

УДК 621.396.6.08

ББК 3844-082.05

Г.Ф. Конахович, д-р техн.наук, проф.,
В.І. Луцеїн**ОПТИМІЗАЦІЯ ПЛАНІВ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ
ОБЛАДНАННЯ ФРЕЙМ РІЛЕЙ**

Розглянуто задачу оптимізації планів технічного обслуговування мережного обладнання, що реалізує технологію Фрейм Рілей, у вигляді прямої та зворотної задачі оптимального розподілу ресурсів. Показано, що послідовний оптимальний план не має суттєвих переваг перед періодичним оптимальним планом. Запропоновано використання в експлуатаційній практиці періодичних планів обслуговування обладнання мереж передачі даних.

Послідовність моментів контролю визначальних параметрів обладнання Фрейм Рілей (надалі FR) назвемо планом обслуговування цього обладнання, який позначимо π . Якщо проміжок часу, вздовж якого має бути забезпечена технічна експлуатація (ТЕ) обладнання, є обмеженим тобто $T < \infty$, то це обладнання має обмежений ресурс. План обслуговування такого обладнання позначається так:

$$\pi_T = (t_1, t_2, \dots, t_N).$$

Відомо, що експлуатація обладнання FR здійснюється без обмеження ресурсу, тобто $T \rightarrow \infty$, план обслуговування якого позначається так:

$$\pi_\infty = (t_1, t_2, \dots).$$

План обслуговування назвемо періодичним, якщо моменти контролю задовольняють такі умови:

$$t_{k+1} - t_k = \tau \quad (k = 0, 1, 2, \dots).$$

План обслуговування назвемо послідовним, якщо

$$t_{k+1} - t_k \neq \tau \quad (k = 0, 1, 2, \dots).$$

Для π_T і π_∞ знайдемо оптимальні плани. Після чого виконаємо порівняльний аналіз періодичного та послідовного оптимальних планів обслуговування з метою визначення доцільності використання того чи іншого виду плану в процесах ТЕ обладнання FR.

Періодичний план обслуговування назвемо оптимальним і позначимо π^* , якщо він забезпечує виконання умови:

$$F(\pi^*) = \text{extr } F(\pi), \quad \text{якщо } \pi \in \pi^*,$$

де $F(\cdot)$ – показник ефективності обслуговування; extr – операція пошуку екстремуму, що визначається для умов експлуатації обладнання FR як $\text{extr} = \min$, якщо за F береться значення ймовірності помилкового відновлення обладнання $p_{\text{лв}}(t_j)$; $\text{extr} = \max$, якщо за F береться експлуатаційна ймовірність безвідмовної роботи (ЕЙБР) $p_E(t_k, t)$ або коефіцієнт готовності (КГ) обладнання K_r .

У теорії оптимізації систем оптимізаційні задачі формують у вигляді прямої та (або) зворотної задачі оптимального розподілу ресурсів [1; 2]. Стосовно до проблематики оптимізації параметрів процесів ТЕ телекомунікаційних мереж ці задачі можуть бути сформульовані таким чином.

Пряма задача: забезпечити

$$\max_{\tau} (\min_{k=0,1,2,\dots} p_E [k\tau, (k+1)\tau])$$

або

$$\max_{\tau} (\min_{k=0,1,2,\dots} K_r [k\tau, (k+1)\tau])$$

за умов, коли

$$C^H(\tau) \leq C^H_{\text{доп}}, \quad (1)$$

де $C^H(\tau)$ – поточні ресурси, що є необхідними для забезпечення ТЕ; $C^H_{\text{доп}}$ – максимально припустимий обсяг ресурсів, який доцільно використовувати для забезпечення ТЕ.

Отже, необхідно вибрати такий період обслуговування, при якому забезпечується найбільша ЕЙБР або КГ серед тих вимірених значень цих показників у ряду $k = 0, 1, 2, \dots$, де ці значення є найменшими. При цьому має виконуватися умова (1).

Зворотна задача: забезпечити

$$\min_{\tau} C^H(\tau) \quad (2)$$

за умов, коли

$$p_E[k\tau, (k+1)\tau] \geq p_E^D, \quad k = 0, 1, 2, \dots \quad (3)$$

або

$$K_G[k\tau, (k+1)\tau] \geq K_G^D, \quad k = 0, 1, 2, \dots \quad (4)$$

Іншими словами, необхідно вибрати такий період обслуговування, при якому забезпечується мінімум витрат ресурсів експлуатації, не перевищуючи при цьому припустимі значення ЕЙБР, тобто задане значення p_E^D , або КГ, тобто припустиме значення K_G^D . У задачі (2) з обмеженням (3) оптимальна періодичність обслуговування τ^* має забезпечуватися при мінімумі витрат ресурсів на ТЕ, але при цьому якість контролю має бути не нижчою рівня, який є припустимим з точки зору оператора мережі передачі даних. Зворотна задача (3) або (4) може бути вирішена тільки в тому випадку, коли існує така періодичність обслуговування $\tau > 0$, для якої є правдивим твердження:

$$\lim_{k \rightarrow \infty} p_E[k\tau, (k+1)\tau] \geq p_E^D$$

або

$$\lim_{k \rightarrow \infty} K_G[k\tau, (k+1)\tau] \geq K_G^D.$$

Якщо для певного плану $\pi(\tau)$, де $\tau > 0$,

$$\lim_{k \rightarrow \infty} p_E[k\tau, (k+1)\tau] = 0$$

або

$$\lim_{k \rightarrow \infty} K_G[k\tau, (k+1)\tau] = 0,$$

то задача (2) розв'язання не має.

Враховуючи те, що сучасне обладнання FR має, як правило, у своєму складі потужні засоби контролю стану, які функціонують у фоновому режимі, на етапі ТЕ цього обладнання не має сенсу вводити якісь обмеження в їх застосуванні, тому важливо отримати результати вирішення зворотної задачі.

Логічний аналіз сформульованої у вигляді виразів (2), (3), (4) зворотної задачі оптимального розподілу ресурсів щодо плану π призводить до такого висновку:

$$\pi_{\infty}^* = (k\tau^* \mid k = 1, 2, \dots)$$

є оптимальним періодичним планом, то оптимальна періодичність обслуговування τ^* визначається як корінь рівнянь:

$$\min_{k=0,1,2,\dots} p_E [k\tau, (k+1)\tau] - p_E^D = 0 \quad (5)$$

або

$$\min_{k=0,1,2,\dots} K_r [k\tau, (k+1)\tau] - K_r^D = 0. \quad (6)$$

У загальному вигляді рівняння (5) та (6) є нелінійними і вирішуються, здебільшого, із застосуванням наближених методів, наприклад, таких, що викладені у роботах [3; 4].

Зокрема за умов, коли розподіл напрацювання на відмову обладнання FR має експоненціальний характер, а щільність розподілу похибок вимірювань визначальних параметрів не змінюється у часі, то рівняння (5) і (6) перетворюються до такого вигляду:

$$p_E^*(\tau) - p_E^D = \frac{(1-\beta)e^{-\lambda\tau}}{1-\beta e^{-\lambda\tau}} - p_E^D = 0 \quad (7)$$

або

$$K_r^*(\tau) - K_r^D = \frac{(1-\beta)(1-e^{-\lambda\tau})}{\lambda\{\tau(1-\beta e^{-\lambda\tau}) + (1-\beta)[t_{\text{лв}}\alpha e^{-\lambda\tau} + t_{\text{пв}}(1-e^{-\lambda\tau})]\}} - K_r^D = 0. \quad (8)$$

У деяких випадках можлива постановка задачі пошуку оптимального τ^* , при якому ймовірність помилкового відновлення не перевищує припустиму величину $p_{\text{лв}}^D$. Тоді за наведених умов для такої задачі оптимальне рішення знаходиться як корінь рівняння

$$p_{\text{лв}}^* - p_{\text{лв}}^D = \frac{\alpha(1-\beta)e^{-\lambda\tau}}{1-\beta e^{-\lambda\tau}} - p_{\text{лв}}^D = 0. \quad (9)$$

Розв'язання рівнянь (7)–(9) можливо знайти за допомогою графічних побудов. Наприклад, спочатку сформулювати функцію відхилу типа

$$\Phi(\tau) = 10^3 [p_E^*(\tau) - p_E^D],$$

а потім знайти його мінімум методом золотого перерізу із наперед визначеною точністю $\epsilon_{\text{доп}}$.

Перейдемо до дослідження послідовних планів π_T . Пряма задача оптимізації формулюється так: забезпечити

$$\max_N (\max_{i1, \dots, iN} (\min_{k=0,1,\dots,N} p_E(t_k, t_{k+1}))) \quad (10)$$

за умов, коли

$$C^H(t_1, t_2, \dots, t_N) \leq C_{\text{доп}}^H.$$

У задачі (10) необхідно вибрати таку максимальну кількість актів контролю N^{opt} у межах T і таким чином розташувати за часовою координатою моменти обслуговування $t_1^{\text{opt}}, t_2^{\text{opt}}, \dots, t_N^{\text{opt}}$, щоб забезпечити максимум мінімального із значень ЕЙБР на інтервалах $(0, t_1), \dots, (t_N, T)$ за умов неперевикнення припустимого значення обсягу ресурсів, які виділено для забезпечення ТЕ.

Зворотна задача: забезпечити

$$\min_N (\min_{i1, \dots, iN} C^H(t_1, \dots, t_N)) \quad (11)$$

за умов, коли

$$p_E(t_k, t_{k+1}) \geq p_E^D, \quad k = 0, \dots, N.$$

У задачі (11) необхідно визначити таку мінімальну кількість N^{opt} у межах T і такі моменти обслуговування $t_1^{\text{opt}}, \dots, t_{N^{\text{opt}}}^{\text{opt}}$, щоб при мінімальних витратах ресурсів $C^H(t_1, \dots, t_N)$ виконувалося обмеження p_E^D .

Результати логічного аналізу показують: якщо

$$p_{MM}(N) = \max_{i1, \dots, iN} \left(\min_{k=0, \dots, N} p_E(t_k, t_{k+1}) \right),$$

то, щоб отримати оптимальний план $\pi_T(t_1^*, \dots, t_N^*)$, необхідно виконати співвідношення:

$$p_E(t_k^*, t_{k+1}^*) = p_{MM}(N), \quad k = 0, \dots, N.$$

При фіксованій кількості актів контролю моменти їхнього проведення мають обиратися так, щоб виміри ЕЙБР на інтервалі (t_k, t_{k+1}) були однакові.

Оптимальна кількість актів обслуговування визначається як мінімальне ціле число N^{opt} , до якого у зворотній задачі оптимізації є правдивою нерівність:

$$p_{MM}(N^{opt}) \geq p_E^D.$$

Використанням числових методів неважко визначити оптимальне значення N^{opt} .

З аналізу результатів розрахунків за наведеними формулами випливає:

– інтервали обслуговування за послідовним оптимальним планом спочатку зменшуються з зростанням номеру обслуговування, а потім збільшуються, що можливо пояснити, якщо проаналізувати поведінку інтенсивності відмов обладнання FR (інтенсивність відмов, як відомо, спочатку зростає, а потім повільно зменшується);

– за критерієм мінімуму кількості обслуговувань при забезпеченні однакового p_E^D (у здійснених розрахунках значення p_E^D вибиралося на рівні 0,9) послідовний план π_T^{opt} є кращим за періодичний план π_∞^{opt} ;

– оптимальна кількість актів контролю N^* при побудові процедур контролю працездатності за періодичним планом на 50–70% перевищує оптимальну кількість актів контролю за послідовним планом.

Проте, певне зменшення необхідної кількості актів контролю за умов застосування обладнання FR не є суттєвим фактором. Періодичний план набагато простіше реалізувати програмними засобами. Це і обумовлює використання періодичних планів в процесах ТЕ обладнання FR на практиці.

Список літератури

1. Гермейер Ю.Б. Введение в исследование операций. – М.: Наука, 1971. – 393 с.
2. Игнатов В.А. Оптимизация синтеза устройств радиоэлектроники // Изв. вузов сер. Радиоэлектроника. – 1972. – № 6. – С. 21–25.
3. Фильчаков П.Ф. Методы вычислительной математики. – К.: Техніка, 1969. – 683 с.
4. Воробьев Л.М., Воробьева Т.М. Нелинейные преобразования в прикладных вариационных задачах. – М.: Энергия, 1972. – 208 с.

Стаття надійшла до редакції 31.10.02.