

УДК 662.987:541.13:628.33

Уряднікова І.В., к. т. н., доцент
УкрНДІ цивільного захисту**ЗАКОНОМІРНОСТІ ВИНИКНЕННЯ ТЕХНОГЕННИХ ТА
ЕКОЛОГІЧНИХ РИЗИКІВ НА ОБ'ЄКТАХ КРИТИЧНОЇ
ІНФРАСТРУКТУРИ**

У статті розглядаються відмови, які виникають при експлуатації систем водоочистки в теплоенергетиці як елементі критичної інфраструктури, а також техногенні екологічні ризики, які реалізуються в цих системах. Досліджено, що на попередній стадії аналізу ризиків вже працюючої системи, користуючись отриманими залежностями, можна чисельно оцінювати величину ризику і, якщо є можливість заміни або ремонту блоків, чисельно оцінювати ймовірність ризику після заміни або ремонту. Встановлено, що при проектуванні систем водоочистки, для аналізу ризиків на стадії проектування необхідно розраховувати різні варіанти схем і, також як в попередньому випадку, вибирати варіант з мінімальним ризиком або розглядати задачу оптимізації в умовах обмежень з економіки.

В статье рассматриваются отказы, возникающие при эксплуатации систем водоочистки в теплоэнергетике как элементе критической инфраструктуры, а также техногенные экологические риски, которые реализуются в этих системах. Исследовано, что на предварительной стадии анализа рисков уже работающей системы, пользуясь полученными зависимостями, можно численно оценивать величину риска и, если есть возможность замены или ремонта блоков, численно оценивать вероятность риска после замены или ремонта. Установлено, что при проектировании систем водоочистки, для анализа рисков на стадии проектирования необходимо рассчитывать различные варианты схем и, также как в предыдущем случае, выбирать вариант с минимальным риском или рассматривать задачу оптимизации в условиях ограничений по экономике.

The article examines the failure arising in the operation of water treatment in power system as an element of the critical infrastructure and man-made environmental risks being realized in these systems. Investigated that in the previous step of risk analysis of an already running system, using the obtained relationship, we can numerically estimate the magnitude of the risk and, if it possible to repair or replace the units of the system, numerically evaluate the probability of risk after replacement or repair. Established that in the designing of water treatment systems for risk analysis at the design stage

should be calculated the different variants of the schemes and as well as in the previous case, choose the option with minimal risk or consider optimization problems in the constraints of the economy.

Keywords: risk, water purification system, power system, critical infrastructure, environmental safety, risk management.

Вступ. Розвиток сучасного світу залежить від таких найважливіших секторів функціонування суспільства як енергетика, транспорт, телекомунікації, банківська та оборонна мережі і т.д. Вихід з ладу будь-якого одного сектора загрожує суспільству серйозними катаклізмами.

В США до «критичної інфраструктури» відносять системи, мережі та окремі об'єкти, порушення роботи або руйнування яких може призвести до величезних або навіть незворотних негативних наслідків для економіки, добробуту і здоров'я населення [1]. Перелік таких об'єктів включає системи забезпечення діяльності уряду, оборони, охорони здоров'я, кредитно-фінансового, банківського та науково-дослідного секторів, промисловості, енергетики, зокрема атомної, нафтогазового комплексу, забезпечення продовольством, транспорту, комунального господарства, включаючи водопостачання, зв'язку та громадянської оборони [2].

Враховуючи ситуацію, яка зараз на Україні і наше прагнення утвердитися в Євросоюзі, питання безпеки та впровадження концепції захисту критичної інфраструктури стають все більш актуальними.

Енергетика є елементом критичної інфраструктури і відмова роботи ТЕЦ і ТЕС може призвести до порушення функціонування енергетичної мережі держави. Загальний викид забруднюючих речовин українських ТЕЦ и ТЕС у водний і повітряний басейн країни орієнтовно складає 25126327 тонн/рік. Слід зазначити, що ця кількість забруднюючих речовин викидається в екологічне середовище при нормальній роботі ТЕЦ. У разі реалізації екологічних ризиків в будь-якій системі, або в будь-яких системах ТЕЦ і ТЕС ця кількість значно збільшується. Нижче розглядаються ризики, які реалізуються в системах водоочистки ТЕС і ТЕЦ, які є найважливішими елементами цих станцій.

1. Основна частина. Відмовлення в системах водоочищення це події, що полягають у порушенні нормального виконання функцій системи. Ці події численні і дуже різноманітні. Відмовлення можуть приводити до зниження рівня живлення водою енергоагрегатів, до припинення подачі води на енергоагрегати чи до подачі неприпустимо забрудненої води.

Остання обставина означає, що система водоочищення працює в позаштатному режимі через відмовлення деяких її елементів чи у виді позаштатної роботи деяких елементів системи. Для зручності відмовлення в системах водоочищення можна розділити на дві групи: 1 – відмовлення

зовнішніх систем, зв'язаних із системами водоочищення; 2 – відмовлення внутрішніх елементів системи.

До відмовлень першої групи можуть бути віднесені:

- а) відмовлення джерел водозабору, що може привести до повного припинення подачі води на забезпечуваний об'єкт;
- б) відмовлення системи подачі електроенергії, що порушує чи припиняє роботу насосних станцій,
- в) забір на очищення надзвичайно забрудненої води, рівень забруднення якої перевищує можливості системи водоочищення. Це можливо при високих паводкових водах, при сходах селів, у відповідних місцевостях і при інших природних катаклізмах;
- г) забруднення водозаборів хімічними речовинами чи біомасами, що розкладаються, що часто також є наслідком хімічного забруднення.

До відмовлень другої групи чи до відмовлень внутрішніх елементів системи можна віднести аварії, поломки і відмовлення різних елементів системи, що повно чи частково паралізують її роботу. У результаті відмовлень внутрішніх елементів системи можуть відбуватися наступні порушення водопостачання об'єкта:

- а) тимчасове зниження подачі води на енергоагрегати, що не досягає гранично припустимого рівня;
- б) тимчасове зниження забезпечення водою, нижче припустимого рівня, що рівносильне відмовленню системи водоочищення;
- в) перерви в подачі води забезпечуваному об'єкту;
- г) подача некондиційної води забезпечуваному об'єкту;
- д) сполучення випадків аг, бг;
- е) у випадку скидання використаної води в навколишнє середовище – скидання забрудненої води.

Зазначені відмовлення створюють досить високий ступінь виробничих, економічних і екологічних ризиків, оцінка і мінімізація яких може бути зроблена при виборі чи при виробленні відповідних критеріїв.

Як уже неодноразово вказувалося, імовірність різного роду ризиків при роботі будь-якої системи водоочищення тим вище, чим вище імовірність відмовлення елемента чи системи сполучення елементів системи, що роблять істотний вплив на стійкість роботи системи в цілому. При вивченні автором роботи системи електрокоагуляції було встановлено, що на початку роботи системи, різні відмовлення спостерігаються досить часто, коли позначаються різні дефекти виготовлення, монтажу і пуску. Через якийсь час щільність відмовлень знижується і починається період нормальної експлуатації, коли імовірність відмовлення досить мала. Через деякий час спостерігається підвищення частоти відмовлень у результаті старіння елементів системи і поступовому виробленню ними свого ресурсу. Цей період закінчується граничним

станом коли для продовження експлуатації елементи системи можуть бути замінені новими.

2. Експериментальні дослідження. Експериментальні данні по зміні ймовірностей відмов при роботі електрокоагуляційної установки на протязі 4500 годин мають вигляд поданий у таблиці 1 [3 - 5].

На базі цих досліджень була побудована так звана крива відмовлень, яка досить добре збігається з літературними даними інших авторів і яка подана в таблиці 1 і на рис. 1 [6 - 9].

В результатах проведених досліджень відмічається, що як при роботі різних елементів, так і при роботі системи в цілому спостерігається деяка закономірність відмовлень протягом періоду експлуатації. Таким чином, оскільки відмовлення системи чи елемента системи це імовірностна величина, то на початку роботи системи спостерігається досить висока імовірність відмовлень. Через якийсь час імовірність ця знижується і після деякого періоду експлуатації знову різко зростає. Можна виділити наступні параметри: τ - час експлуатації елемента блоку чи системи до його заміни чи ремонту, τ_1 – час прироблення елемента чи блоку системи, τ_2 - час нормальної експлуатації елемента блоку чи системи, $P_{(i)}$ – імовірність відмовлення елемента блоку 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 по імовірності відмовлень у будь-який заданий момент часу криву імовірності відмовлень можна апроксимувати, використовуючи закон нормального розподілу випадкових величин, оскільки імовірність відмовлення є величиною випадковою. Відоме положення теорії імовірності, що розподіл суми великого числа взаємозалежних випадкових величин (у нашому випадку це різні численні причини, що приводять до відмовлення блоку системи чи всієї системи в цілому) підкоряється закону нормального розподілу Гауса. Це дає можливість апроксимувати криву двома кривими закону нормального розподілу з різними середньоквадратичними відхиленнями σ . Ділянка прироблення описується кривою нормального розподілу із середньоквадратичним відхиленням σ_1 . Імовірність відмовлень спочатку зростає, а потім убуває до координати $+1,5 \sigma_1$. Починаючи від цієї координати, подальша апроксимація здійснюється другою кривою закону нормального розподілу із середньоквадратичним відхиленням σ_2 , причому $\sigma_2 \gg \sigma_1$. Імовірність відмовлень на ділянці прироблення опишеться вираженням:

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

де, t_{cp} - середній час до відмовлення, t_i – поточний час до i -го відмовлення, σ_1 - середньоквадратичне відхилення, P_{np} - імовірність відмовлення на ділянці прироблення.

Середньоквадратичне відхилення σ_1 дорівнює:

$$\sigma_1 = \sqrt{\frac{1}{n} \sum (\tau_i - \tau_{cp})^2 \cdot m_i} \quad (2)$$

де, n – кількість відмовлень за час роботи елемента чи блоку, m - частота відмовлень у даному тимчасовому інтервалі.

Таблиця 1.

Загальний час роботи τ , 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

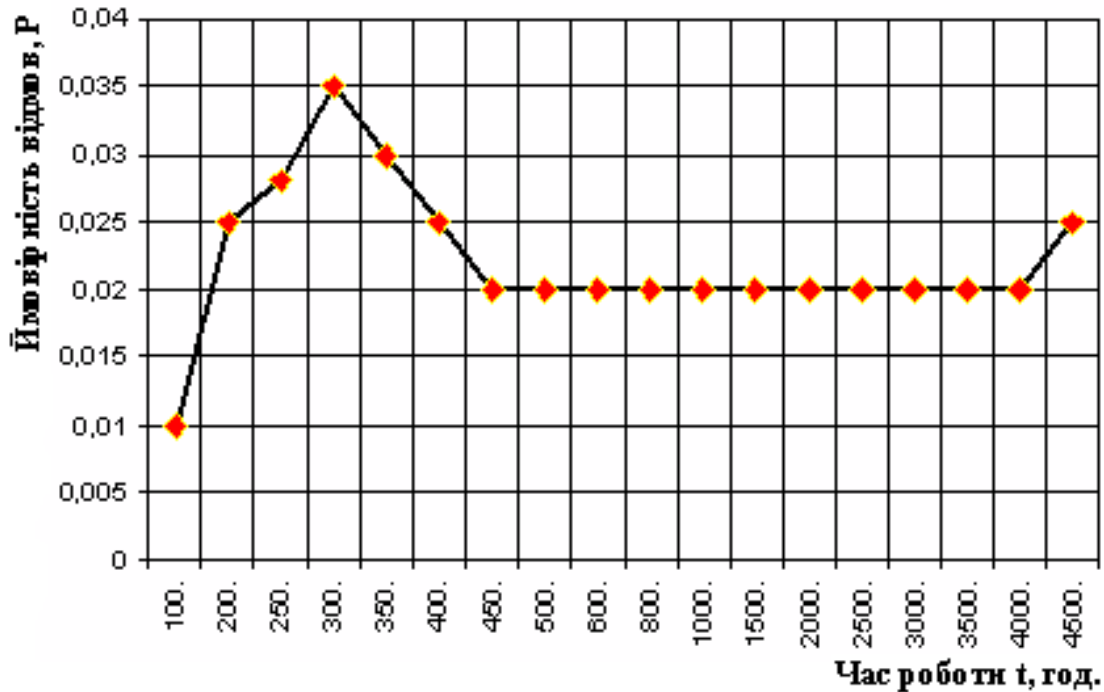


Рис. 1. Крива відмовлень роботи електрокоагулятора.

Координата точки перегину при переході від періоду прироблення до періоду нормальної роботи можна знайти, якщо підставити значення $1,5 \sigma_1$.

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

Критичне значення імовірності відмовлень, при якій елемент повинний бути відремонтований чи замінений буде:

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

Імовірність відмовлення в будь-який момент часу на ділянці нормальної роботи блоку чи елемента буде:

$$P_{н.р.} = \frac{1}{\sigma_2 \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(\tau_{1i} + \tau_{1cp})^2}{2\sigma_2^2}} + \frac{0,128}{\sigma_1} \quad (5)$$

Можна вважати, що мінімальний ризик пропорційний мінімальній імовірності відмовлення. Тоді буде справедливе твердження, що з метою мінімізації ризику необхідно мінімізувати функцію імовірності відмовлень, на тій частині кривої відмовлення, що відповідає робочому стану блоку чи елемента, тобто на ділянці прироблення чи на ділянці нормальної роботи.

Для розрахунку мінімальної імовірності ризику необхідно визначити мінімум цієї функції. Оскільки відмовлення є функцією багатьох перемінних, таким чином $P_{\text{від}} = f(x, y, z) \rightarrow 0$.

Сказане, мабуть, буде справедливо, якщо розглядати блок системи чи елементи з яких даний блок складається. Що стосується всієї системи, то критерій ризику буде трохи іншим, маючи у виді кінцевий результат роботи всієї системи. Критерієм ризику, по якому можна оцінювати систему водоочищення є імовірність подачі даною системою споживачу неякісної води в результаті відмовлень елементів даної системи, часткових відмовлень її елементів і викликаної 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.

З огляду на вищесказане можна затверджувати, що визначення критичності для будь-якої системи водоочищення буде залежати не стільки від конструктивних особливостей, скільки від стану в якому система водоочищення знаходиться.

Оцінка критичності буде мати вигляд:

клас 1 - граничний - стан, зв'язаний з помилками персоналу і зі штатною роботою системи водоочищення, коли через сутність фізико-хімічних процесів, що відбуваються в системі і через природну інерційність блоків можлива поява деякої кількості недоочищеної води особливо при зовнішніх збурюваннях, що впливають на систему.

клас 2 - критичний - стан, зв'язаний з помилками персоналу, дрібними недоліками конструкції і з позаштатною роботою одного чи декількох блоків системи, що приводить до істотних порушень у роботі і створює небезпечну ситуацію, коли недоочищена вода з'являється в значних кількостях. Така ситуація вимагає негайних заходів для повернення системи в штатний режим.

клас 3 - небезпечний - стан, зв'язаний з помилками персоналу, суттєвими недоліками конструкції чи з відмовленнями одного чи декількох блоків системи. У цьому випадку вода може бути взагалі неочищеною і подальша експлуатація системи може привести до небезпечних наслідків як у технічному, так і в екологічному аспектах.

При відмовленнях блоків і елементів системи водоочищення створюється реальна погроза появи на виході системи неочищеної води в значних кількостях. У такий спосіб розглядається 3-й клас критичності системи – небезпечний.

Оскільки вище було встановлено, що імовірність відмовлення блоку чи елемента міняється в залежності від того, для якої ділянки кривої відмовлення розглядається дана подія, тоді задачу визначення ризику, що викликається якою або магістраллю системи водоочищення, можна

сформулювати в такий спосіб. Визначити імовірність ризику, викликуваного деякою системою, що складається з K елементів, причому M елементів системи знаходяться на ділянці прироблення кривої відмовлень, а N елементів системи знаходяться на ділянці нормальної роботи цієї кривої. У загальному випадку σ полю розсіювання відмовлень елементів не рівні між собою. Тоді:

$$\begin{aligned}
 P_{\text{ризик}} = & \frac{1}{\sigma_{11} \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\tau_i - \tau_{cp})^2}{2\sigma_1^2}} + \frac{1}{\sigma_{12} \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\tau_i - \tau_{cp})^2}{2\sigma_{12}^2}} + \dots + \\
 & + \frac{1}{\sigma_{1m} \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\tau_i - \tau_{cp})^2}{2\sigma_{1m}^2}} + \frac{1}{\sigma_{21} \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(\tau_{1i} + \tau_{1cp})^2}{2\sigma_{21}^2}} + \frac{0,128}{\sigma_{11}} + \\
 & + \frac{1}{\sigma_{22} \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(\tau_{1i} + \tau_{1cp})^2}{2\sigma_{22}^2}} + \frac{0,128}{\sigma_{12}} + \dots + \\
 & + \frac{1}{\sigma_{2n} \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(\tau_{1i} + \tau_{1cp})^2}{2\sigma_{2n}^2}} + \frac{0,128}{\sigma_{1n}} - \left(\frac{1}{\sigma_{11} \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\tau_i - \tau_{cp})^2}{2\sigma_{11}^2}} \times \right. \\
 & \times \frac{1}{\sigma_{12} \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\tau_i - \tau_{cp})^2}{2\sigma_{12}^2}} \times \dots \times \frac{1}{\sigma_{1m} \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\tau_i - \tau_{cp})^2}{2\sigma_{1m}^2}} \left. \right) - \\
 & - \left[\left(\frac{1}{\sigma_{21} \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(\tau_{1i} + \tau_{1cp})^2}{2\sigma_{21}^2}} + \frac{0,128}{\sigma_{11}} \right) \times \right. \\
 & \times \left(\frac{1}{\sigma_{22} \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(\tau_{1i} + \tau_{1cp})^2}{2\sigma_{22}^2}} + \frac{0,128}{\sigma_{12}} \right) \times \dots \times \\
 & \left. \times \left(\frac{1}{\sigma_{2n} \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(\tau_{1i} + \tau_{1cp})^2}{2\sigma_{2n}^2}} + \frac{0,128}{\sigma_{1n}} \right) \right]
 \end{aligned} \tag{6}$$

Вираження (6) описує імовірність ризику в тому випадку, якщо імовірності відмовлень елементів, що складають систему, знаходяться в довільних місцях на кривій відмовлень. Якщо розглядати нову систему, що складається з k елементів, якщо імовірності відмовлень всіх елементів знаходяться на ділянці прироблення, то імовірність відмовлення всієї системи буде:

$$\begin{aligned}
 P_{\text{ризик}} = & \frac{1}{\sigma_{11} \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\tau_i - \tau_{cp})^2}{2\sigma_1^2}} + \frac{1}{\sigma_{12} \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\tau_i - \tau_{cp})^2}{2\sigma_{12}^2}} + \dots + \\
 & + \frac{1}{\sigma_{1k} \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\tau_i - \tau_{cp})^2}{2\sigma_{1k}^2}} - \left(\frac{1}{\sigma_{11} \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\tau_i - \tau_{cp})^2}{2\sigma_{11}^2}} \times \right.
 \end{aligned} \tag{7}$$

$$\times \frac{1}{\sigma_{12} \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\tau_i - \tau_{cp})^2}{2\sigma_{12}^2}} \times \dots \times \frac{1}{\sigma_{1k} \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\tau_i - \tau_{cp})^2}{2\sigma_{1k}^2}}$$

Якщо розглядати систему, що складається з k елементів, якщо імовірності відмовлень всіх елементів знаходяться на ділянці нормальної роботи, то імовірність відмовлення всієї системи буде:

$$P_{\text{ризик}} = \frac{1}{\sigma_{21} \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(\tau_{1i} + \tau_{1cp})^2}{2\sigma_{21}^2}} + \frac{0,128}{\sigma_{11}} +$$

$$+ \frac{1}{\sigma_{21} \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(\tau_{1i} + \tau_{1cp})^2}{2\sigma_{21}^2}} + \frac{0,128}{\sigma_{11}} + \dots +$$

$$(8)$$

$$+ \frac{1}{\sigma_{2k} \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(\tau_{1i} + \tau_{1cp})^2}{2\sigma_{2k}^2}} + \frac{0,128}{\sigma_{1k}} - \left[\left(\frac{1}{\sigma_{21} \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(\tau_{1i} + \tau_{1cp})^2}{2\sigma_{21}^2}} + \frac{0,128}{\sigma_{11}} \right) \times \right.$$

$$\left. \times \left(\frac{1}{\sigma_{22} \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(\tau_{1i} + \tau_{1cp})^2}{2\sigma_{22}^2}} + \frac{0,128}{\sigma_{12}} \right) \times \dots \times \left(\frac{1}{\sigma_{2k} \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(\tau_{1i} + \tau_{1cp})^2}{2\sigma_{2k}^2}} + \frac{0,128}{\sigma_{1k}} \right) \right]$$

Аналізуючи отримані вираження можна зробити висновок, що на попередній стадії аналізу ризиків уже працюючої системи, необхідно чисельно оцінювати величину ризику i , якщо є можливість заміни чи ремонту блоків, чисельно оцінювати імовірність ризику після заміни чи ремонту. Ухвалення рішення буде залежати від порівняння величин імовірності і вибору робочої схеми необхідно робити на користь мінімальної імовірності, якщо вона укладається в економічні розуміння. Тут може виникнути декілька незвичайна задача оптимізації, якщо економічні розуміння приймаються не у якості цільової функції, а у якості обмеження.

При проектуванні систем водоочищення, для аналізу ризиків на стадії проектування необхідно розраховувати різні варіанти схем i , також як у попередньому випадку, вибирати варіант із мінімальним ризиком чи розглядати задачу оптимізації в умовах обмежень по економіці. 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 відмовлень на працюючих ТЕЦ.

Висновки.

1. Відмовлення в системах водопідготовки і водоочистки можна розділити на дві групи: 1 – відмовлення зовнішніх систем, зв'язаних із системами водоочищення, 2 – відмовлення внутрішніх елементів системи.

Зазначені відмовлення створюють досить високий ступінь техногенних і екологічних ризиків, оцінка і мінімізація яких є важливою народногосподарською задачею.

2. Як при роботі різних елементів, так і при роботі системи в цілому спостерігається деяка закономірність відмовлень протягом періоду експлуатації. Ця закономірність описується так названою кривою відмовлень, апроксимація якої кривими закону нормального розподілу Гауса дає можливість визначати імовірності відмовлення елементів системи і системи в цілому протягом усього періоду експлуатації, з урахуванням ремонтів елементів які зроблені за минулий період часу.

3. Імовірність ризику при роботі системи водоочищення прямо залежить від імовірностного 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 вже працюючої системи, користуючись отриманими залежностями, можливо чисельно оцінювати величину ризику і, якщо є можливість заміни чи ремонту блоків, чисельно оцінювати імовірність ризику після заміни чи ремонту. Ухвалення рішення буде залежати від порівняння величин імовірності і вибору робочої схеми, тому це необхідно робити на користь мінімальної імовірності ризику, якщо вона укладається в економічне розуміння.

Використані джерела інформації:

1. Uniting and strengthening America by providing appropriate tools required to intercept and obstruct terrorism (PATRIOTACT) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://frwebgate.access.gpo.gov>
2. Бірюков Д. С. Стратегія захисту критичної інфраструктури в системі національної безпеки держави / Д. С. Бірюков, С. І. Кондратов // Стратегічні пріоритети. – 2012. – № 3(24). – С. 107–113.
3. Уряднікова І.В. Соціально-екологічні й економічні ризики, пов'язані з електрокоагуляційною очисткою води в теплоенергетиці / Інга Вікторівна Уряднікова. - Одеса: ТЕС, 2006. - 200 с.
4. Разработка комплексной безотходной технологии утилизации сточных вод ТЭЦ БКХЗ: Отчет о НИР / Северодонецкий технологический институт ВУГУ; № 83936937. – Северодонецк, 1993. – 200 с.
5. Уряднікова І.В. Ресурсозберігаюча технологія підготовки теплоносія для теплових енергоустановок: Дис... канд. техн. наук: 05.14.14 / Уряднікова Інга Вікторівна. – Одеса., 2001. – 200 с.
6. Абрамов Н.Н. Надежность систем водоснабжения / Николай Николаевич Абрамов; 2-е изд. (Надежность и качество). – М.: Стройиздат, 1984. – 216 с.

7. Абрамов Н.Н. Теория и методика расчета систем подачи и распределения воды / Николай Николаевич Абрамов. – М.: Стройиздат, 1972. – 286 с.
8. Ясин Э.М. Надежность магистральных трубопроводов / Ясин Э.М., Березин В. Л., Рещепкин К. Е.. – М.: Недра, 1972. – 183 с.
9. Ильин Ю. А. Расчет надежности подачи воды / Юрий Александрович Ильин (Надежность и качество). – М.: Стройиздат, 1987. – 320 с.