

ВИЗНАЧЕННЯ УМОВ НАДІЙНОСТІ РОБОТИ СИСТЕМ ОБОРОТНОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ В ТЕПЛОЕНЕРГЕТИЦІ

Інга Уряднікова¹, Віктор Хоружий²

Київський національний університет будівництва і архітектури
31, Повітрофлотський пр., м. Київ, Україна, 03037

¹канд. техн. наук, uriadnikova_iv-2022@knuba.edu.ua, orcid.org/0000-0002-3750-876X

²докт. техн. наук, khoruzhyi.vp@knuba.edu.ua, orcid.org/0000-0002-5314-0483

DOI: 10.32347/2524-0021.2023.42.84-90

Анотація. Сьогодні, найбільш важливими питаннями в національному господарстві України є питання безперервної, надійної та безпечної роботи систем оборотного водопостачання, а саме енергоблоків теплових електричних станцій і теплоцентралей промислових підприємств. Безвідмовна та надійна робота систем водопостачання забезпечує нормальну роботу соціально-побутових та промислових підприємств, а також безпечну роботу протипожежних систем, яка може порушуватися при припиненні подачі якісного продукту споживачеві. З метою дослідження визначення умов надійності роботи систем оборотного водопостачання в теплоенергетиці, а також впливу ризиків в цих системах на надійність роботи систем оборотного водопостачання запропоновано визначити стани, в яких може знаходитися будь-яка система водоочищення і ризики в системах водоочищення, які за походженням є техногенними, а за наслідками – екологічними. Аналіз отриманих результатів показав, що стани, в яких може знаходитися система водоочищення, можна поділити на три класи відповідно до нормативних документів щодо визначення техногенних ризиків у системах водоочищення: клас 1 (граничний стан) - система працює в штатному режимі, всі блоки і елементи працюють без відмов і збоїв; клас 2 (критичний стан) - система працює в позаштатному режимі, деякі блоки або елементи системи працюють в режимі часткових відмов; клас 3 (небезпечний стан) - система практично не працює і не очищує воду, деякі блоки або елементи системи знаходяться в стані відмов. Ризики, що виникають при роботі систем водоочищення і по яким можна оцінювати її техногенну безпеку, можна визначити як: а) імовірності подачі даною системою споживачу неочищеної води в результаті відмов блоків і елементів цієї системи – стан 3 – небезпечний; б) імовірності подачі даною системою споживачу неякісної води в результаті, часткових відмов і позаштатної роботи блоків і елементів цієї системи – стан 2 – критичний; в) імовірності подачі даною системою споживачу неочищеної води, коли система знаходиться у стані 1 - граничному, з-за природної інерційності, що властива конкретним фізико – хімічним процесам, на яких працює дійсна система.

Ключові слова: надійність, техногенні ризики, оборотні системи водопостачання, теплоенергетика.

ВСТУП

Українська Об'єднана енергетична система зараз працює в дуже складних умовах через критичну ситуацію з постачанням палива для теплових електростанцій та значну кількість пошкоджень, що виникли внаслідок воєнних дій на території країни. Багато підприємств теплоенергетики та промисловості на сході України зупинили свою роботу через постійні бойові дії, що створює

проблеми для населення. Тому, захист і безпека енергетичних систем в Україні, включаючи комплексні загрози, стали найважливішим завданням на сьогодні.

Наразі, одними з важливих аспектів у промисловому комплексі є забезпечення безперебійної, надійної та безпечної роботи систем оборотного водопостачання для енергоблоків теплових електростанцій та теплоцентралей промислових підприємств.

Надійна та безперервна робота систем водопостачання забезпечує нормальну функцію соціальних та промислових підприємств, а також гарантує безпечну роботу протипожежних систем, які можуть бути порушені у випадку припинення постачання якісної води споживачам.

Теорія надійності в системах оборотного водопостачання досліджує закономірності виникнення технічних відмов та розробляє різні методики для забезпечення надійності роботи систем. Для цього розробляються методи розрахунку надійності технічних систем та методи прогнозування можливих відмов. При проектуванні та експлуатації об'єктів обираються методи підвищення їх надійності, а також методи збереження надійності під час експлуатації [1].

МЕТА І МЕТОДИ

Метою даного дослідження є визначення умов надійності роботи систем оборотного водопостачання в теплоенергетиці, а також вплив ризиків в цих системах на надійність роботи систем оборотного водопостачання. При дослідженні впливу ризиків у системах оборотного водопостачання використувався апарат теорії теплопровідності, теорії дифузії, теорії авто-матичного управління.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

1. Визначення понять надійності і ризику в технічних системах.

Більшість наукових робіт, присвячених теорії надійності, зосереджуються на проблемах розробки, проектування, впровадження та оцінювання надійності. У методологічному плані, коли мова йде про надійність, ми маємо на увазі її конкретні характеристики, такі як ймовірність безвідмовної роботи, наробіток на відмову, коефіцієнт використання та інші. Сам термін «надійність» являє собою поняття, що не має чіткого визначення. Розуміння цієї категорії пов'язане з розумінням його протилежності - ризику. Ці дві категорії утворюють дуальну ланку, що повністю вписується в стохастичну модель об'єктів. Ризик як категорія відображає загальні закономірності та відношення, включаючи стохастичні [2]. Однак, хоча

надійність і ризик є протилежностями одне одному, вони можуть взаємодіяти і відображатись у різних аспектах функціонування об'єкта або системи. Також важливо зазначити, що характеристики надійності і ризику можуть бути різними залежно від конкретного об'єкта та умов його функціонування.

Щоб визначити надійність та ризик об'єкта, основними факторами є ймовірнісні характеристики. При дослідженні об'єкта, вони деталізуються і описують ймовірності конкретних подій або значень випадкових величин. Для надійності, це може бути ймовірність, що певні параметри об'єкта будуть у допустимих межах протягом певного часу в процесі його нормального функціонування. Всі інші характеристики, такі як наробіток на відмову та коефіцієнт готовності, є похідними від цих ймовірностей і повністю визначаються ними [2].

Сучасні тлумачення терміну «ризик» передбачають його використання як імовірнісної міри втрат або шкоди, що можуть бути спричинені соціальними, економічними або екологічними чинниками. Ризик широко використовується для обґрунтування заходів захисту від негативних впливів та для формулювання вимог безпеки при виробничих процесах. Завдяки застосуванню поняття ризику, небезпека може бути перетворена на вимірювану категорію. По суті, ризик є імовірнісною оцінкою небезпеки.

Проблемам ризику приділяли увагу видатні науковці як в Україні, так і за її межами. Серед таких вчених можна відзначити Г.В. Лисиченка, Ю.Л. Забулонова, Г.А. Хміль, А.Б. Качинського, В.Ю. Некоса, В.І. Пампура, С.В. Руденка, Ю.М. Скалецького, Е.О. Грановського, Е.Дж. Хенлі, Х. Кумамото та інших.

В Україні відсутнє державне визначення терміну «техногенний ризик», що призводить до неоднозначності його розуміння в наукових дослідженнях. У дослідженні [3] запропоновано наступне визначення: «ризик - це ступінь ймовірності виникнення негативної події в певний час або при певних обставинах на території об'єкта з підвищеним ризиком або за його межами».

У своїй роботі [4], А.Б. Качинський висловив думку, що ризик є прогнозованою векторною величиною збитку, яка може виникнути в результаті прийняття рішень в умовах невизначеності та реалізації загрози. Це кількісна міра небезпеки, яка обчислюється як добуток ймовірності можливого збитку на величину цього збитку.

Згідно з дослідженнями Г.В. Лисиченко, Ю.Л. Забулонов та Г.А. Хміль [5], загальний ризик може визначатись як імовірність виникнення негативних реакцій у певній інженерній споруді, спричинені комбінацією різних геодинамічних та техногенних впливів, що можуть створювати передумови для надзвичайних ситуацій (в тому числі аварійних), реалізація яких має імовірнісний характер.

Багато дослідників керуються екологічним законодавством розвинутих країн, зокрема Німеччини. Згідно з німецьким екологічним правом (В. Кек), ризик розглядається як можливість настання негативних подій у майбутньому, які точно не відомі, а також можливі, але невідомі наслідки для людини та навколишнього середовища, що є наслідком використання природних ресурсів та техніки.

Агентство по захисту навколишнього середовища Сполучених Штатів (EPA) визначає ризик як імовірність виникнення шкоди для життя, здоров'я, власності або навколишнього середовища в результаті певної події.

Часто українські наукові дослідження визначають ризик R як добуток наслідків негативної події P та ймовірності її настання q , тобто $R = Pq$.

В українській науковій літературі час-то ризик R визначається як добуток наслідків негативної події P на ймовірність її настання q , тобто

За думкою більшості дослідників, термін «екологічний ризик» відноситься до ймовірності виникнення негативних наслідків для життя людини, природних систем і ресурсів у результаті випадкових, навмисних, поступових або катастрофічних змін в навколишньому середовищі, об'єктах та факторах.

Екологічний ризик є величиною, що характеризує відповідну реакцію населення на стан навколишнього середовища [6]. Обчислення величини існуючого реального екологічного ризику R для деякої території виконується за формулою

$$R = \frac{n}{N}, \quad (1)$$

де, n – кількість людей, що одержали ушкодження здоров'я; N – загальне число людей, що мешкають на даній території.

Величина n визначається як сума двох складових

$$n = n_0 + n_c, \quad (2)$$

де, n_0 – кількість людей, що мали б ушкодження здоров'ю при дотриманні нормативів якості навколишнього середовища; n – кількість людей, що одержали ушкодження здоров'я в результаті наднормативного забруднення навколишнього середовища.

З огляду на складові n можна записати вираз для визначення екологічного ризику в такій формі

$$R = \frac{n_0 + n_c}{n} = R_0 + R_c, \quad (3)$$

де, R_0 – ризик, що не залежить від забруднення навколишнього середовища; R_c – екологічний ризик, утворений у результаті техногенного або природничого забруднення навколишнім середовищем.

При аналізі екологічного ризику використовується також величина відносного екологічного ризику [6], що визначається за формулою

$$r_{\text{від}} = \frac{R}{R_0} = 1 + \frac{R_c}{R_0} \quad (4)$$

Тут треба зробити зауваження.

Оскільки результати негативної події можуть мати різні наслідки для життя людини, природних (екологічних) систем і природних ресурсів, то розмірність ризику не обов'язково вимірюється в грошових одиницях. Хоча, у деяких випадках, можливо підрахувати розмірність ризику, як добуток безрозмірної величини на розмірну, і виразити його в грошових одиницях. Тим не менш, не

все можна вимірювати грошами, оскільки існують багато інших важливих аспектів, таких як вплив на здоров'я, довкілля та інші, які не можуть бути оцінені в грошових одиницях.

У деяких наукових працях, зокрема в [6], відзначається, що існує два типи вартості: економічна та неекономічна.

Економічна вартість визначається в грошовому виразі та охоплює вартість, що оплачується окремими особами та організаціями в рамках економічних відносин, а також грошові цінності, що безумовно задіяні в акціях.

У деяких випадках, наслідки негативних подій не можуть бути виражені в грошових одиницях. Така вартість називається неекономічною. Якщо наслідки події призводять до травмування або захворювання, то до економічної вартості додається ще й людська вартість. Це означає, що вартість травм та втрати здоров'я не можна зводити до грошових одиниць, а також до суб'єктивних факторів, таких як біль і страх. Це особливо важливо у випадках, коли не виконуються соціально-економічні вимоги до охорони здоров'я та безпеки.

Таким чином, дослідження надійності роботи систем оборотного водопостачання в системах теплоенергетики, а саме відмови роботи водоочисного обладнання доцільно проводити за допомогою імовірнісних величин.

2. Відмови в системах водо-очищення оборотного водо-постачання.

У системах водоочищення відмови означають несправності або неполадки, які порушують нормальне функціонування системи. Ці події можуть бути різноманітні та численні. Внаслідок відмов може знизитися рівень живлення енергоагрегатів водою, припинитися подача води до енергоагрегатів, або подаватися неприпустимо забруднена вода. Остання обставина означає, що система водоочищення працює в непередбачуваний спосіб через те, що деякі її елементи несправні або працюють в режимі позаштатної дії. Щоб краще розуміти відмови в системах водоочищення, їх можна розділити на

дві групи для більшої зручності.

Існують дві основні групи відмов в системах водоочищення. Перша група - це відмова зовнішніх систем, які пов'язані з роботою систем водоочищення. Друга група - це відмова внутрішніх елементів самої системи водоочищення.

До першої групи відмов в системах водоочищення можна віднести наступні ситуації:

а) відмова джерела водозабору, що може призвести до повної зупинки подачі води на об'єкт;

б) відмова системи електро-постачання, яка порушує або припиняє роботу насосних станцій;

в) забір надзвичайно забрудненої води на очищення, рівень забруднення якої перевищує можливості системи водоочищення. Це можливо при високих рівнях води під час повеней, затоплень та інших природних катастроф;

г) забруднення водозаборів хімічними речовинами або біомасами, які розкладаються, що часто є наслідком хімічного забруднення.

До відмов другої групи, або внутрішніх елементів системи, можна віднести аварії, поломки або відмови різних компонентів системи, які можуть повністю або частково паралізувати її роботу. В результаті відмов внутрішніх елементів системи можуть відбуватися наступні порушення водопостачання об'єкта:

а) тимчасове зниження подачі води на енергоагрегати, яке не досягає гранично припустимого рівня;

б) тимчасове зниження забезпечення водою нижче припустимого рівня, що може бути еквівалентним відмовленню системи водоочищення;

в) перерви в подачі води на забезпечуваний об'єкт;

г) подача некондиційної води на забезпечуваний об'єкт;

д) поєднання випадків аг або бг;

е) у випадку скидання використаної води в навколишнє середовище - скидання забрудненої води.

Таким чином, зазначені відмови створюють досить високий ступінь техногенних і екологічних ризиків, оцінка і мінімізація яких є важливою задачею промислового комплексу.

3. Техногенні ризики, які виникають при роботі систем водоочищення оборотного водо-постачання в теплоенергетиці.

Якщо використовувати системний підхід до об'єктів теплоенергетики, наприклад ТЕС або ТЕЦ, то можна стверджувати, що ТЕЦ є складною системою, яка включає декілька підсистем, таких як система постачання палива, система генерації тепла або котельна система, система генерації електроенергії та система очищення та повторного використання води.

Остання система є найбільш небезпечною з технічної точки зору, оскільки її робота завжди супроводжується ризиками неочищення або неповного очищення води, які можуть безпосередньо або опосередковано впливати на технічну безпеку. Таким чином, ризики, пов'язані з роботою систем водоочищення, є техногенними ризиками [7].

Якщо техногенні ризики реалізуються у будь-якій системі ТЕЦ і ТЕС, це може призвести до значного збільшення кількості забруднюючих речовин.

Щоб визначити техногенні ризики, що виникають у системах водоочищення ТЕЦ, потрібно враховувати стани, в яких може опинитися система водоочищення, а також екологічні наслідки, які можуть виникнути в результаті цих ризиків. Для цього необхідно дотримуватися нормативних документів.

Можна розподілити стани, в яких може знаходитися система водоочищення, на три класи відповідно до нормативних документів щодо визначення техногенних ризиків у системах водоочищення:

клас 1 (граничний стан) - система працює в штатному режимі, всі блоки і елементи працюють без відмов і збоїв;

клас 2 (критичний стан) - система працює в позаштатному режимі, деякі блоки або елементи системи працюють в режимі часткових відмов;

клас 3 (небезпечний стан) - система практично не працює і не очищує воду, деякі блоки або елементи системи знаходяться в стані відмов.

Ризики, що виникають при роботі систем водоочищення і по яким можна оцінювати її техногенну безпеку, можна визначити як:

а) імовірності подачі даною системою споживачу неочищеної води в результаті відмов блоків і елементів цієї системи – стан 3 – небезпечний;

б) імовірності подачі даною системою споживачу неякісної води в результаті, часткових відмов і позаштатної роботи блоків і елементів цієї системи – стан 2 – критичний;

в) імовірності подачі даною системою споживачу неочищеної води, коли система знаходиться у стані 1 - граничному, з-за природної інерційності, що властива конкретним фізико – хімічним процесам, на яких працює дійсна система.

Отже, для аналізу надійності та визначення техногенних ризиків в системах оборотного водопостачання в теплоенергетиці необхідно встановити можливі стани, в яких може перебувати досліджувана система водоочищення.

ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

1. На даний момент, Об'єднана енергетична система України діє в надзвичайно складних умовах, оскільки існує криза з паливним забезпеченням теплових електростанцій та значна кількість пошкоджень, спричинених бойовими діями на території країни. Це призвело до припинення роботи багатьох підприємств теплоенергетики та промисловості, що має негативний вплив на жителів сходу України.

2. В Україні на сьогоднішній день велими важливо забезпечення захисту та безпеки енергетичних систем від усіх можливих загроз, включаючи загрози воєнного характеру.

3. Енергетичні підприємства стикаються з проблемою раціонального використання водних ресурсів, що є однією з найважливіших проблем. Зростання потужностей ТЕС, ТЕЦ та обмеженість дебіту води

потребує збільшення використання оборотних систем водопостачання та переходу від прямоточних до оборотних циклів в теплоенергетиці.

4. Із важливих складових систем технічного водопостачання в тепло-енергетиці є системи очищення та підготовки води, які відіграють визначальну роль у надійному та економічному функціонуванні енергетичного обладнання. Більшість параметрів щодо якості води можуть впливати на роботу систем теплоенергетики, тому особливу увагу слід приділяти її якості.

5. Є дві групи відмов у системах водоочищення: 1) зовнішні відмови, які пов'язані з системами водоочищення, та 2) внутрішні відмови елементів системи. Ці відмови створюють значний рівень техногенних та екологічних ризиків, оцінка та зменшення яких є важливою економічною задачею промислового комплексу.

6. Ризики, що виникають при роботі систем водоочищення і по яким можна оцінювати її техногенну безпеку, можна визначати як імовірності подачі даною системою води споживачу через відмови, часткові відмови або несправності окремих елементів чи блоків. Оцінка цих ризиків та їх мінімізація є важливим завданням з точки зору техногенної та екологічної безпеки.

ЛІТЕРАТУРА

1. ДСТУ 2860-94. Надійність техніки. Терміни та визначення. Введено в дію наказом Держстандарту України № 333 від 28 грудня 1994 р.
2. Корнійчук М. Т., Романов О. І., Совтус І. К., Шутко М. О. Ризик і надійність. Альтернатива категорій та проблеми їхньої формалізації // Успіхи аерокосмічних технологій, 2000, 7(3-4). С. 306–309. <https://doi.org/10.18372/2306-1472.7.11308>.
3. Методика визначення ризиків та їх прийнятних рівнів для декларування безпеки об'єктів підвищеної небезпеки. Київ: Держнаглядохоронпраці, «Основа», 2003. – 192 с.
4. Качинский А. Б., Агаркова Н. В. Структурный анализ системы обеспечения экологической и природно-техногенной безопасности Украины // Системні дослідження та інформаційні технології, 2013. № 1. С. 7–15.
5. Лисиченко Г.В., Забулонов Ю.Л., Хміль Г.А. Природний, техногенний та екологічний ризики: аналіз, оцінка, управління. – К.: Наукова думка, 2008.–543 с.
6. Sherin, S., Rehman, Z., Hussain, S., Mohammad, N., & Raza, S. Hazards identification and risk analysis in surface mines of Pakistan using fault tree analysis technique. *Mining of Mineral Deposits*, 15(1), 2021. - 119-126 p.
7. I.V. Uriadnikova, V.H. Lebedev, V.M. Zaplatynskyi, O.I. Tsyhanenko. Early determination and evaluation of technogenic risks within the water purification systems of TSS and TPSS// *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 2022, № 1. – S. 95 – 101. ISSN 2071-2227, E-ISSN 2223-2362.

REFERENCES

1. **State standard of Ukraine 2860-94.** Reliability of equipment. Terms and definitions. Entered into force by the order of the State Standard of Ukraine No. 333 of December 28, 1994. https://dnaop.com/html/2273/doc-%D0%94%D0%A1%D0%A2%D0%A3_2860-94
2. **Korniychuk, M. T., Romanov, O. I., Sovtus, I. K., & Shutko, M. O. (2000).** Risk and reliability. The alternative of categories and problems of their formalization. *Advances in Aerospace Technology*, 7(3-4), 306–309. <https://doi.org/10.18372/2306-1472.7.11308>
3. **Ministry of Labor and Social Policy of Ukraine (2003)** Methodology for determining risks and their acceptable levels for declaring the safety of high-risk objects. Approved by Order dated 04.12.2002 № 637. <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0637203-02#Text>.
4. **Kachynskyi, A. B., & Aharkova, N. V. (2013).** Structural analysis of the system of maintenance of ecological and natural-technogenic safety of Ukraine. *Systemni doslidzhennia ta informatsiini tekhnolohii*, 1, 7-15. Retrieved from <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/50012>.
5. **Lysychenko, G. V., Zabulonov, Yu. L., & Khmil, G. A. (2008).** *Natural, man-made and environmental risks: analysis, assessment, management.* Kyiv: Naukova dumka. [in Ukrainian] http://www.library.univ.kiev.ua/ukr/elcat/new/detail.php3?doc_id=1230468.
6. **Sherin, S., Rehman, Z., Hussain, S., Mohammad, N., & Raza, S. (2021).** Hazards identification and risk analysis in surface mines of Pakistan using fault tree analysis technique. *Mining of*

Mineral Deposits, 15(1), 119-126.
<https://doi.org/10.33271/mining15.01.119>.

7. Uriadnikova, I. V., Lebedev, V. H., Zaplatynsky, I. V. M., & Tsyhanenko, O. I. (2022). Early determination and evaluation of technogenic risks within the water purification systems of TSS and

TPSS. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 1. 95 – 101.

<https://doi.org/10.33271/nvngu/2022-1>.

Determination of reliability conditions of reversible water supply systems in thermal power engineering

Inga Uriadnikova, Victor Khoruzhy

Abstract. Today, the most important issues in the national economy of Ukraine are the issues of continuous, reliable and safe operation of reversible water supply systems, namely power units of thermal electric stations and heating plants of industrial enterprises. Trouble-free and reliable operation of water supply systems ensures the normal operation of social and household and industrial enterprises, as well as the safe operation of fire protection systems, which can be disrupted when the supply of a quality product to the consumer is stopped. For the purpose of research to determine the conditions of the reliability of reversible water supply systems in thermal power engineering, as well as the impact of risks in these systems on the reliability of reversible water supply systems, it is proposed to determine the states in which any water treatment system can be and the risks in water treatment systems that are technogenic in origin, and the consequences are ecological. The analysis of the obtained results showed that the states in which the water treatment system can be can be divided into three classes in accordance with the regulatory documents on the definition of technogenic risks in water treatment systems: class 1 (limit state) - the system works in normal mode, all blocks and elements work without failures and crashes; class 2 (critical state) - the system works in offline mode, some units or elements of the system work in partial failure mode; class 3 (dangerous state) - the system practically does not work and does not purify water, some blocks or elements of the system are in a state of failure. The risks that arise during the operation of water treatment systems and which can be used to assess their technogenic safety can be defined as: a) the probability of this system supplying raw water to the consumer as a result of the failure of blocks and elements of this system - state 3 - dangerous; b) the probability of this system supplying the consumer with poor-quality water as a result of partial failures and freelance work of units and elements of this system - state 2 - critical; c) the probability of this system supplying raw water to the consumer when the system is in state 1 - limiting, due to the natural inertia inherent in the specific physical and chemical processes on which the actual system operates.

Keywords: reliability, technogenic risks, reversible water supply systems, thermal power engineering.

Стаття надійшла до редакції 10.04.2023