

DOI: 10.18372/2310-5461.51.15691

УДК 519.233.2: 621.391.83 (045)

М. Ю. Заліський, д-р техн. наук, доц.
Національний авіаційний університет
orcid.org/0000-0002-1535-4384
e-mail: maximus2812@ukr.net;

О. В. Соломенцев, д-р техн. наук, проф.
Національний авіаційний університет
orcid.org/0000-0002-3214-6384
e-mail: avsolomentsev@ukr.net;

О. В. Зуєв, канд. техн. наук, доц.
Національний авіаційний університет
orcid.org/0000-0002-4520-3288
e-mail: 0801zuiev@gmail.com;

Ю. В. Петрова, канд. техн. наук, доц.
Національний авіаційний університет
orcid.org/0000-0002-3768-7921
e-mail: panijulia@nau.edu.ua

АНАЛІЗ ПРОЦЕСІВ ПОГІРШЕННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ СКЛАДНИХ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ ТА РАДІОЕЛЕКТРОННИХ СИСТЕМ

Вступ

Телекомунікаційні та радіоелектронні системи (ТРЕС) у цивільній авіації мають значний вплив на безпеку та регулярність польотів повітряних суден [1; 2]. Для підтримки заданого рівня надійності та експлуатаційної стабільності ТРЕС зазвичай застосовують різні методи резервування [3]. Як відомо, існує п'ять основних видів резервування, а саме: інформаційне, структурне, функціональне, навантажене та часове [4; 5].

Під час використання ТРЕС за призначенням використовуються різні процеси для підвищення ефективності експлуатації, серед яких: технічне обслуговування, ремонт, продовження терміну служби тощо [6]. Ці процеси містять такі процедури: моніторинг параметрів, контроль технічного стану, діагностування, відновлення працездатності, вимірювання тощо.

Початковою інформацією під час виконання процесів експлуатації є статистичні дані щодо показників надійності та визначальних параметрів. У процесі експлуатації технічний стан ТРЕС може погіршитися. Це пояснюється можливістю виникнення пошкоджень, несправностей та відмов обладнання, нестабільністю напруги джерел живлення, умовами навколишнього середовища, можливістю неправильних дій з технічного обслуговування тощо. У наслідок цього виникають нестаціонарності у трендах показників надійності та визначальних параметрів [7]. Аналіз показав, що існують різні наукові результати, пов'язані з дослідженням систем з погіршеним

технічним станом функціонування, але недостатня увага приділяється складним ТРЕС, особливо у випадках резервування як їх складових частин, так і ТРЕС загалом.

Аналіз літератури

Погіршення технічного стану має негативний вплив не тільки на рівень безпеки та регулярності польотів повітряних суден, а й на рівень експлуатаційних витрат на технічне обслуговування. Погіршення технічного стану призводить до зменшення періодичності технічного обслуговування, що не сприяє забезпеченню мінімальних експлуатаційних витрат [6]. Досвід експлуатації ТРЕС показав, що аналіз системи з погіршеним станом є однією з найважливіших науково-практичних проблем [7; 8].

Проблема аналізу погіршення технічного стану пов'язана з дослідженням розладнання [9]. Під розладнанням розуміють момент переходу деякої змінної з одного стану (у загальному випадку стаціонарного) в інший (у загальному випадку нестаціонарний). Існує два типи задач під час дослідження розладнання: 1) виявлення розладнання та 2) оцінювання параметрів. Перша задача пов'язана лише з прийняттям рішення щодо наявності розладнання. Друга задача передбачає синтез оцінок трендів параметрів після виникнення розладнання. Аналіз літератури показав, що зазначені задачі можна вирішити на основі методів теорії ймовірностей, математичної статистики, сегментованого регресійного аналізу тощо [8–11].

Постановка завдання

У статтях [11–13] розглядаються питання синтезу та аналізу алгоритмів виявлення розладнання, які засновані на апостеріорному аналізі з наперед відомим обсягом вибірки [11]; на основі критерію Неймана–Пірсона з накопиченням обсягу вибірки та розрахунком порогів за методикою Беллмана [12]; на основі послідовного аналізу Вальда [13]. Зазначені алгоритми застосовують у випадку функціонування нерезервованої ТРЕС. У праці [14] представлені методи розрахунку параметрів надійності резервованої радіонавігаційної системи у разі відсутності погіршення її технічного стану.

Слід зазначити, що ТРЕС з резервуванням зазвичай досліджуються в літературі за період нормальної експлуатації без погіршення технічного стану. Вищезазначене дозволяє сформулювати та підкреслює необхідність розроблення методів статистичного оброблення даних щодо показників надійності та визначальних параметрів ТРЕС у випадках їх резервування та можливості погіршення технічного стану їх складових частин.

Задачі дослідження

Метою цієї статті є синтез та аналіз алгоритму виявлення розладнання у трендах показників надійності ТРЕС з резервуванням.

Цей алгоритм спрямований на швидке прийняття рішення щодо погіршення технічного стану та підвищення ефективності експлуатації ТРЕС.

Для досягнення мети дослідження було вирішено такі завдання:

- дослідження статистичних моделей надійності резервованої ТРЕС з погіршеним технічним станом,
- розроблення алгоритму виявлення на основі багатократної перевірки гіпотез,
- побудова характеристик виявлення досліджуваного алгоритму.

Синтез і аналіз алгоритму визначення точки змін стану

Як відомо, оптимальний алгоритм виявлення може бути побудований в умовах апріорної невизначеності. У цій статті автори припустили певні обмеження для спрощення математичних розрахунків.

Предметом дослідження є резервована ТРЕС, яка показана на рис. 1. Різні показники надійності, такі як середній час між відмовами, інтенсивність відмов, коефіцієнт оперативної готовності, коефіцієнт технічного використання та інші, можуть характеризувати функціонування ТРЕС [15]. У цій роботі в якості показника обрано інтенсивність відмов.

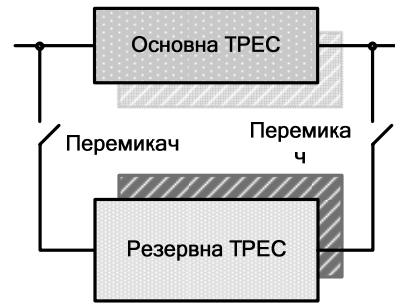


Рис. 1. Резервована ТРЕС

Основна ТРЕС та резервне обладнання за період нормальної експлуатації характеризуються однаковою інтенсивністю відмов λ та експоненційним часом між відмовами. Відмови є незалежними випадковими величинами. Резервний блок до виходу з ладу основного обладнання знаходиться в полегшеному режимі. Після виходу з ладу основного обладнання резервна ТРЕС вмикається. Перемикач є ідеальним, ймовірність його відмови дорівнює нулю. Припустимо, що ремонт виконується для обох систем лише після виходу з ладу резервного обладнання.

Припустимо, що модель погіршення технічного стану описується двовимірною функцією Хевісайда. Така модель має дві точки розладнання. Перша точка розладнання характеризується номером відмови k_1 , після якої інтенсивність відмов однієї з ТРЕС (не обов'язково основної) буде дорівнює λ_{det} ($\lambda_{det} > \lambda$). Друга точка зміни стану характеризується номером відмови k_2 , після якої інтенсивність відмов іншої ТРЕС дорівнюватиме λ_{det} . Значення k_1 і k_2 є випадковими величинами, які невідомі заздалегідь. Щільність розподілу ймовірності (ЩРІ) для k_1 та k_2 є довільною. Тому ТРЕС з резервуванням у разі погіршення технічного стану характеризується трьома станами:

- 1) нормальна експлуатація (інтенсивність відмов для обох ТРЕС дорівнює λ);
- 2) початкове погіршення (інтенсивність відмов для однієї з ТРЕС дорівнює λ , а для іншої — λ_{det});
- 3) інтенсивний знос або двоетапне погіршення (інтенсивність відмов для обох ТРЕС дорівнює λ_{det}).

Розглянемо процедуру прийняття рішення щодо технічного стану резервованої ТРЕС на основі багатоальтернативної перевірки гіпотез та з використанням критерію Неймана–Пірсона. Нехай гіпотеза H_0 — відсутність погіршення технічного стану; альтернатива H_1 — початкове погіршення технічного стану; альтернатива H_2 — двоетапне погіршення технічного стану.

Для знаходження вирішальної статистики необхідно визначити ЩРІ для гіпотез та альтернатив. Відповідно до зазначеного обмеження, напруцювання на відмову обох ТРЕС є експоненціально розподіленими випадковими величинами, тому під час нормальної експлуатації маємо

$$f(t_1) = \lambda e^{-\lambda t_1} h(t_1),$$

$$f(t_2) = \lambda e^{-\lambda t_2} h(t_2),$$

де $h(t)$ — функція Хевісайда, t_1 і t_2 — часові моменти виникнення відмов для основної та резервної ТРЕС. Після розладнання інтенсивність відмов у цих ЩРІ буде дорівнювати λ_{det} .

Момент виникнення відмови для резервованої ТРЕС дорівнює сумі t_1 і t_2 , тобто $t = t_1 + t_2$. Тоді його ЩРІ

$$f(t) = \int_0^t f(t_1) f(t_2) \Big|_{t_2=t-t_1} dt_1.$$

Розглянемо три випадки, які відповідають можливим умовам експлуатації резервованої ТРЕС. У разі нормальної експлуатації

$$f(t) = \int_0^t \lambda e^{-\lambda t_1} \lambda e^{-\lambda(t-t_1)} dt_1 = \lambda^2 t e^{-\lambda t}.$$

У разі початкового погіршення можливі дві ситуації:

а) перше погіршення стану відбувається в основній ТРЕС, тому ЩРІ часу між відмовами буде

$$f(t) = \int_0^t \lambda_{\text{det}} e^{-\lambda_{\text{det}} t_1} \lambda e^{-\lambda(t-t_1)} dt_1 = \frac{\lambda \lambda_{\text{det}} (e^{-\lambda t} - e^{-\lambda_{\text{det}} t})}{\lambda_{\text{det}} - \lambda};$$

б) спочатку погіршується стан резервної ТРЕС, тому ЩРІ часу між відмовами буде

$$f(t) = \int_0^t \lambda e^{-\lambda t_1} \lambda_{\text{det}} e^{-\lambda_{\text{det}}(t-t_1)} dt_1 = \frac{\lambda \lambda_{\text{det}} (e^{-\lambda t} - e^{-\lambda_{\text{det}} t})}{\lambda_{\text{det}} - \lambda}.$$

Отримане рівняння збігається з попереднім, тому ЩРІ часу між відмовами не залежить від того, яка система (основна чи резервна) відмовляє першою.

У разі двоетапного погіршення ЩРІ часу між відмовами буде дорівнювати

$$f(t) = \int_0^t \lambda_{\text{det}} e^{-\lambda_{\text{det}} t_1} \lambda_{\text{det}} e^{-\lambda_{\text{det}}(t-t_1)} dt_1 = \lambda_{\text{det}}^2 t e^{-\lambda_{\text{det}} t}.$$

Отже, ЩРІ для гіпотези та альтернатив можна записати таким чином:

$$f(t/H_0) = \lambda^2 t e^{-\lambda t} h(t);$$

$$f(t/H_1) = \begin{cases} \lambda^2 t e^{-\lambda t} h(t), & \text{if } 0 < k < k_1, \\ \frac{\lambda \lambda_{\text{det}}}{\lambda_{\text{det}} - \lambda} (e^{-\lambda t} - e^{-\lambda_{\text{det}} t}) h(t), & \text{if } k \geq k_1; \end{cases}$$

$$f(t/H_2) = \begin{cases} \lambda^2 t e^{-\lambda t} h(t), & \text{if } 0 < k < k_1, \\ \frac{\lambda \lambda_{\text{det}}}{\lambda_{\text{det}} - \lambda} (e^{-\lambda t} - e^{-\lambda_{\text{det}} t}) h(t), & \text{if } k_1 \leq k < k_2, \\ \lambda_{\text{det}}^2 t e^{-\lambda_{\text{det}} t} h(t), & \text{if } k \geq k_2, \end{cases}$$

де k — це поточна кількість відмов.

Для прийняття рішення щодо технічного стану резервованої ТРЕС формуються дві вирішальні статистики. Перша вирішальна статистика відповідає перевірці між гіпотезою H_0 та альтернативою H_1 . Друга вирішальна статистика відповідає перевірці між гіпотезою H_0 та альтернативою H_2 . Перше відношення правдоподібності

$$\Lambda_1(\bar{t}_n, \lambda, \lambda_{\text{det}}, k_1) = \frac{\prod_{i=1}^n f(t_i/H_1)}{\prod_{i=1}^n f(t_i/H_0)} =$$

$$= \left(\frac{\lambda_{\text{det}}}{\lambda} \frac{1}{\lambda_{\text{det}} - \lambda} \right)^{n-k_1+1} \prod_{i=k_1}^n \frac{1 - e^{-(\lambda_{\text{det}} - \lambda)t_i}}{t_i}.$$

Друге відношення правдоподібності

$$\Lambda_2(\bar{t}_n, \lambda, \lambda_{\text{det}}, k_1, k_2) = \left(\frac{\lambda_{\text{det}}}{\lambda} \right)^{2n+2-k_2-k_1} \times \frac{1}{(\lambda_{\text{det}} - \lambda)^{k_2-k_1}} \prod_{i=k_1}^{k_2-1} \frac{1 - e^{-(\lambda_{\text{det}} - \lambda)t_i}}{t_i} \prod_{i=k_2}^n e^{-(\lambda_{\text{det}} - \lambda)t_i}.$$

Отримані функції правдоподібності є вирішальними статистиками. Вони генеруються для всіх напруцювань на відмову \bar{t}_n із обсягом вибірки n , заздалегідь визначеним значенням інтенсивності відмов λ та інтенсивністю відмов після розладнання λ_{det} , яку необхідно виявити. Значення k_1 і k_2 змінюються послідовно в діапазоні $[1; n]$. Це призводить до того, що перша вирішальна статистика містить n відліків, а друга вирішальна статистика — двовимірний масив із розміром $n \times n$. Далі необхідно розрахувати два порогові значення V_1 і V_2 для відповідних вирішальних статистик.

Для спрощення розрахунків було зроблено припущення про нормальну ЩРІ для значень обох вирішальних статистик.

Для кожної ЩРІ було знайдено математичне сподівання та дисперсію на основі теорії функціонального перетворення випадкових величин. Для заданої ймовірності α помилки першого роду (однаково для кожної процедури перевірки гіпотез) порогові значення визначаються, розв'язуючи такі рівняння:

$$\int_{V_1}^{\infty} f(\Lambda_1 / H_0) d\Lambda_1 = \alpha, \quad \int_{V_2}^{\infty} f(\Lambda_2 / H_0) d\Lambda_2 = \alpha.$$

Рішення приймається таким чином:

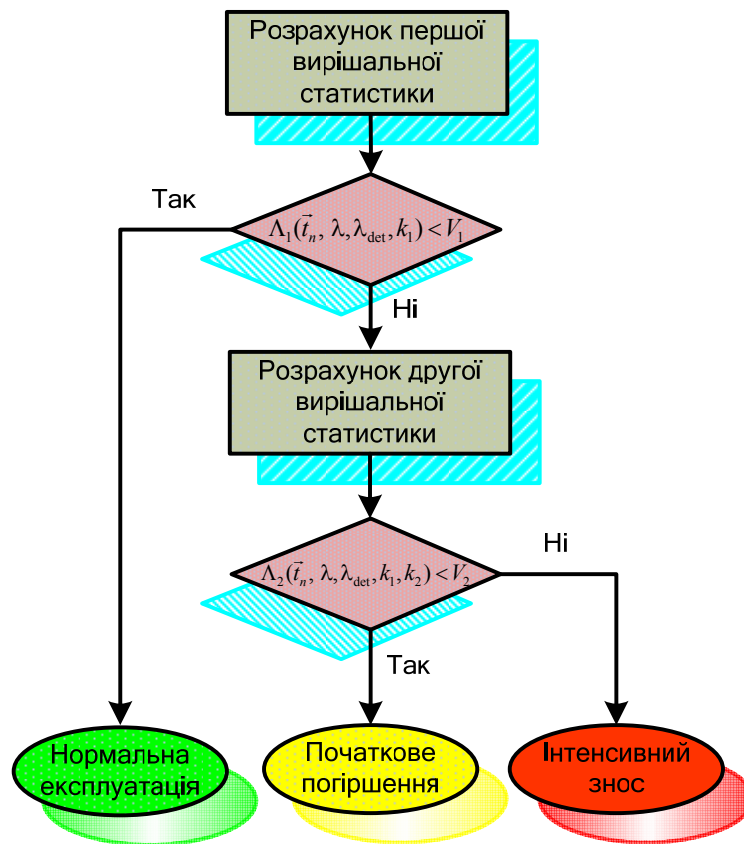


Рис. 2. Прийняття рішення щодо технічного стану резервованої ТРЕС

Під час аналізу ефективності алгоритму виявлення розладнання зазвичай розраховують характеристику виявлення.

Характеристика виявлення показує залежність ймовірності правильного виявлення D від значення інформаційного параметру. Тож у цьому дослідженні для вирішення проблеми аналізу необхідно обчислити залежність $D(\lambda_{det})$.

Зробивши припущення про необхідність виявлення лише факту початкового погіршення, ймовірність правильного виявлення можна записати у вигляді

1) приймаємо гіпотезу H_0 , якщо

$$\Lambda_1(\bar{t}_n, \lambda, \lambda_{det}, k_1) < V_1;$$

2) приймаємо гіпотезу H_1 , якщо

$$\Lambda_1(\bar{t}_n, \lambda, \lambda_{det}, k_1) \geq V_1 \text{ та} \\ \Lambda_2(\bar{t}_n, \lambda, \lambda_{det}, k_1, k_2) < V_2;$$

3) приймаємо гіпотезу H_2 , якщо

$$\Lambda_1(\bar{t}_n, \lambda, \lambda_{det}, k_1) \geq V_1 \text{ та} \\ \Lambda_2(\bar{t}_n, \lambda, \lambda_{det}, k_1, k_2) \geq V_2.$$

Послідовність процедур прийняття рішення щодо технічного стану ТРЕС з резервуванням показано на рис. 2.

$$D = \int_{V_1}^{\infty} f(\Lambda_1 / H_0) d\Lambda_1.$$

Характеристику виявлення можна розрахувати аналітично та на основі результатів статистичного моделювання.

У цій статті представлено розв'язування задачі аналізу на основі методу моделювання Монте-Карло.

Початковими даними для моделювання є: інтенсивність відмов $\lambda = 10^{-3}$ годин $^{-1}$; інтенсивність відмов після розкладання, яку потрібно

виявити $\lambda_{det} = 2 \cdot 10^{-3}$ годин⁻¹; кількість відмов, що відповідають початковому погіршенню стану $k_1 = \{10; 15; 20\}$; кількість відмов, що відповідає другій точці зміни параметрів $k_2 = 45$; розмір вибірки для прийняття рішень $n = 50$; імовірність помилки першого роду $\alpha = 0.1$; кількість повторень процедур $m = 1000$.

Процедура моделювання складається з таких кроків:

1. Генерування випадкових величин з розподілами, що відповідають нормальній експлуатації, початковому погіршенню технічного стану та інтенсивному зносу. Приклади трьох реалізацій напрацювань на відмову ТРЕС з резервуванням наведені на рис. 3.

2. Розрахунок порогів для прийняття рішень.

3. Розрахунок вирішальної статистики. Приклади вирішальної статистики для різних значень кількості відмов, що відповідають початковому погіршенню стану, наведені на рис. 4.

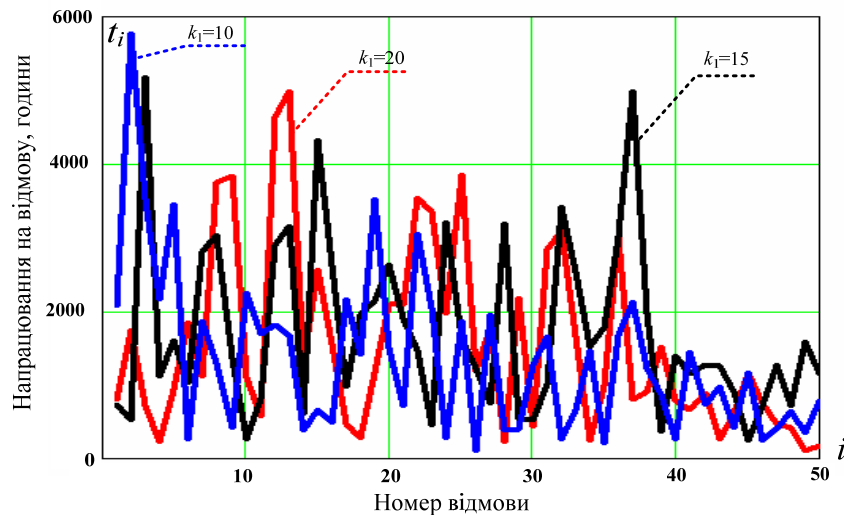


Рис. 3. Приклади реалізації тренду напрацювань на відмову для резервованої ТРЕС

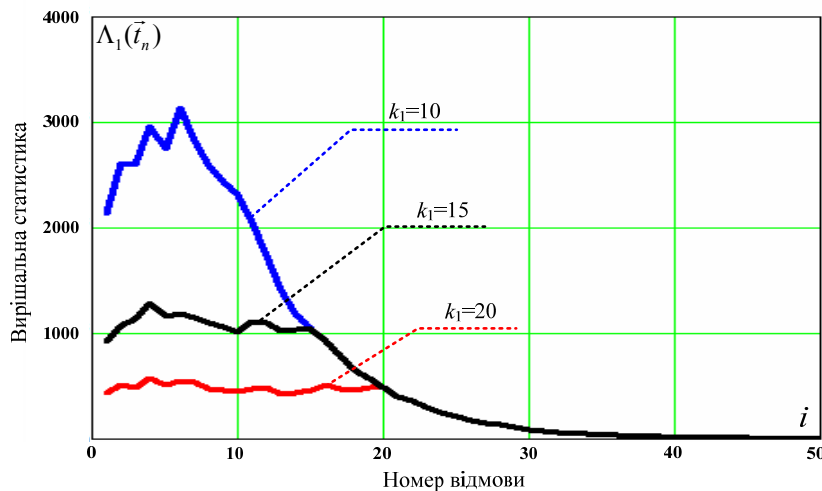


Рис. 4. Вирішальна статистика для різних значень кількості відмов, що відповідає початковому погіршенню стану ТРЕС

Аналіз рис. 4 показує, що вирішальна статистика складається з двох сегментів:

- а) лінійних із тенденцією збільшення до початкового погіршення технічного стану,
- б) квадратичного зі тенденцією зменшення після початкового погіршення технічного стану.

4. Розрахунок характеристики виявлення. Приклади характеристик виявлення для різних

значень кількості відмов, що відповідають початковому погіршенню технічного стану, наведені на рис. 5.

За характеристикою виявлення ймовірність правильного виявлення знаходиться у діапазоні $[0.981; 0.985]$ у разі $\lambda_{det} / \lambda = 2$ для трьох значень параметру k_1 .

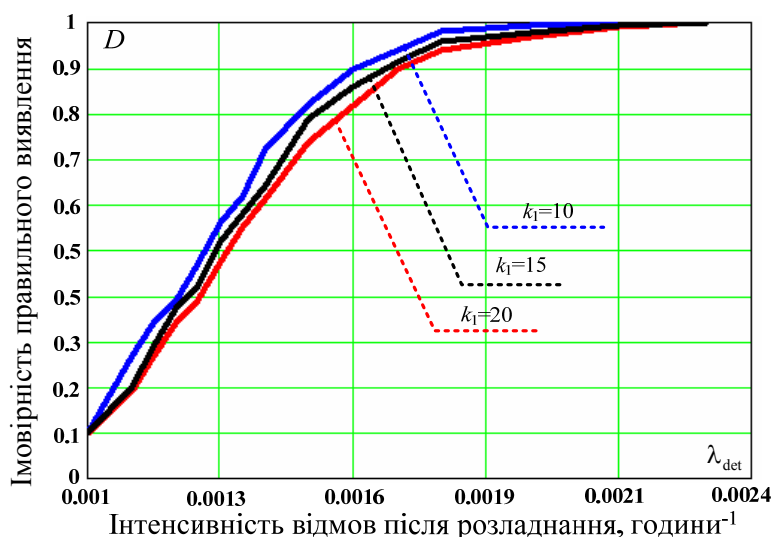


Рис. 5. Характеристики виявлення для різних значень кількості відмов, що відповідають початковому погіршенню технічного стану

Більш детальний аналіз результатів на рис. 5 показує, що запропонований алгоритм має достатні характеристики виявлення. Зміна моменту виникнення початкового погіршення технічного стану слабо впливає на ймовірність правильного виявлення. Ймовірність D повільно зменшується у разі збільшення k_1 .

Висновки

Стаття присвячена вирішенню задачі синтезу та аналізу алгоритму оброблення статистичних даних під час експлуатації резервованої ТРЕС у випадку погіршення її технічного стану. Розроблений алгоритм спрямований на виявлення факту виникнення погіршення технічного стану.

Синтез процедури оброблення даних базується на використанні багатоальтернативної перевірки гіпотез та критерію Неймана–Пірсона. Для побудови правила прийняття рішень були отримані аналітичні співвідношення для щільності розподілу ймовірності напрацювань на відмову для випадку нормальної експлуатації, початкового погіршення технічного стану та інтенсивного зносу.

Під час вирішення задачі аналізу були розраховані характеристики виявлення розладнання. Розрахунок проводився на основі методу статистичного моделювання. Результати досліджень можуть бути використані під час розроблення та вдосконалення систем експлуатації авіаційних ТРЕС.

ЛІТЕРАТУРА

- [1] Ostroumov I. V., Kuzmenko N. S. Incident detection systems, airplanes. In: Vickerman R. *International Encyclopedia of Transportation*. 2021. Vol. 2. 4569 p.
- [2] Sineglazov V., Shildskyi S. Navigation systems based on GSM // *Methods and Systems of Navigation and Motion Control (MSNMC). Proceedings of the IEEE 3rd International Conference*. (October 14–17, 2014. Kyiv, Ukraine), pp. 95–98.
- [3] Kharchenko V. P., Bugayko D., Ostroumov I. V. Aircraft construction and air navigation system. Wrocław: Międzynarodowa Wyższa Szkoła Logistyki i Transportu, 2020. 140 p.
- [4] Rausand M. *System Reliability Theory: Models, Statistical Methods and Applications*. New York: John Wiley & Sons, Inc., 2004. 458 p.
- [5] Nakagawa T. *Maintenance theory of reliability*. London: Springer-Verlag, 2005. 270 p.
- [6] Goncharenko A.V. Optimal UAV maintenance periodicity obtained on the multi-optional basis // *Actual Problems of Unmanned Air Vehicles Developments. Proceedings of the IEEE 4th International Conference on (APUAVD)*. (October 17-19, 2017. Kyiv, Ukraine), pp. 65–68.
- [7] Zaliskyi M. Yu. Reliability parameters estimation in case of aviation radio electronic devices technical state deterioration. *Electronics and Control Systems*. 2015. № 3 (45). Pp. 18-22.
- [8] Tartakovskiy A., Nikiforov I., Basseville M. Sequential analysis. Hypothesis testing and change-point detection. Boca Raton: Taylor & Francis Group, 2015. 580 p.
- [9] Жиглявский А. А., Красковский А. Е. Обнаружение разладки случайных процессов в задачах радиотехники. Л.: Издательство ЛУ, 1988. 224 с.
- [10] Ширяев А. Н. Стохастические задачи о разладке. Москва: МЦНМО, 2016. 392 с.
- [11] Solomentsev O., Zaliskyi M., Herasymenko T., Kozhokhina O., Petrova Yu. Data processing in case of radio equipment reliability parameters monitoring // *Advances in Wireless and Optical*

- Communications* (RTUWO 2018). Proceedings of IEEE Conference. (November 15–16, 2018. Riga, Latvia), pp. 219–222.
- [12] Solomentsev O., Zaliskyi M., Herasymenko T., Petrova Yu. Data processing method for deterioration during radio equipment operation // *Microwave Theory and Techniques in Wireless Communications* (MTTW 2019). Proceedings of IEEE Workshop. (October 1–2, 2019. Riga, Latvia), pp. 1–4.
- [13] Solomentsev O., Zaliskyi M., Shcherbyna O., Kozhokhina O. Sequential procedure of change-point analysis during operational data processing // *Microwave Theory and Techniques in Wireless Communications* (MTTW 2020). Proceedings of IEEE Workshop. (October 1–2, 2020. Riga, Latvia), pp. 168–171.
- [14] Taranenko A. G., Gabrousenko Ye. I., Holubnychy A. G., Slipukhina I. A. Estimation of redundant radionavigation system reliability // *Methods and Systems of Navigation and Motion Control*. Proceedings of the IEEE 5th International Conference. (October 16–18, 2018. Kyiv, Ukraine), pp. 28–31.
- [15] Ulansky V., Terentyeva I. Availability assessment of a telecommunications system with permanent and intermittent faults // *Electrical and Computer Engineering* (UKRCON). Proceedings of IEEE Conference. (May 29 – June 2, 2017. Kyiv, Ukraine), pp. 908–911.

Заліський М. Ю., Соломенцев О. В., Зуєв О. В., Петрова Ю. В.
АНАЛІЗ ПРОЦЕСІВ ПОГІРШЕННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ СКЛАДНИХ
ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ ТА РАДІОЕЛЕКТРОННИХ СИСТЕМ

Стаття присвячена питанням щодо вирішення науково-практичної задачі розроблення процедур статистичного оброблення даних щодо показників надійності телекомунікаційних та радіоелектронних систем у випадку погіршення їх технічного стану та загального резервування обладнання. Відомо, що використання телекомунікаційних та радіоелектронних систем у промисловій діяльності з кожним роком має тенденція до сталого розширення. Тому неминучою вимогою до цих систем є підвищення надійності їх функціонування, особливо під час їх використання за призначення для об'єктів критично важливої інфраструктури. Одним із шляхів підвищення надійності є резервування. Не зважаючи на застосування різних методів підвищення надійності, технічний стан телекомунікаційних та радіоелектронних систем все одно може погіршуватися внаслідок неминучого виникнення відмов та пошкоджень, дії людського фактору та оточуючого навколишнього середовища, нестабільності системи електроживлення та ряду інших чинників. Процес погіршення технічного стану зазвичай пов'язаний з переходом від стадії нормальної експлуатації до стадії інтенсивного зносу. Цей процес може бути візуально виявлений шляхом спостереження за показниками надійності, насамперед інтенсивністю відмов, яка після досягнення певного часового моменту починає зростати. Об'єктом розгляду цієї статті є резервована телекомунікаційна та радіоелектронна система, технічний стан якої у випадковий момент часу починає погіршуватися. Первинними даними для розрахунку обрано напрацювання обладнання на відмову. Окрім того, у статті зроблено припущення щодо стрибкоподібної моделі погіршення технічного стану, яка описується двовимірною функцією Хевісайда. Для цієї моделі знайдені аналітичні співвідношення для щільностей розподілу імовірностей напрацювань на відмову. Це дозволило виконати синтез алгоритму оброблення статистичних даних з метою виявлення факту погіршення технічного стану телекомунікаційних та радіоелектронних систем. Синтез виконувався на основі застосування правила оптимального виявлювача та з використання апарату багатоальтернативної перевірки гіпотез. При цьому отримані аналітичні вирази для вирішальних статистик, а значення порогів прийняття рішень знаходилися шляхом статистичного моделювання. З метою аналізу запропонованої процедури оброблення статистичних даних були побудовані характеристики виявлення для різних значень початкових параметрів моделі. Побудова характеристик виявлення виконувалася шляхом статистичного моделювання. Унаслідок розрахунку отримані прийнятні значення імовірності правильного виявлення. Загалом результати досліджень можуть бути використані під час розроблення та вдосконалення систем експлуатації авіаційних телекомунікаційних та радіоелектронних систем.

Ключові слова: погіршення технічного стану, статистичне оброблення даних, резервування, алгоритм виявлення, телекомунікаційні та радіоелектронні системи

Zaliskyi M. Yu., Solomentsev O. V., Zuiiev O. V., Petrova Yu. V.
ANALYSIS OF PROCESSES OF TECHNICAL CONDITION DETERIORATION FOR COMPLEX
TELECOMMUNICATION AND RADIOELECTRONIC SYSTEMS

The article is devoted to the solution of the scientific and practical problem of developing procedures for statistical data processing on the reliability of telecommunications and radioelectronic systems in case of deterioration of their technical condition and general redundancy of equipment. It is known that the use of telecommunication and electronic systems in industrial activities tends to expand every year. Therefore, a main requirement for these systems is to increase the reliability of their operation, especially when they are used for critical infrastructure objects. One way to

increase reliability is redundancy. Despite the use of various methods to increase reliability, the technical condition of telecommunications and electronic systems can still deteriorate due to the inevitable failures and damages, the human factor and the environment conditions, instability of the power system and other factors. The process of deterioration is usually associated with the transition from the stage of normal operation to the stage of wear out. This process can be visually detected by observing the reliability indicators, first of all the failure rate, which after reaching a certain point in time begins to increase. The object of research of this article is redundant telecommunications and radioelectronic system, the technical condition of which at a random point in time begins to deteriorate. The initial data for the calculation is failure rate of the equipment. In addition, the article makes assumptions about the step-function model of technical condition deterioration, which is described by the two-dimensional Heaviside function. For this model, analytical formulas for the probability density functions for time to failure are found. This allowed the synthesis of the algorithm for statistical data processing in order to identify the deterioration of the technical condition of telecommunications and electronic systems. The synthesis was performed based on the usage of the optimal detection rule and theory of multi-alternative hypothesis testing. Analytical expressions for decisive statistics were obtained, and the values of decision thresholds were found by statistical simulation. In order to analyze the proposed procedure for statistical data processing, detection characteristics were constructed for different values of the initial parameters of the model. Construction of detection characteristics was performed based on statistical modeling. As a result of the computation, acceptable values of the probability of correct detection are obtained. In general, the results of research can be used to develop and improve the operation systems of aviation telecommunications and electronic equipment.

Keywords: technical condition deterioration, statistical data processing, redundancy, detection algorithm, telecommunication and radioelectronic systems.

Стаття надійшла до редакції 01.09.2021 р.

Прийнято до друку 18.10.2021 р.