

**В. А. БАТЛУК**, д-р техн. наук, проф., НУ «Львівська політехніка», Львів;  
**Е. В. РОМАНЦОВ**, асп., НУ «Львівська політехніка», Львів

## **ПІДВИЩЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ СИСТЕМ ВОДОПІДГОТОВКИ І ВОДООЧИЩЕННЯ В ТЕПЛОЕНЕРГЕТИЦІ**

Розроблено методологію ідентифікації і класифікації ризиків, що виникають у системах водопідготовки і водоочищення в теплоенергетиці на стадії проектування й експлуатації, а також розроблена матриця поєднань елементів системи, за допомогою якої доцільно проводити аналіз ризиків із оглядом на ймовірність відмовлення кожного елементу. Розроблена ідеалізована віртуальна система водопідготовки й водоочищення, що дає можливість розробити загальні підходи й науково їх обґрунтувати за допомогою теорії ймовірності та математичної статистики.

**Ключові слова:** екологічна безпека, ризик, системи водопідготовки і водоочищення, теплоенергетика, управління ризиками.

**Актуальність теми.** Практично вся людська діяльність призводить до погіршення показників якості вживаної води, і без її регенерації та попередньої обробки з метою надання воді необхідних властивостей існування цивілізації неможливе. На сьогоднішній день в Україні гостро стоїть проблема удосконалення технологій очищення стічних вод промислових підприємств та повернення води в технологічний цикл.

У наш час у промисловій теплоенергетиці відбувається збільшення потужностей, що веде до суттєвого зростання забруднення атмосфери, ґрунту й водного басейну України. Удосконалення існуючих, створення нових, екологічно безпечних технологічних процесів та устаткування, які забезпечують дотримання норм шкідливих впливів на довкілля, дозволить створити умови збереження здоров'я людини, забезпечення сталого соціально-економічного розвитку та потенціалу держави, збереження й відновлення довкілля.

Сучасні ТЕС і ТЕЦ використовують велику кількість води, яка є теплоносієм в енергетичних установках і після виробничого циклу регенерується та скидається у водне середовище.

На жаль, сучасні методи очищення вод у теплоенергетиці не позбавлені ризиків забезпечення нормативних показників якості води, що обумовлено різноманітністю забруднюючих речовин, а також специфічністю методів очищення води, які відрізняються за фізико-хімічними принципами й конструктивними рішеннями очисного обладнання. У разі недотримання нормативів якості води відбувається безпосереднє забруднення водного середовища внаслідок скидання забрудненої води, погіршуються показники роботи котлів і знижується ККД. Тому, для одержання потрібної кількості енергії

треба витратити додаткове паливо, що теж збільшує забруднення повітряного басейну, ґрунту, створює додаткову екологічну загрозу флорі, фауні та людині. Таким чином, вищезгадані ризики одержання недоброякісної води при роботі систем водоочищення й водопідготовки у теплоенергетиці, за своєю суттю є екологічними ризиками.

Зменшення шкідливих впливів на довкілля й підтримка екологічної безпеки може бути забезпечена в першу чергу за рахунок удосконалення процесів водоочищення й водопідготовки в теплоенергетиці. Проте, сьогодні відсутні методи обґрунтування теоретичних основ оцінок техногенного ризику від неякісного очищення води, не розроблені підходи щодо пошуку оптимальних форм управління екологічною безпекою енергетичних об'єктів.

Одним з основних напрямків по інтенсифікації процесів очищення вод є застосування електрогідравлічних технологій, що обумовлено універсальністю та ефективністю цих методів при низьких капітальних витратах. Завдяки простоті реалізації пристроїв для електричної та магнітної обробки воднодисперсних систем в виробничих умовах цей напрямок все частіше використовується на промислових підприємствах. Однак технічні та наукові розробки в даній галузі не завершені, що і обумовило актуальність даної роботи.

**Аналіз останніх досліджень.** До цього часу, незважаючи на численні роботи (*Л.А. Кульський, Л.С. Стерман, А.А. Громогласов, Н.А. Міщерський, А.Ф. Белоконова, Ю.М. Кострікін, Т.Х. Маргулова, Н.Н. Абрамов, П.Д. Хоружий, Ю. А. Ільїн, А.М. Когановський, А.І. Мацнев, А.К. Запольський* і інші), присвячені системам водоочищення, завдання розрахунку й управління ризиками в цих системах практично не висвітлені, хоча ця проблема має важливе народногосподарське значення. Відсутній загальний методологічний підхід, що враховує різноманітність систем водоочищення і їхніх конструктивних рішень; немає чіткого ранжування об'єктів, на захист яких спрямований аналіз ризику, і немає аналізу факторів, що діють на них. Визначено, що немає чіткої системи ідентифікації й класифікації ризиків і визначення основних джерел ризиків у системах водоочищення. Відсутня методика розрахунків імовірності відхилення від штатної експлуатації, імовірностей і частот виникнення аварійних ситуацій і їхніх наслідків, а також дані щодо розробки стратегій управління ризиками з погляду внутрішніх властивостей систем водоочищення.

**Метою роботи** є підвищення екологічної безпеки в теплоенергетиці за рахунок розробки теоретичних основ та обґрунтування оцінок екологічних ризиків, що виникають при експлуатації систем водопідготовки й водоочищення, а також управління цими ризиками для забезпечення екологічної безпеки теплоенергетичних об'єктів.

**Виклад основного матеріалу.** Доведено, що ризик у системах водоочищення й водопідготовки в теплоенергетиці слід розуміти як імовірність появи на виході системи неочищеної чи недоочищеної води.

Системи водоочищення, що використовуються сьогодні, суттєво відрізняються одна від одної як фізико-хімічними принципами, на яких ґрунтується їх робота, так і конструктивно, тому для розробки узагальненої методики оцінки ризиків неможливо взяти як приклад ніяку з існуючих схем, оскільки отримані результати не можна буде співвіднести з іншими схемами. Виходячи з цього, в даній роботі для розробки загальної методології визначення різних ризиків у системі водоочищення в теплоенергетиці побудована ідеальна віртуальна система водоочищення.

Відмови в системах водоочищення – це події, що полягають у порушенні нормального виконання функцій системи. Ці події численні й дуже різноманітні. Відмови можуть призводити 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 певних елементів системи. Для зручності відмови у системах водоочищення можна розділити на дві групи: 1 – відмови зовнішніх систем, зв'язаних із системами водоочищення; 2 – відмови внутрішніх елементів системи. До відмов першої групи можуть бути віднесені: а) відмови джерел водозабору, що призводить до припинення подачі води; б) відмови системи подачі електроенергії, що порушує чи припиняє роботу насосних станцій; в) забір на очищення надзвичайно забрудненої води, рівень забруднення якої перевищує можливості системи водоочищення (такі обставини можуть виникнути при високих паводкових водах, при сходях селю у відповідних місцевостях і при інших природних катаклізмах); г) забрудненні водозаборів хімічними речовинами чи біомасами, які розкладаються, що часто також є наслідком хімічного забруднення.

До відмов другої групи чи до відмов внутрішніх елементів системи можна віднести аварії, пошкодження й відмови різних елементів системи, що повно чи частково паралізують її роботу. У результаті відмов внутрішніх елементів системи можуть відбуватися наступні порушення водопостачання об'єкта: а) тимчасове зниження подачі води на енергоагрегати, що не сягає 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) поєднання випадків аг, бг; е) у випадку скидання використаної води в навколишнє середовище – скидання забрудненої води.

Зазначені відмови створюють досить високий ступінь екологічних ризиків, оцінка й мінімізація яких може бути зроблена при виборі чи при виробленні відповідних критеріїв.

Як уже неодноразово вказувалося, ймовірність різного роду ризиків при роботі будь-якої системи водоочищення тим вища, чим вища ймовірність відмови елементу чи комплексу поєднання елементів системи, що істотно впливають на стійкість роботи системи в цілому.

Слід зазначити, що як при роботі різних елементів, так і при роботі системи в цілому спостерігається деяка закономірність відмов протягом періоду експлуатації. Так, на початку роботи системи, різні відмови спостерігаються досить часто, коли виявляються різні дефекти виготовлення, монтажу й пуску. Через якийсь час щільність відмов знижується й починається період нормальної експлуатації, коли ймовірність відмов досить мала. На третьому етапі роботи через відповідний для кожної конкретної системи час, спостерігається стан, що характеризується новим підвищенням частоти відмов у результаті старіння елементів системи й поступовому виробленню ними свого ресурсу. Цей період закінчується граничним станом, коли для продовження експлуатації елементи системи повинні бути замінені новими. Таким чином, оскільки відмови елементу системи це ймовірнісна величина, то на початку роботи системи спостерігається досить висока ймовірність відмов. Згодом ця ймовірність знижується й після деякого періоду експлуатації знову різко зростає. Це явище може бути проілюстровано графіком на рис. 1.

На даному графіку можна виділити наступні параметри:  $\tau$  – час експлуатації елементу блоку чи системи до його заміни чи ремонту,  $\tau_1$  – час придбання елементу чи блоку системи,  $\tau_2$  – час нормальної експлуатації елементу блоку чи системи. Інтенсивність відмов є щільністю розподілу випадкової величини, яка відповідає площі під цим графіком. Якщо є статистичні дані, отримані в результаті спостережень чи експериментів, то можна легко прогнозувати величину ризику на тій чи іншій стадії експлуатації системи.



Рис. 1 – Графік кривої відмов.

Для одержання числових даних щодо ймовірності відмов у будь-який заданий момент часу криву ймовірності відмов можна описати, виходячи з припущення закону нормального розподілу, оскільки ймовірності відмов є випадковими величинами. Відоме положення теорії ймовірності, що розподіл суми множини взаємозалежних випадкових величин (у нашому випадку це множина причин, що призводять до відмов блоку системи чи всієї системи в цілому) підкоряється закону нормального розподілу Гауса. Апроксимація кривої відмов кривими закону нормального розподілу (кривими Гауса) представлена на рис. 2. Це дає можливість апроксимувати криву рис. 2 двома кривими закону нормального розподілу з різними середньоквадратичними відхиленнями  $\sigma_1$  та  $\sigma_2$  (рис. 2).

На рис. 2:  $t$  – час прироблення блоку чи елемента;  $t_1$  – час нормальної роботи блоку чи елемента;  $t_2$  – загальний час роботи блоку чи елемента;  $P(t)$  – ймовірність відмови блоку чи елемента в будь-який момент часу.

Ділянка прироблення описується кривою нормального розподілу із середньоквадратичним відхиленням  $\sigma_1$ . Ймовірність відмов спочатку зростає, а потім зменшується до координати  $+1,5\sigma_1$ . Починаючи від цієї координати, подальша апроксимація здійснюється другою кривою закону нормального розподілу із середньоквадратичним відхиленням  $\sigma_2$ , причому  $\sigma_2 \gg \sigma_1$ .

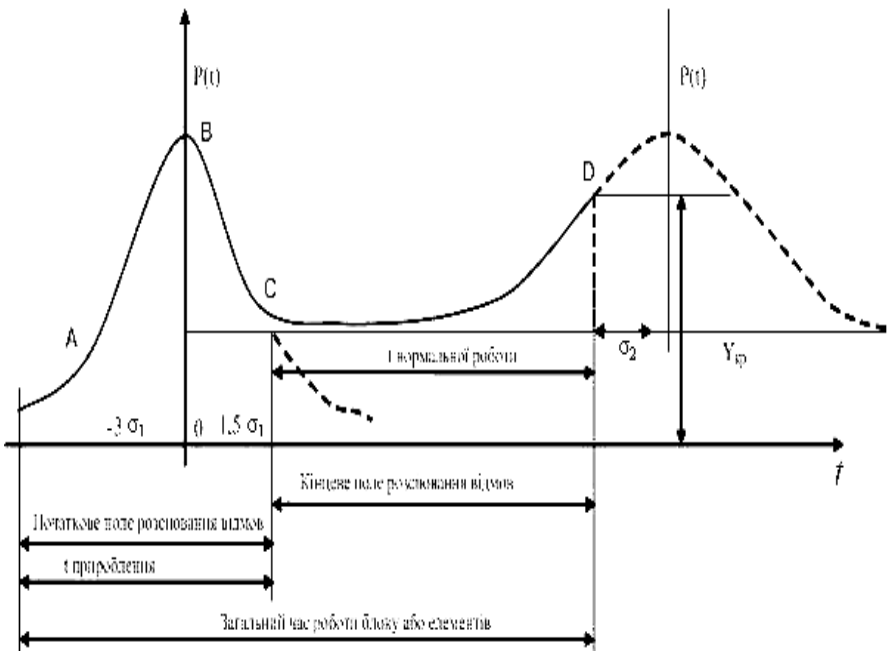


Рис. 2 – Апроксимація кривої відмов кривими закону нормального розподілу (кривими Гауса).

Ймовірність відмов на ділянці прироблення обчислюється виразом:

$$P_{\text{пр}} = \left[ 1 / \left( \sigma_1 \sqrt{2\pi} \right) \right] \cdot e^{-\left( t_i - t_{\text{ср}} \right)^2 / 2\sigma_1^2}, \quad (1)$$

де  $t_{\text{ср}}$  – середній час до відмов;  $t_i$  – поточний час до  $i$ -ї відмови;  $\sigma_1$  – середньоквадратичне відхилення.

Ймовірність відмови в будь-який момент часу на ділянці нормальної роботи блоку чи елемента буде такою:

$$P_{\text{н.р.}} = \left[ 1 / \left( \sigma_2 \sqrt{2\pi} \right) \right] \cdot e^{-\left( t_i - t_{\text{ср}} \right)^2 / 2\sigma_2^2} + 0,128 / \sigma_1. \quad (2)$$

Можна вважати, 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 блоку чи елемента, тобто на ділянці прироблення чи на ділянці нормальної роботи. Для розрахунку мінімальної ймовірності ризику необхідно визначити мінімум цієї функції. Оскільки відмови є функцією багатьох змінних, то  $P_{\text{від}} = f(x, y, z) \rightarrow 0$ .

Сказане буде справедливим, якщо розглядати блок системи чи елемента, з яких даний блок складається. Що стосується всієї системи, то ризик буде іншим, з огляду на кінцевий результат роботи всієї системи. Ризиком, що утворює система водоочищення, є ймовірність подачі даною системою споживачу неякісної води в наслідок відмов елементів системи, часткових відмов її елементів і зумовлених цією обставиною позаштатною роботою всієї системи, а також ймовірність надходження на вихід неякісної води при штатній роботі блоків і елементів системи з-за помилок персоналу та через природну інерційність блоків при суттєвих зовнішніх збуреннях.

З огляду на означене доведено, 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, обумовлений помилками персоналу при штатній роботі 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 збуреннях системи;

*клас 2 – критичний* – стан, пов'язаний з помилками персоналу, недоліками конструкції й позаштатною роботою одного чи декількох блоків системи, що призводить 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 виникає, коли вода взагалі не є очищеною, а подальша експлуатація системи може привести до небезпечних наслідків, як

у технічному, так і в екологічному аспектах.

Оскільки відомо, що ймовірність відмов блоків чи елементів змінюється в залежності від того, для якої ділянки кривої відмов розглядається подія, то задачу визначення ризику, який обумовлюється відмовами будь-яких блоків системи водоочищення, можна сформулювати в такий спосіб: визначити ймовірність ризику для системи, що складається з  $k$  елементів, коли  $m$  елементів системи визначені на ділянці прироблення кривої відмов, а  $n$  елементів системи визначені на ділянці нормальної роботи цієї кривої. У загальному випадку дисперсії  $\sigma$  полів розсіювання відмов елементів не є однаковими. Якщо ймовірності відмов елементів, що складають систему, знаходяться в довільних місцях на кривій відмов, то така залежність описується формулою (3).

За отриманими виразами на попередній стадії аналізу ризиків уже працюючої системи чисельно оцінюється величина ризику до й після заміни чи ремонту блоків. Прийняття рішення буде залежати від порівняння величин ймовірності. Вибір робочої схеми необхідно робити на користь мінімальної ймовірності, якщо вона укладається в економічні показники. Тут виникає незвичайна задача оптимізації, якщо економічні фактори не є цільовою функцією, а слугують обмеженнями.

Для числових рішень необхідно знати середньоквадратичні відхилення 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 із ними шкідливих наслідків у довкіллі необхідно зробити ймовірнісний аналіз станів, у яких може знаходитися система водоочищення:

$$R_{\Sigma} = \left\{ \left[ \sum_{i=1}^n \frac{1}{\sigma_{1i} \sqrt{2\pi}} \cdot \exp \left( -\frac{(t_i - t_{cp})^2}{2\sigma_{1i}^2} \right) \right] - \left[ \prod_{i=1}^n \frac{1}{\sigma_{1i} \sqrt{2\pi}} \cdot \exp \left( -\frac{(t_i - t_{cp})^2}{2\sigma_{1i}^2} \right) \right] \right\} +$$

$$+ \left\{ \left[ \sum_{j=1}^m \frac{1}{\sigma_{2j} \sqrt{2\pi}} \cdot \exp \left( -\frac{(t_j - t_{cp})^2}{2\sigma_{2j}^2} \right) \right] - \left[ \prod_{j=1}^m \frac{1}{\sigma_{2j} \sqrt{2\pi}} \cdot \exp \left( -\frac{(t_j - t_{cp})^2}{2\sigma_{2j}^2} \right) \right] \right\} -$$

$$- \left\{ \left[ \sum_{i=1}^n \frac{1}{\sigma_{1i} \sqrt{2\pi}} \cdot \exp \left( -\frac{(t_i - t_{cp})^2}{2\sigma_{1i}^2} \right) \right] - \left[ \prod_{i=1}^n \frac{1}{\sigma_{1i} \sqrt{2\pi}} \cdot \exp \left( -\frac{(t_i - t_{cp})^2}{2\sigma_{1i}^2} \right) \right] \right\} \times$$

$$\times \left\{ \left[ \sum_{j=1}^m \frac{1}{\sigma_{2j} \sqrt{2\pi}} \cdot \exp \left( -\frac{(t_j - t_{cp})^2}{2\sigma_{2j}^2} \right) \right] - \left[ \prod_{j=1}^m \frac{1}{\sigma_{2j} \sqrt{2\pi}} \cdot \exp \left( -\frac{(t_j - t_{cp})^2}{2\sigma_{2j}^2} \right) \right] \right\}. \quad (3)$$

При роботі системи з огляду на ранжирування надійності блоків можна прийняти, що на спочатку може вийти з ладу 1-й блок, далі 2, 3 і 4 блоки. Якщо всі блоки системи працюють, система знаходиться в стані  $S_0$ . При відмовах інших блоків, у тій же послідовності, система переходить у стани  $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_3$  або  $S_4$ . У методі Марківських ланцюгів закономірності зміни станів системи описуються так званими перехідними ймовірностями відмов блоків:  $P_{1-2}$ ;  $P_{1-3}$ ;  $P_{1-4}$ ;  $P_{2-3}$ ;  $P_{2-4}$  і  $P_{3-4}$  (рис. 3).

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

$$P_i(k) = \sum_1^n P_j(k-1) \cdot P_{ij}, \quad (4)$$

де  $i=1, \dots, n$  та  $j=1, \dots, m$ ;  $P_i(k)$  - ймовірність відмови  $i$  блоку в момент часу  $k$ ;  $P_j(k-1)$  - ймовірність відмови  $j$  блоку в попередній момент часу  $(k-1)$ ,  $P_{ij}$  - перехідна ймовірність відмови блоку  $j$  з переходом до стану, що відповідає блоку  $i$ .

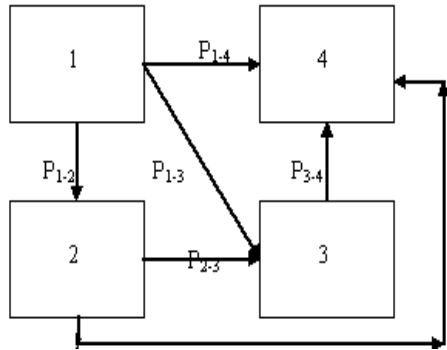


Рис. 3 – Граф віртуальної системи водоочищення.

Виходячи із цього, 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 в наступний момент часу  $t_1$  (який може бути вибраний довільно, припустимо з технологічних міркувань), 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 системи водоочищення на ряд кроків  $t_0, t_1, t_2, \dots, t_i$ , то на довільному кроці можна обчислити ймовірність відмови будь-якого блоку або всіх блоків, і, таким чином, визначити ризик погіршення якості води на певному етапі експлуатації системи. Ці моделі піддаються комп'ютерній реалізації й можуть бути застосовані для систем будь-якої складності.

Життєвий цикл системи водоочищення може бути охарактеризований різними станами, основні з яких наступні:

- стан працездатності ( $S_0$ ) – система працює в штатному режимі;



– стан невиявленої відмови ( $S_1$ ) – один чи кілька елементів системи відмовили, і ці відмови не виявлені. Система працює в позаштатному режимі чи не працює взагалі. Заходи для відновлення працездатності системи можуть бути прийняті тільки після виявлення відмови системи через якийсь проміжок часу. Можливий також стан виявленої відмови. Система працює в позаштатному режимі чи не працює зовсім. Заходи щодо відновлення працездатності повинні бути прийняті негайно;

– стан відновлення працездатності системи ( $S_2$ ) – ремонт.

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

Спрощений граф системи має вигляд:

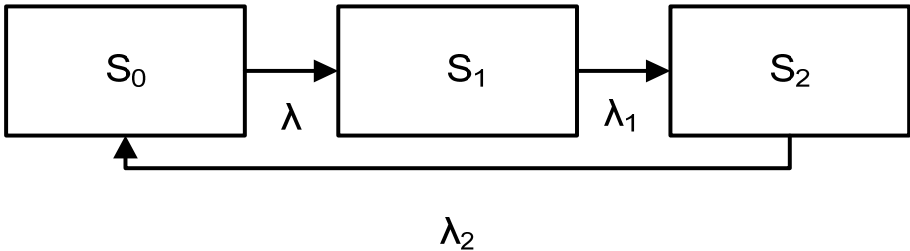


Рис. 4 – Спрощений граф станів системи водоочищення:

$\lambda, \lambda_1, \lambda_2$  - щільність ймовірностей при переходах системи зі станів  $S_0, S_1, S_2$ .

При  $t_k \rightarrow \infty$  за *теоремою Колмогорова-Чипмена* в системі встановлюється граничний стаціонарний режим, в ході якого існують переходи зі стану в стан, але ймовірності перебування системи в певному стані вже не змінюються. Такі фінальні ймовірності можуть розглядатися як середній відносний час перебування системи в тому чи іншому стані:

$$\begin{aligned}
 p_0 &= \lambda_1 \lambda_2 / (\lambda \lambda_2 + \lambda \lambda_1 + \lambda_1 \lambda_2); \\
 p_1 &= \lambda \lambda_2 / (\lambda \lambda_2 + \lambda \lambda_1 + \lambda_1 \lambda_2); \\
 p_2 &= \lambda \lambda_1 / (\lambda \lambda_2 + \lambda \lambda_1 + \lambda_1 \lambda_2).
 \end{aligned}
 \tag{6}$$

Закономірності зміни станів системи дають можливість прогнозувати ризики працюючих систем. У разі заміни блоків імовірності переходу системи водоочищення обчислюються за допомогою *Марківського аналізу народження й загибелі*.

Дійсно, якщо розглянути апроксимовану криву відмов (рис. 2), то від точки *A* до точки *B* імовірність відмов чи ймовірний потік відмов збільшується. Це відповідає процесу прироблення елементів і блоків. Від точки *B* до точки *C* імовірність відмов зменшується, а потім трохи збільшується в інтер-

валі штатної роботи від точки  $C$  до  $D$ . Повернення в зворотному напрямку по траєкторії життєвого циклу відбувається в тому випадку, якщо деякі елементи системи в процесі експлуатації будуть замінені на нові. Граф станів життєвого циклу для траєкторії  $B-C-D$  і зворотного напрямку приведено на рис. 5.

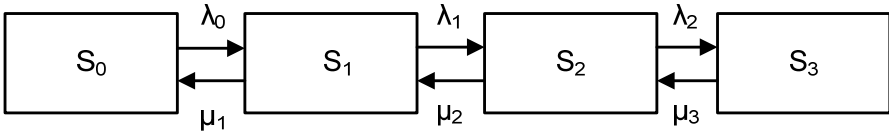


Рис. 5 – Граф станів життєвого циклу:

$\lambda_0 \rightarrow \lambda_1 \rightarrow \lambda_2$  - плин відмов по траєкторії  $B \rightarrow C \rightarrow D$ ;  $\mu_0 \rightarrow \mu_1 \rightarrow \mu_2$  - плин відмов у зворотному напрямі.

Математичне очікування  $m$  і дисперсія відмов будуть такими:

$$m_x(t) = D_x(t) = \lambda T (1 - e^{-\mu/T}), \quad (7)$$

де  $T = 1/\mu$ , тобто цей вираз відповідає *рівнянню аперіодичної ланки*, відомої з теорії автоматичного управління. Звідси витікає, 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 тільки від інтенсивності «загибелі» при зміні стану системи при її переміщенні з права на ліво. Ця інтенсивність тим вища, чим більше блоків замінюється при експлуатації.

Таким чином, на основі запропонованого аналізу для будь-якої системи водоочищення в довільний момент часу можна визначити ризики, пов'язані з відмовами блоків, із закономірностями зміни станів системи, а також вплив на ризики операцій заміни блоків системи водоочищення або її елементів.

**Висновки та перспективи подальших досліджень.** Економічне обґрунтування мінімізації ризиків, виконане на основі розрахунків збитків в результаті реалізації ризиків в системах водоочищення і водопідготовки ТЕЦ і ТЕСЮ, показало, що зменшення ризику з рівня 0,3 до рівня 0,18 – 0,19 знижує збитки в масштабі України на 25 млрд. грн/рік, або на 500 млн. долл./рік, а також дає можливість загального підвищення екологічної безпеки довкілля при оптимізованих мінімальних витратах і значній економії державних фінансових ресурсів. Отримані дані показують, що при мінімізації ризиків економічна ефективність становить 1,414 грн/м<sup>3</sup>, а це відкриває широкі перспективи для впровадження в усіх без винятку системах водоочищення і водопідготовки ТЕЦ і ТЕС.

**Список літератури:** 1. *Уряднікова І.В., Лебедев В.Г., Гогунський В.Д.* Ймовірнісний ризик при експлуатації діючої системи водоочищення // Моделирование в прикладных научных исследованиях: материалы XIV семинара, 19 – 20 января 2007 г. – Одесса, 2007. – С. 9 – 10. 2. *Батлук В.А., Азарський К.І.* Вентиляційна установка для гальванічних ван // Вісник Державного університету “Львівська політехніка”. Серія “Хімія, технологія речовин та їх застосування”. – Львів: Державний університет “Львівська політехніка” – 1999. – № 374. – С. 48 – 51. 3. *Батлук В.А., Прокуріна І.В.* Застосування систем мокрого пиловловлення в коксохімічному виробництві // Науково-технічний збірник “Наукові записки”. – Львів: Українська академія друкарства. – 2006. – №2 (10). – С. 115 – 119. 4. *Батлук В.А., Финкельштейн З.Л.* Состояние водных ресурсов и некоторые пути решения проблемы обеспечения водой Донбасса // Промислова гідравліка і пневматика. – Вінниця: ВДАУ. – 2008. – № 2 (20). – С. 5 – 12. 5. *Батлук В.А.* Особливості роботи гідроапаратів з осциляцією при відкриваннях запірно-регулювальних елементів // Науково-технічний збірник “Наукові записки”. – Львів: Українська академія друкарства. – 2008. – №1 (13). – С. 221 – 224. 6. *Батлук В.А., Романцов Е.В.* Водные ресурсы и пути решение проблемы чистой воды // Науково-технічний збірник “Наукові записки”. – Львів: Українська академія друкарства. – 2008. – №1 (13). – С. 231 – 238. 7. *Батлук В.А., Федоренко І.М.* Оцінка надійності мехатронних гідроагрегатів на стадії їх проектування // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2009. – №5/6 (41). – С. 21 – 24. 8. *Батлук В.А., Парняк Н.М.* Забезпечення нормативних показників якості води для підвищення життєдіяльності людини // Безпека життя і діяльності людини – освіта, наука, практика: XI міжнар. наук.-метод. конф.: тези доп. – Львів, 2008 – С. 96 – 97.

*Надійшла до редколегії 01.02.2013*

---

УДК 621.928.10

**Підвищення екологічної безпеки експлуатації систем водопідготовки і водоочищення в теплоенергетиці / В. А. Батлук, Е. В. Романцов** // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Математичне моделювання в техніці та технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ», 2013. – №5 (979). – С. 3-13. Бібліогр.: 8 назв.

Разработана методология идентификации и классификации рисков, которые возникают в системах водоподготовки и водоочистки в теплоэнергетике на стадии проектирования и эксплуатации, а также разработана матрица сочетаний элементов системы, с помощью которой целесообразно проводить анализ рисков с обзором на вероятность отказа каждого элемента. Разработана идеализирующая, виртуальная система водоподготовки и водоочистки, которая дает возможность разработать общие подходы и научно их обосновать с помощью теории вероятности и математической статистики.

**Ключевые слова:** экологическая безопасность, риск, системы водоподготовки и водоочистки, теплоэнергетика, управление рисками.

Methodology of authentication and classification of risks which arise up in the systems of water preparation and water purification in power engineering on the stage of planning and exploitation is developed. Criticism of the system is offered to estimate on those states in which this system can be. Developed matrix of combinations of elements of the system of water preparation and water purification in power engineering by which expediently to conduct the analysis of risks taking into account probability of refusal of every element. Developed idealised, virtual system of water preparation and water purification, that enables to develop general approaches and scientifically ground them by a probability and mathematical statistics theory.

**Key words:** ecological safety, risk, systems of water preparation and water purification, power engineering, management of the risks.