СИСТЕМИ ТА МЕТОДИ ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ

УДК 62-7

С.В. Лєнков,
доктор технічних наук, професор,
Є.С. Лєнков,
кандидат технічних наук

ФОРМАЛІЗОВАНА МЕТОДИКА ОПТИМІЗАЦІЇ ПАРАМЕТРІВ СТРАТЕГІЇ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ЗА РЕСУРСОМ СКЛАДНИХ ВИРОБІВ ТРИВАЛОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

У статті проаналізовані процеси оптимізації параметрів стратегії технічного обслуговування за ресурсом складних виробів тривалої експлуатації. Розроблена формалізована методика на основі алгоритму розв'язання задачі формалізації параметрів технічного обслуговування.

Ключові слова: *технічне обслуговування, надійність, задача оптимізації, ресурс.*

В статье проанализированные процессы оптимизации параметров стратегии технического обслуживания за ресурсом сложных изделий длительной эксплуатации. Разработанная формализированная методика на основе алгоритма решения задачи формализации параметров технического обслуживания.

Ключевые слова: *техническое обслуживание, надежность, задача оптимизации, ресурс.*

In the paper the processes of an optimization of parameters of the strategy of technical service are after the resource of difficult wares of the protracted exploitation are analyzed. Formalized methodology on the basis of algorithm of the decision of the task of formalization of parameters of technical service is worked out.

Keywords: *technical service, reliability, task of optimization, resource.*

Вступ та постановка проблеми

Показники надійності та вартості експлуатації будь-яких складних відновлювальних технічних об'єктів тривалої експлуатації залежать не тільки від конструктивних і технологічних особливостей їх проектування та виробництва, а й від властивостей ремонтопридатності та обслуговуваності, а також від параметрів, закладених у процеси технічного обслуговування (ТО) і ремонту. У цій статті розв'язується задача оптимізації параметрів стратегії ТО за ресурсом.

Виклад основного матеріалу

Задача оптимізації параметрів стратегії ТО за ресурсом представлена такими двома постановками:

за критерієм мінімальної вартості $\min c_э$:

$$T_0(\mathrm{P}^*_{\text{тор с}}) \geq T_0^{\text{тр}};$$

$$c_э(\mathrm{P}^*_{\text{тор с}}) = \min_{\mathrm{P}_{\text{тор}}} c_э(\mathrm{P}_{\text{тор}}), \quad (1)$$

за критерієм максимального коефіцієнта технічного використання $\max K_{\text{ти}}$:

$$T_0(\mathrm{P}^*_{\text{тор к}}) \geq T_0^{\text{тр}};$$

$$K_{\text{ти}}(\mathrm{P}^*_{\text{тор с}}) = \max_{\mathrm{P}_{\text{тор}}} K_{\text{ти}}(\mathrm{P}_{\text{тор}}), \quad (2)$$

де $\mathrm{P}_{\text{тор}}$ – узагальнений параметр, що описує стратегію ТО за ресурсом; $\mathrm{P}^*_{\text{тор с}}$ і $\mathrm{P}^*_{\text{тор к}}$ – оптимальні значення параметра стратегії ТО за ресурсом, що визначаються за критерієм $\min c_э$ і $\max K_{\text{ти}}$ відповідно.

Параметр $\mathrm{P}_{\text{тор}}$ був визначений таким чином [1]:

$$\mathrm{P}_{\text{тор}} = \left\{ \left\langle E_{\text{то}\,j}, T_{\text{то}\,j} \right\rangle; j = \overline{1, N_{\text{то}}} \right\},$$

де $N_{\text{то}}$ – кількість видів ТО; $E_{\text{то}\,j}$ і $T_{\text{то}\,j}$ – відповідно множина обслуговуваних елементів і періодичність ТО j-го виду.

При розробці стратегії ТО за ресурсом, зазвичай, встановлюється постійна періодичність проведення ТО різних видів, “своя” для кожного виду. Принципово важливим є те, що при проведенні ТО за ресурсом обслуговуються (замінюються) всі елементи, включені у відповідні підмножини $E_{\text{то}\,j}$.

Вихідною інформацією для розв’язання таких задач є:

$E_{\text{то}}$ – множина потенційно обслуговуваних елементів даного об’єкта;

$T_0^{\text{тр}}$ – задане необхідне значення середнього наробітку на відмову, яке повинно забезпечуватися при проведенні технічного обслуговування.

Звичайно ж, вихідною інформацією також є вся інформація про об’єкт, яка необхідна для роботи імітаційної статистичної моделі, ця інформація вводиться в базу даних, за допомогою якої отримуються оцінки цільових функцій задач T_0, $c_э$ і $K_{\text{ти}}$ [2].

На рис. 1 представлено алгоритм, який є формальним описом методики розв’язання задачі (1).

Розглянемо коротко роботу алгоритму.

Оператор 1 встановлює початкові значення змінних: i – номер кроку процесу пошуку розв’язання; j – номер виду технічного обслуговування.

Оператор 2 створює допоміжну (спочатку порожню) множину $E^+_{\text{то}\,j}$, в яку в процесі пошуку розв’язання будуть додаватися елементи, що підлягають обслуговуванню при проведенні j-го виду технічного обслуговування. На кожному кроці у множину $E^+_{\text{то}\,j}$ буде додаватися один елемент, узятий із множини $E_{\text{то}}$. Підмножини $E^*_{\text{то}\,j}$ є непересічними (виконуються співвідношення: $\bigcap_j E^*_{\text{то}\,j} = \varnothing$; $\bigcup_j E^*_{\text{то}\,j} \subseteq E_{\text{то}}$).

Оператор 3 вибирає з множини $E_{\text{то}}$ i-й елемент e_i і включає його до множини $E^+_{\text{то}\,j}$. У множині $E_{\text{то}}$ елементи перед цим упорядковуються за зростанням середнього наробітку до відмови. Нумерація елементів, що включаються до множини $E^+_{\text{то}\,j}$, збігається з нумерацією кроків процесу пошуку розв’язання.

Оператор 4 здійснює пошук оптимальної періодичності ТО j-го виду $T^{+}_{\text{то}\,j}$, що задовольняє таку умову:

$$c_{\text{э}}(\langle E^{*}_{\text{то}1}, T^{*}_{\text{то}1}\rangle, ..., \langle E^{*}_{\text{то}\,j\text{-}1}, T^{*}_{\text{то}\,j\text{-}1}\rangle, \langle E^{+}_{\text{то}\,j}, T^{+}_{\text{то}\,j}\rangle) \to \min_{T_{\text{то}\,j}}, \quad (3)$$

де $\langle E^{*}_{\text{то}k}, T^{*}_{\text{то}k}\rangle$ – знайдені раніше (у попередніх кроках) оптимальні значення параметрів k-го виду ТО ($k = \overline{1, j-1}$); $\langle E^{+}_{\text{то}\,j}, T^{+}_{\text{то}\,j}\rangle$ – оптимальні значення параметрів ТО j-го виду, знайдені в поточному (i-му) кроці процесу пошуку (оптимальні за умови, що зафіксовані параметри всіх видів ТО з номерами $k = \overline{1, j-1}$).

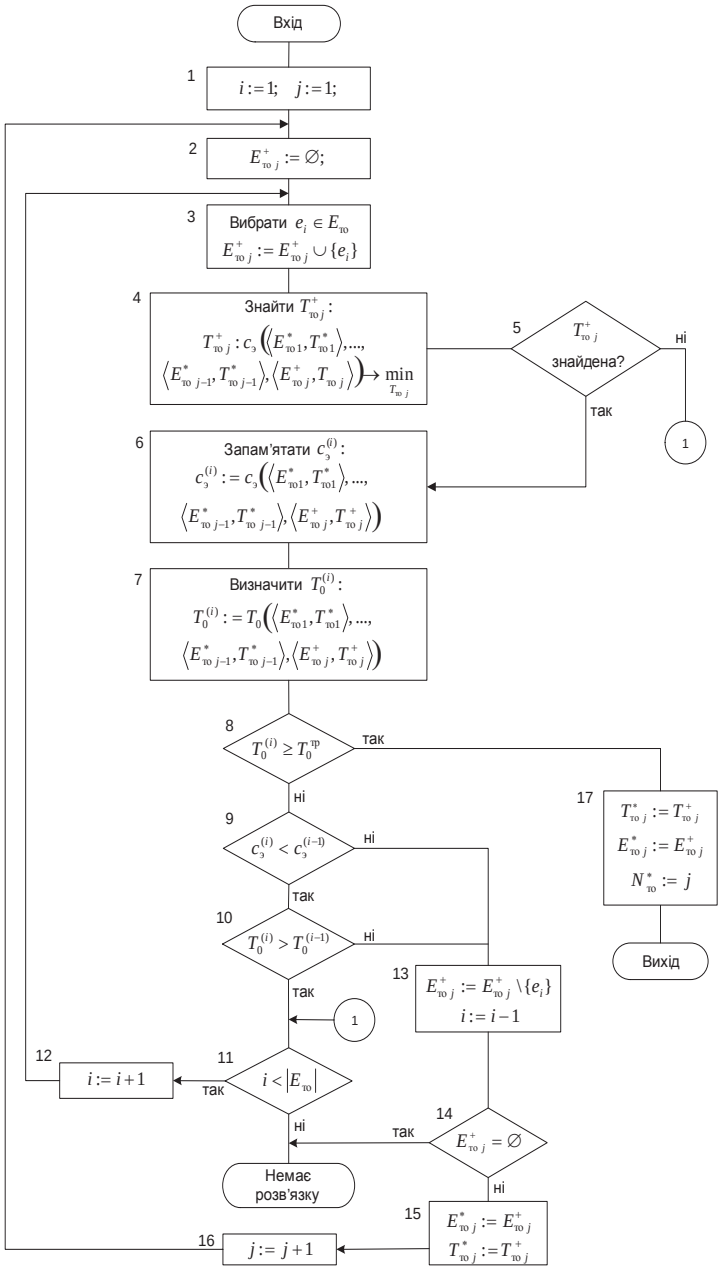

Рис. 1. Алгоритм розв'язання задачі оптимізації параметрів ТО за ресурсом

Якщо величина $T^{+}_{\text{то}\,j}$ не знайдена, це може бути у випадку, якщо функція $c_{\text{э}}(T_{\text{то}\,j})$ не має мінімуму, то оператор 5 передає управління оператору 11 для подальшого включення в множину $E^{+}_{\text{то}\,j}$ наступного елемента з $E_{\text{то}}$ і продовження процесу пошуку.

Умовно оптимальний розв'язок, отриманий після визначення величини $T^{+}_{\text{то}\,j}$ на i-му кроці, будемо позначати

$$\text{Р}^{(i)}_{\text{тор}} = \left\{\left\langle E^{*}_{\text{то}1}, T^{*}_{\text{то}1}\right\rangle, ..., \left\langle E^{*}_{\text{то}\,j\text{-}1}, T^{*}_{\text{то}\,j\text{-}1}\right\rangle, \left\langle E^{+}_{\text{то}\,j}, T^{+}_{\text{то}\,j}\right\rangle\right\}. \quad (4)$$

Оператор 6 запам'ятовує в оперативну пам'ять отримане на i-му кроці мінімальне значення питомої вартості експлуатації $c^{(i)}_{\text{э}}$: $c^{(i)}_{\text{э}} = c_{\text{э}}(\text{Р}^{(i)}_{\text{тор}})$.

Оператор 7 визначає величину середнього наробітку на відмову об'єкта $T^{(i)}_{0}$, що одержується при поточних значеннях параметрів ТО $\text{Р}^{(i)}_{\text{тор}}$: $T^{(i)}_{0} = T_0(\text{Р}^{(i)}_{\text{тор}})$.

Оператор 8 перевіряє виконання умови $T^{(i)}_{0} \geq T^{\text{тр}}_{0}$. Якщо ця умова не виконується, то далі виконується оператор 9, який перевіряє умову убування питомої вартості експлуатації $c^{(i)}_{\text{э}}$ шляхом перевірки нерівності

$$c^{(i)}_{\text{э}} < c^{(i-1)}_{\text{э}}. \quad (5)$$

Оператор 10 перевіряє умову зростання рівня безвідмовності об'єкта:

$$T^{(i)}_{0} > T^{(i-1)}_{0}. \quad (6)$$

Параметри $\left\langle E^{+}_{\text{то}\,j}, T^{+}_{\text{то}\,j}\right\rangle$ тут ще підлягають подальшому уточненню.

Унаслідок того, що цільові функції $c_{\text{э}}$ і T_0 отримуються як результат статистичного моделювання, їх значення значною мірою схильні до випадкових флуктуацій. Це ускладнює формальну перевірку умов (5) і (6). Тому для надійної перевірки цих умов залучається людина-експерт, для якої після завершення кожного кроку розрахунків на екран персонального комп'ютера виводиться необхідна інформація. Аналізуючи цю інформацію, експерт повинен прийняти рішення про те, суттєвими або несуттєвими є отримані прирости показників $c_{\text{э}}$ і T_0.

Якщо експерт вважає, що прирости істотні, то елемент e_i залишається в підмножині $E^{+}_{\text{то}\,j}$, ТО цього елемента є корисним за показниками $c_{\text{э}}$ і (або) T_0. У цьому випадку виконуються оператори 11 і 12, потім робиться спроба включення в $E^{+}_{\text{то}\,j}$ нових елементів з $E_{\text{то}}$.

Оператор 11 перевіряє, чи є невикористані елементи в множині $E_{\text{то}}$, і якщо є, то оператор 12 формує номер наступного елемента, який збігається з номером наступного кроку і передає управління оператору 3 для продовження розрахунків.

Якщо експерт вважатиме отримані прирости несуттєвими, то елемент e_{i} недоцільно включати до множини $E^{+}_{\text{то}\,j}$ (додавання елемента не привело до істотного поліпшення показників). У цьому випадку елемент e_{i} виключається з $E^{+}_{\text{то}\,j}$, поточний виконаний крок уважається пробним і його результати скасовуються (оператором 13). Підмножина $E^{+}_{\text{то}\,j}$, що залишилася (якщо вона не порожня), і величина $T^{+}_{\text{то}\,j}$ приймаються як оптимальні параметри ТО j-го виду (оператор 15). Після цього

виконується оператор 16 і далі проводиться спроба ввести ще один вид технічного обслуговування.

Якщо після виключення елемента e_i виявляється, що множина $E^{+}_{\text{то}\,j}$ порожня, то це означає, що введення j-го виду ТО виявилося недоцільним (не привело до поліпшення показників $c_э$ або T_0). Оскільки встановлена вимога $T_0^{\text{тр}}$ не досягнута, задача (1) у цьому випадку не має розв'язку (оператор 14).

Якщо при виконанні оператора 8 виявилося, що отримане в поточному кроці значення $T_0^{(i)}$ задовольняє вимозі $T_0^{(i)} \geq T_0^{\text{тр}}$, то оператор 8 передає управління оператору 17 і на цьому процес пошуку розв'язання завершується. Отримані умовно оптимальні параметри $\left\langle E^{+}_{\text{то}\,j}, T^{+}_{\text{то}\,j}\right\rangle$ приймаються як оптимальні параметри ТО j-го виду: $E^{*}_{\text{то}\,j} := E^{+}_{\text{то}\,j}$; $T^{*}_{\text{то}\,j} := T^{+}_{\text{то}\,j}$.

У результаті виходить остаточний розв'язок задачі:

$$\text{P}^{*}_{\text{тор с}} = \left\{\left\langle E^{*}_{\text{то1}}, T^{*}_{\text{то1}}\right\rangle, ..., \left\langle E^{*}_{\text{то}\,j}, T^{*}_{\text{то}\,j}\right\rangle\right\}.$$

Сформована до цього кроку кількість множин $E^{+}_{\text{то}\,j}$ j приймається як оптимальна кількість видів ТО $N^{*}_{\text{то}}$.

Розглянутий алгоритм є формальним описом запропонованої методики розв'язання задачі (1).

Методика розв'язання задачі (2) аналогічна розглянутій методиці, відмінність полягає тільки в тому, що замість критерію $\min c_э$ використовується критерій $\max K_{\text{ти}}$. Структурна схема алгоритму залишається тією ж, змінюється тільки зміст операторів 4, 6 і 9. У операторі 4 величина $T^{+}_{\text{то}\,j}$ визначається з умови

$$K_{\text{ти}}(\left\langle E^{*}_{\text{то1}}, T^{*}_{\text{то1}}\right\rangle, ..., \left\langle E^{*}_{\text{то}\,j\text{-1}}, T^{*}_{\text{то}\,j\text{-1}}\right\rangle, \left\langle E^{+}_{\text{то}\,j}, T^{+}_{\text{то}\,j}\right\rangle) \to \max_{T_{\text{то}\,j}}, \tag{7}$$

в операторі 6 замість питомої вартості експлуатації $c_э^{(i)}$ визначається коефіцієнт технічного використання

$$K^{(i)}_{\text{ти}} := K_{\text{ти}}(\left\langle E^{*}_{\text{то1}}, T^{*}_{\text{то1}}\right\rangle, ..., \left\langle E^{*}_{\text{то}\,j\text{-1}}, T^{*}_{\text{то}\,j\text{-1}}\right\rangle, \left\langle E^{+}_{\text{то}\,j}, T^{+}_{\text{то}\,j}\right\rangle), \tag{8}$$

в операторі 9 замість умови (4.23) перевіряється умова

$$K^{(i)}_{\text{ти}} > K^{(i-1)}_{\text{ти}}. \tag{9}$$

Практична реалізація обох методик заснована на застосуванні програми ISMPN.

Висновок

У статті розроблено алгоритм розв'язання задачі оптимізації параметрів стратегії технічного обслуговування за ресурсом складних виробів тривалої експлуатації. Алгоритм є формальним описом запропонованої методики розв'язання задач за критерієм мінімальної вартості та критерієм максимального коефіцієнта технічного використання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Forecasting to reliability complex object radio-electronic technology and optimization parameter their technical usage with use the simulation statistical models: [monography] in English / Sergey Lenkov, Konstantin Borjak, Gennady Banzak, Vadim Braun, etc.; under edition S. V. Lenkov. – Odessa: Publishing house «BMB», 2014. – 252 p.

2. *Ленков С.В.* Моделирование и оптимизация в процессе технического обслуживания по ресурсу сложных технических объектов / С.В. Ленков, В.Н. Цыцарев, Г.В. Банзак // Вісник інженерної академії України. – 2011. – № 3–4. – С. 94–100.

Отримано 04.11.2016
Рецензент Рибальський О.В., д.т.н.