

## ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА ВІДНОВЛЕННЯ ОБТ

УДК 681.3(07)

О.В. Селюков

*Державне підприємство «Науковий центр точного машинобудування», Київ*

### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ОПТИМІЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ ВИТРАТ І ПОПОВНЕННЯ РЕСУРСУ СКЛАДНОГО ВІДНОВЛЮВАЛЬНОГО ОБ'ЄКТА РАДІОЕЛЕКТРОННОЇ ТЕХНІКИ

*Виконується аналіз особливостей визначення ресурсу складних відновлювальних об'єктів радіоелектронної техніки. Зроблений висновок про необхідність знання функції параметру потоку відмов як основної характеристики, яка дозволяє визначити ресурс об'єкта.*

*Ключові слова:* ресурс, вартість, надійність, параметр потоку відмов, витрати.

#### Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень і публікацій

Стаття присвячена питанню моделювання процесів витрат і поповнення ресурсу складних відновлювальних об'єктів і систем радіоелектронної техніки (РЕТ). Характерною рисою об'єктів РЕТ є їхня складність (схемна, конструктивна), велика кількість (десятки і сотні тисяч) і різноманітність комплектуючих елементів (електронні та радіоелементи, електромеханічні, механічні, гідравлічні тощо). Для об'єктів РЕТ характерна також ієрархічна конструктивна структура, тобто така конструкція, в якій можна виділити елементи різного рівня вкладеності. Наприклад, об'єкт може складатися із шаф, шафи – із блоків, блоки – із плат і т.і.

Оскільки ресурс об'єкта РЕТ визначається ресурсом усіх його комплектуючих елементів, то очевидно, що при заміні окремих елементів, що відмовили, новими одночасно з відновленням працездатності об'єкта відбувається часткове поповнення його ресурсу. Однак це поповнення незначне і на практиці не враховується.

Для реального поповнення ресурсу виконуються планові ремонти, при яких виконується заміна (відновлення) значної частини комплектуючих елементів. За рахунок виконання планових ремонтів теоретично можна поповнювати ресурс нескінченно й тим самим продовжувати експлуатацію об'єкта як завгодно довго, якщо, звичайно, не враховувати фактори морального старіння.

**Метою статті** є розробка аналітичної моделі процесів витрат і поповнення ресурсу об'єктів радіоелектронної техніки.

#### Основна частина

Мета планових ремонтів, що проводяться на об'єкті радіоелектронної у процесі його експлуатації, – своєчасне поповнення ресурсу об'єкта й за рахунок цього забезпечення необхідного рівня його безвідмовності. Проведення ремонтів, що відновлюють ресурс, вимагає значних економічних витрат, тому що при ремонтах здійснюється заміна значної частини комплектуючих елементів, використовується дороге ремонтне обладнання й кваліфікована праця фахівців-ремонтників. Крім того, система, до складу якої входить даний об'єкт РЕТ, зазнає витрат, пов'язаних з тим, що під час ремонту об'єкт не може застосовуватися за призначенням (або істотно знижуються його можливості). Тому виникає природна задача оптимального вибору параметрів процесу витрат і поповнення ресурсу об'єкта РЕТ. Загалом задачу оптимізації можна сформулювати в такий спосіб: потрібно визначити оптимальні параметри  $P^{opt}$  таким чином, щоб забезпечувалися вимоги:

рівень безвідмовності об'єкта РЕТ протягом заданого періоду експлуатації  $T_E$  повинен бути не нижче заданого;

витрати вартості на експлуатацію об'єкта з урахуванням вартості ремонтів повинні бути мінімальними.

Загалом кажучи, можлива й інша (дуальна) постановка задачі: при заданому обмеженні на вартість експлуатації потрібно забезпечити максимальний рівень безвідмовності об'єкта РЕТ на заданому інтервалі часу експлуатації. Однак таку постановку задачі ми не будемо досліджувати, тому що клас об'єктів РЕТ, що розглядається, за своїм

призначенням в першу чергу повинен задовольняти заданій вимозі до їхньої надійності, і тільки після цього необхідно мінімізувати витрати на експлуатацію об'єктів РЕТ.

Якщо за показник безвідмовності прийняти параметр потоку відмов, а витрати вартості оцінювати витратами, що доводяться на одиницю часу експлуатації (питомою вартістю експлуатації), то постановку задачі формально можна визначити наступними співвідношеннями:

$$E \Omega(t/B, P^{opt}) \leq \Omega^H; \quad (1a)$$

$$C_{BE}(T_E, B, P^{opt}) = \min_{\mathcal{R}} C_{BE}(T_E, B, P) \quad (1b)$$

$$t \in [0, T_E^-],$$

де  $C_{BE}(T_E, B, P)$  - питома вартість експлуатації об'єкта на інтервалі  $[0, T_E^-]$ ;

$B$  - узагальнений параметр, що представляє всю інформацію про властивості надійності об'єкта РЕТ (надійнісна структура, показники безвідмовності комплектуючих елементів тощо);

$P$  - узагальнений параметр, що описує процес ремонтів, які проводяться в розглянутому інтервалі експлуатації об'єкта РЕТ з метою поповнення ресурсу;

$P^{opt}$  - оптимальний процес ремонтів (строки й об'єми всіх ремонтів);

$\mathcal{R}$  - множина можливих значень шуканого параметра  $P$ ;

$\Omega(t)$  - функція параметра потоку відмов [1];

$\Omega^H$  - необхідне значення параметра потоку відмов таке що, якщо значення функції  $\Omega(t)$  перевищить значення  $\Omega^H$ , це є ознакою настання граничного стану;

$t$  - сумарний наробіток об'єкта, обмірюваний в одиницях часу [2];

$T_E$  - період експлуатації об'єкта [3].

Питому вартість експлуатації  $C_{BE}(T_E, B, P)$  будемо визначати відповідно до наступного виразу [4]

$$\begin{aligned} C_{BE}(T_E, B, P) = & C_{PB} + \\ & + \frac{1}{T_E} \sum_{i \in E} C_i \int_0^{T_E} \omega(t/B, P) dt + \\ & + \frac{1}{T_E} \sum_{k=1}^{N_p(T_E)} (C_{HB} + \sum_{i \in V_{pk}} C_i + C_{TB} \tau_{pk}(V_{pk})), \end{aligned} \quad (2)$$

де  $C_{BE}$  - питомі пропорційні витрати на експлуатацію (зарплата обслуговуючого персоналу, вартість електроенергії й т. п., віднесені до одиниці часу експлуатації);

$C_i$  - вартість  $i$ -го конструктивного елемента об'єкта, що може відмовляти й замінятися при ремонтах ( $i \in E$ , де  $E$  - множина всіх елементів об'єкта РЕТ);

$\omega_i(t/B, P)$  - параметр потоку відмов  $i$ -го елемента. Параметр  $B$  тут визначає вид і параметри закону розподілу наробітку до відмови  $i$ -го елемента, а параметр  $P$  містить інформацію про час, що пройшов після останньої його заміни (ремонт);

$N_p$  - сумарна кількість планових ремонтів, виконуваних за час експлуатації  $T_E$ ;

$C_{HB}$  - накладні витрати, пов'язані з  $k$ -им плановим ремонтом (зарплата ремонтників, амортизація ремонтного обладнання, витрати електроенергії і т. і.);

$C_{TB}$  - питома вартість втрат, обумовлених тимчасовою відсутністю об'єкта РЕТ у системі при проведенні його ремонту;

$\tau_{pk}$  - тривалість  $k$ -го ремонту (час, на який об'єкт виключається із системи при  $k$ -му ремонті).

У (2) другий доданок представляє питому вартість всіх елементів, що замінюються при поточних ремонтах. Третій доданок визначає питому вартість всіх планових ремонтів, що виконуються на об'єкті протягом часу його експлуатації  $T_E$ , включаючи вартість втрат, пов'язаних з неможливістю застосування об'єкта за призначенням під час ремонту. Величину  $C_{TB}$  в (2) приблизно можна визначити в такий спосіб

$$C_{TB} = C_{PET}/T_E,$$

де  $C_{PET}$  - вартість об'єкта РЕТ, що потрібен був би для підміни об'єкта РЕТ, що перебуває в стані ремонту.

Постановка задачі (1) основана на використанні критерію граничного стану виду, якщо повинне забезпечуватися необхідне миттєве значення показника  $\Omega(t/\dots) \leq \Omega^H$ . Якщо ж використати критерії граничного стану, відповідно до якого необхідно забезпечувати тільки середнє значення показника безвідмовності  $\bar{\Omega}(t/\dots) \leq \bar{\Omega}^H$ , то постановка задачі оптимізації системи планових ремонтів здобуває наступний вид:

$$\bar{\Omega}(T_E, B, P^{opt}) \leq \bar{\Omega}^H; \quad (3a)$$

$$\begin{aligned} C_{BE}(T_E, B, P^{opt}) = & \min_{\mathcal{R}} C_{BE}(T_E, B, P) \\ & t \in [0, T_E^-], \end{aligned} \quad (3b)$$

де  $\bar{\Omega}(T_E, B, P^{opt})$  - середнє, на інтервалі  $[0, T_E]$ , значення параметра потоку відмов, що визначається таким чином

$$\bar{\Omega}(T_E, B, P) = \frac{1}{T_E} \int_0^{T_E} \Omega(t/B, P) dt. \quad (4)$$

Постановки задач (1) і (3) зовні подібні, однак методи, які придатні для їхнього розв'язку, виявляються істотно різними.

Неважко бачити, що обидві задачі (1) і (3) є досить складними задачами оптимізації, і складність їх обумовлена такими їхніми особливостями:

для цільових функцій у цих задачах невідомі їхні аналітичні вирази - їхні значення можуть бути отримані тільки шляхом моделювання. Це істотно обмежує спектр методів оптимізації, що можна застосувати для їх розв'язання. Задача не може бути вирішена аналітично. Практично застосовними в цьому випадку залишаються лише найпростіші методи прямого пошуку, ефективність яких, як відомо, мала;

параметр  $P$ , що оптимізується, має складну структуру - є множиною, елементами якої також є множини;

цільова функція  $\Omega(t/...)$  в (1 а) є функцією часу (наробітку)  $t$ . Тому обмеження (1 а) при деяких значеннях може виконуватися, але не виконуватися при інших значеннях  $t$ . Очевидно, що ця особливість задачі (1) заважає для її розв'язку розробки спеціальних процедур і методів, оснований на аналізі форми функції  $\Omega(t/...)$ , і вбудовування їх в алгоритми пошуку.

Проаналізуємо більш докладно структуру параметра  $P$ , що оптимізується, складність якого викликає найбільші труднощі розв'язання обох задач. Простір  $R$ , у якому здійснюється пошук оптимального значення  $P^{opt}$ , є тривимірним

$$R \cong R \times V \times R, \quad (5)$$

де  $R$  - множина ненегативних дійсних чисел (множина можливих значень міжремонтного ресурсу);

$V$  - множина множин (множина всіх підмножин елементів об'єкта, потенційно замінних при планових ремонтах)  $V \subset E$ ;

$R$  - множина номерів ремонтів  $k = 1, N_p(T_E)$ .

Очевидно, що найбільші труднощі тут викликає координата  $V$  - це неупорядкована множина підмножин  $V$  і поки не ясно, як здійснювати пошук по цій координаті. Для

упорядкування підмножин  $V \in \mathcal{V}$  пропонується наступна процедура. На початку виконується упорядкування елементів  $e_i \in E$  з убуття значень імовірності безвідмовної роботи елементів  $p_i(R)$ , де  $R$  - міжремонтний ресурс, установлений для ремонту з об'ємом  $V$ . Потім з упорядкованої множини  $E$  послідовно вибираються підмножини, що складаються з одного, двох і т. д. перших елементів, і ці підмножини в цій же послідовності включаються як елементи в множину  $\mathcal{V}$ . У результаті буде сформована впорядкована послідовність підмножин  $\mathcal{V}$ , у якій всі підмножини впорядковані за зростанням числа елементів у них і при цьому кожна підмножина  $V$  завжди містить найменш надійні елементи.

Отримана в такий спосіб координата  $V$ , як і раніше, незручна для реалізації процедур пошуку, тому що «значеннями» координата, як і раніше, залишаються множини. Тому пропонується замість координати  $V$  ввести координату дійсних чисел  $R$ , у якій елементами  $P$  є значення відсотка заміни елементів  $P \in [0, 100]$ . Величина  $P$  визначається в такий спосіб

$$P = \frac{|V|}{|E|} \cdot 100. \quad (6)$$

де  $V$  - підмножини, узяті з  $\mathcal{V}$  ( $V \subset E$ );

$|V|$  і  $|E|$  - число елементів відповідно в множинах  $V$  і  $E$ .

Неважко бачити, що між множинами  $\mathcal{V}$  і  $R$  існує взаємно однозначна відповідність (з точністю до «округлення» чисел  $P$  до найближчого цілого, одержуваного згідно з (6)). Дійсно, кожному елементу  $V \in \mathcal{V}$  відповідає єдине значення  $P \in R$  ( $V \rightarrow R$ ). Зворотна відповідність  $R \rightarrow \mathcal{V}$  установлюється шляхом перетворення значення  $P$ , довільно обраного з інтервалу  $[0, 100]$ , до найближчого значення, що задовольняє вираз (6).

Отже, завдяки запропонованому прийому замість параметра  $P$  у задачах (1) і (3) можемо використати параметр наступного виду

$$P = \langle R_{pk}, P_{pk} \rangle; k = 1, N_p,$$

який приймає значення в тривимірному просторі порівняно простої структури:

$$R \cong R \times V \times R.$$

Тепер, одержавши оптимальний розв'язок

$$P^{opt} = \langle R_{pk}^{opt}, P_{pk}^{opt} \rangle; k = \overline{1, N_p^{opt}},$$

можемо за отриманим значенням  $P_k^{opt}$  знайти відповідну йому оптимальну підмножину  $V_{P_k}^{opt}$ , тобто одержати оптимальний розв'язок  $P^{opt}$ .

Звернемо увагу ще на одну особливість шуканого розв'язку  $P^{opt}$ , яку необхідно враховувати при розв'язанні задач (1) і (3), - це існування залежності між параметрами  $R_{pk}, P_{pk}, N_p$ . Так, мабуть, що число ремонтів  $N_p$  дорівнює числу елементів множини  $R_{pk}$ .

$$N_p = \frac{T_E}{\sum_{k=1}^{N_p} R_{pk}}.$$

Тому величину  $N_p$  можна було б взагалі виключити із числа шуканих параметрів ( $N_p^{opt}$  обчислюється через отримані значення  $R_{pk}^{opt}$ ). Величини  $P_{pk}$  також можуть залежати від  $R_{pk}$ , тому що при формуванні підмножин  $V$ , що включають в  $V$ ,

упорядкування елементів  $e_i \in E$  може змінюватися залежно від значення  $R_{pk}$  (тому що упорядкування  $e_i$  виконується по убутанню ймовірності безвідмовної роботи  $p_i(R_{pk})$  елемента  $e_i$ ).

## Висновки

Здійснена постановка задачі оптимального вибору параметрів процесу витрат і поповнення ресурсу об'єкта радіоелектронної техніки.

Наведений варіант аналітичної моделі процесів витрат і поповнення ресурсу складних відновлювальних об'єктів радіоелектронної техніки.

## Список літератури

1. ДСТУ 2860-94. Надійність техніки. Терміни та визначення. - К.:1994.-14 с.
2. ГОСТ 27.002-89. Надежность в технике. Основные понятия. - М.:1989.-16 с.
3. Надежность и эффективность в технике. Справочник. Т.5. Проектный анализ надежности. - М.: Машиностроение, 1988. - 316 с.
4. Моделі процесів витрат і поповнення ресурсу складних відновлюваних об'єктів і систем радіоелектронної техніки. Монографія / К.Ф. Боряк, В.О. Браун, С.В. Ленков, О.В. Селюков, В.М. Цицарев. - Київ: Знання України, 2008. - 267 с.

## ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ЗАТРАТ И ПОПОЛНЕНИЯ РЕСУРСА СЛОЖНОГО ВОССТАНАВЛИВАЕМОГО ОБЪЕКТА РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ

А. В. Селюков

*Проводится анализ особенностей определения ресурса сложных восстанавливаемых объектов радиоэлектронной техники. Сделан вывод о необходимости знания функции параметра потока отказов как основной характеристики, которая позволяет определить ресурс объекта*

**Ключевые слова:** ресурс, стоимость, надежность, параметр потока отказов, затраты.

## RAISING OF TASKS OF OPTIMIZATION OF PROCESS OF EXPENSES AND ADDITION TO THE RESOURCE OF DIFFICULT REFURBISHABLE OBJECT OF RADIO ELECTRONIC TECHNIQUE

A. Selukov

*The analysis of features of determination of resource of difficult refurbishable objects of radio electronic technique is conducted. Drawn conclusion about the necessity of knowledge of function of parameter of stream of refuses as basic description that allows to define the resource of object*

**Key words:** resource, value, reliability, characteristic of trouble flow, cost.