

*І. В. Уряднікова**Білоцерківський інститут неперервної професійної освіти  
ДЗВО «Університет менеджменту освіти»*

## ВИЗНАЧЕННЯ ТЕХНОГЕННИХ РИЗИКІВ В ПЕРЕХІДНИХ СТАНАХ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ СИСТЕМ ВОДООЧИЩЕННЯ В ТЕПЛОЕНЕРГЕТИЦІ

**Вступ.** В даний час найбільш важливими питаннями в народному господарстві 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 проти-пожежних систем, яка може порушуватися при припиненні подачі якісного продукту споживачеві. В Україні та за кордоном цій проблематиці присвячено багато наукових праць, які присвячені оцінці, розрахункам і управлінню техногенними ризиками. Питання розрахунку і управління ризиками в системах водоочищення в теплоенергетиці і вплив цих ризиків на екологічну безпеку довкілля практично не висвітлені, попри те, що вони мають велике народногосподарське значення. Відсутній загальний методологічний підхід, що враховує різноманітність систем водоочищення і їхніх конструктивних рішень, немає чіткого ранжирування об'єктів, на захист яких спрямований аналіз ризику, і немає аналізу впливів, що діють на них.

**Мета та методи.** Мета роботи – визначити ризики, що пов'язані з закономірностями ймовірностей відмов блоків, з закономірностями переходу системи із стану в стан і ризики, які пов'язані зі змінами закономірностей при заміні блоків системи водоочищення або її елементів. Для дослідження ймовірності виникнення ризиків у результаті відмов за весь період експлуатації системи водоочищення в теплоенергетиці побудована структурно-функціональна блок-схема системи водоочищення. Для одержання числових даних щодо ймовірності відмов у будь-який заданий момент часу крива ймовірності відмовлень була апроксимована кривими закону нормального розподілу (кривими Гауса).

**Результати та обговорення.** В результаті досліджень встановлено, що мінімальний ризик пропорційний мінімальній ймовірності відмов. Тоді буде справедливе твердження, що з метою мінімізації ризику необхідно мінімізувати функцію ймовірності відмовлень, на тій частині кривої відмов, що відповідає робочому стану блока чи елемента, тобто на ділянці припрацювання чи на ділянці нормальної роботи. Для розрахунку мінімальної ймовірності ризику необхідно визначити мінімум цієї функції. Оскільки відмова є функцією багатьох перемінних, то  $P_{\text{від}} = f(x, y, z) \rightarrow 0$ . Також встановлено, що для більшості систем водоочищення у довільний момент часу експлуатації можна визначити ризики, які пов'язані з закономірностями ймовірностей відмов блоків, з закономірностями переходу системи із стану в стан і ризики, які пов'язані зі змінами вищезгаданих закономірностей при заміні блоків системи водоочищення або її елементів.

**Висновки.** В результаті проведених досліджень отримано, що при досить тривалій роботі системи водоочищення в неї встановлюється ймовірнісний постійний режим переходу зі стану в стан за схемою «робочий стан усіх блоків – відмова 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. Ймовірність інтенсивності потоку відмовлень і можливі зміни цієї ймовірності при експлуатації системи водоочищення залежать від тимчасового інтервалу на кривій відмовлень, на якому розглядається робота цієї системи. Визначення цієї ймовірності дає можливість прогнозувати ризики на всьому періоді експлуатації системи і вживати заходів для їхньої мінімізації.

**Ключові слова:** техногенні ризики, екологічна безпека, ТЕС, ТЕЦ, теплоенергетика, системи водоочищення, надійність, ймовірність відмовлень роботи елементів.

## **DETERMINATION OF TECHNOGENIC RISKS IN TRANSITIONAL STATES DURING OPERATION OF WATER TREATMENT SYSTEMS IN HEAT ENERGY**

**Introduction.** Currently, the most important issues in the national economy are the issues of continuous, reliable and safe operation of circulating water supply systems, namely power units of thermal power plants and thermal power plants of industrial enterprises. Faultless and reliable operation of water supply systems ensures the normal operation of social and industrial enterprises, as well as the safe operation of fire protection systems, which can be disrupted by stopping the supply of quality products to the consumer. In Ukraine and abroad, this issue is devoted to many scientific papers on the assessment, calculation and management of man-made risks, the calculation and management of risks in water treatment systems in heat and energy. But the impact of these risks on environmental safety is not covered, while the issue is of great economic importance. However, the influence of these risks on environmental protection is not covered, while the problem is of great economic importance. There is no general methodological approach that considers the diversity of water treatment systems and their design solutions. There is no clear ranking of objects to be protected by risk analysis, and there is no analysis of the effects acting on them.

**Purpose and methods.** The purpose of the work is to determine the risks associated with the patterns of the probability of failure of units, the patterns of transition from state to state and the risks associated with changes in patterns when replacing the blocks of the water treatment system or its elements. To study the probability of risks as a result of failures for the entire period of operation of the water treatment system in the heating industry, a structural and functional block diagram of the water treatment system is built. To obtain numerical data on the failure probability at any time, the failure probability curve was approximated by the curves of the law of normal distribution (Gaussian curves).

**Results and discussion.** Studies have shown that the minimum risk is proportional to the minimum probability of failure. Then it will be fair to say that to minimize the risk, it is necessary to reduce the failure probability function on the part of the failure curve that corresponds to the operating state of the unit or element, that is on the plot or in the normal operation. To calculate the minimum probability of risk, it is necessary to determine the minimum of this function. Since failure is a function of many variables, thus  $R_{fail} = f(x, y, z) \rightarrow 0$ . It is also established that for most water treatment systems at any time of operation it is possible to determine the risks associated with the regularities of failure probabilities of units, with regularities the transition of the system from state to state and the risks associated with changes in the above patterns when replacing the blocks of the water treatment system or its elements.

**Conclusions.** As a result of the conducted researches, it is received that at long enough work of water treatment system it is necessary to establish in it a probabilistic constant mode of transition from a condition to a condition according to the scheme "working condition of all blocks - failure of one or several blocks - repair - working condition of all blocks". The probabilities of the sequence and duration of these events are determinable, which makes it possible on the one hand to assess the risks arising from the operation and to determine a management strategy to minimize these risks. The probability of failure rate intensity and possible changes in this probability during the operation of the water treatment system depending on the time interval on the failure curve on which the operation of this system is considered. Determining this probability makes it possible to predict risks throughout the periods of operation of systems and take measures to minimize them.

**Keywords:** technogenic risks, environmental safety, thermal power plants, power plants, thermal power, water purification systems, reliability and probability of fault elements.

**Вступ.** В даний час найбільш важливими питаннями в народному господарстві 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.

Якість води в системах теплоенергетики залежить від надійності і економічності експлуатації енергетичного обладнання, яке є складовою частиною загальної системи технічного водопостачання в теплоенергетиці. ТЕС і ТЕЦ включають в свій виробничий цикл значну кількість

води, яка надходить для заповнювання контура паротурбінної установки, компенсації втрат пари і конденсату під час роботи, підживлення теплових мереж, а також охолодження конденсаторів турбін та інших апаратів і установок. Основна частина відпрацьованої води 85-90% іде на зворотний цикл, а решта, проходить відповідне очищення і скидається в навколишнє середовище.

Відомо, що обладнання сучасних ТЕС, ТЕЦ і АЕС експлуатується при високих теплових навантаженнях, що потребує твердого обмеження товщини відкладень на поверхнях нагрівання за умовами температурного режиму конструкційного металу протягом усього робочого циклу. Такі відкладення утворюються з домішок, що надходять у цикли електростанцій, у тому числі і з додатковою водою, тому

необхідно забезпечити високу якість водяних теплоносіїв ТЕС, ТЕЦ і АЕС. Від якості води в системах підготовки та очищення води, які є складовою частиною загальної системи технічного водопостачання в теплоенергетиці залежить надійність і економічність експлуатації енергетичного обладнання. Також важливими питаннями в народному господарстві України є необхідність забезпечити безперервну, надійну та безпечну роботу систем водоочищення, а саме енергоблоків теплових електричних станцій і теплоцентралей промислових підприємств. Цією проблемою займалися такі видатні учені, як Л.А. Кульський, Л.С. Стерман, А.А. Громогласов, Н.А. Міщерський, А.Ф. Белоконова, Ю.М. Кострікін, Т.Х. Маргулова, Н.Н. Абрамов, Ю. А. Ільїн, А.М. Когановський, А.І. Мацнев, А.К. Запольський і інші.

Ймовірнісною мірою відмови або зниження якості води, що використовується у виробничому циклі можна визначити через ризик виникнення небезпечної або аварійної роботи теплоенергетичних об'єктів. Відомі на сьогодні методи водоочищення створюють ризики погіршення режиму роботи чи виходу з ладу енергогенеруючого обладнання і потрапляння в екологічне середовище шкідливих домішок, що створюють як у короткостроковому, так і в довгостроковому плані ризик і для життєдіяльності людей.

Проблемами ризику займалися такі видатні вітчизняні і закордонні вчені як Г.В. Лисиченко, Ю.Л. Забулонов, Г.А. Хміль, А.Б. Качинський, В.Ю. Некос, В.І. Пампура, С.В. Руденко, Ю.М. Скалецький, Е.О. Грановський, Е.Дж. Хенлі, Х. Кумамото, М. Реймерс та інші.

В Україні зараз немає нормативного державного визначення поняття «техногенний ризик», тому в науковій літературі є розбіжності при визначенні цього поняття. Автори в роботі [1] дають таке визначення: «ризик – ступінь імовірності певної негативної події, яка може відбутися в певний час або за певних обставин на території об'єкта підвищеної небезпеки та/або за його межами». В своїй роботі [2] А.Б. Качинський стверджує, що ризик є прогнозованою векторною величиною збитку, що може виникнути внаслідок ухвалення рішень в умовах невизначеності та реалізації загрози і є кількісною мірою небезпеки, що дорівнює добутку ймовірності величини (величини) можливого збитку від неї.

Автори в роботі [3] доводять, що загальний ризик є ймовірністю реалізації комбінованого ефекту, обумовленого різними геодинамічними та техногенними збудженнями, які можуть сукупно діяти на певну інженерну споруду, спричинювати виникнення в ній негативних реакцій, що створюють передумови для надзвичайних (аварійних) ситуацій, реалізація яких має імовірнісний характер.

Але багато авторів орієнтуються на екологічне законодавство, європейських країн, а саме на стандарт ISO/IEC 31010:2009 «Risk management — Risk assessment techniques». В Україні прийнятий на державному рівні стандарт ДСТУ ISO 31000:2018 «Менеджмент ризиків. Принципи та настанови» (ISO 31000:2018, IDT), де відображено критерії вибору методики оцінки ризику, а саме складність об'єкта дослідження; фази життєвого циклу; природа і ступінь невизначеності; доступність інформації і даних; потенційні наслідки; необхідність чисельної оцінки; по-

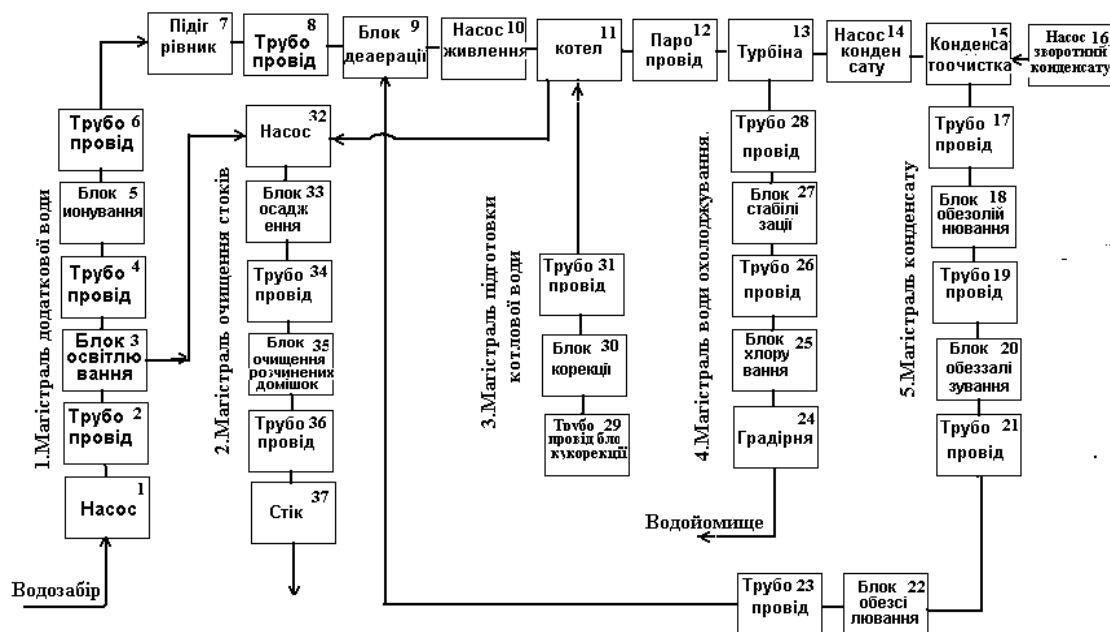


Рисунок 1 – Структурно-функціональна блок-схема системи водоочищення ТЕЦ, ТЕС

треба в прийнятті рішень; рівень необхідних ресурсів; складність застосування методу.

Проаналізувавши на вищенаведені роботи та інші дослідження [4-6], які присвячені оцінці, розрахункам і управлінню техногенними ризиками, бачимо, що питання розрахунку і управління ризиками в системах водоочищення в теплоенергетиці і вплив цих ризиків на екологічну безпеку докільця практично не висвітлені, а це питання має велике народногосподарське значення. Відсутній загальний методологічний підхід, що враховує різноманітність систем водоочищення і їхніх конструктивних рішень, немає чіткого ранжирування об'єктів, на захист яких спрямований аналіз ризику, і немає аналізу впливів, що діють на них.

Мета роботи – визначити ризики, що пов'язані з закономірностями ймовірностей відмов блоків, з закономірностями переходу системи із стану в стан і ризики, які пов'язані зі змінами закономірностей при заміні блоків системи водоочищення або її елементів.

#### **Методи, матеріали та прилади досліджень.**

Для дослідження ймовірності виникнення ризиків у результаті відмов за весь період експлуатації системи водоочищення в теплоенергетиці побудована структурно-функціональна блок-схема системи водоочищення (рис. 1).

На даній схемі є магістралі, що забезпечують завдяки техногенним ризикам той чи інший ступінь як економічного, так і екологічного ризику. Магістраль 1 – це основна магістраль додаткової води, яка починається від водозабору, далі насосний блок 1, блок трубопроводів 2, блок очищення від грубо- і дрібнодисперсних домішок (блок освітлення) 3, блок сполучних трубопроводів 4, блок очищення від розчинних домішок (іонування) 5, блок сполучних трубопроводів 6, і далі на підігрівач додаткової води 7, блок сполучених трубопроводів 8 на блок очищення від розчинених газів (блок деаерації) 9, насос живлення 10 на котел 11. З котла 11 пара, що утворилася, по паропроводу 12 надходить у турбіну 13.

В результаті повних відмов, часткових відмов, чи позаштатної роботи блоків магістралі 1 на її виході, чи на вході в котел буде некондиційна вода. Ця вода, яка надходить в котел, порушить його режим роботи, що позначиться на ККД котла, який знизиться. Крім того, через збільшення накипоутворення відбудеться збільшення кількості ремонтів за час періоду експлуатації котла.

Магістраль 2 призначена для очищення стічних вод, що утворилися в результаті роботи магістралі 1 і продувки котла. Магістраль 2 складається з насосного блока 32, блоків трубопроводів 34, 36, блока осадження 33, блока очищення розчинених домішок 35 і стоку 37. У результаті повних відмов, часткових відмов чи позаштатної

роботи блоків магістралі 2 на її виході буде некондиційна вода, що через стік 37 буде надходити в навколишнє середовище, створюючи неприпустимі екологічні і соціальні ризики. Вода з магістралей 4 і 5 очищення охолоджувальної води й очищення конденсату в навколишнє середовище, як правило, не скидається, а надходить знову у енергоагрегати 11 і 13. Магістраль 3 здійснює корекцію котлової води. У структурно-функціональній блок-схемі системи водоочищення можна виділити магістралі 1 і 2, що можуть викликати різні ризики.

Експериментальні данні по зміні ймовірностей відмов на прикладі роботи електрокоагуляційної установки упродовж 4500 годин мають вигляд поданий у таблиці 1 [7].

На базі цих досліджень була побудована так звана крива відмовлень (рис. 2), яка досить добре збігається з літературними даними інших авторів [8-10].

При моделюванні ймовірності відмов елементів, блоків і систем водоочищення у роботі використані способи створення структурно-функціональних блоків і систем, апроксимація й узагальнення емпіричних залежностей методом математичної подібності, використовувався апарат теорії ймовірностей й математичної статистики, графічні методи досліджень.

**Таблиця 1**

Загальний час роботи $\tau$ , годин	Ймовірність відмов, $P_i$
100	0,01
200	0,025
250	0,028
300	0,035
350	0,03
400	0,025
450	0,02
500	0,02
600	0,02
800	0,02
1000	0,02
1500	0,02
2000	0,02
2500	0,02
3000	0,02
3500	0,02
4000	0,02
4500	0,025

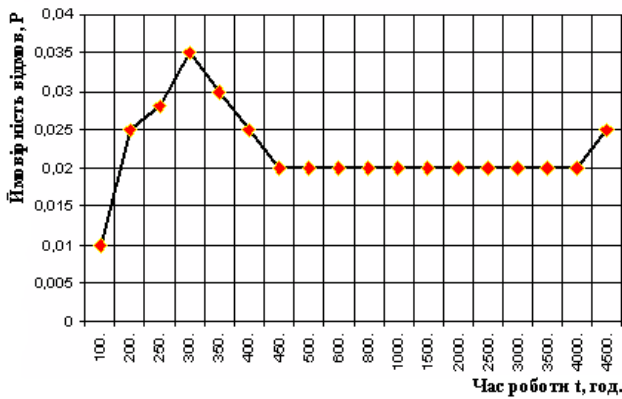


Рисунок 2 – Крива відмов роботи електрокоагулятора

**Результати та обговорення.** У результатах проведених досліджень і у даних, наведених в роботах [7-10] відмічається, що як при роботі різних елементів, так і при роботі системи в цілому спостерігається деяка закономірність відмов протягом періоду експлуатації. Таким чином, оскільки відмов системи чи елемента системи – це ймовірна величина, то на початку роботи системи спостерігається досить висока ймовірність відмов. Через деякий час імовірність ця знижується, а після певного періоду експлуатації знову різко зростає. Це явище може бути проілюстроване графіком на рис. 3.

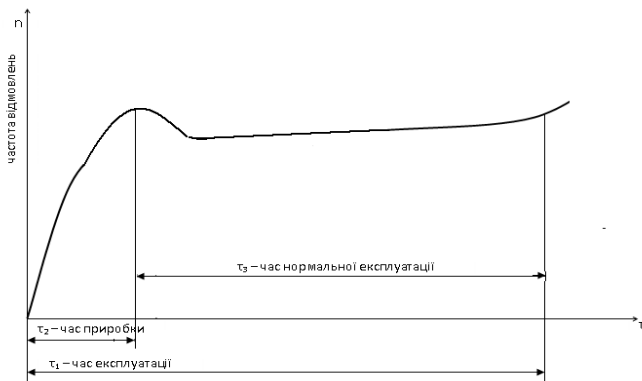


Рисунок 3 – Графік кривої відмов

На цьому графіку можна виділити такі параметри:  $\phi$  – час експлуатації елемента блока чи системи до його заміни чи ремонту,  $\phi_1$  – час припрацювання елемента чи блока системи,  $\phi_2$  – час нормальної експлуатації елемента блока чи системи,  $P_{(i)}$  – імовірність відмовлення елемента блока чи системи.

Інтенсивність відмовлень як щільність розподілу випадкової величини – це площа цього графіка. Якщо є статистичні дані, отримані в результаті спостережень чи експериментів, то можна

легко прогнозувати величину ризику на тій чи іншій стадії експлуатації системи.

Для одержання числових даних щодо ймовірності відмов у будь-який заданий момент часу криву ймовірності відмов можна апроксимувати, використовуючи закон нормального розподілу випадкових величин, оскільки ймовірність відмов є величиною випадковою. Відоме положення теорії ймовірності про те, що розподіл суми великого числа взаємозалежних випадкових величин (у нашому випадку це різні численні причини, що призводять до відмов блока системи чи всієї системи в цілому) підкоряється закону нормального розподілу Гауса [11,12]. Апроксимація кривої відмов кривими закону нормального розподілу (кривими Гауса) представлена на рисунку 4. Це дає можливість апроксимувати криву (рис.3) двома кривими закону нормального розподілу з різними середньоквадратичними відхиленнями у.

Результати апроксимації показані на рисунку 4.

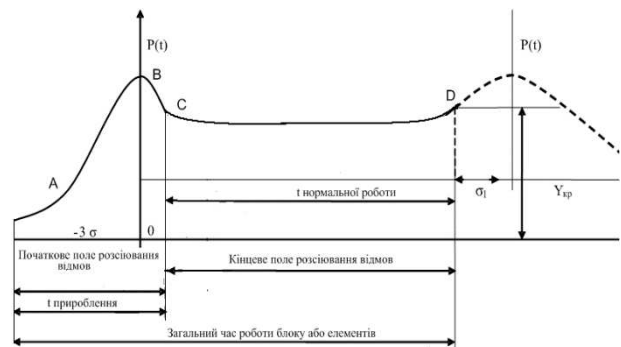


Рисунок 4 – Апроксимація кривої відмов кривими закону нормального розподілу (кривими Гауса)

На цьому рисунку  $t$  – час припрацювання блока чи елемента,  $t_1$  – час нормальної роботи блока чи елемента,  $t_2$  – загальний час роботи блока чи елемента,  $p_{(i)}$  – імовірність відмовлення блока чи елемента в будь-який момент часу.

Ділянка припрацювання описується кривою нормального розподілу із середньоквадратичним відхиленням  $u_1$ . Імовірність відмов спочатку зростає, а потім спадає до координати  $+1,5 u_1$ . Починаючи від цієї координати, подальша апроксимація здійснюється другою кривою закону нормального розподілу із середньоквадратичним відхиленням  $u_2$ , причому  $u_2 \gg u_1$ . Імовірність відмов на ділянці припрацювання запишемо виразом:

$$P_n = \frac{1}{\sigma_1 \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\tau i - \tau_{cp})^2}{2\sigma_1^2}} \quad (1)$$

де,  $t_{cp}$  – середній час до відмов  $t_i$  – поточний час до  $i$ -го відмовлення,  $y_1$  – середньоквадратичне відхилення,  $P_{np}$  – імовірність відмовлення на ділянці прироблення.

Середньоквадратичне відхилення  $y_1$  дорівнює:

$$y_1 = \sqrt{\frac{1}{n} \sum (\tau_i - \tau_{cp})^2 \cdot m_i} \quad (2)$$

де,  $n$  – кількість відмов за час роботи елемента чи блока,  $m$  – частота відмов у даному тимчасовому інтервалі.

Координата крапки перегину при переході від періоду припрацювання до періоду нормальної роботи можна знайти, якщо підставити у формулу (1) значення 1,5  $y_1$ .

$$P_{nep} = \frac{0,128}{\sigma_1} \quad (3)$$

Критичне значення ймовірності відмов, при якому елемент повинен бути відремонтований чи замінений буде:

$$P_{кр} = \frac{0,24}{\sigma_2} + \frac{0,128}{\sigma_1} \quad (4)$$

Імовірність відмови в будь-який момент часу на ділянці нормальної роботи блока чи елемента буде:

$$P_{н.р.} = \frac{1}{\sigma_2 \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(\tau_{1i} + \tau_{1cp})^2}{2\sigma_2^2}} \quad (5)$$

Встановлено, що мінімальний ризик пропорційний мінімальній ймовірності відмов. Тоді буде справедливе твердження, що з метою мінімізації ризику необхідно мінімізувати функцію ймовірності відмов, на тій частині кривої відмов, що відповідає робочому стану блока чи елемента, тобто на ділянці припрацювання чи на ділянці нормальної роботи. Для розрахунку мінімальної ймовірності ризику необхідно визначити мінімум цієї функції. Оскільки відмова є функцією багатьох перемінних, таким чином  $P_{від} = f(x, y, z) \rightarrow 0$ .

Сказане справедливе, якщо розглядати блок системи чи елементи з яких даний блок складається. Що стосується всієї системи, то критерій ризику буде іншим, зважаючи на кінцевий результат роботи всієї системи. Критерієм ризику, за яким можна оцінювати систему водоочищення, є

ймовірність подачі цією системою споживачу неякісної води в результаті відмов елементів цієї системи, часткових відмов її елементів і викликаной цією обставиною позаштатної роботи всієї системи, а також імовірність надходження на вихід неякісної води при штатній роботі блоків і елементів цієї системи в результаті помилок персоналу і через природну інерційність блоків при великих зовнішніх збурюваннях, що впливають на систему.

Для чисельних рішень необхідно знати величини середньоквадратичних відхилень типових блоків і елементів систем водоочищення. Ці дані можна одержати частково з експериментів, а частково з аналізу аварій і відмов на працюючих ТЕЦ.

Для визначення ймовірностей виникнення ризиків і пов'язаних з ними екологічних наслідків необхідно дослідити стани в яких може перебувати система водоочищення в цілому. При роботі системи водоочищення, з огляду на ранжирування надійності блоків встановлено, що на початку може вийти з роботи 1-й блок, далі 2, 3 і 4 блоки. Якщо всі блоки системи працюють, система перебуває в стані  $S_0$ . При відмовах інших блоків, у тій же послідовності, система буде в станах  $S_1, S_2, S_3$  і  $S_4$ . Аналізуючи систему методом Марківських ланцюгів можна стверджувати, що закономірності переходу системи з стану в стан можуть бути описаними так званими перехідними ймовірностями відмов блоків.  $P_{1-2}; P_{1-3}; P_{1-4}; P_{2-3}; P_{2-4}; P_{3-4}$ . (рис. 5).

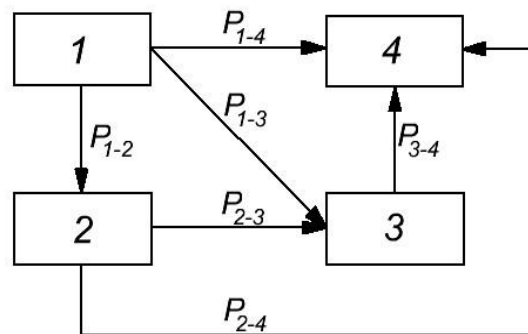


Рисунок 5 – Граф структурно-функціональної блок-схеми системи водоочищення

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

$$p_i(k) = \sum_{j=1}^n p_j^{(k-1)} \cdot p_{ji} \quad (4)$$

де  $i = 1 \dots n$  та  $j = 1 \dots n$ .  $p_i(k)$  - ймовірність відмови  $i$  блока в момент часу  $k$ ;  $p_j^{(k-1)}$  - ймовірність відмови  $j$  блока в попередній момент часу  $(k-1)$ ,  $p_{ji}$  - перехідна

ймовірність відмови блока  $j$  з переходом до стану, що відповідає блоку  $i$ .

Отже, якщо блоки системи в деякий момент часу  $t_0$  мають ймовірності відмов  $P_1(0)$ ,  $P_2(0)$ ,  $P_3(0)$ ,  $P_4(0)$ , то у наступний момент часу (який може бути вибраний довільно, припустимо з технологічних міркувань)  $t_1$ , ймовірності відмов блоків системи будуть:

$$\begin{aligned} P_1(t_1) &= P_1(t_0) \cdot P_{1-1}; P_2(t_1) = P_1(t_0) \cdot P_{1-2}; \\ P_3(t_1) &= P_1(t_0) \cdot P_{1-3}; P_4(t_1) = P_1(t_0) \cdot P_{1-4} \end{aligned} \quad (5)$$

Таким чином, якщо поділити криву відмов будь-якої системи водоочищення на ряд кроків  $t_0$ ,  $t_1$ ,  $t_2 \dots t_3$ ,  $t_4 \dots t_i$ , то у будь-який момент часу можна обчислити ймовірність відмови будь якого блока, або усіх блоків і таким чином визначити ризик погіршення якості води на довільному етапі експлуатації системи. Ці розрахунки легко піддаються комп'ютеризації і можуть бути виконані для системи будь якої складності.

Життєвий цикл системи водоочищення характеризується різними станами, основні з яких такі: 1. Стан працездатності – система працює в штатному режимі. 2. Стан виявленої відмови – один чи кілька елементів системи відмовили і ці відмови виявлені. Система працює в позаштатному режимі чи не працює зовсім. Заходи для відновлення працездатності системи можуть бути прийняті негайно. 3. Стан невиявленої відмови – один чи кілька елементів системи відмовили, і ці відмови не виявлені. Система працює в позаштатному режимі чи не працює зовсім. Заходи для відновлення працездатності системи можуть бути прийняті тільки після виявлення відмови системи через якийсь проміжок часу. 4. Стан відновлення працездатності системи – ремонт.

Можна стверджувати, що система перебуває у таких станах:  $S_0$  – система справна і працює нормально;  $S_1$  – система несправна, працює в позаштатному режимі чи не працює зовсім. Несправність поки не виявлена;  $S_2$  – система перебуває в стані ремонту, після якого переходить у стан  $S_0$ .

Для визначення ризиків необхідно визначити ймовірність перебування системи в тому чи іншому стані, а також ймовірність переходу зі стану в стан.

Спрощений граф системи має вигляд:

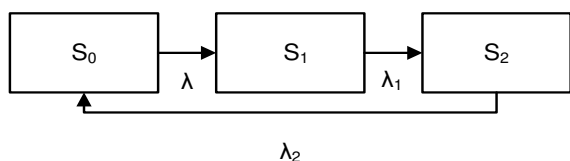


Рисунок 6 – Спрощений граф станів системи водоочищення

де  $\lambda$ ,  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$ , – щільність ймовірностей при переходу системи з стану  $S_0 - S_1 - S_2$ .

Треба враховувати, що при тривалому часі експлуатації системи у неї встановлюється деякий граничний стаціонарний режим, під час якого вона переходить зі стану в стан, але ймовірності перебування системи в тому чи іншому стані вже не змінюються. Такі ймовірності називаються фінальними ймовірностями і можуть розглядатися як середній відносний час перебування системи в тому чи іншому стані. Ці ймовірності становлять:

$$\begin{aligned} P_0 &= \frac{\lambda_2 \lambda_1}{\lambda_2 \lambda + \lambda \lambda_1 + \lambda_2 \lambda_1}; P_1 = \frac{\lambda \lambda_2}{\lambda \lambda_2 + \lambda \lambda_1 + \lambda_1 \lambda_2}; \\ P_2 &= \frac{\lambda \lambda_1}{\lambda \lambda_2 + \lambda \lambda_1 + \lambda_1 \lambda_2} \end{aligned} \quad (6)$$

Для того, щоб одержати чисельні рішення необхідно визначити щільності ймовірностей конкретних систем водоочищення у теплоенергетиці, що перебувають в тому чи іншому стані.

Закономірності переходу системи з стану в стан дають можливість прогнозувати ризики працюючої системи. У разі заміни блоків ймовірності переходу системи водоочищення з стану в стан можуть бути обчислені за допомогою Марківського аналізу народження і загибелі.

Дійсно, якщо розглянути апроксимовану криву відмов, то видно, що від точки А до точки В ймовірність відмов чи ймовірний потік відмов збільшується. Це відповідає процесу припрацювання елементів і блоків. Якщо перемістити далі по кривій відмов, то можна помітити, що потік відмов від точки В до точки С зменшується, а потім дещо збільшується при переміщенні від точки С до точки D. При зворотному русі по траєкторії D – С – В відбувається зворотний процес. У принципі зворотний процес можливий у випадку, що деякі елементи системи в процесі експлуатації будуть замінені на нові. Якщо побудувати графі усіх цих рухів, то для траєкторії В – С – D вони будуть мати вигляд, представлений на рисунку 8, так як і для траєкторії D – С – В:

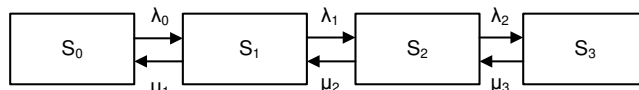


Рисунок 7 – Граф станів системи при руху по кривій відмов по траєкторії D і траєкторії D – С – В

де  $\lambda_0$ ,  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$  – плин відмов при руху по траєкторії В – С – D і  $\mu_0$ ,  $\mu_1$ ,  $\mu_2$  – плин відмов при руху по траєкторії D – С – В.

Математичне очікування  $m$  і дисперсія відмов будуть



$$m_x(t) = D_x(t) = \lambda \cdot T(1 - e^{-\frac{t}{T}}) \quad (7)$$

де  $T = \frac{1}{\mu}$ , тобто цей вираз відповідає рівнянню

аперіодичної ланки, відомого в теорії автоматичного управління. Звідки можна зробити висновок, що математичне очікування і дисперсія кількості відмов у будь-який момент часу при заміні блоків системи змінюються за законом аперіодичної ланки, причому постійна  $T$  залежить лише від інтенсивності «загибелі» при зміні стану системи при її русі зправа на ліво. Причому ця інтенсивність тим вища, чим більше блоків і чим частіше замінюється вони при експлуатації.

Таким чином, встановлено, що для більшості систем водоочищення у довільний момент часу експлуатації можна визначити ризики, які пов'язані з закономірностями ймовірностей відмов блоків, з закономірностями переходу системи із стану в стан і ризики, які пов'язані зі змінами вищезгаданих закономірностей при заміні блоків системи водоочищення або її елементів.

**Висновки.** В результаті проведених досліджень ми дійшли висновку, що при досить тривалій роботі системи водоочищення в ній встановлюється ймовірнісний постійний режим переходу зі стану в стан за схемою «робочий стан усіх блоків – відмова одного чи декількох блоків – ремонт – робочий стан усіх блоків». Ймовірності послідовності і тривалості цих подій піддаються визначенню, що дає можливість оцінювати ризики, що виникають при експлуатації і визначити стратегію управління для мінімізації цих ризиків.

Ймовірність інтенсивності потоку відмов і можливі зміни цієї ймовірності під час експлуатації системи водоочищення залежать від тимчасового інтервалу на кривій відмов, на якому розглядається робота цієї системи. Визначення цієї ймовірності дає можливість прогнозувати ризики на весь період експлуатації системи і вживати заходів для їхньої мінімізації.

### Література

1. Наказ Міністерства праці та соціальної політики України № 637 від 04.12.2002 р. «Про затвердження Методики визначення ризиків та їх прийнятних рівнів для декларування безпеки об'єктів підвищеної небезпеки». Київ, 2002.
2. 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.
3. Лисиченко Г.В., Забулонов Ю.Л., Хміль Г.А. Природний, техногенний та екологічний ризики: аналіз, оцінка, управління. К.: Наукова думка, 2008. 543 с.

4. Хенли Э.Дж. Надежность технических систем и оценка риска: пер. с англ. Хенли Э.Дж., Кумамото Х. М.: Машиностроение, 1984. 528 с.

5. Carlo FD, Borgia O, Tucci M. Risk-based inspections enhanced with bayesian networks. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part O: Journal of Risk and Reliability 2011; 225(3):375–386.

6. Magott J, Skrobaneck P. Timing analysis of safety properties using fault trees with time dependencies and timed state-charts. Reliability Engineering & System Safety 2012; 97(1):14–26.

7. Разработка комплексной безотходной технологии утилизации сточных вод ТЭЦ БКХЗ: Отчет о НИР. Северодонецкий технологический институт ВУГУ; № 83936937. Северодонецк, 1993. 200 с.

8. Дерюшев, Л.Г. Дерюшев, Фам Х.Х., Дерюшева Н.Л. Надежность сооружений систем водоснабжения: учебное пособие. М-во образования и науки Рос. Федерации, Моск. Гос. ун-т. Москва. МГСУ, 2015. 280 с.

9. Учебное пособие к курсу лекций по дисциплине «Надежность технических систем и техногенный риск». Сост. Е.А. Киндеев, Владим. Гос. ун-т., Владимир, 2016. 170 с.

10. Абрамов Н.Н. Надежность систем водоснабжения. Надежность и качество, 2-е изд. М.: Стройиздат, 1984. 216 с.

11. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика: учеб. пособие для вузов; 9-е изд., стер. М.: Высшая школа, 2003. 479 с.

12. Свешников А.А. Прикладные методы теории случайных функций; 3-е изд., стер. М.: Изд-во «Лань», 2011. 464 с. ISBN 978-5-8114-1168-9.

### References

1. Order of the Ministry of Labour and Social Policy of Ukraine No. 637 dated 04.12.2002. "About the consolidated methodology for the designation of risks and acceptable standards for the declaration of security for the provision of security." Kiev, 2002.
2. Kachinsky, A. B., Agarkova N. V. Structural analysis of the system for ensuring the ecological and natural-technogenic safety of Ukraine. System information and information technologies. 2013. No. 1. P. 7-15.
3. Lisichenko G.V., Zabulonov Yu.L., Khmil G.A. Natural, technogenic and ecological risks: analysis, assessment, management. K.: Naukova Dumka, 2008. 543 p.
4. Henley E.J., Kumamoto H. Reliability of technical systems and risk assessment: translated from English. M.: Mechanical Engineering, 1984. 528 p.



5. Carlo FD, Borgia O, Tucci M. Risk-based inspections enhanced with bayesian networks. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part O: Journal of Risk and Reliability 2011; 225(3):375-386.
6. Magott J, Skrobaneck P. Timing analysis of safety properties using fault trees with time dependencies and timed state-charts. Reliability Engineering & System Safety 2012; 97(1):14–26.
7. Development of an integrated waste-free technology for wastewater utilization at BKHZ CHPP: Report on R&D / Severodonetsk Technological Institute of VUSU; No. 83936937. Severodonetsk, 1993. 200 p.
8. Deryushev, L.G., Fam Kh.Kh., Deryusheva N.L. Reliability of structures of water supply systems: a tutorial: Ministry of Education and Science Ros. Federation, Moscow. State un-t. Moscow. MGSU, 2015.280 p.
9. Textbook for the course of lectures on the discipline "Reliability of technical systems and technogenic risk" / Comp. E.A. Kindeev, Vladim. State un-t., Vladimir, 2016.170 p.
10. Abramov N.N. Reliability of water supply systems / Nikolay Nikolaevich Abramov; 2nd ed. (Reliability and quality). M.: Stroyizdat, 1984. 216 p.
11. Gmurman VE Probability theory and mathematical statistics. Textbook. manual for technical colleges / Vladimir Efimovich Gmurman. - 9th ed., Erased. M.: Higher school, 2003. 479 p.
12. Sveshnikov A.A. Applied methods of the theory of random functions / Aram Arutyunovich Sveshnikov. 3rd ed., Erased. M.: Publishing house "Lan", 2011. 464 p. ISBN 978-5-8114-1168-9.

\* Науково-методична стаття