

УДК 681.35

Михайло Анатолійович СТРЕЛЬБИЦЬКИЙ,
*кандидат технічних наук, доцент, начальник кафедри зв'язку,
автоматизації та захисту інформації Національної академії
Державної прикордонної служби України
імені Богдана Хмельницького, м. Хмельницький*

Василь Вікторович КУЗАВКОВ,
*кандидат технічних наук, докторант
Військового інституту телекомунікацій та інформатизації
Державного університету телекомунікацій, м. Київ*

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ МЕТОДІВ ОТРИМАННЯ ТА ОБРОБКИ ДІАГНОСТИЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ

У роботі визначається підхід до оцінки ефективності автономної автоматизованої системи діагностування цифрових блоків радіоелектронного обладнання. Автоматизована система побудована з використанням нових методів отримання та обробки діагностичної інформації (метод власного випромінювання та безконтактний індукційний метод).

Ключові слова: ефективність, система діагностування, цифровий блок.

Постановка проблеми у загальному вигляді. Безаварійна й економічна експлуатація радіоелектронного обладнання (РЕО) із забезпеченням необхідного рівня безпеки вимагає автоматизованих вимірювальних і діагностичних пристроїв. Як і в будь-якій

© Стрельбицький М. А., Кузавков В. В.

технічній системі, у РЕО періодично відбуваються відмови, які за можливими наслідками можна розділити на небезпечні та захисні [1]. У результаті небезпечних відмов можуть відбутися катастрофи, аварії, інші серйозні порушення нормального функціонування, тому РЕО будують із виключенням небезпечних відмов [2], так щоб виникнення найбільш імовірних несправностей приводило систему в захисний стан. Захисні відмови не приводять до катастроф, але спричиняють простоювання РЕО. Необхідність оперативного усунення несправностей та їхніх наслідків веде до збільшення експлуатаційних витрат РЕО.

Безперервний автоматизований контроль стану РЕО дозволяє виявляти граничні значення контрольованих параметрів, вживати заходів щодо усунення передумов виникнення відмови. Оскільки при цьому відмова ще не відбулася, не відбулося простою РЕО, експлуатаційні витрати скорочуються. Однак безперервний контроль усіх параметрів складного зразка РЕО ускладнено значною кількістю параметрів контролю, а система, що здійснює цей контроль, за своїм обсягом зрівнюється з самим об'єктом контролю. Якщо ж витрати на будівництво й утримання автономної автоматизованої системи діагностування (АА СД) перевищать обсяг зекономлених коштів від відмов, яких вдалося уникнути, застосування такої системи буде недоцільним. Тому питання оцінки ефективності АА СД актуальні.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано вирішення даної проблеми та на які опираються автори. Питанням визначення ефективності функціонування складних технічних систем присвячено досить багато літератури [4–9]. Найбільший інтерес викликає стохастичний підхід до визначення показників ефективності, запропонований у роботі [9]. Тут як узагальнений показник ефективності пропонується

$$W = (W_n, W_p, W_e),$$

де W_n – комплексний показник цільової надійності системи; W_p – комплексний показник цільової продуктивності системи; W_e – комплексний показник цільової економічності системи.

При цьому комплексні показники W_H , W_Π , W_Ω розглядаються як числові ймовірнісні характеристики:

$$W_H = P\{Y_K \geq Y_\Pi | U_K \leq U_\Pi\},$$

$$W_\Pi = M[Y_K | U_K \leq U_\Pi],$$

$$W_\Omega = M[U_K | Y_K \geq Y_\Pi];$$

де Y_K – можливий або фактично досягнутий корисний ефект (кінцевий результат) функціонування й розвитку системи; Y_Π – цільовий корисний ефект (необхідний кінцевий результат) функціонування й розвитку системи; U_K – можливі або фактичні витрати кількості праці для одержання Y_K ; U_Π – максимально припустимі витрати кількості праці для одержання Y_Π .

На значення показників накладаються умови:

$$0 \leq W_H \leq 1, \quad 0 \leq W_\Pi \leq 1, \quad 0 \leq W_\Omega \leq 1.$$

Визначаються ці показники ефективності за формулами:

$$W_H = \int_0^\infty \int_{\#}^\infty dF_F(y) dF_K(y),$$

де $F_K(y)$ – функція розподілу можливого кінцевого результату функціонування і розвитку системи Y_K ; $F_\Pi(y)$ – функція розподілу цільового результату функціонування системи для досягнення мети Y_Π ;

$$W_\Pi = \int_0^\infty y dF_K(y),$$

де y – змінна, що виражає можливе значення кінцевого результату функціонування і розвитку системи Y_K ;

$$W_\Omega = \int_0^\infty u dF_K(u),$$

де u – змінна, що виражає можливе значення витрати ресурсів U_K на одержання кінцевого результату Y_K ; $F_K(y)$ – функція розподілу випадкової величини U_K .

Отже, щоб одержати робочі залежності для комплексних показників ефективності складної системи W_H , W_Π , W_Ω на підставі наведених моделей, необхідно одержати аналітичні вираження для функ-

цій $F_{\kappa}(y)$, $F_{\iota}(y)$, $F_{\kappa}(y)$, що становлять функції розподілу випадкових величин Y_{κ} , Y_{ι} , U_{κ} . Вирішується завдання одержання аналітичних виразів для цих функцій на основі аналітичних і статистичних підходів.

Система діагностування, що контролює всі елементи складного об'єкта РЕО, вийшла б досить дорогою й малоефективною. Автономна автоматизована СД РЕО є складовою частиною системи технічного діагностування, яка працює в межах прийнятої системи технічного обслуговування і ремонту – це сукупність засобів, об'єкта діагностування та виконавців, які необхідні для проведення діагностування за правилами, установленими технічною документацією. Системи діагностування розробляються на стадії проектування, забезпечуються на стадії виробництва, підтримуються на стадії експлуатації РЕО. Однак цей підхід не завжди виконується. Аналіз показав, що системам технічного діагностування, які побудовані на основі існуючих методів (методик), властиві суттєві недоліки. Такі системи є малоефективними та не відповідають сучасним вимогам.

Метою статті є рішення завдання оцінки ефективності функціонування розробленої АА СД, що побудована із застосуванням нових методів отримання та опрацювання діагностичної інформації. Оцінити ефективність розроблених методів (індукційного та власного випромінювання) [3] отримання та опрацювання діагностичної інформації АА СД об'єктів РЕО можливо, урахувавши показники ефективності функціонування самої АА СД, і економічні витрати, пов'язані з реалізацією АА СД, що побудована на цих методах.

Виклад основного матеріалу дослідження. Комплексний показник цільової надійності системи приймається фіксованим значенням та забезпечується відповідність технологічних процесів виготовлення технічних систем та вимогами керівних документів [10].

Показник цільової продуктивності системи визначимо порівнянням реального засобу діагностування з якимось ідеальним [11]. За показник продуктивності функціонування АА СД приймається відношення

$$W_k = \frac{I_p}{I_i}, \quad (1)$$

де I_p – інформація про технічний стан об'єкта діагностування, отримана реальною системою; I_i – інформація про технічний стан об'єкта діагностування, отримана ідеальною системою.

Інформація від ідеальної АА СД характеризується поняттям інформативності діагностичного параметра $I^{(i)}$, під яким розуміється та кількість інформації про стан об'єкта, яку можна отримати, здійснюючи діагностування об'єкта РЕО за допомогою ідеальної системи.

Нехай замість повного діагностування об'єкта здійснюється контроль його одного параметра з використанням ідеальної системи діагностування. Це означає, що замість повного досвіду β з визначення стану об'єкта визначається допоміжний досвід α (за результатами контролю одного параметра). Для оцінки інформативності діагностичного параметра потрібно знайти ту кількість інформації про досвід β , що міститься в допоміжному досвіді α . Кількість інформації щодо досвіду β , що міститься в допоміжному досвіді α , буде такою:

$$I(\alpha\beta) = H(\beta) - H_\alpha(\beta) = I^{(i)}, \quad (2)$$

де $H(\beta)$ – апіорна невизначеність досвіду β ; $H_\alpha(\beta)$ – апостеріорна невизначеність досвіду.

При проведенні діагностування, коли вирішується тільки питання про справний або несправний стан об'єкта, основний досвід β має лише два результати:

β_1 – об'єкт справний;

β_0 – об'єкт відмовив.

Апіорну невизначеність досвіду β можна визначити таким чином:

$$\begin{aligned} H(\beta) &= -P(\beta_1) \log_2 P(\beta_1) - P(\beta_0) \log_2 P(\beta_0) = \\ &= -P \log_2 P - (1-P) \log_2 (1-P) = H_0(M), \end{aligned} \quad (3)$$

де $P = P(\beta_1)$.

Допоміжний досвід α теж може мати два результати:

α_1 – об'єкт справний;

α_0 – об'єкт відмовив.

Тоді

$$H_{\alpha}(\beta) = P(\alpha_1)H_{\alpha_1}(\beta) + P(\alpha_0)H_{\alpha_0}(\beta), \quad (4)$$

де $P(\alpha_1)$ і $P(\alpha_0)$ – імовірність того, що контроль обраного параметра дасть позитивний і негативний результати відповідно; $H_{\alpha_1}(\beta)$ – апостеріорна невізначеність про стан об'єкта, що залишилася після того, як у процесі контролю обраного параметра було встановлено, що його величина перебуває в допуску; $H_{\alpha_0}(\beta)$ – апостеріорна невізначеність про стан об'єкта, що залишилася після того, як у процесі контролю обраного параметра було встановлено, що він вийшов за межі допуску.

У розглянутому випадку $H_{\alpha_0}(\beta) = 0$, оскільки констатація в досвіді α виходу параметра за межі допуску вже вказує на відмову об'єкта. Тому інформативність i -го параметра об'єкта може бути знайдена за формулою

$$I^{(i)} = H_0(M) - H_{\alpha}^{(i)}(\beta) = H_0(M) - P^{(i)}(\alpha_1)H_{\alpha_1}^{(i)}(\beta), \quad (5)$$

де $H_{\alpha_1}(\beta) = -P(\beta_1 / \alpha_1) \log_2 P(\beta_1 / \alpha_1) - P(\beta_0 / \alpha_1) \log_2 P(\beta_0 / \alpha_1)$.

Одночасний контроль n_k вихідних параметрів об'єкта дозволяє виділити підмножину елементів M_n , що охоплені цим контролем, і підмножину елементів M_n , що залишилися неперевіреними.

Інформація, що буде отримана при одночасному контролі n_k параметрів, визначається:

$$I^{nk} = H_0(M) - H_{\alpha}^{nk}(\beta) = H_0(M) - \prod_{i \in M_j} [P_i - \prod_{i \in M_j} P_i \log_2 \prod_{i \in M_j} P_i - (1 - \prod_{i \in M_j} P_i) \log_2 (1 - \prod_{i \in M_j} P_i)]. \quad (6)$$

Отже, інформація I_j , яку забезпечував би ідеальний АА СД при діагностуванні об'єктів РЕО, визначається співвідношеннями (3) і (6).

Інформація, що одержана реальним АА СД, буде завжди меншою від максимальної інформації, що забезпечує ідеальна система діагностування. Це зменшення обумовлюється:

недостатньою повнотою діагностування об'єктів РЕО;
неповною достовірністю результатів діагностування за рахунок можливих відмов самого АА СД;

неповною достовірністю результатів діагностування за рахунок похибок вимірювальних засобів автономної автоматизованої системи діагностування.

Щоб визначити I_p , скористаємося вихідними даними про основний і допоміжний досвід, які були наведені вище. У цьому випадку допоміжний досвід α полягає в тому, що працездатність об'єкта контролюється за допомогою реального АА СД, який у загальному випадку може здійснювати неповний контроль, відмовляти та використовувати вимірювальні засоби, що мають похибки.

$$\begin{aligned} P(\beta_1 / \alpha_1) &= P(A / B) = P_c; \\ P(\beta_0 / \alpha_1) &= P(\bar{A} / B) = 1 - P_c; \\ P(\beta_1 / \alpha_0) &= P(A / \bar{B}) = 1 - P_n; \\ P(\beta_0 / \alpha_0) &= P(\bar{A} / \bar{B}) = P_n. \end{aligned} \quad (7)$$

Підставляючи у вираз (3) співвідношення (7), маємо

$$H_{\alpha_1}(\beta) = -P_c \log_2 P_c - (1 - P_c) \log_2 (1 - P_c). \quad (8)$$

Аналогічно знаходимо:

$$\begin{aligned} H_{\alpha_0}(\beta) &= -P(\beta_1 / \alpha_0) \log_2 P(\beta_1 / \alpha_0) - P(\beta_0 / \alpha_0) \log_2 P(\beta_0 / \alpha_0) = \\ &= -(1 - P_n) \log_2 (1 - P_n) - P_n \log_2 P_n = H(P_n). \end{aligned} \quad (9)$$

Тоді для W_k одержуємо

$$W_k = \frac{H_0(M) - P(\alpha_1)H(P_c) - P(\alpha_0)H(P_n)}{H_0(M)}. \quad (10)$$

З виразу (10) видно, що ефективність функціонування АА СД при діагностуванні є досить загальною характеристикою, оскільки вона враховує такі характеристики, як повнота та вірогідність діагностування P_c і P_n .

У випадку, якщо інформація I_p визначається як втрати, невизначеності про стан незалежних вихідних параметрів можна записати

$$I_p = H_0(M) - \Delta I_{\text{п}} - \Delta I_{\text{д}}, \quad (11)$$

де $\Delta I_{\text{п}}$ – зменшення інформації, викликане недостатньою повнотою контролю; $\Delta I_{\text{д}}$ – дезінформація, пов'язана з неповною його вірогідністю.

Унаслідок незалежності параметрів для $H_0(M)$ і $\Delta I_{\text{п}}$ маємо

$$H_0(M) = I_i = \sum_{i=1}^n H_{0i}, \quad \Delta I_{\text{п}} = \sum_{i=n_k+1}^n H_{0i}, \quad (12)$$

де n_k – кількість діагностичних параметрів об'єкта із загального їх числа n .

Дезінформація $\Delta I_{\text{д}}$ дорівнює тій апостеріорній невизначеності про стан вихідних параметрів об'єкта, що залишається після проведення діагностування через недостатню його вірогідність.

Кожну частину об'єкта РЕО, яка охоплена контролем i -го параметра, можна розглядати як самостійний об'єкт, для якого здійснюється повний контроль працездатності.

Апостеріорна невизначеність при контролі i -го параметру H_i :

$$H_i = -P_c^{(i)} \log_2 P_c^{(i)} - (1 - P_c^{(i)}) \log_2 (1 - P_c^{(i)}), \quad (13)$$

а дезінформація $\Delta I_{\text{д}}$ через припущення незалежності параметрів визначиться сумою (13) всіх діагностичних параметрів n_k

$$\Delta I_{\text{д}} = \sum_{i=1}^{n_k} H_i. \quad (14)$$

Підставляючи вирази (12) і (14) в (11), а потім в (1), для ефективності функціонування АА СД при діагностуванні отримуємо

$$W_k = \frac{\sum_{i=1}^n H_{0i} - \sum_{i=n_k+1}^n H_{0i} - \sum_{i=1}^{n_k} H_i}{\sum_{i=1}^n H_{0i}} = \frac{\sum_{i=1}^{n_k} (H_{0i} - H_i)}{\sum_{i=1}^n H_{0i}}. \quad (15)$$

Для ідеальної АА СД $H_i = 0$, а $n_k = n$. Тому $W_k = 1$.

У реальних засобах діагностування ефективність функціонування при контролі працездатності задовольняє нерівності

$$0 < W_k < 1. \quad (16)$$

Якість функціонування АА СД у процесі діагностування у випадку (15) також є досить загальною характеристикою, оскільки вона об'єднує такі окремі показники якості цього процесу, як повнота діагностування і його вірогідність:

$$W_k = V_n^{n_k} - \frac{\sum_{i=1}^{n_k} H_i}{\sum_{i=1}^n H_{0i}}, \quad (17)$$

$$\text{де } V_n^{n_k} = \frac{\sum_{I_n^{(i)} \in M_n^{(n_k)}} I_n^{(i)}}{\sum_{i=1}^n I_n^{(i)}} = \frac{\sum_{j=1}^{n_k} H_{0j}}{\sum_{i=1}^n H_{0i}} - \text{повнота діагностування.}$$

Отже, показник ефективності W_k пов'язаний безпосередньо з повнотою діагностування $V_n^{n_k}$, а з достовірністю через апостеріорну ентропію H_i .

З формули (15) видно, що зі збільшенням n_k ефективність діагностування зростає.

При використанні існуючих методів контролю технічного стану число діагностичних параметрів $n_{k\text{тр}} \ll m$, де m – загальне число параметрів, що характеризує технічний стан об'єкта РЕО.

При проведенні діагностування цифрових блоків розробленими методами (індукційним та власного випромінювання) використовується один діагностичний параметр, який характеризує стан цифрового блока в режимі КОНТРОЛЬ ТС або режимі ЛОКАЛІЗАЦІЯ НЕСПРАВНОГО РЕК.

Відношення показника ефективності діагностування цифрового блока розробленими методами W_{ke} до показника ефективності діагностування існуючим W_{kt} буде дорівнювати:

$$Q = \frac{W_{ke}}{W_{kT}} = \frac{\sum_{i=1}^{n_{кекк}} (H_{0i} - H_i)}{\sum_{i=1}^{n_{ктр}} (H_{0i} - H_i)} = \frac{\sum_{i=1}^{n_{ктр}} (H_{0i} - H_i) + \sum_{i=n_{ктр}+1}^{n_{кекк}} (H_{0i} - H_i)}{\sum_{i=1}^{n_{ктр}} (H_{0i} - H_i)} =$$

$$= 1 + \frac{\sum_{i=n_{ктр}+1}^{n_{кекк}} (H_{0i} - H_i)}{\sum_{i=1}^{n_{ктр}} (H_{0i} - H_i)} \quad (18)$$

Отже, ефективність діагностування розробленими методами вище за ефективність діагностування існуючими методами. При цьому виграш складає

$$\sum_{i=n_{ктр}+1}^{n_{кекк}} (H_{0i} - H_i) / \sum_{i=1}^{n_{ктр}} (H_{0i} - H_i). \quad (19)$$

З виразу (18) видно: чим складніший об'єкт діагностування (і чим більше діагностичних параметрів використовували для визначення його технічного стану), тим більший виграш продуктивності можна отримати.

Висновки. На ефективність упровадження СД впливають не тільки скорочення обслуговування, виключення людського фактора в процесі аналізу роботи та обслуговування РЕО, інші статті витрат, але і частка виявлених відмов та таких, яким вдалося запобігти, від загального числа відмов, що виникають у РЕО.

При наближенні частки виявлених відмов та таких, яким вдалося запобігти, до значення загального числа відмов буде забезпечуватися максимальна здатність СД з виявлення порушень функціонування, а звідси – можливість розробки стратегій технічного обслуговування РЕО. Зменшення кількості параметрів контролю при збереженні достовірності означає скорочення часу на визначення технічного стану та скорочення економічних витрат, пов'язаних з визначенням ТС (локалізації несправності).

Перспективи подальших досліджень у даному напрямі вбачаємо у подальшому вдосконаленні стратегій технічного обслуговування радіоелектронного обладнання.

Список використаної літератури

1. Сапожников В. В. Надежность систем железнодорожной автоматики, телемеханики и связи : учебное пособие для вузов ж. д. трансп. / В. В. Сапожников, В. В. Сапожников, В. И. Шаманов ; под ред. В. В. Сапожникова. – М. : Маршрут, 2003.
2. РТМ 32ЦЩ 1115842.03М94. Правила и методы обеспечения безопасности релейных систем.
3. Безконтактний індукційний метод діагностування радіоелектронних блоків / В. В. Вишнівський, М. К. Жердєв, Б. П. Креденцер : збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. – К. : ВІКНУ, 2013. – Вип. № 43. – С. 17.
4. Эффективность проектируемой техники: Основы анализа / А. В. Ильичев. – М. : Машиностроение, 1991. – 336 с.
5. Надежность и эффективность в технике : справочник / ред. совет: В. С. Авдудевский (пред.) и др. : в 10 т. – Т. 1. Методология. Организация. Терминология ; под ред. А. И. Рембезы. – М. : Машиностроение, 1986. – 224 с.
6. Надежность и эффективность в технике : справочник / ред. совет: В. С. Авдудевский (пред.) и др. : в 10 т. – Т. 3. Эффективность технических систем / / под общ. ред. В. Ф. Уткина, Ю. В. Крючкова. – М. : Машиностроение, 1988. – 328 с.
7. Петухов Г. Б. Методологические основы внешнего проектирования целенаправленных процессов и целеустремленных систем / Г. Б. Петухов, В. И. Якунин. – М. : АСТ, 2006. – 504 с.
8. Росин М. Ф. Статистическая динамика и теория эффективности систем управления / М. Ф. Росин, В. С. Булыгин. – М. : Машиностроение, 1980. – 312 с.
9. Соломонов Ю. С. Большие системы: гарантийный надзор и эффективность / Ю. С. Соломонов, Ф. К. Шахтарин. – М. : Машиностроение, 2003. – 368 с.
10. Креденцер Б. П., Черкесов Г. Н. Надежность и эффективность в технике : справ. в 10 т. – Т. 5. Проектный анализ надежности. – М. : Машиностроение, 1988. – С. 135–239.

11. Сердаков А. С. Автоматический контроль и техническая диагностика / А. С. Сердаков. – Харьков : Техника, 1971. – 244 с.

Рецензент – доктор технічних наук Вишинівський В. В.

Стаття надійшла до редакції 22.12.2014.

Стрельбицкий М. А., Кузавков В. В. Оценка эффективности методов получения и обработки диагностической информации

В работе определяется подход к оценке эффективности автономной автоматизированной системы диагностирования цифровых блоков радиоэлектронного оборудования. Автоматизированная система построена с использованием новых методов получения и обработки диагностической информации (метод собственного излучения и бесконтактный индукционный метод).

Ключевые слова: эффективность, система диагностирования, цифровой блок.

Strelbitskiy M. A, Kuzavkov V. V. Performance evaluation of methods of treatment and diagnostic information

Trouble-free and economical operation of electronic equipment require automatic measuring and diagnostic devices. Failures for electronic equipment are typical. The type of failures is periodical. Failures can be separated on to dangerous and safe. Because of dangerous failures can be disasters, accidents and other serious violations of normal operation. The second type of failure is causing to halting electronic equipment.

Troubleshooting of failure leads to increase in operating costs electronic equipment. The diagnosis system for controls all elements of electronic equipment would be very expensive. Diagnostic systems developed at the design stage. They are provided at the production stage and maintained during operation. However, this approach is not always perform. The analysis showed that existing systems technical diagnostics are built on existing methods have serious defect. Such systems are inefficient and do not meet modern requirements.

This article is try of solution problem of the diagnostics system for increase efficiency. The efficiency of the diagnostics system depends from revealed failures. When difference from detected to undetected failures will be low we can provided the maximum efficiency of the diagnostics system to detect violations. This will develop a strategy for electronic equipment maintenance.

Keywords: *efficiency, system diagnostics, digital block.*