

*А.Б. Фещенко, к.т.н., доцент, доц. кафедри, НУЦЗУ,
А.В. Загора, к.т.н., доцент, ст. викладач, НУЦЗУ*

МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ НЕОБХІДНОСТІ КОРЕКТУВАННЯ КОМПЛЕКТУ ЗАПАСНИХ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ АПАРАТУРИ ОПЕРАТИВНОГО ДИСПЕТЧЕРСЬКОГО ЗВ'ЯЗКУ ПО ІНТЕНСИВНОСТІ ВІДМОВ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ В УМОВАХ НАДЗВИЧАЙНОЇ СИТУАЦІЇ

(представлено д.т.н. Чубом І.А.)

Розроблена методика визначення необхідності коректування комплекту запасних технічних засобів радіоелектронної апаратури оперативного диспетчерського зв'язку інтервальним методом оцінювання при прогнозуванні інтенсивності відмов з урахуванням режимів електричного навантаження, яка дозволяє зменшити час на формування заявки та витрати на поповнення апаратури, що корисно для попередження відмов елементів мережі електрозв'язку в умовах надзвичайної ситуації.

Ключові слова: радіоелектронна апаратура, оперативний диспетчерський зв'язок, комплект запасних технічних засобів, інтенсивність відмов, надзвичайна ситуація.

Постановка проблеми. Показники надійності й відновлення радіоелектронної апаратури (РЕА) оперативного диспетчерського зв'язку (ОДЗ) і оповіщення в режимі надзвичайної ситуації (НС) залежать від впливу електричних перевантажень на інтенсивності відмов компонентів РЕА ОДЗ, що може приводити до тривалих відмов елементів мережі електрозв'язку, що вимагає вживання заходів і витрат для відновлення її працездатності в умовах НС.

Таким чином, в даний час має місце проблемна ситуація, яка полягає в необхідності розроблення теоретичних і прикладних положень з питання визначення необхідності коректування комплекту запасних технічних засобів (ЗТЗ) за результатами експлуатації для відновленні РЕА ОДЗ після відмов в умовах НС.

Однієї із складових цієї проблеми є проведення кількісної оцінки ступеня впливу режиму електричного навантаження на інтенсивність відмов компонентів РЕА ОДЗ для прийняття рішення на коректування комплекту ЗТЗ.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У роботі [1-3] розглядається спосіб підтримки працездатності телекомунікаційних мереж за рахунок формування ЗТЗ без наявності рекомендацій к кількісному складу в статистичного аналізу відмов в моменту необхідності коректування комплекту ЗТЗ.

У роботі [4-6] представлені методика розрахунків необхідної кількості ЗТЗ для відновлення апаратури ОДЗ після відмов в умовах НС в якій не враховані вплив режиму електричного навантаження на інтенсивність відмов компонентів РЕА ОДЗ для прийняття рішення на коректування комплекту ЗТЗ.

У роботі [7] розглянутий спосіб підвищення коефіцієнта оперативної готовності апаратури за рахунок застосування графоаналітичних методів для визначення оптимальної періодичності проведення профілактичних і регламентних робіт датчиків ослаблення наслідків НС без врахування впливу режиму електричного навантаження на вірогідність безвідмовної роботи.

У роботах [8-10] розглянутий вплив режиму електричного навантаження на показники надійності й забезпеченості РЕА ОДЗ комплектом ЗТЗ при відновленні її після відмов в умовах НС без статистичного аналізу відмов за результатами експлуатації для виявлення моменту необхідності коректування комплекту ЗТЗ.

Постановка завдання та його вирішення. Мета даної роботи полягає в розробленні статистичні моделі визначення необхідності коректування комплекту запасних технічних засобів (ЗТЗ) з кількісною оцінкою ступеня впливу режиму електричного навантаження на інтенсивність відмов компонентів РЕА ОДЗ за результатами експлуатації для прийняття рішення на коректування комплекту ЗТЗ відмов в умовах НС.

Для вирішення визначеної наукової задачі в роботі ставляться й вирішуються такі завдання дослідження:

- обґрунтування вибору методів оцінювання та прогнозування інтенсивності відмов компонентів РЕА ОДЗ за результатами експлуатації;
- розробка статистичної методики визначення необхідності коректування й поповнення комплекту ЗТЗ РЕА ОДЗ в умовах НС при прогнозуванні інтенсивності відмов РЕА в умовах НС;
- вибір математичної моделі врахування впливу режиму електричного навантаження на інтенсивність відмов та коректування забезпеченості РЕА ОДЗ комплектом ЗТЗ;
- проведення оціночних рахунків визначення необхідності коректування й поповнення комплекту ЗТЗ РЕА ОДЗ для режимів номінального й підвищеного електричного навантаження;
- складення рекомендацій з коректування комплектів ЗТЗ і її відновленню РЕА ОДЗ після відмов функціонування в режимі підвищеного електричного навантаження в умовах НС.

Проаналізувавши наведені наукові праці, отримуємо методику для визначення необхідності коректування комплекту ЗТЗ РЕА ОДЗ по інтенсивності відмов за результатами експлуатації в умовах НС.

Враховуючи економічні фактори, такі як висока вартість комплекту ЗТЗ, витрати на доставку, зберігання й відновлення РЕА

сучасної телекомунікаційної апаратури розробка методики оцінки необхідності коректування комплекту ЗТЗ РЕА ОДЗ досить затребувана.

Для обслуговуючого персоналу необхідно надати з однієї сторони досить достовірну методику оцінки достатності комплекту ЗТЗ, а з іншої сторони вона не повинна бути громіздкою по розрахунках.

Ухвалення рішення на коректування комплектності ЗТЗ для відновлення РЕА ОДЗ після відмов в умовах надзвичайної ситуації можливо проводити за статистичним даними за час експлуатації рівний регламентованому часовому інтервалу поповнення t_n комплекту ЗТЗ.

Обґрунтуємо вибір методів оцінювання та прогнозування інтенсивності відмов компонентів РЕА ОДЗ на основі аналізу крапкових і інтервальних методів оцінювання.

Крапкова оцінка має принципово суттєвий недолік у тому що вона сама являє собою лише окреме значення випадкової величини, яке не має вистави про ступінь довіри до цієї оцінки та про ступінь її точності.

Якщо, наприклад, у результаті експлуатації число відмов $n = 0$, то крапкова оцінка інтенсивності відмов при будь-якому наробітку $\widehat{\lambda}_1 = 0$. Але $\widehat{\lambda}_1 = 0$ означає абсолютну безвідмовність виробу, чого в принципі бути не може.

Тому крім крапкової оцінки бажане знати практично надійні границі для оцінюваного параметра, тобто знайти такий інтервал оцінок, який з досить високою ймовірністю «накриває» невідомий параметр. Розглянемо метод інтервальної оцінки, в якому достовірними границями (абсолютно надійними границями) є: для середнього наробітку до відмови T та інтенсивності відмов РЕА $\lambda [0, \infty]$ для вірогідності безвідмовної роботи та відмови $P(t)$ і $q(t) [0, 1]$.

Застосуємо імовірності помилок ε_1 і ε_2 у якості рівнів значимості оцінок: ε_1 – імовірність того, що знайдений інтервал не охопить параметр своїм лівим кінцем; ε_2 – імовірність того, що знайдений інтервал не охопить невідомий параметр своїм правим кінцем.

У якості заходу вірогідності оцінки – довірчої ймовірності ухвалюємо величину $\gamma^* = 1 - \varepsilon_1 - \varepsilon_2$, що показує, з якою ймовірністю можна стверджувати, що довірчий інтервал накриває дійсне значення параметра: $\gamma^* = P\{T_n < T < T_b\}$, де T_n – нижня границя довірчого інтервалу (нижня довірча границя для параметра T); T_b – верхня границя довірчого інтервалу (верхня довірча границя для параметра T).

Виберемо ймовірності ε_1 і ε_2 однаковими $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = \varepsilon$; тоді $\gamma^* = 1 - 2\varepsilon$ тоді, кожна з довірчих границь визначається з рівнем значимості $\varepsilon = (1 - \gamma^*)/2$ або з однією довірчою ймовірністю (коефіцієнтом довіри), $\gamma = (1 - \varepsilon) = (1 + \gamma^*)/2$. Якщо відомий вид функції розподілу оцінки, то принцип обчислення довірчих інтервалів полягає в тому, що в якості нижньої й верхньої довірчих границь ухвалюються квантілі цього розподілу по відповідному до рівня. Нижня довірча границя визначається як квантіль за рівнем ε , а верхня – як квантіль за рівнем $\gamma = 1 - \varepsilon$.

Вид розподілу оцінки визначається, у свою чергу, видом розподілу досліджуваної випадкової величини й тими функціональними перетвореннями, які проводяться над вихідною статистикою при одержанні оцінок. Наприклад, якщо оцінка для середнього наробітку до відмови дається вираженням $\hat{T} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \tau_i$ – тоді \hat{T} є розподілом суми п незалежних випадкових величин, яке цілком визначається розподілом вихідної випадкової величини τ_i і числом відмов п (числом повних реалізацій). Зокрема, якщо, що складаються τ_i мають експонентний розподіл, то оцінка \hat{T} має γ – розподіл з п ступенями волі, що збігається з χ^2 – розподілом із числом ступенів волі 2п.

Якщо τ_i – незалежні нормально розподілені випадкові величини із середнім Т и дисперсією σ^2 , то оцінка \hat{T} має нормальний розподіл із середнім Т и дисперсією σ^2/n .

Розрахункові формули для довірчих границь λ_n і λ_b параметра λ експонентного розподілу для різних типів вибірок наведені в, де прийняті наступні позначення: χ^2 – квантіль χ^2 – розподілу за рівнем ϵ або $1 - \epsilon$ із числом ступенів волі 2п або 2п + 2; п – сумарне число відмов, зафіксованих при випробуваннях (повних реалізацій); t_Σ сумарний наробіток виробів при випробуваннях.

Ухвалимо $\epsilon = 0,1$, що відповідає довірчій імовірності $\gamma^* = 0,8$. Квантілі χ^2 - розподілу вибираються по таблицях або, що ще зручніше, по номограмі [11].

Якщо в результаті випробувань число відмов п = 0, то $\lambda_n = 0$. При цьому визначається лише одна довірча границя, а саме λ_b – однобічний довірчий інтервал.

У цьому випадку, тому що одна із границь є достовірної, значення λ_b з довірчою ймовірністю γ визначається вираженням

$$\lambda_b = \frac{\chi_{\gamma, 2}^2}{2t_\Sigma}, \quad (1)$$

де $\chi_{\gamma, 2}^2$ – квантіль χ^2 – розподілу за рівнем γ із числом ступенів свободи 2; t_Σ – сумарний час спостереження.

Сформулюємо методику визначення необхідності коректування комплекту ЗТЗ РЕА ОДЗ по інтенсивності відмов за результатами експлуатації в умовах НС.

Спочатку на основі досвіду експлуатації визначаємо інтенсивність відмов λ_i даного типу елементів і реальний середній час поповнення комплекту ЗТЗ t_n . Потім, знаючи кількість наявних запасних елементів m у комплекті ЗТЗ, знаходимо нижню й верхню границі інтенсивності відмов, при розрахунках довірчого інтервалу за допомогою χ^2 – розподілу за формулами:

$$\lambda_{is} = \frac{\chi^2_p(2m_i)}{2t_{II}}; \lambda_{in} = \frac{\chi^2_{1-p}(2m_i+2)}{2t_{II}}; \quad (2)$$

де λ_{in} , λ_{iv} – нижня й верхня границі інтенсивності відмов, відповідно; χ^2 – таблична функція розподілу «хі-квадрат» (розподілу Симпсона) для m_i – ступенів волі; m_i – кількість закладених у комплект ЗТЗ типових елементів заміни i -го типу (кількість ступенів волі); t_{II} – період поповнення комплекту ЗТЗ; p – імовірність достатності комплекту ЗТЗ ($p = 0,9$ або $0,95$).

Якщо інтенсивність відмов за даними експлуатації задовольняє умові $\lambda_{in} \leq \lambda_i \leq \lambda_{iv}$, то коректування ЗТЗ не потрібна. При $\lambda_i \geq \lambda_{iv}$ потрібне збільшення кількості запасних елементів, а при $\lambda_i < \lambda_{in}$ ця кількість можна зменшити.

Нехай за $t = 3$ роки експлуатації було зафіксовано $n = 18$ відмов. У комплект ЗТЗ закладено $m_i = 3$ елементи даного типу. Визначити необхідність коректування при часі поповнення $t_n = 1$ рік = 8760 ч.

Приведемо послідовність розрахунків для наступних даних експлуатації:

- визначаємо інтенсивність відмов елементів за три роки експлуатації:

$$\lambda_i = \frac{n}{t \cdot 8760} = \frac{18}{3 \cdot 8760} = 0,0006849 \approx 6,85 \cdot 10^{-4} \frac{1}{ч};$$

– обчислюємо значення квантилей χ^2 – розподілу при ймовірності достатності $p = 0,95$ і ступені волі $m_i = 3$ по таблицях [11]:

$$\begin{aligned} \chi^2_p(2m_i) &= \chi^2_{0,95}(2 \cdot 3) = \chi^2_{0,95}(6) = 1,64 \\ \chi^2_{1-p}(2m_i+2) &= \chi^2_{0,05}(2 \cdot 3 + 2) = \chi^2_{0,05}(8) = 15,5 \end{aligned}$$

— обчислюємо величини λ_{in} , λ_{iv} за формулами (2):

$$\lambda_{in} = \frac{1,64}{2 \cdot 8760} = 9,36 \cdot 10^{-5} \frac{1}{ч}; \lambda_{iv} = \frac{15,5}{2 \cdot 8760} = 8,85 \cdot 10^{-4} \frac{1}{ч}.$$

У цьому випадку $\lambda_{in} < \lambda_i < \lambda_{iv}$. Отже, коректування не потрібно.

Однак, на експлуатаційну інтенсивність відмов, суттєво впливає режим електричного навантаження, що враховується коефіцієнтом електричного навантаження, який в умовах НС зростає до значення $K_p = 1,4$ [5, 6]. Тоді можливо спрогнозувати експлуатаційну інтенсивність

відмов на рівні $\lambda_{in} = K_p \cdot \lambda_i \approx 1,4 \cdot 6,85 \cdot 10^{-4} = 9,59 \cdot 10^{-4} \frac{1}{ч}$.

В даному випадку отримуємо $\lambda_{is} < \lambda_{in}$, що свідчить на користь прийняття рішення про необхідність коректування комплекту ЗТЗ РЕА ОДЗ.

Висновки. В роботі обґрунтований вибір типу оцінки інтенсивності відмов для компонентів радіоелектронної апаратури оперативного диспетчерського зв'язку на основі аналізу крапкових і інтервальних методів оцінювання за результатами експлуатації.

Установлене, що довжина й положення випадкового довірчого інтервалу інтенсивності відмов залежать від результатів спостережень за експлуатацією апаратури. При фіксованій величині довірчого інтервалу довірна ймовірність буде зростати при підвищенні числа відмов. При фіксованому числі відмов неможливо підвищити довірчу ймовірність, не зменшуючи точність оцінки, тобто, не розширюючи довірчий інтервал, і навпаки, не можна збільшити точність оцінки, не зменшуючи довірчу ймовірність.

Обґрунтований вибір типу оцінки інтенсивності відмов для компонентів РЕА ОДЗ на основі аналізу крапкових та інтервальних методів оцінювання за результатами експлуатації, та розроблена методика визначення необхідності коректування й поповнення комплекту ЗТЗ РЕА ОДЗ в умовах НС при прогнозуванні інтенсивності відмов РЕА інтервальним методом оцінювання на основі розподілу Симпсона з урахуванням впливу режимів номінального й підвищеного електричного навантаження на необхідність прийняття рішення на коректування забезпеченості РЕА ОДЗ комплектом ЗТЗ.

ЛІТЕРАТУРА

1. А.К. Леваков Задачи формирования комплекта резервных технических средств для восстановления отказов в сети электросвязи вследствие чрезвычайных ситуаций [Электронный ресурс] / А.К. Леваков // Электросвязь. – Наука. – М.: Электросвязь, 2013. – №12. – С. 38-40. Режим доступа: <http://openarchive.nure.ua/handle/document/547?locale=ru>.
2. M.Racanelli, P.Kempf. SiGe BiCMOS Technology for Communication Products // Jazz Semiconductors, June, 2009, 320 p.
3. G. Vita, F. Bellatalla, G. Iannaccone Ultra-low power PSK backscatter modulaor for UHF and microwave RFID transponders. Microelectronics, 2011, pp.325-350.
4. Загора А.В. Методика расчета количества запасных технических средств для восстановления аппаратуры оперативной диспетчерской связи после отказов в условиях чрезвычайной ситуации [Электронный ресурс] / А.Б. Фещенко // Проблеми надзвичайних ситуацій. – Х.:

НУЦЗУ, 2015. – №22. – С. 23 – 37. – Режим доступу: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/1352>.

5. M.Racanelli, P.Kempf. SiGe BiCMOS Technology for Communication Products // Jazz Semiconductors, May, 2008, 320 p.

6. Shurhoveckij A.N. Inzenemyj vestnik Dona (Rus), 2010, №4, URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2010/292.

7. Абрамов Ю.А. Выбор метода определения проведения регламентных работ датчиков систем ослабления последствий чрезвычайных ситуаций [Электронный ресурс]/ Е.Е. Кальченко // Проблемы надзвичайних ситуацій. – Х.: НУЦЗУ, 2015. – №21. – С. 3-6. Режим доступу: <http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfEmergencies/vol21/Abramov.pdf>.

8. Фещенко А.Б. Влияние режима электрической нагрузки на показатели надежности оперативной диспетчерской связи в условиях чрезвычайной ситуации. – [Электронный ресурс] / А.В. Загора. Е.Е. Селеенко // Проблемы надзвичайних ситуацій. – Х.: НУЦЗУ, 2017. – №24. – С. 62-67. Режим доступу: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/1350>.

9. G. Vita, F. Bellatalla, G. Iannaccone Ultra-low power PSK backscatter modulaor for UHF and microwave RFID transponders / - Microelectonics, 2011, pp. 325-350.

10. Omel'janchuk E.V., Tihomirov A.V., Krivosheev A.V. Inzenemyj vestnik Dona (Rus), 2013, №2 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2013/1742.

11. Надежность технических систем: Справочник / Ю. К. Беляев, В. А. Богатырев, В. Болотин и др.; Под ред. И. А. Ушакова. – М.: Радио связь, 1985. – 608 с.

Отримано редколлегією 16.02.2018

А.Б. Фещенко, А.В. Загора

Методика определения необходимости корректирования комплекта запасных технических средств аппаратуры оперативной диспетчерской связи по интенсивности отказов по результатам эксплуатации в условиях чрезвычайной ситуации

Разработана методика определения необходимости корректирования и пополнения комплекта запасных технических средств радиоэлектронной аппаратуры оперативной диспетчерской связи в условиях чрезвычайной ситуации при прогнозировании интенсивности отказов радиоэлектронной аппаратуры интервальным методом оценивания на основе распределения Симпсона.

Учтено влияние режимов номинальной и повышенной электрической нагрузки на необходимость принятия решения на корректирование обеспеченности радиоэлектронной аппаратуры оперативной диспетчерской связи комплектом запасных технических средств.

Ключевые слова: радиоэлектронная аппаратура, оперативная диспетчерская связь, комплект запасных технических средств, интенсивность отказов, чрезвычайная ситуация.

A.B. Feshchenko, A.V. Zakora

Methodology for determining the need to correct a set of spare technical equipment for operational dispatch communication equipment in terms of the intensity of failures from the results of operation in an emergency situation

The choice of the type of failure rate estimation for the components of the radio electronic equipment of operational dispatch communication is substantiated based on the analysis of point and interval estimation methods based on the operation results.

It is established that the length and position of the random confidence interval of the failure rate depend on the results of observations of the operation of the equipment. At a fixed value of the confidence interval, the confidence probability will increase with increasing number of failures.

With a fixed number of failures, it is impossible to increase the confidence probability without decreasing the accuracy of the estimate, that is, without expanding the confidence interval, and conversely, it is impossible to increase the accuracy of the estimate without reducing the confidence probability.

A method for determining the need to correct and replenish a set of spare technical means of radio electronic equipment for operational dispatch communication in an emergency situation when predicting the intensity of failures of electronic equipment by an interval method of estimation based on the Simpson distribution is developed.

The influence of the nominal and increased electric load regimes on the need to make a decision to adjust the availability of radio electronic equipment for operational dispatch communication with a set of spare technical equipment is taken into account.

Keywords: radio electronic equipment, operational dispatch communication, set of spare technical means, failure rate, emergency situation.