

Т.В. ПОТАНІНА, канд. техн. наук, доц., НТУ «ХПІ»

ОПТИМІЗАЦІЯ ТРИВАЛОСТІ МІЖРЕМОНТНИХ ПЕРІОДІВ В ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЕНЕРГООБ'ЄКТІВ З ВРАХУВАННЯМ РИЗИКУ

Метою проведення робіт по технічному обслуговуванню та ремонту є зберігання або повернення припустимого рівня ефективності та безпеки експлуатації даного об'єкту. Оптимізація робіт по відновленню дозволяє отримати такий результат при найбільш низьких витратах. Обрано критерій для встановлення діапазону ремонтних робіт – рівень техногенного ризику нижче прийнятого припустимого рівня. В статті представлено математичну модель оптимізації тривалості міжремонтних періодів з врахуванням ризику. Неповне відновлення елементів описано за допомогою моделі Кіджіми.

Ключові слова: енергетичне обладнання, експлуатація, міжремонтні періоди, відновлення, ризик.

Вступ. Досвід експлуатації потужних енергетичних комплексів в міжнародній практиці доводить, що існує можливість експлуатації енергоблоків протягом значного часу після регламентованого проектом строку за рахунок планування організаційно-технічних заходів, спрямованих на збереження цілісності об'єкту і його функціональних властивостей – перехід на технічне обслуговування та ремонти за фактичним станом обладнання. Розробка, економічне обґрунтування та впровадження таких заходів дозволить оптимально продовжити можливий строк експлуатації енергоблоків ТЕС і АЕС. Запобігання можливих суттєвих пошкоджень і відмов обладнання систем, важливих для безпеки, при експлуатації енергоблоку на потужності в номінальному режимі, забезпечують системи оперативної діагностики, що дозволяє об'єктивно оцінити технічний стан обладнання, якість ремонту і модернізації [1-3].

Модель оптимізації тривалості міжремонтних періодів та ремонтних робіт. Критерій, за яким проводиться планування тривалості міжремонтних періодів, а також і самих ремонтних робіт – економічні показники у вигляді сумарних коштів (збитків) електростанції $K_{n,p}$, пов'язаних з ремонтами енергоблоків. В роботах [4-5] сумарні кошти запропоновано обчислювати за формулою

$$K_{\Sigma} = K_{n,p} = K_e + K_n + K_m + K_p, \quad (1)$$

де K_e – витрати (збитки), зумовлені недовиробітком електроенергії через простій енергоблоків під час ремонтів і залежні від цілої низки техніко-економічних факторів (рівня енергоспоживання в енергосистемі під час ремонтів, можливих штрафних санкцій за перевищення строків ремонтів та ін.);

© Т.В. Потаніна, 2012

K_n – витрати на підготовчі роботи, що передують ремонту; K_m – витрати на ремонтні матеріали й запасні частини; K_p – витрати на безпосереднє проведення ремонтних робіт. Тривалість міжремонтного періоду обчислюється з умови досягнення мінімуму експлуатаційних коштів.

Регламентне обслуговування обладнання та систем, яке базується на проектному аналізі середньостатистичних даних про час *наробітку на відмову*, не можна вважати оптимальним розв'язанням проблеми в умовах експлуатації енергоблоків ТЕС і АЕС, через невелику серійність таких об'єктів енергетики, специфічність умов експлуатації навіть однотипних елементів конкретного енергоблоку, і відзначається достатнім розсіянням значень при оцінці темпів наробітку на відмову і залишкового ресурсу.

При аналізі економічної ефективності проведення планових ремонтних робіт в умовах невизначеності постає проблема оцінки ризику. В випадку ігнорування рівня техногенного ризику кількість помилок при прийнятті рішення, щодо стратегії планових ремонтних робіт, зростає [6-9].

Ризико-орієнтований підхід при розв'язанні задачі оптимізації тривалості ремонтних та профілактичних робіт та діапазонів між ними є визначенням та моніторингом рівня ризику, прийнятного для безпечної експлуатації енергоблоків електростанцій. Розглянемо загальну схему керування техногенним ризиком, зв'язаним з експлуатацією енергетичного обладнання [10]. Перший крок визначає декомпозицію системи, якою є енергоблок електростанції (рис. 1). Процедура декомпозиції враховує структурні та функціональні зв'язки між окремими елементами системи. Методи переходу до стратегії ремонту обладнання в залежності від технічного стану і оцінки ризику відмови базується на підході *забезпечення гарантії якості*, який включає застосування роздільних стратегій ремонтів та технічного обслуговування обладнання в залежності від впливу останнього на безпеку експлуатації [7]. Такий метод включає застосування як кількісних результатів аналізу безпеки (*ймовірнісний аналіз безпеки* для енергоблоків АЕС) [11], так і класифікацію обладнання на якісному рівні. Такий аналіз здійснює врахування усіх факторів, які визначають значущість обладнання з точки зору ризику (безпеки).

Прикладом такої класифікації може бути ранжування за впливом обладнання на безпеку експлуатації та рівнем ризику:

обладнання, що зв'язане з безпекою та має високий рівень ризико-значущості;

обладнання, що зв'язане з безпекою та має низький рівень ризико-значущості;

обладнання, що не пов'язане з безпекою та має високий рівень ризико-значущості;

обладнання, що не пов'язане з безпекою та має низький рівень ризико-значущості.

Для кожної конкретної категорії визначаються вимоги щодо періодичності та об'єму обслуговування. Це ранжування відбувається на наступних двох кроках процедур. Оцінка ризику – визначення сценаріїв небезпеки, усіх потенційних подій, які призведуть до ушкодження елементів та підсистем даної системи. Ймовірність цих подій має бути своєчасно визначена і, тим самим, обчислюється техногенний ризик окремих елементів, а згодом і усєї системи. Наступна процедура – оцінка наслідків відмов окремих елементів, які виражаються в грошових одиницях.

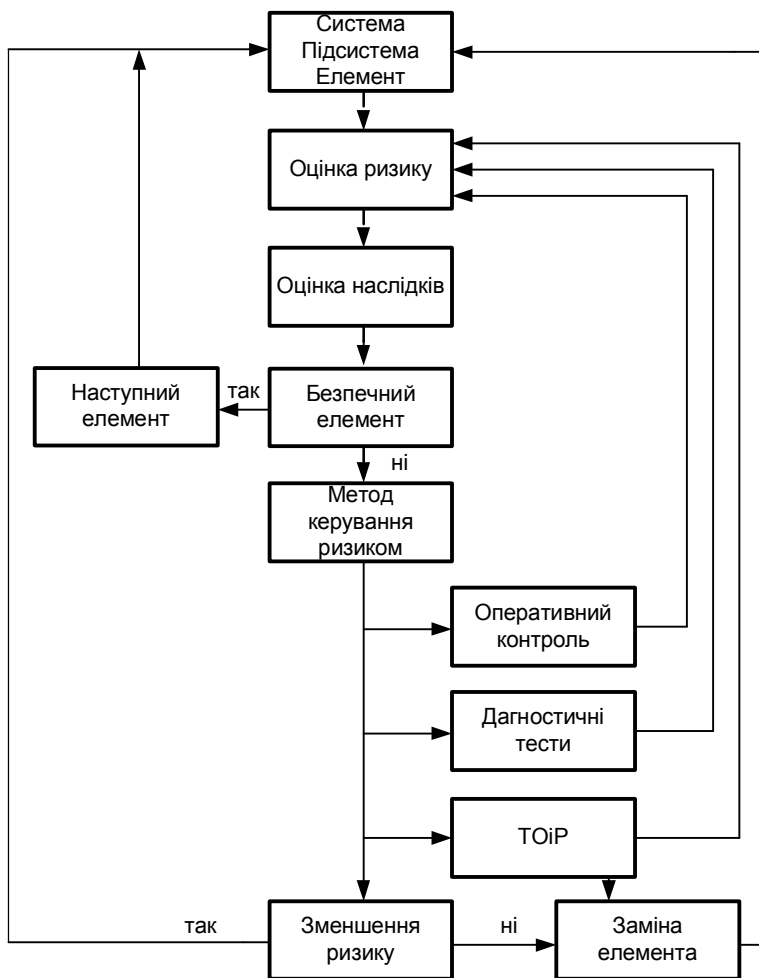


Рис. 1 – Загальні процедури оцінювання ризику та керування ризиком.

Порівняння обчисленого ризику з припустимим рівнем ризику дозволяє зробити висновок щодо безпеки системи.

Якщо рівень ризику визначено як високий, то такий ризик слід ідентифікувати і розглянути різні варіанти зменшення рівня ризику. Серед методів керування ризиком потенційними є оперативний контроль, оптимізація діагностичних процедур або вибір діапазону і періоду проведення технічного обслуговування і ремонту (ТОiP).

В теорії прийняття рішень *ризик – це плата за прийняття рішення, що не є оптимальним*, і він записується, зазвичай, як *математичне сподівання* [3]:

$$R = \sum_{i=1}^n p_i \cdot C_i, \quad (2)$$

де p_i – ймовірність відбуття події i ; C_i – наслідки настання події i ; n – кількість подій, небезпечних для функціонування даного об'єкту.

Наслідки аварій чи пошкоджень найчастіше виражаються у грошових одиницях, тому і ризик в (2) також буде мати такий вимір. Тому вираз (1) слід доповнити ще однією складовою:

$$K_{\Sigma} = K_{n.p} + R, \quad (3)$$

де $R = \sum_i R_i$ – повний ризик.

Можна цей вираз розглядати у одиницях, відносних до часу експлуатації. Тоді

$$\overline{K_{\Sigma}} = \frac{K_{n.p} + R}{t} = \overline{K_{n.p}} + \overline{R}. \quad (4)$$

Виходячи з цього оптимальне значення тривалості міжремонтного періоду відповідає мінімуму цільової функції $\overline{K_{\Sigma}}$ (рис. 2 а):

$$\overline{K_{\Sigma}}(t_0) = \overline{K_{\Sigma \min}}. \quad (5)$$

Можливим є підхід, який враховує прибуток від експлуатації енергоблоку Π . Тоді цільовою функцією даної задачі можна вважати різницю між прибутком та сумарними витратами з врахуванням ризику, тобто

$$\Delta \overline{K} = \overline{\Pi} - \overline{K_{\Sigma}}. \quad (6)$$

Відповідно задача формулюється як задача оптимізації:

$$\Delta \overline{K}(t_0) \Rightarrow \Delta \overline{K \max}. \quad (7)$$

В випадку, якщо прибуток від експлуатації є величиною сталою, то точки оптимуму задач (5) і (7) співпадають. Але, очевидно, що зі спливанням часу в конструкціях, елементах систем і устаткування відбуваються процеси старіння. Таким чином, настає зменшення ефективності роботи енергетич-

ного об'єкту і $\bar{\Pi}$ спадає з часом. Врахування процесів старіння впливає на значення оптимальної точки задачі (7) і збіжність, яка була можлива в ситуації сталого прибутку, вже не спостерігається: $t_0 \neq t'_0$ (рис. 2 б).

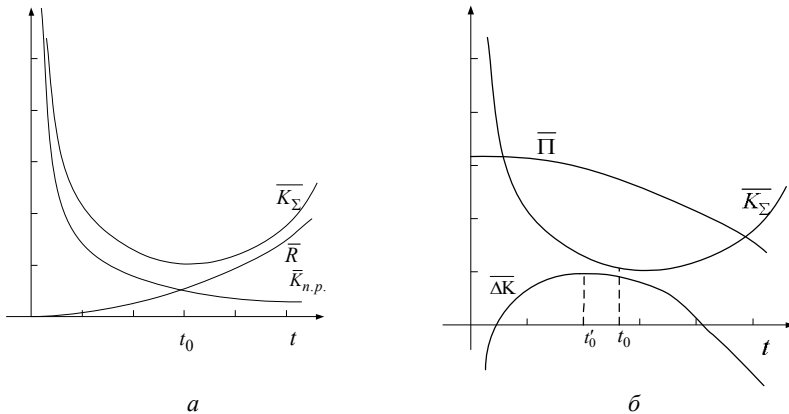


Рис. 2 – Вибір оптимального часу проведення ремонтних та профілактичних робіт: *а* – з врахуванням ризику; *б* – з врахуванням зміни прибутку.

Метою проведення профілактичних робіт є відновлення експлуатаційних властивостей об'єкту. Тому можна виділити наступні стани [12]:

- повне відновлення, яке повертає повністю початкові властивості об'єкту, – об'єкт можна вважати новим;
- мінімальне відновлення, яке не змінює властивостей об'єкту, – інтенсивність пошкоджень не змінюється;
- неповне відновлення, в результаті якого експлуатаційні властивості об'єкту покращуються, але не до такого рівня, який був у нового об'єкту.

Для систем, в яких відбувається ремонт таких елементів, що відмовили, а не їх заміна новими, слід розглядати ситуацію неповного відновлення елемента. В багатьох дослідженнях припускають або повне відновлення, або мінімальне відновлення компонентів [13], які є граничними станами неповного відновлення. Однією з можливостей описання неповного відновлення є *модель Кіджіми* [14], яка дозволяє описати проміжні випадки, коли відновлення вже не повне, але ще не мінімальне – *метод віртуального віку об'єкту*. Нехай $\varphi_i, i = 1, 2, \dots$ – послідовність випадкових наробітків системи до відмови. Якщо віртуальний вік системи після i -го відновлення $t_i = y$, то умовний розподіл $(i + 1)$ -го наробітку системи до відмови φ_{i+1} описується рівнянням

$$P(\varphi_{i+1} \leq x | t_i = y) = \frac{F_{\varphi_1}(x+y) - F_{\varphi_1}(y)}{1 - F_{\varphi_1}(y)} = P(\varphi_1 \leq x+y | \varphi_1 > y), \quad (8)$$

де $F_{\varphi_1}(x)$ – функція розподілу наробітку до відмови нової системи.

Віртуальний вік системи після $(i+1)$ -го відновлення обчислюється за формулою $t_{i+1} = t_i + \alpha \cdot \varphi_{i+1}$, причому $t_0 = 0$, α – ступінь відновлення і $\alpha \in [0, 1]$; повному відновленню відповідає значення параметра $\alpha = 0$, мінімальному відновленню – значення $\alpha = 1$.

Якщо проведені ремонтні або профілактичні роботи усувають негативні наслідки експлуатації, то величина коефіцієнта α приймає значення, близькі до одиниці. В протилежному випадку, коли стан об'єкта практично не змінився, α прямує до нуля. Безумовно ефект відновлення, що виражається коефіцієнтом α , залежить від коштів, витрачених на проведення цього відновлення. Оцінка параметрів такої моделі може виконуватися, наприклад, за допомогою методу максимальної правдоподібності.

Висновок. Представлена модель вибору тривалості міжремонтних періодів експлуатації енергетичного обладнання враховує економічний ефект і рівень ризику, зв'язаного з експлуатацією даного об'єкту. При розв'язанні задач оптимізації з різним формулюванням цільової функції, запропонованими у даній роботі, можна обчислювати термін проведення першого і наступних ремонтів обладнання енергоблоків також з врахуванням ефекту старіння.

Список літератури: 1. *Кострыкин В.А., Шелепов И.Г.* Мониторинг, диагностика, техническое обслуживание и ремонт как этапы реализации управления ресурсом оборудования энергоблоков АЭС <http://tyrbin.ru/blog/2008-12-30-67> 2. Оптимизация плановых ремонтов энергоблоков атомных электростанций с ВВЭР / под ред. *В.И. Скалозубова*. – Чернобыль: Ин-т проблем безопасности АЭС, 2008. – 496 с. 3. *Малкин В.С.* Надежность технических систем и техногенный риск. – Ростов н/Д: Феникс, 2010. – 432 с. 4. *Ефимов А.В., Потанина Т.В., Каверцев В.Л. и др.* Методы анализа диагностических параметров состояния оборудования энергоблоков ТЭС и АЭС и определение критериев оптимизации продолжительности их плановых ремонтов // Энергетика та електрифікація.–2011.– № 7. – С. 17-21. 5. *Яцура А.И.* Система технического обслуживания и ремонта энергетического оборудования. – М.: изд-во НИЦ ЭНАС, 2006. – 504 с. 6. *Scott F.* Risk Assessment with Uncertain Numbers. – Lewis Publishers, 2002.–214 p. 7. *Адаменков А.К., Рясный С.И.* Применение риск-ориентированного подхода при переходе к стратегии ремонта арматуры АЭС по фактическому состоянию / Вопросы атомной науки и техники. Серия: «Обеспечение безопасности АЭС», Вып.23. Реакторные установки с ВВЭР. Подольск, 2008. – С. 85-88. 8. *Carazas F. G., Souza G.F.M.* Risk-based decision making method for maintenance policy selection of thermal power plant equipment // Energy. – 2010. – 35(2). – pp. 964-975. 9. *Krishnasamy L., Khan F., Haddara M.* Development of a risk-based maintenance (RBM) strategy for power-generating plant // Journal of Loss Prevention in the Process Industries. – 2005. – 18. – pp. 69-81. 10. *Rusin A., Wojaczek A.* Election of maintenance range for power machines and equipment in consideration of risk // Eksploatacja i Niezawodnosc // Maintenance and Reliability. – 2007. – Vol.3. – pp. 40-43. 11. КНД 95.1.0801.55-2004. Руководящий нормативный документ «Организация технического обслуживания и ремонта систем и оборудования атомных электростанций. Основные положения». – К., 2004. 12. *Rusin A., Wojaczek A.* Optymalizacja okresow miedzyremontowych maszyn energetycznych z uwzględnieniem ryzyka // Eksploatacja i Niezawodnosc – Maintenance and Reliability.–2012. –Vol.14, No.1.–pp.72-76. 13. *Пережуда А.И., Тимашов Д.А.* Оценка показателей надежности автоматизированного технологического комплекса «Объект защиты – система безопасности» с нечеткими пара-

метрами методом Монте-Карло // Научная сессия МИФИ – 2010. Сборник научных трудов. – 2010. – Т.5. – С. 144-147. 14. *Kijima M.* Some results for repairable systems with general repair // J. Appl. Prob. – 1989. – V.8. – pp. 89-102.

Надійшла до редколегії 25.10.2012

УДК 519.87

Оптимізація тривалості міжремонтних періодів в експлуатації энергооб'єктів з врахуванням ризику / Т.В. Потаніна // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Математичне моделювання в техніці та технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2012. – № 54(960). – С.170-176. – Бібліогр.: 14 назв.

Цель работ по техническому обслуживанию и ремонту – сохранение либо возвращение допустимого уровня эффективности и безопасности эксплуатации данного объекта. Оптимизация восстановительных процессов позволяет добиться такого результата при наиболее низких затратах. Принят критерий для выбора диапазона ремонтных работ – уровень техногенного риска ниже принятого допустимого уровня. В статье представлена математическая модель оптимизации межремонтных периодов с учетом риска. Неполное восстановление описано на основе модели Киджimy.

Ключевые слова: энергетическое оборудование, эксплуатация, межремонтный период, восстановление, риск.

The goal of preventive as well as corrective maintenances is to keep or to restore acceptable level of efficiency and safety of operation of given object. Optimization of maintenance processes allows obtaining these effects at possibly lowest costs. The assumed criterion for the selection of the range of repair works is the level of technical risk posed by a given facility below the accepted allowable level. Mathematic model of optimization of maintenance intervals having regard to the risk are presented in the paper. Incomplete restoration is described on the basis of Kijima model.

Key words: power equipment, operation, maintenance, repair, risk.

УДК 621.224

О.В. ПОТЕТЕНКО, канд. техн. наук, проф., НТУ «ХПИ»;

Н.Г. ШЕВЧЕНКО, канд. техн. наук, доц., НТУ «ХПИ»;

Е.С. КОВАЛЬ, инженер, НТУ «ХПИ»;

И.И. ТЫНЬЯНОВА, канд. техн. наук, ст. препод., НТУ «ХПИ»

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО УСИЛИЯ, ДЕЙСТВУЮЩЕГО НА КОЛЬЦЕВОЙ ЗАТВОР В ПРОЦЕССЕ ЕГО ОПУСКАНИЯ В ПРОТОЧНУЮ ЧАСТЬ РАДИАЛЬНО-ОСЕВОЙ ГИДРОТУРБИНЫ

Исследуется кольцевой затвор радиально-осевой гидротурбины, выполняющий аварийные функции перекрытия потока. Рассматривается математическая модель неравномерного движения затвора в неподвижной жидкости с заданными граничными условиями. Представлены результаты расчета гидродинамической силы, действующей на кольцевой затвор гидротурбины для различных положений затвора в проточной части и при различных законах его движения.

Ключевые слова: радиально-осевая гидротурбина, кольцевой затвор, гидродинамическая сила.

© О.В. Потетенко, Н.Г. Шевченко, Е.С. Коваль, И.И. Тыньянова, 2012