

УДК 681.35

В.В. Кузавков

Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації ДУТ, Київ

## ЕФЕКТИВНІСТЬ АВТОНОМНОЇ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ДІАГНОСТУВАННЯ РАДІОЕЛЕКТРОННОГО ОБЛАДНАННЯ

*В роботі визначено загальний підхід до оцінки ефективності автономних автоматизованих систем діагностування радіоелектронного обладнання які побудовано з використанням нових методів отримання та обробки діагностичної інформації (метод власного випромінювання та безконтактний індукційний метод).*

**Ключові слова:** ефективність, система діагностування, радіоелектронне обладнання.

### Вступ

Безаварійна та економічна експлуатація радіоелектронного обладнання (РЕО) із забезпеченням необхідного рівня безпеки вимагає автоматизованих вимірювальних і діагностичних пристроїв. Як і в будь-якій технічній системі, у РЕО періодично відбуваються відмови, які по можливих наслідках можна розділити на небезпечні і 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 простій 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 по усуненню передумов виникнення відмови. Оскільки при цьому відмова ще не відбулася, не відбулося простою РЕО, експлуатаційні витрати скорочуються. Однак безперервний контроль всіх параметрів складного зразку РЕО ускладнено значною кількістю параметрів контролю, а система що здійснює цей контроль, за своїм обсягом зрівнюється з самим об'єктом контролю. При цьому, якщо витрати на будівництво та 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.

**Мета статті.** Система діагностування, що контролює всі елементи складного об'єкту 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'єкту діагносту-

вання та виконавців, які необхідні для проведення діагностування за правилами, встановленими технічною документацією. Системи діагностування розроблюються на стадії проектування, забезпечуються на стадії виробництва, підтримуються на стадії експлуатації РЕО. Однак цей підхід не завжди виконується. Аналіз показав, що існуючим системам технічного діагностування які побудовані на основі існуючих методів (методик), властиві суттєві недоліки. Такі системи є малоефективними та не відповідають сучасним вимогам. Тому метою статті є рішення завдання оцінки ефективності функціонування розробленої АА СД, що побудована з застосуванням нових методів отримання та обробки діагностичної інформації.

**Аналіз джерел.** Питанням визначення ефективності функціонування складних технічних систем присвячена досить велика література [3-8]. Найбільший інтерес викликає стохастичний підхід до визначення показників ефективності, запропонований у роботі [8]. Тут в якості узагальненого показника ефективності пропонується:

$$W = (W_H, W_\Pi, W_\Xi), \quad (1)$$

де  $W_H$  – комплексний показник цільової надійності системи;

$W_\Pi$  – комплексний показник цільової продуктивності системи;

$W_\Xi$  – комплексний показник цільової економічності системи.

При цьому комплексні показники  $W_H$ ,  $W_\Pi$ ,  $W_\Xi$  розглядаються як числові імовірнісні характеристики:

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

$$W_\Pi = M[Y_K | U_K \leq U_{ц}],$$

$$W_\Xi = M[U_K | Y_K \geq Y_{ц}];$$

де  $Y_K$  – можливий або фактично досягнутий корисний ефект функціонування системи;

$Y_{ц}$  – цільовий корисний ефект (необхідний кінцевий результат) функціонування системи;

$U_K$  – можливі або фактичні витрати кількості праці для одержання  $Y_K$ ;

$U_{ц}$  – максимально припустимі витрати кількості праці для одержання  $Y_{ц}$ .

На значення показників накладаються умови:

$$0 \leq W_n \leq 1, \quad 0 \leq W_{п} \leq 1, \quad 0 \leq W_{з} \leq 1.$$

Визначаються ці показники ефективності за виразами:

$$W_n = \int_0^{\infty} \int_0^{\infty} dF_{ц}(y) dF_k(y),$$

де:  $F_k(y)$  – функція розподілу можливого кінцевого результату функціонування і розвитку системи  $Y_k$ ;

$F_{ц}(y)$  – функція розподілу цільового результату функціонування системи для досягнення мети  $Y_{ц}$ ;

$$W_{п} = \int_0^{\infty} y dF_k(y),$$

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

$$W_{з} = \int_0^{\infty} y dF_k(u)$$

де  $u$  – змінна, що виражає можливе значення витрати ресурсів  $U_k$  на одержання кінцевого результату  $Y_k$ ;

$F_k(y)$  – функція розподілу випадкової величини  $U_k$ .

Таким чином, щоб одержати робочі залежності для комплексних показників ефективності складної системи  $W_n, W_{п}, W_{з}$ , необхідно одержати аналітичні вираження для функцій  $F_k(y), F_{ц}(y), F_k(y)$ , що представляють собою функції розподілу випадкових величин  $Y_k, Y_{ц}, U_k$ . Завдання одержання аналітичних виражень для цих функцій вирішується на основі аналітичних і статистичних підходів.

### Виклад основного матеріалу

В статті розглянемо лише показники цільової продуктивності системи та показник цільової економичності системи.

Під час експлуатації РЕО відбуваються порушення його працездатного стану - відмови. По характеру виникнення відмови можна розділити на поступові, раптові і перемежовані [1]. Раптові відмови - події випадкові, запобігти їх практично неможливо, оскільки вони з'являються внаслідок стрибкоподібної зміни значень параметрів об'єкту. Однак за допомогою АА СД можна зафіксувати час і місце виникнення відмови, а збережені дані згодом дозволять провести логічну та статистичну обробку даних за певний період роботи. Перемежовані відмови пов'язані з короточасними впливами зовнішніх факторів на параметри об'єкту. Їх виникненню також неможливо запобігти, але можна фіксувати для подальшої логічної і статистичної обробки. Поступові відмови відбуваються в результаті поступової зміни параметрів об'єкту, тому їхню появу можна прогно-

зувати і запобігати, якщо в складі АА СД є відповідні датчики, що виконують збір діагностичної інформації.

Всі відмови РЕО можна розділити на дві частини: підмножина відмов, які можуть бути виявлені за допомогою СД (відмови, що виявляються, їхню кількість за проміжок часу  $\Delta T$  позначимо через  $N_B$ ), і підмножина відмов, які не можуть бути виявлені за допомогою СД (їхню кількість за той же проміжок часу  $\Delta T$  позначимо через  $N_H$ ).

Частина відмов, що виявляються, (як правило це поступові відмови) може бути відвернена за рахунок своєчасного виявлення передвідмовного стану - такого стану, при якому значення контрольованих параметрів технічного об'єкту досягають граничних норм, а сам об'єкт вимагає проведення ремонтних заходів. Кількість відмов, які можна виявити та яких є можливість запобігти завдяки роботі системи діагностики за певний період часу позначимо  $N_{B3}$ .

Відмови, що відбуваються раптово і виявляються, запобігти неможливо. Будемо вважати, що за певний період часу  $\Delta T$  відбувається  $N_{B3}$  відмов, яких неможливо уникнути.

Відмови можуть не виявлятися СД внаслідок її конструктивних особливостей і неможливості контролювати всі елементи систем РЕО. Будемо вважати, що за розглянутий період часу їх відбувається  $N_{HH}$ .

Крім того, СД може вийти з ладу, деякий час перебувати в непрацездатному стані і тому не зафіксувати відмову. Таких відмов за період часу  $\Delta T$  може відбутися  $N_{HY}$ .

Загальне число відмов у РЕО за період часу  $\Delta T$  можна записати як:

$$N = N_B + N_H. \quad (2)$$

Підмножина відмов, що виявляються, складається із двох типів відмов: ті, які можна виявити і яких можна запобігти, а також ті, які можна виявити, але з якихось причин не можна запобігти. Їхню кількість за певний період часу  $\Delta T$  визначають як:

$$N = N_{B3} + N_{BH}. \quad (3)$$

Підмножина відмов, що не виявляються, у свою чергу, також складається із двох типів відмов: таких, що не виявляють з причини знаходження СД у непрацездатному стані, і таких, виявлення яких неможливе через відсутність датчиків знімання діагностичної інформації. Їхня кількість за певний період часу  $\Delta T$  визначається як:

$$N_H = N_{HH} + N_{HY}. \quad (4)$$

З (1) – (3) слідує, що загальна кількість відмов, які відбуваються за період часу  $\Delta T$ , визначається:

$$N = N_{B3} + N_{BH} + N_{HH} + N_{HY}. \quad (5)$$

Розрахуємо частку відмов, яких запобігають на стадії передвідмовних станів, від загальної кількості відмов РЕО за період  $\Delta T$ :

$$\xi = \frac{N_{ВЗ}}{N} = \frac{N_{ВЗ}}{N_{ВЗ} + N_{ВН} + N_{НН} + N_{НУ}} \quad (6)$$

Одним з критеріїв ефективності АА СД є величина коефіцієнту  $\xi$ . Чим ближче він до одиниці ( $\xi \rightarrow 1$ ) (6), тим більш ефективна СД. Виконання умови (6) можливо за рахунок зменшення величин  $N_{ВН}N_{НН}N_{НУ}$ , або за рахунок збільшення  $N_{ВЗ}$ .

Зменшення  $N_{НУ}$  досягається збільшенням кількості датчиків СД РЕО, це веде до збільшення кількості інформації про їхній стан. Зменшення  $N_{НН}$  здійснюється завдяки підвищенню надійності СД (поліпшенню її внутрішньої структури, методів обробки діагностичної інформації, застосуванню нової елементної бази, використанню принципів самодіагностування).

Зменшити  $N_{ВН}$ , а отже, збільшити  $N_{ВП}$  важко, оскільки характер виникаючих відмов змінити неможливо (раптово виникаюча відмова невідворотна).

Ефективність впровадження системи діагностування можна оцінити в такий спосіб. Збиток від виникнення відмови визначається витратами на відновлення справного стану системи (запчастини, матеріали, оплата праці) і витратами, пов'язаними із простоєм РЕО на час ремонту. Втрати  $P$  від виникнення відмов за певний період часу  $\Delta T$  визначимо як:

$$P = p_j N, \quad (7)$$

де  $p_j$  – середні втрати від виникнення однієї відмови;  $N$  – загальна кількість відмов за період часу  $\Delta T$ .

Економічний ефект від впровадження СД у загальному випадку дорівнює економії коштів від її роботи:

$$W = \Delta E. \quad (8)$$

При цьому економія коштів [9] є різницею економії витрат і капіталовкладень за розрахунковий період часу  $[0; T]$ :

$$\Delta E = \sum_{i=0}^T E_i \cdot \alpha - \sum_{i=0}^T K_i \cdot \alpha, \quad (9)$$

де  $\alpha = \frac{1}{(1 + D)^t}$  - коефіцієнт дисконтування;

$D$  — норма дисконту.

Витрати можна розділити в такий спосіб [10]: капіталовкладення на будівництво СД ( $K_c$ ) і додаткові витрати ( $R$ ) до яких призводить впровадження СД - витрати на навчання персоналу, підтримка та сервісне забезпечення, оплата праці нового штату працівників, витрати на усунення помилкових відмов, відмов внесених самою СД, амортизації відрухування та ін.:

$$\sum_{i=0}^T K_i \cdot \alpha = \sum_{i=0}^T (K_c + R)_i \cdot \alpha. \quad (10)$$

Витрати на будівництво діагностування складаються з витрат на матеріальну складову СД  $K_m$ , нематеріальні активи (програмне забезпечення)  $K_{пз}$  і затрат на будівництво та налагодження устаткування  $K_T$ .

Якщо позначити економію коштів за рахунок відмов, виявлених СД і відвернутих технічним персоналом,  $E_o$ , а інші статті економії (економію засобів внаслідок скорочення експлуатаційного штату) –  $E_d$ , то можна записати наступний вираз, що характеризує економію засобів за весь розрахунковий період  $[0; T]$ :

$$\sum_{i=0}^T E_i \cdot \alpha = \sum_{i=0}^T (E_o + E_d)_i \cdot \alpha. \quad (11)$$

Одним з показників ефективності впровадження СД є індекс прибутковості  $I$ , що обчислюється як відношення результату (ефекту) до капітальних вкладень [7].

При  $I > 1$  впровадження СД вважається ефективним, при  $I < 1$  проект варто відхилити як неефективний. Рівність індексу прибутковості одиниці означає, що впровадження проекту не приносить прибутку, але і не є збитковим.

Використовуючи введені вище позначення, запишемо формулу індексу прибутковості впровадження СД так:

$$I = \frac{\sum_{i=0}^T E_i \cdot \alpha}{\sum_{i=0}^T K_i \cdot \alpha} = \frac{\sum_{i=0}^T E_i}{\sum_{i=0}^T K_i}. \quad (12)$$

З урахуванням (9) обчислимо втрати, яких можна уникнути при функціонуванні діагностування, запобігаючи відмовам, виявлені на стадії перед відмовного стану:

$$P = \sum_{i=0}^T (E_o)_i \cdot \alpha = \sum_{i=0}^T (p_j \cdot N_{ВП})_i = \sum_{i=0}^T [p_j \cdot (N - N_{ВП} + N_{НН} + N_{НУ})]_i \cdot \alpha. \quad (13)$$

Підставивши (13) в (11), отримаємо:

$$\begin{aligned} \sum_{i=0}^T E_i \cdot \alpha &= \\ &= \sum_{i=0}^T [p_j \cdot (N - N_{ВП} + N_{НН} + N_{НУ})]_i \times \\ &\quad \times \alpha + \sum_{i=0}^T (E_d)_i \cdot \alpha. \end{aligned} \quad (14)$$

На підставі формул (12) і (14) запишемо індекс дохідності:

$$I = \frac{\sum_{i=0}^T [p_j \cdot (N - N_{ВП} + N_{НН} + N_{НУ})]_i \times \alpha + \sum_{i=0}^T (E_D)_i \cdot \alpha}{\sum_{i=0}^T K_i \cdot \alpha} > 1. \quad (15)$$

Перетворюючи (15), одержимо наступну нерівність, що характеризує ефективність впровадження СД:

$$\sum_{i=0}^T [p_j \cdot (N - N_{ВП} + N_{НН} + N_{НУ})]_i + \sum_{i=0}^T (E_D)_i > \sum_{i=0}^T K_i. \quad (16)$$

Таким чином, витрати на впровадження, амортизацію, будівництво та експлуатацію СД повинні бути меншими, ніж сума зекономлених коштів за розрахунковий період  $[0; T]$ , у цьому випадку впровадження СД економічно доцільне. Для досягнення максимальних показників СД з виявлення порушень функціонування необхідно прагнути зі зменшенням часу діагностування скоротити до нуля кількість не виявлених передвідмовних станів РЕО.

## Висновки

На ефективність впровадження автоматизованої системи діагностування впливають не тільки скорочення обслуговуючого персоналу, виключення людського фактору в процесі аналізу роботи та обслуговування РЕО, інші статті витрат, але і частка виявлених відмов та таких, яких вдалося запобігти, від загального числа відмов, що виникають у РЕО. Ефективність впровадження автоматизованої системи діагностування буде тим вище, чим ближче коефіцієнт  $\xi$  до одиниці.

Застосування нових методів отримання та обробки діагностичної інформації (метод власного випромінювання та безконтактний індукційний метод) в АА СД забезпечуватиме максимальну здат-

ність системи діагностування з виявлення порушень функціонування, а звідси, можливість розробки оптимальних стратегій технічного обслуговування РЕО.

## Список літератури

1. Сапожников В.В. Надежность систем железнодорожной автоматики, телемеханики и связи: Учебное пособие для вузов ж.д. трансп / В.В. Сапожников, Вл.В. Сапожников, В.И. Шаманов. Под ред. Вл. В. Сапожникова. – М.: Марирут, 2003. – 226 с.
2. РТМ 32ЦЩ 1115842.03М94. Правила и методы обеспечения безопасности релейных систем.
3. Ильичев А.В. Эффективность проектируемой техники: Основы анализа / А.В. Ильичев. – М.: Машиностроение, 1991. – 336 с.
4. Надежность и эффективность в технике : справочник / Ред. совет: В.С. Авдеевский (пред.) и др. В 10 т. Т.1. Методология. Организация. Терминология / Под ред. А.И. Рембезы. – М.: Машиностроение, 1986. – 224 с.
5. Надежность и эффективность в технике : справочник / Ред. совет: В.С. Авдеевский (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.
6. Петухов Г.Б. Методологические основы внешнего проектирования целенаправленных процессов и целеустремленных систем / Г.Б. Петухов, В.И. Якунин. – М.: АСТ, 2006. – 504 с.
7. Росин М.Ф. Статистическая динамика и теория эффективности систем управления / М.Ф. Росин, В.С. Булыгин. – М.: Машиностроение, 1980. – 312 с.
8. Соломонов Ю.С. Большие системы: гарантийный надзор и эффективность / Ю.С. Соломонов, Ф.К. Шахтарин. – М.: Машиностроение, 2003. – 368 с.
9. Ефанов А.Н. Оценка экономической эффективности инвестиций и инноваций на железнодорожном транспорте: Учебное пособие / А.Н. Ефанов, Т.П. Коваленок, А.А. Зайцев. – СПб: ПГУПС, 2001. – 184 с.
10. Семичева О.Ю. Оценка инвестиций в современные системы диспетчерского контроля и управления движением поездов / Семичева О.Ю. : дисс. ... канд. экон. наук: 08.00.05. – СПб, 2006. – 188 с.

Надійшла до редколегії 11.02.2015

Рецензент: д-р техн. наук проф. В.В. Вишнівський, Державний університет телекомунікацій, Київ.

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ АВТОНОМНОЙ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ РАДИОЭЛЕКТРОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

В.В. Кузавков

В работе определен общий подход к оценке эффективности автономных автоматизированных систем диагностирования радиоэлектронного оборудования построенных с использованием новых методов получения и обработки диагностической информации (метод собственного излучения и бесконтактный индукционный метод).

**Ключевые слова:** эффективность, система диагностирования, радиоэлектронное оборудование.

## THE EFFECTIVENESS OF AN AUTONOMOUS AUTOMATED SYSTEM OF AVIONICS DIAGNOSTIC

V.V. Kuzavkov

In the work on a common approach to evaluating the effectiveness of autonomous automated diagnostic systems avionics built using new methods of obtaining and processing of diagnostic information (the method of its own radiation and non-contact induction method).

**Keywords:** efficiency, system diagnostics, electronic equipment.