

кластеризації мають дві ознаки ($n=2$), то результати нечіткої розбиття можна представити тривимірним графіком: для кожного об'єкта відкласти по осях абсцис і ординат значення ознак, а по осі аплікату – ступінь приналежності об'єкта нечіткому кластеру. Кількість таких графіків буде дорівнює числу кластерів (n). Зазначений підхід дозволить екстрагувати нечіткі правила для ідентифікації об'єктів митного контролю.

Висновки. Таким чином проаналізовано можливість застосування методу кластеризації fuzzy c-means для створення алгоритму ідентифікації об'єктів митного контролю при визначенні додаткового коду товару. Отримані результати досліджень запропонованим методом дозволяють стверджувати про можливість його агрегування до модулю програмно-інформаційного комплексу «Інспектор 2006», що використовується митними органами в процесі митного оформлення та митного контролю, для розв'язання задач ідентифікації, та в рамках АСАУР, ініціювання візуального інформування посадової особи митних органів, в необхідності проведення додаткових форм контролю у випадках невизначеності.

Література

1. International Convention on the simplification and harmonization of customs procedures // Official Journal (EC) L 100, 21.04.1975, p. 0002 – 0017.
2. Про Митний тариф України (із змінами) [Електронний ресурс]: закон України: [прийнято ВР 05.04.2001 № 2371-III]. – Режим доступу: www.rada.gov.ua.
3. Методы и модели анализа данных: OLAP и Data Mining / [Барсегян А.А., Куприянов М.С., Степаненко В.В., Холод И.И.]. – СПб.: Петербург, 2004. – 336 с.
4. Zimmermann H. – J. Fuzzy Set Theory – and Its Applications. 3rd ed. – Kluwer Academic Publishers, 1996. – 435p.
5. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH / А.В. Леоненков. – СПб.: БХВ-Петербург, 2003. – 276 с.

Надійшла 12.5.2010 р.

УДК 621.396.6.019.3

О.М. ШИНКАРУК, І.І. ЧЕСАНОВСЬКИЙ
Хмельницький національний університет

ОКРЕМІ МЕТОДИЧНІ АСПЕКТИ ВИКОРИСТАННЯ НАДМІРНОСТЕЙ ПРИ ВИРІШЕННІ ПРОБЛЕМИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ РАДІОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

В статті представлено у формалізованому вигляді основні напрямки забезпечення високого рівня надійності багатофункціональних радіотехнічних систем із використанням наявних (потенційних) надмірностей. При цьому розглянута можливість адаптації профілактико-відновлювальних заходів багатофункціональних радіотехнічних систем до особливостей функціонування їх структурних підсистем, характерних тенденцій зміни технічного стану з урахуванням дії чинників зовнішнього впливу. Одержані вирази для окремих комплексних показників надійності з урахуванням наявних резервів як в структурі так і в системі експлуатації радіотехнічних систем. Представлені вирази для оцінки ефективності використання резервів на основі показників безвідмовності.

In the article basic directions of providing of high level of reliability of radio of the technical systems are presented in the formalized kind with the use of potential surpluses. Possibility of adaptation of prophylactic and repair works of radio of the technical systems is thus considered to the features of functioning of them structural subsystems, characteristic tendencies of change of the technical state taking into account the action of factors of external influence. Expressions are got for separate complex reliability indexes taking into account present backlogs as in a structure so in the system of exploitation of radio of the technical systems. Expressions are presented for the estimation of efficiency of drawing on reserves on the basis of indexes of faultlessness.

Ключові слова: адаптація, радіотехнічні системи, надмірність, температура, алгоритм, резервування.

Вступ. Аналіз сучасних тенденцій розвитку радіотехнічних систем (РТС) свідчить про стрімке підвищення їх функціональності, що призводить до значного ускладнення їх структури, а відповідно до зниження показників надійності. Незважаючи на поліпшення якості елементної бази, підвищення надійності таких систем може бути забезпечене тільки на основі комплексного підходу. Сутність даного підходу полягає в системному урахуванні складної структури РТС, сумісному використанні методів резервування (зокрема, почасового і структурного) і вдосконаленні методів організації і проведення профілактико-відновлювальних заходів (ПВЗ) з максимальним урахуванням чинників і умов реального функціонування систем [1,2].

Як на думку авторів, одним із шляхів реалізації такого підходу є синтез математичної моделі процесу функціонування, що забезпечує урахування структури та тенденцій зміни значень показників надійності окремих підсистем, а також визначення оптимальної періодичності їх ПВЗ. На підставі цього та з урахуванням прийнятої стратегії експлуатації (максимальна надійність при допустимих затратах чи мінімальні затрати при допустимому рівні надійності) передбачається суміщення операцій ПВЗ в певні

комплекси робіт з метою досягнення максимальної їх ефективності, з точки зору забезпечення максимального рівня їх надійності.

Такий підхід до організації ПВЗ, дає змогу урахування наявних структурних і почасових резервів, що мають місце в процесі функціонування РТС і мають обсяг недостатній для їх урахування в існуючих системах експлуатації (планово-попереджувальній та за станом).

Постановка завдання. У відомих науково-методичних підходах щодо забезпечення надійності багатофункціональних РТС, зазвичай не враховуються чинники їх реального функціонування, що впливають на вибір оптимальної стратегії ПВЗ. Зокрема, в них не врахована можливість використання почасової надмірності для забезпечення нормального функціонування об'єктів в умовах дії дестабілізуючих чинників.

У об'єктах з почасовою надмірністю відмови складових систем і механізмів, при дотриманні деяких умов, можуть не приводити до зриву функціонування. При виконанні певних вимог до тривалості відновлення працездатності, наслідки відмов апаратури після їх усунення можуть неістотно відбитися на якості і своєчасності виконуваних системою завдань. Отже, нормальне функціонування таких систем може бути забезпечене не тільки унаслідок підвищення безвідмовності складових систем і механізмів або збільшення об'єму структурного резерву, але і шляхом створення резерву часу і його використання для відновлення технічних характеристик об'єкту безпосередньо в процесі його експлуатації.

Таким чином, почасове резервуванням представляє собою метод забезпечення високого рівня надійності багатофункціональних РТС в умовах дії зовнішніх чинників шляхом визначення і використання резервного (надмірного) часу. Цей резерв вноситься не до системи, як, наприклад, при структурному резервуванні, а в порядок (алгоритм) використання (застосування) об'єкту, як це має місце при інформаційному або функціональному резервуванні.

Основна частина. У випадку почасового резервування враховується характер наслідків відмов багатофункціональної РТС при функціонуванні. В класичній теорії надійності оцінка показників надійності зводиться до вивчення перебування об'єкту в підмножині працездатних станів на деякому інтервалі часу [3,4]. Разом із тим в реальних ситуаціях при певних вимогах до часу відновлення працездатності РТС наслідки відмови можуть бути усунені і не вплинути на виконання нею своїх функцій.

Особливість і новизна вказаного підходу до аналізу і забезпечення надійності багатофункціональних РТС полягає в "зважуванні" відмов по важливості і ознаці витрачання часу на усунення їх наслідків. Це дозволяє виявити і використовувати для підвищення надійності функціонування об'єктів внутрішні резерви (зокрема, почасові), що закладені в самих об'єктах і алгоритмах їх використання за призначенням. Основними джерелами цих резервів у РТС є почасове резервування характерне для об'єктів, що володіють функціональною інерційністю [5,6]. Фізичною основою, що визначає наявність у таких об'єктів резерву часу, є інерційність процесів нагріву, охолодження, витрачання, і т. інш. Величина резерву часу визначається швидкістю протікання цих процесів і заданими граничними значеннями деяких величин, що характеризують об'єкт (температура, кількість обертів і інш.). У багатьох випадках резерв часу може бути забезпечений шляхом передачі на деякий допустимий час (час відновлення працездатності після відмови або час проведення ПВЗ) його функцій іншим об'єктам системи. В цьому випадку джерелами резервів часу можуть служити інші види надмірності, наприклад, функціональна, навантажувальна, структурна [5]. Також слід відмітити, що у ряді випадків резерв часу може бути передбачений порядком (алгоритмом) використання системи, який визначає частку періоду експлуатації, протягом якої виконуються планові ПВЗ; як резерв часу при їх проведенні може бути використаний допустимий час приведення системи в готовність до застосування.

Слід відмітити, що розглянуті вище джерела резервів часу не охоплюють всіх можливих в інженерній практиці ситуацій. Наприклад, у ряді об'єктів резерв часу може мати одночасно декілька джерел [6]. Методи почасового резервування можуть бути класифіковані по ряду ознак, зокрема по характеру поповнення і використання резерву часу. За способом поповнення розрізняють поповнюваний, не поповнюваний і комбінований резерв часу.

У першому випадку при кожній відмові об'єкту використовується деяка заздалегідь встановлена єдина величина t_d допустимої тривалості відновлення працездатності. Ця величина не залежить від кількості відмов і загального часу, витраченого на їх усунення, і характеризує почасове обмеження на тривалість відновлення працездатності t_B стосовно кожної відмови об'єкту. Аналогічно при кожному приведенні об'єкту в готовність до застосування з режиму проведення ПВЗ встановлюється деякий допустимий час $t_{дл}$, який характеризує часове обмеження на тривалість $t_{пр}$ переведення об'єкту в основний (робочий) режим. Нормальне функціонування системи забезпечується при виконанні умов $t_B \leq t_d$ і $t_{пр} \leq t_{дл}$. У момент переходу об'єкта в робочий режим резерви часу негайно (миттєво) поповнюються до початкових значень t_d і $t_{дл}$. Іноді поповнення резервів часу може відбуватися не миттєво, а поступово.

У другому випадку значення резерву часу, що не поповнюється, встановлюється заздалегідь, і в процесі роботи він може лише зменшуватися за рахунок втрат часу на відновлення працездатності об'єкту і усунення наслідків відмов. Комбінований резерв припускає сумісне використання резервів часу, що поповнюється і не поповнюється. При цьому системи з почасовим резервуванням зручно представляти у вигляді деякої умовної системи (схеми) "об'єкт-час" (ОЧ), яка складається з двох елементів - будь-якого резервованого об'єкту і резерву часу. Ця схема якісно аналогічна відомій схемі структурного ненавантаженого одноразового резервування (дублювання) в котрій услід за відмовою об'єкту

"включається" і діє резерв часу. Відмова системи ОЧ виникає у момент витрачення резерву часу, якщо до цього моменту працездатність елементу не буде відновлена або, якщо об'єкт не буде приведений в готовність до використання з режиму ТО. Кількісні дослідження показують, що ця аналогія не випадкова, а має глибокий внутрішній сенс, в основі якого лежить спільність властивостей різних видів резервування. Крім того, використання резервів часу, є одним з перспективних напрямів підвищення показників надійності багатofункціональних РТС. Це відноситься як до одиничних показників безвідмовності і ремонтпридатності, так і до комплексних показників надійності. Так виходячи з фізичної сутності почасового резервування як методу підвищення надійності функціонування, систему ОЧ можна розглядати як своєрідний перетворювач потоку відмов: вхідним є потік відмов РТС, а вихідним - потік відмов системи ОЧ. За рахунок дії резерву часу вихідний потік системи містить в середньому менше число відмов в одиницю часу, чим вхідний потік, тобто відбувається розрідження вхідного потоку відмов. Ефект розрідження виявляється тим сильніше, чим більше величина наявного резервного часу і чим ефективніше він використовується.

Для кількісної оцінки цього ефекту можуть бути використані формули, що одержані в теорії почасового резервування [2,5,6]. Так, ймовірність безвідмовного функціонування $P(t, t_D)$ системи з поповнюваним резервом часу визначається наступними формулами:

а) якщо резерв часу – випадкова величина (ВВ) τ_D з довільною функцією розподілу (ФР) $D(t) = P\{\tau_D < t\}$ і математичним очікуванням (МОЧ) $\bar{\tau}_D$, то:

$$P(t, t_D) = \exp\left(-\frac{gt}{t_H}\right) \langle t_H \rangle \tau_D, \quad (1)$$

де t_H - МОЧ напрацювання об'єкта між відмовами (t_H);

g - ймовірність того, що відмова підсистеми приведе до відмови РТС,

б) якщо резерв часу - не випадкова постійна величина $\tau_D = t_D = const$, то:

$$P(t, t_D) = \begin{cases} 1, & t < t_D, \\ \exp\left[-\frac{g(t-t_D)}{t_H}\right], & t \geq t_D. \end{cases} \quad (2)$$

Ймовірність того, що відмова підсистеми приведе до відмови РТС може бути вираженою:

$$g = P\{t_B > t_D\} = \int_0^{\infty} [1 - F_B(t)] dD(t). \quad (3)$$

Приведені вище вирази кількісної оцінки ефекту розрідження вхідного потоку відмов відповідають загальному випадку, а в частковому випадку при $t_D = t_D = const$:

$$g = P\{t_B > t_D\} = 1 - F_B(t_D), \quad (4)$$

де $F_B(t)$ - ФР часу t_B відновлення працездатності підсистеми з МОЧ \bar{t}_B .

Середнє напрацювання РТС на відмову $\bar{T}_o(\tau_D)$ визначається згідно формул:

$$\bar{T}_o(\tau_D) = \frac{1}{g} [t_H + M \min(t_B, t_D)] \quad (5)$$

де $M \min(t_B, t_D) = \int_0^{\infty} [1 - F_B(t)] [1 - D(t)] dt$ - якщо резерв часу – ВВ t_D з ФР $D(t)$;

$M \min(t_B, t_D) = \int_0^{t_D} [1 - F_B(t)] dt$, - якщо $t_D = t_D = const$.

Середній час відновлення працездатності РТС $\bar{T}_B(\tau_D)$ рівний МОЧ ВВ - перевищення часу t_0 над резервом часу t_D за умови, що $t_0 > t_D$, і виражається формулою:

$$\bar{T}_B(t_D) = \frac{1}{g} [t_B - M \min(t_B, t_D)] \quad (6)$$

У загальному випадку, коли резерв часу ВВ t_D з ФР $D(t)$, для $\bar{T}_B(t_D)$ справедливий вираз:

$$\bar{T}_B(\tau_D) = \frac{1}{g} [\bar{t}_B - M \min(t_B, \tau_D)]. \quad (7)$$

Використовуючи вирази (5) і (7) один із комплексних показників надійності – коефіцієнт готовності для системи ОЧ прийме наступний вигляд:

$$K_G(\tau_D) = \frac{\bar{t}_H + M \min(t_B, \tau_D)}{t_H + t_B} = k_G + (1 - k_G)(1 - g), \quad (8)$$

при цьому:

$$1 - g = P\{t_B \leq \tau_D\} = M \min(t_B, \tau_D) / \bar{t}_B, \quad (9)$$

де $k_G = \frac{\bar{t}_H}{(t_H + t_B)}$ - коефіцієнт готовності системи.

Для оцінки ефективності ПВЗ, з точки зору забезпечення надійності [7] системи в цілому, прийнято використовувати комплексний показник надійності – коефіцієнт технічного використання $K_{ТВ}(\tau_{Д1})$. Для багатофункціональних РТС, в яких передбачено обслуговування за технічним станом, допустимим (резервним) часом $\tau_{Д1}$ (або $t_{Д1}$) є обмеження, що накладаються на тривалість проведення контролю технічного стану t_k і тривалість проведення технічного обслуговування (ТО) t_{mo} . В цьому випадку середня тривалість $\bar{T}_K(\tau_{Д1})$, проведення контролю технічного стану і середня тривалість $\bar{T}_{mo}(\tau_{Д1})$, виражаються формулами:

$$\bar{T}_K(\tau_{Д1}) = \frac{1}{g_1} [\bar{t}_k - M \min(t_k, \tau_{Д1})] \quad (10)$$

$$\bar{T}_{mo}(\tau_{Д1}) = \frac{1}{g_1} [\bar{t}_{mo} - M \min(t_{mo}, \tau_{Д1})] \quad (11)$$

де t_k і t_{mo} – випадкові величини, що мають довільні ФР $F_K(t)$ і $\Phi(t)$ з кінцевими МОЧ \bar{t}_k і \bar{t}_{mo} відповідно.

В окремому випадку, коли $\tau_{Д1} = t_{Д1} = const$ у формули (10) і (11) необхідно замість $\tau_{Д1}$ підставляти $t_{Д1}$. Для таких систем коефіцієнт технічного використання $K_{ТВ}(\tau_D)$ виражається формулою:

$$K_{ТВ}(\tau_D) = \frac{\bar{T}_o(\tau_D)}{\bar{T}_o(\tau_D) + \bar{T}_k(\tau_{Д1}) + \bar{T}_{mo}(\tau_{Д1}) + \bar{T}_B(\tau_D)}. \quad (12)$$

Приведені вище формули для одиничних і комплексних показників дозволяють кількісно оцінити ефект щодо підвищення (забезпечення) надійності за рахунок використання резервів часу. Цей ефект, стосовно ймовірності відмови при функціонуванні може бути оцінений за допомогою співвідношення:

$$V_Q = \frac{Q(t)}{Q(t, t_D)} = \frac{1 - \exp(-\lambda t)}{1 - \exp[-\lambda(t - t_D)(1 - F_B(t_D))]}, \quad (13)$$

де V_Q - показник ефективності використання наявних резервів;

$Q(t)$ - ймовірність відмови (зриву функціонування) РТС без урахування резервів;

$Q(t, t_D) = 1 - P(t, t_D)$ - ймовірність відмови (зриву функціонування) РТС з урахуванням наявних (потенційних) резервів.

Стосовно показника безвідмовності ремонтуємих об'єктів, якими є багатофункціональні РТС, середнього напрацювання між відмовами, досліджуваний ефект визначається із співвідношення:

$$V_{T_o} = \frac{\bar{T}_o(t_D)}{\bar{t}_H} = \mathbf{1}^{\mu_D} + \frac{\lambda}{\mu} (\mathbf{1}^{\mu_D} - 1). \quad (14)$$

Стосовно коефіцієнту простоїв, досліджуваний ефект від урахування наявних резервів визначається із співвідношення:

$$V_{K_{пр}} = \frac{1 - k_G}{1 - K_G(t_D)} = \mathbf{1}^{\mu_D}, \quad (15)$$

Стосовно тривалості проведення заходів відновлення та технічного обслуговування, досліджуваний ефект від урахування наявних резервів визначається із наступних співвідношень:

$$V_{\bar{T}_B} = \frac{\bar{t}_B}{\bar{T}_B(t_D)} = \frac{1 + \mu t_D}{1 + 0,5\mu t_D}, \quad (16)$$

$$V_{\bar{T}_{To}} = \frac{\bar{t}_{mo}}{\bar{T}_{mo}(t_{D1})} = \frac{1 + \theta t_{D1}}{1 + 0,5\theta t_{D1}}, \quad (17)$$

Формула (13) отримана при $F(t) = 1 - \exp(-I t)$ і довільному розподілі $F_B(t) = P\{t_B < t\}$ випадкової величини t_B ; формули (14) і (15) - при експоненціальному розподілі напрацювання об'єкту між відмовами і часу відновлення з параметрами I і m відповідно, формули (16) і (17) - при розподілі випадкових величин t_B і t_{mo} згідно із законом Ерланга 2-го порядку з параметрами $\mu = \frac{2}{t_B}$ і $q = \frac{2}{t_{To}}$ відповідно.

Як видно з формул (16) і (17), за рахунок використання резервів часу при відновленні працездатності об'єкту і проведенні ТО скорочується тривалість простоїв системи на ремонті і на ТО. Зі збільшенням резерву часу t_D (t_{D1}) середній час відновлення працездатності системи $\bar{T}_B(\tau_D)$ (або тривалість проведення ТО $\bar{T}_{mo}(\tau_{D1})$) монотонно зменшується від початкового значення \bar{t}_e (або \bar{t}_{mo}) при $t_D = 0$ (або $t_{D1} = 0$). При $t_D \rightarrow \infty$ (або $t_{D1} \rightarrow \infty$) величина $\bar{T}_B(\tau_D)$ (або $\bar{T}_{mo}(\tau_{D1})$) прямує до деякої межі, яка залежить від виду ФР $F_B(t)$ (або $\Phi(t)$). Зокрема, в даному випадку, коли випадкові величини t_B або t_{mo} розподілені по закону Ерланга 2-го порядку з параметром $\mu = \frac{2}{t_B}$ (або $q = \frac{2}{t_{To}}$), ця межа складає $\frac{\bar{t}_B}{2}$ (або $\frac{\bar{t}_{mo}}{2}$).

Висновки. Таким чином, використання резервів часу при проведенні ПВЗ багатофункціональних РТС є одним з перспективних шляхів забезпечення високого рівня їх надійності, що полягає у підвищенні комплексного показника надійності - коефіцієнта технічного використання. Не зважаючи на наявність окремих теоретичних робіт, що виконані в цьому напрямку, ціла низка питань залишається не дослідженою. Так, відомі традиційні підходи до організації ПВЗ не в повній мірі враховують всю різноманітність експлуатаційних чинників: режими використання і характер функціонування РТС, види надмірностей, що використовуються та методи резервування, характеристики контролю технічного стану і інш. Недостатньо досліджені питання порівняльної оцінки ефективності різних підходів щодо організаційно-технічних заходів, які направлені на забезпечення певного (встановленого, потенційного) рівня надійності і взаємозв'язаного впливу вказаних вище чинників, зокрема, почасової та структурної надмірності на показники надійності. Це тим більше важливо, що такий комплексний підхід до дослідження надійності обслуговуваних систем з надмірностями, до яких відносяться багатофункціональні РТС, приводить до нових якісних і кількісних результатів, що відкривають важливі властивості та особливості таких систем.

Література

1. Барзилович Е.Ю. Эксплуатация авиационных систем по состоянию / Е.Ю. Барзилович, В.Ф. Воскобоев. – М. : Транспорт, 1981. – 196 с.
2. Модели технического обслуживания систем с избыточностью / [Б.П. Креденцер, С.В. Ленков, М.И. Резников, В.В. Зубарев] ; под ред. Б.П. Креденцера. – К. : Фенікс, 2002. – 192 с.
3. Надежность технических систем : справочник / [Беляев Ю.К/, Богатырев В.А., Болотин В.П. и др.] ; под ред. И.А. Ушакова. – М. : Радио и связь, 1985. – 608 с.
4. Смирнов Н.Н. Обслуживание и ремонт авиационной техники по техническому состоянию / Н.Н. Смирнов, А.А. Ицкович. – М. : Транспорт, 1980. – 232 с.
5. Креденцер Б.П. Оптимизация избыточности в сложных технических системах. Основные вопросы теории и практики надёжности / Креденцер Б.П. – Минск : Наука и техника, 1982. – 674 с.
6. Черкесов Г.Н. Надежность технических систем с временной избыточностью / Черкесов Г.Н. – М. : Сов. радио, 1974. – 296 с.
7. Надійність техніки. Терміни та визначення : ДСТУ 2860-94. – [Введено вперше 28.12.94]. – К. : Держстандарт України, 1994. – 40 с.

Надійшла 12.5.2010 р.