлена в жодній з досліджуваних систем. Слід також відзначити достатньо високу загальну чисельність водоростей у біообростаннях СТВ Рівненської АЕС, що сягала 30–35 тис. кл/см³.

Взагалі, умови експлуатації СТВ сприяють росту біологічного забруднення, що потрапляє з довкілля з підживленням, через річні додатні значення температур (15–40°C) та наявність біогенних елементів від застосування фосфоровмісних реагентів для водопідготовки СТВ. Високий вміст забруднень біологічного характеру у воді зворотних циклів призводить до інтенсивного росту швидкості корозії, знижує теплообмін та знижує продуктивність і ефективність роботи системи АЕС в цілому.

Таблиця 2. Кількісні показники бактеріологічного забруднення та забруднення водоростями СТВ досліджуваних АЕС

Параметр	Од. вимірювання	Результат вимірювання		
		Рівненська АЕС	АЕС Моховец	АЕС Козлодуй
Загальне мікробне число ¹⁾	КУО/см ³	10 ⁵ –10 ⁷	≤10 ^{5,2)}	
Загальні коліморфи	КУО/см ³	виявлені		
<i>Escherichiacoli</i>	КУО/см ³	виявлені		
Ентерококи	КУО/см ³	не виявлені		
Загальна кількість водоростей ³⁾	кл/см ³	300000 – 350000	– ⁴⁾	

Примітка: 1) – визначення тест системою Envirochek Contact TVC (носії агар-агар, витримка протягом 48 годин при температурі 36±1°C); 2) – нормована величина, при перевищенні проводиться біоцидна обробка; 3) – методом підрахунку кількості у камері Нажота; 4) – дані контролю відсутні.

Для АЕС з водоймами–охолоджувачами розроблені уніфіковані, ефективні біологічні методи зменшення біологічного забруднення та біологічних перешкод, такі як зариблення та рекреація штучної водойми [18]. Для АЕС зі зворотною системою охолодження, без водойм-охолоджувачів, де джерелом водопостачання для охолодження є річки, впровадження біологічних методів очищення не доцільно та не ефективно. Тому, залишається впровадження фізичних та хімічних методів зменшення біологічного забруднення та біологічних перешкод.

АЕС Європейського Союзу зі зворотною СТВ для зменшення біологічного забруднення та біологічних перешкод застосовують хімічні методи, а саме біоцидну обробку води СТВ. АЕС Моховце та АЕС Козлодуй розроблене керівництво про хімічну обробку води СТВ для зменшення біологічного забруднення, вода СТВ контролюється щотижнево на загальне мікробне число (ЗМЧ). За результатами моніторингу при значенні ЗМЧ > 10⁵ КУО/см³ проводять біоцидну обробку з застосуванням окислюючих та/чи неокислюючих біоцидів. Цілком очевидно, що даний факт і є поясненням відносно менших значень загального мікробного числа в угрупованнях біообростання СТВ цих АЕС, порівняно з Рівненською АЕС.

Для Рівненської АЕС, враховуючи поточний рівень біологічного забруднення СТВ за результатами ГБМ та досвід експлуатації АЕС Європейського Союзу, можна рекомендувати впровадження хімічних методів обробки з застосуванням періодичного дозування біоцидів (альгецидів), критерієм дозування біоцидів (альгецидів) встановити значення ЗМЧ, що перевищує 10⁵ КУО/см³.

Висновки. Біологічне забруднення СТВ атомних електростанцій в тому чи іншому вигляді спостерігається для кожної АЕС, це обумовлено тісним зв'язком СТВ з довкіллям, а саме джерелом водопостачання з штучної чи природної водойми, річки.

За результатами порівняльного гідробіологічного моніторингу систем технічного водопостачання трьох АЕС, розташованих у різних євро-регіонах, встановлено наявність біологічного забруднення СТВ нижчими рослинами, бактеріями, найпростішими та безхребетними тваринами. Дане біологічне забруднення здатне впливати на ефективність охолодження в СТВ та на надійність експлуатації обладнання АЕС.

Серед кількісних показників в угрупованнях біообростання Рівненської АЕС відмічається підвищене значення загального мікробного числа (ЗМЧ), порівняно з іншими досліджуваними об'єктами, а також присутність значної чисельності водоростей. Принциповою відмінністю в експлуатації СТВ між цими АЕС є застосування методів хімічної (біоцидної) обробки охолоджуючої води, що зменшує її біологічне забруднення.

Враховуючи досвід застосування препаратів біоцидної дії (альгецидів) АЕС Європейського Союзу, можна рекомендувати впровадження хімічних методів обробки СТВ для Рівненської АЕС. Критерієм дозування біоцидів (альгецидів) рекомендується встановити значення ЗМЧ, що перевищує 10^5 КУО/см³.

Результати даної роботи були апробовані і впроваджені в практику Рівненської АЕС у вигляді розробленого Концептуального технічного рішення «Про проведення біоцидної обробки води бризкальних басейнів відповідальних споживачів групи «А» та невідповідальних споживачів групи «В» енергоблоків № 3, 4 РАЕС» 171-240-ТР-ХЦ.

COMPARATIVE HYDROBIOLOGICAL MONITORING OF WATER IN TECHNICAL WATER SUPPLY SYSTEMS OF NUCLEAR POWER PLANTS

*Kuznietsov P.M. – Postgraduate,
Biedunkova O.O. – Doctor of Biology, Professor,
National University of Water and Environmental Engineering
kuznetpavel@gmail.com*

The appearance of biofouling in technical water supply systems of nuclear power plants is a significant problem of technical and economic importance. Therefore, among the tasks of nuclear energy, there is a need for hydrobiological research. For this purpose, microorganism and macroorganism fouling of the cooling equipment is controlled. This paper presents the results of a comparison of hydrobiological monitoring for waters of the technical water supply systems of three nuclear power plants. All of them have a reverse cooling system and are fed from rivers: Mohovce NPP (Slovakia) – Gron River, Kozloduy NPP (Bulgaria) – Danube River and Rivne NPP (Ukraine) – Styr River. These studied nuclear power plants are operated without cooling reservoirs. The systematization and analysis of the results of hydrobiological monitoring of technical water supply system structures revealed the presence of biofouling on their structural elements. The species diversity of hydrobionts indicated the presence of three main groups of biological pollutants, which are characterized by their specific impact on the condition of technical water supply system structures: lower plants (algae), bacteria and invertebrates (worms, molluscs). According to the quantitative indicators of bacteriological contamination and algae contamination of the technical water supply systems of the studied NPPs, increased levels of the total microbial number for the biofouling groups of the Rivne NPP were observed. A significant number of algae was also observed for this object. Since the fundamental difference in the operation of the studied NPPs is the use of chemical (biocidal) treatment of cooling water, which reduces its biological pollution, the introduction of chemical methods of treatment of technical water supply systems for the Rivne NPP is proposed. The criterion for dosing biocides (algaecides) is recommended to set the value of the total microbial number exceeding 10^5 CFU/cm³. The results of this work were tested and implemented in the practice of the Rivne NPP.

Keywords: hydrobiological monitoring, nuclear power plant, technical water supply systems, biofouling.

ЛІТЕРАТУРА

1. Z. Lvetal. Microalgae removal technology for the cold source of nuclear power plant: A review. *Marine Pollution Bulletin*. 2022. Vol. 183. P. 114087.
2. Kim B. K., Jeong Y. H. High cooling water temperature effects on design and operational safety of NPP sinthegul fregion. *Nuclear Engineering and Technology*. 2013. Vol. 45, no. 7. P. 961–968.
3. Chajduk E., Bojanowska-Czajka A. Corrosion mitigation in cool and systems in nuclear power plants. *Progress in Nuclear Energy*. 2016. Vol. 88. P. 1–9.
4. Cattant F., Crusset D., Féron D. Corrosion issues in nuclear industry today. *Materials Today*. 2008. Vol. 11, no. 10. P. 32–37.
5. Characklis W. G., Cooksey K. E. Biofilms and Microbial Fouling. *Advances in Applied Microbiology*. 1983. P. 93–138.
6. Taylor C. J. L. The effects of biological fouling control at coastal and estuarine power stations. *Marine Pollution Bulletin*. 2006. Vol. 53, no. 1–4. P. 30–48.
7. Cristiani P. Risk assessment of biocorrosion in condensers, pipework and other cooling system components. *Understanding Biocorrosion*. 2014. P. 357–384.
8. Lappin-Scott H. M., Costerton J. W. Bacterial biofilms and surface fouling. *Biofouling*. 1989. Vol. 1, no. 4. P. 323–342.
9. Rao T. S. Biofouling (macro-fouling) in sea water in take systems. *Water-Formed Deposits*. 2022. P. 565–587. URL: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-822896-8.00016-9> (dateofaccess: 09.10.2022).
10. Rao T. S. Biofouling in Industrial Water Systems. *Mineral Scales and Deposits*. 2015. P. 123–140. URL: <https://doi.org/10.1016/b978-0-444-63228-9.00006-1> (dateofaccess: 10.10.2022).
11. S. Rajagopaletal, N Sasikumar, Jayapaul Azariah, K V K Nair. Some observations on biofouling in the cooling water conduits of a coastal power plant. *Biofouling*. 1991. Vol. 3, no. 4. P. 311–324.
12. Протасов А. А., Немцов А. А., Масько А. Н. Применение европейских принципов природоохранной деятельности в стандарте гидробиологического мониторинга водних техноэкосистем АЭС ГП «НАЭК “Энергоатом”». *Ядерна енергетика та довкілля*. 2019. № 2(14). С. 71–75.
13. Директива 2000/60/ЄС Європейського Парламенту і Ради «Про встановлення рамок діяльності Співтовариства в галузі водної політики» від 23 жовтня 2000 року : станом на 11 березня 2008 р. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_962#Text (дата звернення: 29.10.2022).
14. State-of-the-art circulating water treatment and methods of combating biological hazards. World Association of Nuclear Operators (WANO): Nuclear Safety. URL: <https://www.wano.info/> (date of access: 25.09.2022).

15. Benchmarking «Water-chemical regime of the secondary circuit and service water supply system» Kozloduy NPP. World Association of Nuclear Operators (WANO): Nuclear Safety. URL: <https://www.wano.info/> (date of access: 25.09.2022).
16. Рабочая программа «Лабораторные (стендовые) испытания биоцидов. Блок № 3, 4. ЧАО «Техенерго». Львов, 2018. 22 с.
17. 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.
18. Protasov, A., Semenchenko, V., Silaieva, A., Tymchenko, V., Buzevych, I., Guleikova, L., Diachenko, T., Morozova, A., Yurishinets, V., Yarmoshenko, L., Prymak, A., Morozovskaia, I., Masko, A., Golod, A. NPP Techno-ecosystem. *Hydrobiology, abiotic factors, environmental assessment*. Institute of hydrobiology of the NAS of Ukraine, 2011. 234 p.

REFERENCES

1. Lv, Z., Zhang, H., Liang, J., Zhao, T., Xu, Y., & Lei, Y. (2022). Microalgae removal technology for the cold source of nuclear power plant: A review. *Marine Pollution Bulletin*, 183, 114087.
2. Kim, B. K., & Jeong, Y. H. (2013). High cooling water temperature effects on design and operational safety of NPPS in the gulf region. *Nuclear Engineering and Technology*, 45(7), 961–968.
3. Chajduk, E., & Bojanowska-Czajka, A. (2016). Corrosion mitigation in coolant systems in nuclear power plants. *Progress in Nuclear Energy*, 88, 1–9.
4. Cattant, F., Crusset, D., & Féron, D. (2008). Corrosion issues in nuclear industry today. *Materials Today*, 11(10), 32–37.
5. Characklis, W. G., & Cooksey, K. E. (1983). Biofilms and Microbial Fouling. *Advances in Applied Microbiology*: 93–138.
6. Taylor, C. J. L. (2006). The effects of biological fouling control at coastal and estuarine power stations. *Marine Pollution Bulletin*, 53(1-4), 30–48.
7. Cristiani, P. (2014). Risk assessment of biocorrosion in condensers, pipe-work and other cooling system components. *Understanding Biocorrosion*: 357–384.
8. Lappin-Scott, H. M., & Costerton, J. W. (1989). Bacterial biofilms and surface fouling. *Biofouling*, 1(4), 323–342.
9. Rao, T. S. (2022). Biofouling (macro-fouling) in seawater intake systems. *Water-Formed Deposits*: 565–587. URL: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-822896-8.00016-9>

10. Rao, T. S. (2015). Biofouling in Industrial Water Systems. У Mineral Scales and Deposits: 123–140. URL: <https://doi.org/10.1016/b978-0-444-63228-9.00006-1>
11. 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.
12. Protasov, A. A., Nemtsov, A. A., Masko, A. N. (2019). *Prymenenye evropeiskykh printsypov pryrodookhrannoï deiatel'nosti v standarte hydrobyolohycheskoho monytorynha vodnykh tekhnоекosystem AES HP «NAEK “Enerhoatom”»* [The application of European principles of environmental protection in the standard of hydrobiological monitoring of water technoecosystems of the NPP of the SE «NAEK “Energoatom”»]. *Nuclear energy and the environment*, 2(14), 71–75. [in Russian].
13. Directive 2000/60/EC to the European Parliament and for the sake of «On the establishment of a framework for the activity of Spivtovaristva in the water policy zone» dated 23 June 2000 (2008). URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_962#Text
14. State-of-the-art circulating water treatment and methods of combating biological hazards. World Association of Nuclear Operators (WANO): Nuclear Safety. URL: <https://www.wano.info/>
15. Benchmarking «Water-chemical regime of the secondary circuit and service water supply system» Kozloduy NPP. World Association of Nuclear Operators (WANO): Nuclear Safety. URL: <https://www.wano.info/>
16. *Rabochaya programma «Laboratornye (stendovye) ispytaniya biocidov. Blok № 3, 4. ChAO «Tehenergo»* [Working program “Laboratory (bench) testing of biocides. Block No. 3, 4. PJSC “Tekhenergo”]. (2018). Lvov. [in Russian].
17. *SOU NAEK 178:2019. Okhorona dovkillia. Poriadok rozrobky rehlementu hidrobiolohichnoho monytorynhu vodoimy-okholodzhuvača, system okholodzheniiai systemy tekhnichnoho vodopostachannia AES z reaktorymy typu VVER* [Environment protection. The procedure for developing the regulations for hydrobiological monitoring of the cooling reservoir, cooling systems and the technical water supply system of nuclear power plants with reactors of the VVER type.]. Methodical instructions. *SE NAEK Energoatom*. 2019. Kyiv. [in Ukrainian].
18. Protasov, A., Semenchenko, V., Silaieva, A., Tymchenko, V., Buzevych, I., Guleikova, L., Diachenko, T., Morozova, A., Yurishinets, V., Yarmoshenko, L., Prymak, A., Morozovskaia, I., Masko, A., Golod, A. (2011). NPP Technoecosystem. *Hydrobiology, abiotic factors, environmental assessment*. Institute of hydrobiology of the NAS of Ukraine.