

7. *Мастрюков Б.С.* Безопасность в чрезвычайных ситуациях: учебное пособие для вузов / Б.С. Мастрюков. – М.: Академия, 2003. – 331 с.
8. Реагування на виникнення надзвичайних ситуацій / під ред. С.О. Гур'єва / ІДУСЦЗ НУЦЗУ; УНПЦ ЕМД та МК. – Вінниця, 2010. – 412 с.
9. *Сердюцька Л.Ф.* До огляду моделей розповсюдження домішок в атмосфері міста / Л.Ф. Сердюцька, О.О. Попов // Моделювання та інформаційні технології. Зб. наук. пр. ІПМЕ ім. Г.Є. Пухова НАН України. – Вип. 45. – К.: 2008. – С.67-80.

Поступила 25.01.2018р.

УДК 620.17:681.3:004.9

Н.Б. Марченко, Київ

Л.М. Щербак, Київ

МЕТОДИ ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ ПРО ПОТОЧНИЙ СТАН ТА ЗАЛИШКОВИЙ РЕСУРС ДІЮЧИХ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

Abstract. Methods of estimation of residual resource, restoration of components of complex technical objects with safe prolongation of their exploitation periods are considered in this paper.

Актуальність

У зв'язку зі скороченням і зупинкою цілого ряду виробництв, проблема продовження термінів експлуатації діючих технічних об'єктів та систем стає важливою і актуальною для нашої країни, про це свідчать результати останніх публікацій [1 – 4].

В даний час продовження терміну експлуатації відновлюваного технічного об'єкта проводиться на основі оцінки залишкового ресурсу його складових частин понад початково призначеного терміну. При цьому певна частина комплектуючих елементів і блоків, які не мають достатній рівень залишкового ресурсу, замінюються на інші, більш надійні і перспективні аналоги. Очевидно, що безпека експлуатації такого роду об'єкта може бути знижена за рахунок не заміненних складових частин, що залишилися функціонувати. Тому, щоб забезпечити застосування і експлуатацію такого виду об'єкта, необхідний, з одного боку, поточний контроль і діагностика залишкового ресурсу всіх не заміненних складових частин об'єкта, з іншого боку, необхідний контроль показників процесів відновлення складових частин об'єкта з урахуванням вимог з безпеки. А це, в свою чергу, вимагає розробки нової методології обробки інформації про залишковий ресурс та відновлення складових частин при безпечному продовженні термінів експлуатації об'єктів.

Аналіз реальних даних про напрацювання і відмови технічних об'єктів показує, що на момент оцінки залишкового ресурсу всередині елементів і складових частин відбувається процес розвитку відмов. Тому для складових частин, що залишилися до цього моменту часу безвідмовними, при обробці інформації не можна застосовувати традиційні показники надійності (гамма-процентний ресурс, середній ресурс і ін.) з двох причин. По-перше, при оцінці цими показниками в оціночних значеннях буде міститися період часу, на якому спостерігаються відмови напрацьованого характеру. По-друге, на момент оцінки надійності самі показники стають функціями від часу, статистичні властивості яких можуть бути зсунутими і неконзистентними. Тобто проводиться апостеріорний аналіз надійності (експериментальної оцінки). Його проводять за допомогою статистичної обробки експериментальних даних про дієздатність і відновлюваність систем, отриманих в результаті досліджень та експлуатації [5].

Аналогічні питання виникають при обробці інформації при відновленні складових частин технічного об'єкта.

Таким чином, в промисловості і експлуатуючих організаціях при обробці інформації про залишковий ресурс та відновлення виникли нові актуальні завдання, що вимагають системного аналізу при безпечному продовженні термінів експлуатації складових частин технічних об'єктів.

Постановка задачі

Мета роботи – знайти системний підхід для вироблення науково-обґрунтованих рішень практичних завдань для найбільш повного і ефективного використання ресурсних можливостей складових частин при забезпеченні безпечного періоду експлуатації технічного об'єкта понад початково призначений термін на основі використання розроблених методів обробки інформації про залишковий ресурс та відновленні.

Згідно з існуючою галузевою системою технічної діагностики і планово-попереджувальних ремонтів (ППР), що використовується на електростанціях, контроль стану енергоагрегатів електричних станцій здійснюється в періоди капітальних ремонтів, що проводяться відповідно до нормативів через 4-5 років. Проведення поточних ремонтних робіт також регламентоване ППР. Проте на практиці нерідко виникає завдання перенесення термінів проведення ремонтно-профілактичних робіт у зв'язку з дефіцитом фінансових ресурсів, необхідних для проведення ремонтів, або з інших причин виробничого характеру. Збільшення міжремонтних періодів у свою чергу, веде до підвищення ризику виникнення аварійних ситуацій [6, 7].

У цих умовах стандартний плановий підхід до проведення ремонтно-профілактичних робіт є неефективним, оскільки не враховує поточний стан зношеного енергетичного обладнання. Тут потрібний індивідуальний підхід до планування ремонтних робіт не по заздалегідь наміченому графіку, а по поточному стану з врахуванням залишкового ресурсу. При цьому необхідно враховувати той факт, що на практиці поточний контроль стану обладнання

може бути здійснений лише по обмеженій множині показників.

Звідси слідує, що для реалізації індивідуального підходу до планування ремонтно-профілактичних робіт потрібна не лише наявність діагностичних систем контролю поточного стану енергообладнання, але й створення відповідної методичної бази моніторингу та прогнозування залишкового ресурсу агрегату по його поточному стану на основі систематизації інформації про різні параметри роботи контрольованого обладнання і міри зносу металоконструкцій.

Як показує практика, реальні дані експлуатації енергоагрегатів мають наступні основні особливості [2, 3]:

- низька інформативність даних внаслідок обмеженості діапазону варіації параметрів;
- помилки в даних внаслідок похибок вимірювань і впливу людського чинника;
- індивідуальний характер допустимих варіацій параметрів кожного енергоагрегату;
- відзеркалення в даних як робочих, так і передаварійних режимів експлуатації обладнання;
- наявність чинників, що не спостерігаються і відповідно не враховуються.

У зв'язку з вказаними особливостями завдання моніторингу і прогнозування узагальненого залишкового ресурсу енергетичного обладнання по поточному стану є складним і повинно вирішуватися із застосуванням сучасних математичних методів системного аналізу і поточних даних вимірювань.

Завдання оперативного розпізнавання передаварійної ситуації на контрольованому устаткуванні за даними поточної експлуатації

Прийняття рішень про передаварійний/аварійний стан за контрольованими частинними ресурсами агрегату здійснюється згідно виразу [1]:

$$R_0(\{R_i\}, t) \leq R_d : \mu(t), \quad (1)$$

де R_0 – узагальнений параметричний ресурс обладнання; R_d – значення передаварійної межі для узагальненого параметричного ресурсу; $\mu(t)$ – індикаторна функція.

Для використання лінійними виразами виконується еквівалентне перетворення (лінеаризація) виразу (1) [2, 3]:

$$\ln \left(\prod_{i=1}^n R_i^{\alpha_i}(t) \right) \leq \ln(R_d) \quad (2)$$

$$\ln(R_i) = x_i \quad (3)$$

$$-\ln(R_d) = \alpha_0 \quad (4)$$

$$\frac{\alpha_i}{\alpha_0} = a_i. \quad (5)$$

З урахуванням (2)-(5) перепишемо (1) у вигляді:

$$\sum_{i=1}^n a_i x_i + 1 \leq 0. \quad (6)$$

При такій постановці завдання уся інформація можна представити у вигляді наступної системи нерівностей [1, 2, 8]:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n a_i x_{is} + 1 \leq 0, s \in I_a \\ \sum_{i=1}^n a_i x_{is} + 1 > 0, s \in I_p \end{cases} \quad (7)$$

де x_{is} – значення i -го параметричного частинного ресурсу для s -ої події з потоку $\tau_H(s=1, \overline{N}, N$ – загальне число подій в потоці); I_a, I_p , – індексні множини передаварійних ситуацій і ситуацій нормальної роботи відповідно.

Ставиться завдання, знайти такі значення коефіцієнтів $a_i (i = \overline{1, n})$, при яких підсистема нерівностей (7) була б сумісна. Мінімізуюча функція, що мінімізується, отримана на основі відомого методу найменших квадратів, має наступний вигляд:

$$E_O^2 = (1-\gamma)E_p^2 + \gamma E_a^2 = \frac{1}{N} \left[(1-\gamma) \sum_{s \in I_p} \left(\left(\sum_{i=1}^n b_i^2 x_{is} + 1 \right)^- \right)^2 + \right. \\ \left. + \gamma \sum_{s \in I_p} \left(\left(\sum_{i=1}^n b_i^2 x_{is} + 1 \right)^+ \right)^2 \right] \quad (8)$$

де $a_i = b_i^2$ – шукані коефіцієнти; s – індекс статистичних даних; знаки "+" і "-" вказують, що розглядаються відповідно тільки додатні і від'ємні значення виразу, наведеного в дужках:

$$(f)^+ = \begin{cases} f, & f > 0 \\ 0, & f \leq 0 \end{cases}, \quad (f)^- = \begin{cases} f, & f < 0 \\ 0, & f \geq 0 \end{cases}$$

Для вирішення поставленого завдання оптимізації розглядалися кілька відомих методів: метод простого покоординатного спуску (ППС), метод градієнтного пошуку (ГП), метод пошуку глобального екстремуму. При

вирішенні щодо простих (унімодальних) завдань використовувалися методи ППС і ГП, які дають практично ідентичні результати (при всіх інших однакових умовах). Однак методу ППС для функцій з великим числом шуканих параметрів (координат) потрібно в кілька разів більше часу для проведення розрахунків, ніж методу ГП [5].

На практиці можлива ситуація, коли об'єм наявної статистичної інформації є недостатнім для вирішення оптимізаційного завдання. В цьому випадку, вагові коефіцієнти α_i – неможливо визначити з умови мінімуму помилок прийняття рішення, і вони використовуються лише в ролі вагових коефіцієнтів, за допомогою яких здійснюється згортка частинних показників ресурсів агрегату в один узагальнений показник ресурсу контрольованого агрегату в цілому. Подібна згортка здійснюється експертною оцінкою – оцінкою впливу частинних показників ресурсу на загальні стани обладнання. Для цього кожен з множини N_E експертів E_j оцінює кожен з даних частинних ресурсів R_j , у балах β_{ij} (наприклад, від 0 до 10) з точки зору значущості цього ресурсу в загальному стані агрегату. Формується таблиця експертних оцінок :

Таблиця 1

Експертні оцінки частинних ресурсів

Ресурс\Експерт	E_1	E_2	...	E_{N_E}
R_1	β_{11}	β_{12}	...	β_{1N_E}
R_2	β_{21}	β_{22}	...	β_{2N_E}
...
R_n	β_{n1}	β_{n2}	...	β_{nN_E}

Після цього для кожного з частинних ресурсів R_i виконується нормування оцінок з урахуванням обмежень $a_i \geq 0, \sum_i a_i = 1, i = \overline{1, n}$, за формулою [6]:

$$a_i = \frac{\sum_{j=1}^{N_E} \beta_{ij}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{N_E} \beta_{ij}} . \quad (9)$$

Потім вирішується оптимізаційна задача мінімізації пропусків аварійних ситуацій і виникнення помилкових тривог, але вже відносно одного

невідомого параметра R_d . Слід зазначити, що при повній відсутності статистики даних поточних несправностей (наприклад, контрольований агрегат тільки вийшов з чергового капітального ремонту), значення передаварійної межі узагальненого параметричного ресурсу прирівнюється нулю $R_d = 0$.

Далі, на підставі знайдених і нормованих вагових коефіцієнтів α_i розраховується узагальнений параметричний ресурс R_0 за формулою:

$$R_0(t) = \prod_{i=1}^n R_i^{\alpha_i}(t).$$

Завдання оперативної оцінки поточного узагальненого залишкового ресурсу контрольованого обладнання

Для розрахунку невідомих коефіцієнтів α_i і σ_i використовують вираз [1]:

$$\Delta\tau_p(t) = \Delta\tau_\Phi(t), \quad (10)$$

де $\Delta\tau_p(t)$, $\Delta\tau_\Phi(t)$ – розрахункове і фактичне значення напрацювання τ_H відповідно.

Дане оптимізаційне завдання, як і більшість прикладних завдань, вирішується із заданою точністю, що визначається дискретністю інтервалу часу локалізації аварійної ситуації. Стосовно даного завдання точність або довірчий інтервал отриманого розв'язку буде виражено відповідно в одиницях часу (наприклад, щодобово). Під пропуском аварійної ситуації розуміється таке розрахункове значення τ_H , яке перевищує фактичне значення з урахуванням заданої точності. Відповідно під виникненням помилкової тривоги розуміється таке розрахункове значення τ_H , яке менше фактичного значення з урахуванням заданої точності. При цьому точність або довірчий інтервал пропуску аварійної ситуації і виникнення помилкової тривоги в загальному випадку можуть бути різні. Аналітичний запис описаних двох випадків представлено у вигляді наступної системи [2]:

$$\begin{cases} a_0 \prod_{i=1}^n R_i^{\sigma_i}(t) \geq \Delta\tau_\Phi - d_{\text{ПР}}; \\ a_0 \prod_{i=1}^n R_i^{\sigma_i}(t) \leq \Delta\tau_\Phi - d_{\text{ПТ}} \end{cases}, \quad (11)$$

де $d_{\text{ПР}}$, $d_{\text{ПТ}}$ – задана точність пропуску аварійної ситуації і виникнення помилкової тривоги відповідно.

Сформулюємо задачу оптимізації. Для операцій з лінійними виразами проведемо наступні перетворення нерівностей системи (11):

$$\begin{aligned}
D_{ПТ} &= -\ln(\Delta\tau_{\Phi} - d_{ПТ}) \\
D_{ПР} &= -\ln(\Delta\tau_{\Phi} + d_{ПТ}) \\
\sigma_0 &= \ln(a_0) \\
x_i &= \ln(R_i)
\end{aligned}
\tag{12}$$

З урахуванням перетворень (12) переписемо систему нерівностей (11) в наступному вигляді:

$$\begin{cases}
\sigma_0 + \sum_{i=1}^n \sigma_i x_i + D_{ПТ} \geq 0; \\
\sigma_0 + \sum_{i=1}^n \sigma_i x_i + D_{ПР} \leq 0;
\end{cases}
\tag{13}$$

Запишемо функцію, що мінімізується [6]:

$$\begin{aligned}
E_{\tau}^2 &= \frac{1}{N} \left[(1-\beta) \sum_s \left(\left(\sigma_0 + \sum_{i=1}^n \sigma_i x_{is} + D_{ПТs} \right)^- \right)^2 + \right. \\
&\quad \left. + \beta \sum_s \left(\left(\sigma_0 + \sum_{i=1}^n \sigma_i x_{is} + D_{ПРs} \right)^+ \right)^2 \right]
\end{aligned}
\tag{14}$$

Для врахування введемо в (14) наступні величини [1]:

$$W = \left(\sum_{i=1}^n \sigma_i - 1 \right)^2, \omega_i^2 = \sigma_i
\tag{15}$$

У результаті отримаємо [2]:

$$\begin{aligned}
E_{\tau}^2 &= \frac{1}{N} \left[(1-\beta) \sum_s \left(\left(\sigma_0 + \sum_{i=1}^n \omega_i^2 x_{is} + D_{ПТs} \right)^- \right)^2 + \right. \\
&\quad \left. + \beta \sum_s \left(\left(\sigma_0 + \sum_{i=1}^n \omega_i^2 x_{is} + D_{ПРs} \right)^+ \right)^2 \right] + \eta \left(\sum_{i=1}^n \omega_i^2 - 1 \right)
\end{aligned}
\tag{16}$$

де η – коефіцієнт штрафної функції W .

В результаті мінімізації функції (16) і з урахуванням перетворень (15) знаходяться такі питомі вагові коефіцієнти σ_i і масштабний коефіцієнт α_0 , які, мінімізуючи ризики пропуску аварійної ситуації і виникнення помилкової тривоги, однозначно визначають вирази для розрахунку τ_n :

$$\tau_H(t) = t + \Delta\tau(t) : v(t) \quad (17)$$

$$\Delta\tau(t) = a_0 \prod_{i=1}^n R_i^{\sigma_i}(t) \quad (18)$$

де $\Delta\tau$ – інтервал часу між відмовами τ_H ; σ_i – питомі вагові коефіцієнти даних частинних ресурсів обладнання на інтервалі $\Delta\tau$; a_0 – масштабний коефіцієнт; $v(t)$ – індикаторна функція відмов.

Після розв’язання (17) для розрахунку часу між подіями в даному потоці несправностей, оцінка величини залишкового ресурсу контрольованого обладнання визначається за формулою:

$$R_{3АЛ}(t) = \frac{\tau_H(t) - t}{\tau_H(t)}, \quad t \in T, \quad (19)$$

де $R_{3АЛ}$ – залишковий ресурс обладнання; t – поточний час з моменту закінчення останнього поточного ремонту.

Висновки

У роботі розроблені методи вибору часових моментів контролю працездатності об’єкта при забезпеченні заданої безпеки, а також методи оцінок залишкового ресурсу складових частин технічних об’єктів при безпечному продовженні їх строків експлуатації. Розроблені методи дозволяють проводити аналіз і обробку інформації про надійність, на основі яких можуть бути прийняті рішення щодо безпечного продовження або обмеження спочатку призначених показників ресурсу.

1. *Марченко Н.Б.* Моніторинг та прогнозування залишкового ресурсу діючих технічних об’єктів/ Н.Б. Марченко, Л.М. Щербак // Моделювання та інформаційні технології. Зб. наук. пр. ІПМЕ ім. Г.Є. Пухова НАН України. – Вип. 81. – К.: 2017. – С.61-69.
2. *Марченко Н.Б.* Прогнозування поточного залишкового ресурсу для визначення першочергових заходів ремонтно-профілактичних робіт технологічних комплексів / Н.Б. Марченко // Моделювання та інформаційні технології. Зб. наук. пр. ІПМЕ ім. Г.Є. Пухова НАН України. – Вип. 80. – К.: 2017. – С.87-94.
3. *Канцедалов В.Г.* Новые аспекты в теории и практике надежности энергооборудования ТЭС, вырабатывающего физический ресурс/ В.Г. Канцедалов, Г.П. Берлявский, В.Ф. Злепко и др. // Электрические станции, 2015. – №3. – С.45-55.
4. *Назарычев А.Н.* Обоснование сроков эксплуатации оборудования/ А.Н. Назарычев, А.И. Таджибаев // Промышленная энергетика, 2015. – №4. – С.20.
5. *Бабак С.В.* Статистическая диагностика электротехнического оборудования: Монография / С.В. Бабак, М.В. Мыслович, Р.М. Сысак // – К.: Ин-т электродинамики НАН Украины, 2015. – 456 с.
6. *Надежность технических систем: Справочник / под ред. И.А. Ушакова.* – М.: Радио и связь, 1985. – 608 с.

7. ДСТУ 8646:2016. Надійність техніки. Оцінювання та прогнозування залишкового ресурсу (строку служби) технічних систем. – К.: ІПММС НАНУ. – 2016.
8. *Марченко Н.Б.* Методи оцінювання точності інформаційно-вимірвальних систем діагностики. Монографія / Н.Б. Марченко, В.В. Нечипорук, О.П. Нечипорук, Ю.В. Пепа // К.: Вид-во ПВП «Задруга», 2014. – 200 с.

Поступила 12.02.2018р.

УДК 621.039.56;681.3.015

В.О. Статів, ИПМЭ им. Г.Е. Пухова НАН Украины, г. Киев
В.Д. Самойлов, д.т.н., проф., главный научный сотрудник Института проблем моделирования в энергетике им. Г.Е. Пухова НАН Украины, г. Киев

ОРГАНИЗАЦИЯ ВВОДА ПАРАМЕТРОВ МНЕМОСХЕМЫ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ В МОДЕЛЬ КОММУТАЦИОННОЙ СТРУКТУРЫ (КС)ТРЕНАЖЕРА

Abstract. The algorithm for creating and processing mnemonics, its shortcomings, as well as the changes that were made to improve the process of creating mnemonic diagrams and further work with them will be considered.

Разработка методов автоматизации ввода коммутационной структуры и параметров компонентов мнемосхем в модель тренажера, является важной частью большого проекта по созданию тренажеров для диспетчерского персонала распределительной сети. Далее пойдет речь о работе с мнемосхемами с помощью пакета AdobeFlash[3]. Будет рассмотрен алгоритм по созданию и обработке мнемосхем, его недостатки, а также изменения, которые были приняты для повышения эффективности процесса создания мнемосхем. Необходимость данного решения обусловлена необходимостью получения исходных данных для решения СЛАУ, а именно параметров элементов мнемосхемы и списка смежности на основе мнемосхемы.

Мнемосхема (МС) [1] — совокупность сигнальных устройств и сигнальных изображений оборудования и внутренних связей контролируемого объекта, размещаемых на диспетчерских пультах, операторских панелях или выполненных на персональном компьютере. Информация, которая выводится на мнемосхему, может быть представлена в виде аналогового, дискретного и релейного сигнала, а также графически.

Спецификация ВРМН задает графическую нотацию для отображения бизнес-процессов в виде диаграмм. ВРМН ориентирована как на технических специалистов, так и на бизнес-пользователей. Для этого язык использует базовый набор интуитивно понятных элементов, которые позволяют определять сложные семантические конструкции.