

ОЦІНКА НАДІЙНОСТІ РОБОТИ БЛОКІВ СИСТЕМ ВОДООЧИЩЕННЯ В ПЕРЕХІДНИХ РЕЖИМАХ

Інга Уряднікова¹, Віктор Хоружий²

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

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

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

DOI: 10.32347/2524-0021.2023.43.81-86

Анотація. Забезпечення безперебійності та надійності роботи систем водоочиснення є пріоритетним завданням промислового комплексу України. Для ефективного управління надійністю в системах водоочиснення, необхідно провести аналіз потенційних відмовлень та визначити ймовірність їх виникнення. З метою дослідження визначення ймовірності виникнення ризиків у результаті відмовлень різних блоків системи водоочиснення на прикладі роботи електорокоагулятора колонного типу запропоновано для одержання узагальнених закономірностей використовувати структурно-функціональну блок-схему систем водоочиснення, що дає можливість звести всю систему до декількох взаємозалежних блоків, а саме: 1) блоком фільтрації тонкого очищення; 2) блоком очищення від розчинних домішок; 3) блоком очищення від грубодисперсних домішок; 4) трубо-насосним блоком. При роботі системи водоочиснення, з огляду на ранжирування надійності блоків можна стверджувати, що на початку може вийти з роботи 1-й блок, далі 2, 3 і 4 блоки. Встановлено, якщо всі блоки системи працюють, система знаходиться в стані S_0 . При відмовленнях інших блоків, у тій же послідовності, система буде в станах S_1 , S_2 , S_3 і S_4 . Найбільший інтерес представляють стани системи, при яких відмовлення блоків викликають не відключення всієї системи, а лише її позаштатну роботу, що виявляється лише в наслідку погіршення якості очищеної води. Аналізуючи отримані результати можна стверджувати, що при експлуатації системи водоочиснення найбільша ймовірність відмовлення в блоку 1. Після відновлення працездатності блоку і при подальшій експлуатації системи, найбільша ймовірність виходу з ладу блоку 2, потім блоку 4 і блоку 3. Ймовірності відмовлення блоків є ймовірностями ризиків, причому фізична величина, породжувана цими ризиками (кількість забрудненої води, що надійшла у екосистему чи в котлоагрегат) буде тим більшою, чим більше період часу виявлення несправності блоку. При довший тривалій роботі системи водоочиснення в неї встановлюється ймовірнісний постійний режим переходу зі стану в стан за схемою “робочий стан усіх блоків – відмовлення одного чи декількох блоків – ремонт – робочий стан усіх блоків”. Ймовірності послідовності і тривалості цих подій піддаються визначенню, що дає можливість з однієї сторони оцінювати ризики, що виникають при експлуатації і визначати стратегію управління для мінімізації цих ризиків.

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

ВСТУП

На сьогодні в Україні, захист та безпека енергетичних систем стають надзвичайно важливими, особливо з урахуванням різних видів загроз, включаючи комплексні загрози воєнного характеру. В умовах воєнного стану, існує ризик пошкодження і знищення енергетичної інфраструктури, включаючи

системи водопостачання та водоочиснення.

Забезпечення безперебійності та надійності роботи енергетичних систем є пріоритетним завданням. Це охоплює прийняття заходів для запобігання та протидії можливим загрозам, таким як воєнні дії, терористичні акти, кібератаки, природні катастрофи або технічні збої.

Запобігання загрозам включає в себе впровадження систем безпеки, які передбачають контроль доступу до енергетичних об'єктів, застосування кібербезпекових технологій, встановлення систем моніторингу та реагування на потенційні проблеми. Крім того, регулярна підготовка персоналу та проведення навчань з екстрених ситуацій допомагають забезпечити швидку та ефективну реакцію у разі виникнення загрози.

Поряд з заходами безпеки, розробка та визначення імовірності виникнення ризиків у результаті відмовлень різних блоків системи водоочищення є важливим етапом у забезпеченні надійності їх функціонування.

Для ефективного управління ризиками в системах водоочищення, необхідно провести аналіз потенційних відмов та визначити ймовірність їх виникнення. Цей процес включає оцінку стану технічного обладнання, оцінку ймовірності виникнення відмовлень та їх наслідків.

На підставі такого аналізу можна прогнозування зміни потоку відмовлень, що дає можливість прогнозувати ризики на всьому періоді експлуатації системи і вжити заходів для їхньої мінімізації. Це може включати запасні системи або компоненти, процедури планування обслуговування та ремонту, а також системи моніторингу для виявлення нештатних технічних відмовлень водоочисного обладнання.

МЕТА І МЕТОДИ

Метою дослідження є визначення імовірності виникнення ризиків у результаті відмовлень різних блоків системи водоочищення на прикладі роботи електрокоагулятора колонного типу в перехідних режимах. При дослідженні імовірності виникнення ризиків в системах водоочищення були використані: структурно-функціональна блок-схема систем водоочищення, апарат теорії теплопровідності, теорії дифузії, теорії автоматичного управління.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ПОЯСНЕННЯ

1. Визначення імовірності виникнення ризиків в результаті відмовлень різних блоків системи водоочищення.

Ризики, які виникають при експлуатації систем водоочищення є прямим наслідком відмовлень різних блоків цієї системи. Для визначення ймовірностей виникнення ризиків і пов'язаних з ними екологічних, економічних і соціальних наслідків необхідно зробити ймовірнісний аналіз станів як різних блоків, так і системи в цілому.

Оцінюючи надійність перерахованих вище блоків за літературними даними [1] можна зробити висновок, що найбільшу надійність має трубо-насосний блок, далі по убаванню надійності можна розташувати 2, 3 і 4 блоки.

При аналізі експериментальних даних роботи системи водоочищення (на прикладі роботи електрокоагулятора колонного типу), з огляду на ранжирування надійності блоків можна стверджувати, що на початку може вийти з роботи 1-й блок, далі 2, 3 і 4 блоки.

Якщо всі блоки системи працюють, система знаходиться в стані S_0 . При відмовленнях інших блоків, у тій же послідовності, система буде в станах S_1 , S_2 , S_3 і S_4 . Найбільший інтерес представляють стани системи, при яких відмовлення блоків викликають не відключення всієї системи, а лише її позаштатну роботу, що виявляється лише в наслідку погіршення якості очищуваної води.

Виходячи з обговорених умов, система зі стану S_1 з найбільшою ймовірністю перейде в стан S_2 , потім у стан S_3 , а потім у стан S_4 . Зі стану S_2 , найбільш ймовірно система перейде в стан S_3 , а потім у стан S_4 . Аналогічно, найбільш ймовірний перехід системи зі стану S_3 , у стан S_4 . Перехід системи зі стану з великим номером до стану з меншим номером вважаємо зневажливо малим.

Розглядаючи процес переходу системи водоочищення в можливі стани $S_1, S_2, S_3 \dots S_n$, позначимо $X(t)$ номером стану в якому знаходиться система в момент часу t . Тоді процес переходу буде описуватися випадковою цілочисельною функцією $X(t) > 0$, можливі значення якої рівні $1, 2, 3 \dots n$. Ця функція змінюється стрибкоподібно від одного цілочисельного значення до іншого в задані моменти часу $t_1, t_2 \dots t_n$, будучи безупинною з ліва на право і утворюючи

Марківський ланцюг. Імовірність $P_i(k)$ – це ймовірність того, що після кроку k , у момент часу t_k система S буде знаходитися в будь-якому стані S_i де $i = 1, 2, 3, \dots, n$. Імовірність $P_i(k)$ називається ймовірністю стану ланцюга Маркова. Імовірність переходу на k -тому кроці зі стану S_i у стан S_j , за умови того, що на кроці $k-1$ система знаходилася в стані S_i називається перехідною ймовірністю. При роботі всіх блоків, система знаходиться в стані S_0 . При повних чи часткових відмовленнях блоків, система може переходити зі стану в стан за номером блоку, що відмовив. У нашому випадку це будуть стани S_1, S_2, S_3, S_4 . Початкові ймовірності, з огляду на то, що потік відмовлень починається з блоку 1, що має найбільшу ймовірність відмовлення, будуть: $P_1(0) = 1, P_2(0) = 0, P_3(0) = 0, P_4(0) = 0$.

Для визначення перехідних ймовірностей, враховуємо, сказане вище, що перехідна ймовірність системи в той чи інший момент часу буде відповідати номеру блоку, що знаходиться в стані відмовлення чи позаштатної працездатності. Відмовлення блоків йдуть за зростаючими номерами, утворюючи наступні перехідні ймовірності: $P_{1-2}; P_{1-3}; P_{1-4}; P_{2-3}; P_{2-4}; P_{3-4}$.

Граф системи представлений на рис. 1.

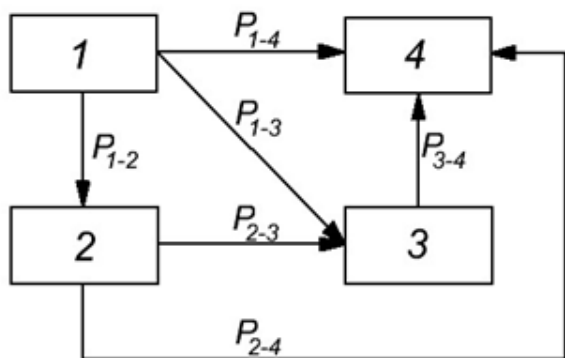


Рис.1. Граф структурно-функціональної блок-схеми системи водоочищення.

Fig. 1. Graph of the structural and functional block diagram of the water treatment system.

Розглядаючи Марківський ланцюг для нашого випадку, легко переконатися в тому, що перехідні ймовірності не залежать від номера кроку, а залежать тільки від того з якого в який стан здійснюється перехід,

тобто для нашого випадку Марківський ланцюг однорідний.

Перехідні ймовірності однорідного Марківського ланцюга утворюють квадратну матрицю.

Якщо розглядати стани системи в довільні моменти часу t_1, t_2, \dots, t_3 після початку роботи системи, то відповідно до [2] маємо:

$$p_i^{(k)} = \sum_{j=1}^n p_j^{(k-1)} \cdot p_{ji}, \quad (1)$$

де, $i = 1 \dots n; j = 1 \dots n$.

Розраховуючи ймовірності для першого кроку у момент часу t_1 , одержуємо:

$$\begin{aligned} P_1(t_1) &= P_1(t_0) \cdot P_{1-1}; \\ P_2(t_1) &= P_1(t_0) \cdot P_{1-2}; \\ P_3(t_1) &= P_1(t_0) \cdot P_{1-3}; \\ P_4(t_1) &= P_1(t_0) \cdot P_{1-4}. \end{aligned} \quad (2)$$

Для моменту часу t_2 , на другому кроці одержуємо:

$$\begin{aligned} P_1(t_2) &= P_1(t_1) \cdot P_{1-1}; \\ P_2(t_2) &= P_1(t_1) \cdot P_{1-2} + P_2(t_1) \cdot P_{2-2}; \\ P_3(t_2) &= P_1(t_1) \cdot P_{1-3} + P_2(t_1) \cdot P_{2-3} + P_3(t_1) \cdot P_{3-3}; \\ P_4(t_2) &= P_1(t_1) \cdot P_{1-4} + P_2(t_1) \cdot P_{2-4} + P_3(t_1) \cdot P_{3-4} + P_4(t_1) \cdot P_{4-4}. \end{aligned} \quad (4)$$

Таким чином, можна розрахувати ймовірності переходу відмовлення від блоку до блоку для кожного числа кроків. Однак, для практичних цілей достатньо розрахувати число кроків на одиницю менше, ніж кількість блоків.

Вищевикладене є тільки одною зі сторін загальної методики аналізу ризиків при роботі системи водоочищення.

Для конкретних розрахунків необхідно розглядати конкретну систему водоочищення і конкретні ймовірності відмовлень її блоків. Нижче надаються результати розрахунків перехідних ймовірностей відмовлень блоків на прикладі електрокоагуляційної системи очищення. Значення ймовірностей приймаються згідно досліджень виконаних в роботі [3,4], а саме: $P_{1-1} = 0,02; P_{2-2} = 0,025; P_{3-3} = 0,015; P_{4-4} = 0,005; P_{1-2} = 0,5; P_{1-3} = 0,3; P_{1-4} = 0,2; P_{2-3} = 0,6; P_{2-4} = 0,4; P_{3-4} = 1$.

Імовірності відмовлень блоків у різні моменти часу показані на рис. 2.

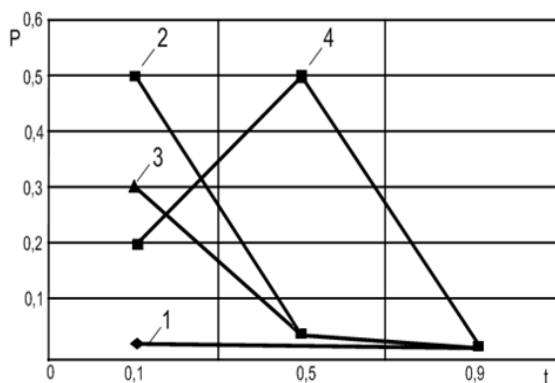


Рис. 2. Ймовірності переходу системи електрокоагуляційного очищення води із стану “робота” (S_0) в стан “відмова” ($S_1; S_2; S_3; S_4$) із-за відмов блоків 1;2;3;4. Період експлуатації – 0,1; 0,5; 0,9 від часу ресурсу t

Fig. 2. Probabilities of the transition of the electrocoagulation water treatment system from the state of "operation" (S_0) to the state of "failure" ($S_1; S_2; S_3; S_4$) due to failures of units 1; 2; 3; 4. Period of operation – 0.1; 0.5; 0.9 from the resource time t

Граф системи представлений на рис. 3. Аналізуючи отримані результати можна стверджувати, що при експлуатації системи водоочищення найбільша ймовірність відмовлення в блоку 1. Після відновлення працездатності блоку і при подальшій експлуатації системи, найбільша ймовірність виходу з ладу блоку 2, потім блоку 4 і блоку 3.

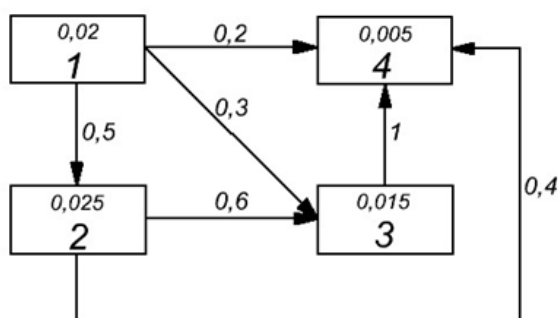


Рис. 3. Граф електрокоагуляційної системи водоочищення.

Fig. 3. Graph of the electrocoagulation system of water purification.

Ймовірності відмовлення блоків є ймовірностями ризиків, причому фізична величина, породжувана цими ризиками (кількість забрудненої води, що надійшла у екосистему чи в котлоагрегат) буде тим

більшою, чим більше період часу виявлення несправності блоку.

ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

Ймовірність ризику при роботі системи водопостачання прямо залежить від ймовірнісного значення кількості відмовлень у будь-який даний момент часу. У свою чергу кількість відмовлень у будь-який даний момент часу залежить від того, на якій ділянці кривої відмовлень визначається працездатність елементів, що складають систему. На попередній стадії аналізу ризиків уже працюючої системи, користаючись отриманими залежностями, можливо чисельно оцінювати величину ризику і, якщо є можливість заміни чи ремонту блоків, чисельно оцінювати ймовірність ризику після заміни чи ремонту. Ухвалення рішення буде залежати від порівняння величин ймовірності і вибору робочої схеми. Рішення необхідно приймати на користь мінімальної ймовірності ризику, якщо вона укладається в економічні розуміння.

При досить тривалій роботі системи водоочищення в неї встановлюється ймовірнісний постійний режим переходу зі стану в стан за схемою “робочий стан усіх блоків – відмовлення одного чи декількох блоків – ремонт – робочий стан усіх блоків“. Ймовірності послідовності і тривалості цих подій піддаються визначенню, що дає можливість з однієї сторони оцінювати ризики, що виникають при експлуатації і визначати стратегію управління для мінімізації цих ризиків.

ЛІТЕРАТУРА

1. **Абрамов Н. Н.** Надійність систем водоснабження; 2-е изд. (Надійність и качество). Москва: Стройиздат, 1984. 216 с.
2. **Кігель В. Р., Шаров О. І.** Теорія ймовірностей для економістів і менеджерів: навчальний посібник / В. Р. Кігель, О. І. Шаров. К. : Університет економіки та права "КРОК", 2018. 144 с.
3. **НДР «Дослідження з обґрунтування комп'ютерних моделей та програмно-апаратного комплексу для оцінювання ризиків та загроз виникнення надзвичайних ситуацій на об'єктах критичної інфраструктури із застосуванням геоінформаційних технологій» («Модель Геоінформ Ризик НС»)** номер

держреєстрації ОИЧ У 007224 Міністерства внутрішніх справ (2014-2016).

4. **Uriadnikova I. V., Lebedev V. H., Zaplatynskiy V. M., Tsyhanenko O. I.** Early determination and evaluation of technogenic risks within the water purification systems of TSS and TPSS // *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 2022, № 1. 95 – 101. ISSN 2071-2227, E-ISSN 2223-2362.

REFERENCES

1. **Abramov, N. N. (1984).** *Reliability of water supply systems*. 2nd ed. (Reliability and quality). Moskva: Stroyizdat. [in Russian]
2. **Kigel, V. R., & Sharov, O. I. (2018).** *Probability theory for economists and managers: study guide*. Kyiv: KROC University of Economics and Law.

<https://library.krok.edu.ua/ua/kategoriji/navchalni-posibniki/622-teoriia-imovirnostei-dlia-ekonomistiv-i-menedzheriv>

3. **SRW (2014-2016).** Study on the substantiation of computer models and software and hardware complex for assessing risks and threats of emergency situations at critical infrastructure facilities using geo-information technologies («Geoinform Emergency Risk Model») State registration number OICH U 007224 of the Ministry of Internal Affairs.

4. **Uriadnikova, I. V., Lebedev, V. H., Zaplatynskiy, 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>.

Assessment of the reliability of operation of water purification system units in transitional modes

Inga Uriadnikova, Victor Khoruzhy

Abstract. Ensuring uninterrupted and reliable operation of water treatment systems is a priority task of the industrial complex of Ukraine. For effective reliability management in water treatment systems, it is necessary to analyze potential failures and determine the probability of their occurrence. For the purpose of research to determine the probability of the occurrence of risks as a result of failures of various units of the water purification system, using the example of the operation of a column-type electrocoagulator, it is proposed to use the structural and functional block diagram of water purification systems to obtain generalized patterns, which makes it possible to reduce the entire system to several interdependent units, namely: 1) fine-cleaning filtration unit; 2) a unit for cleaning from soluble impurities; 3) a unit for cleaning coarse impurities; 4) pipe-pump unit. When the water treatment system is operating, taking into account the ranking of the reliability of the units, it can be stated that the 1st unit may fail at the beginning, followed by the 2nd, 3rd and 4th units. It is established that if all the units of the system are working, the system is in the S_0 state. When other blocks fail, in the same sequence, the system will be in states S_1 , S_2 , S_3 and S_4 . The most interesting are the states of the system, in which block failures do not cause shutdown of the entire system, but only its off-duty operation, which is manifested only as a result of the deterioration of the quality of treated water. Analyzing the obtained results, it can be asserted that during the operation of the water treatment system, the highest probability of failure is in unit 1. After the unit is restored and during further operation of the system, the highest probability of failure is unit 2, then unit 4 and unit 3. The failure probabilities of the units are the probabilities of risks, moreover, the physical value generated by these risks (the amount of polluted water that entered the ecosystem or the boiler unit) will be greater, the longer the unit failure detection period. When the water treatment system operates for a long enough time, a probabilistic constant mode of transition from state to state is established in it according to the scheme «working state of all blocks - failure of one or several blocks - repair - working state of all blocks». The probability of the sequence and duration of these events can be determined, which makes it possible, on the one hand, to assess the risks arising during operation and to determine a management strategy to minimize these risks.

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

Стаття надійшла до редакції 01.06.2023