

ТЕХНІКА

УДК 004.052

к.т.н., с.н.с. **Жиров Г.Б.** (КНУ)

к.т.н. **Ленков Є.С.** (ВІТІ)

АЛГОРИТМ ОПТИМІЗАЦІЇ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ЗА СТАНОМ З ПОСТІЙНОЮ ПЕРІОДИЧНІСТЮ КОНТРОЛЮ

Одними з основних показників, які задаються при проектуванні та модернізації складних технічних об'єктів (в тому числі і радіоелектронних) є показники надійності та вартості експлуатації. Зазначені показники залежать як від властивостей безвідмовності та ремонтпридатності самого об'єкта, так і від параметрів системи ТОіР.

У статті запропоновані оновлені алгоритми оптимізації параметрів процесу проведення технічного обслуговування за станом з постійною періодичністю контролю складного технічного об'єкта. Алгоритми розроблені для двох критеріїв: мінімізації питомої вартості експлуатації об'єкта, яка визначається на заданому періоді експлуатації, при забезпеченні заданої вимоги до рівня безвідмовності об'єкта; та максимізації коефіцієнта технічного використання при забезпеченні вимог до рівня безвідмовності об'єкта. Вимога щодо рівня безвідмовності об'єкта визначається заданим значенням середнього наробітку на відмову. Розроблені алгоритми засновані на застосуванні спрямованого перебору в просторі параметрів технічного обслуговування.

Ключові слова: технічне обслуговування, технічне обслуговування за станом, імітаційне статистичне моделювання.

Вступ. На сьогоднішній час значна увага приділяється питанням щодо збільшення заходів по підтримці безпеки в роботі різноманітних складних технічних об'єктів та систем, у тому числі спеціального призначення. Надійне функціонування електронних та радіоелектронних об'єктів та систем забезпечується якісною роботою системи технічного обслуговування і ремонту (ТОіР). Необхідність проведення технічного обслуговування полягає у своєчасній заміні (оновленні) елементів, які знаходяться у передвідмовному стані, що призводить до поліпшення показників безвідмовності об'єкту у цілому. Ремонт проводиться з метою відновлення справного або працездатного стану об'єкта, а також відновлення ресурсу всього об'єкта або його частини [1–7].

Показники надійності та вартості експлуатації об'єктів залежать від властивостей безвідмовності та ремонтпридатності самого об'єкта, а також від параметрів системи ТОіР. Таким чином існує загальна проблема оптимізації характеристик об'єкту та параметрів системи ТОіР. Визначити показники надійності складних технічних об'єктів та їх взаємозв'язок з параметрами системи ТОіР на основі статистичних даних виявляється доволі складно. Значно простіше та ефективніше, для встановлення зв'язків між даними параметрами і прогнозованими показниками надійності і вартості експлуатації самого об'єкта, проводити імітаційне статистичне моделювання. У свою чергу, одним з етапів проведення моделювання є поліпшення параметрів процесу технічного обслуговування для різних стратегій, які були визначені на попередніх етапах.

Постановка завдання. В статті вирішується задача розробки алгоритму оптимізації параметрів процесу технічного обслуговування за станом з постійною періодичністю контролю

Результати дослідження. Постановку задачі оптимізації параметрів ТОС можна звести до розв'язання задач: оптимізації за критерієм $\min c_e$ (1) та оптимізації за критерієм $\max K_{TB}$ (2):

$$T_0(E_{TO}^*, U_{TO}^*, T_K^*) \geq T_0^{\text{необх}}; c_e(E_{TO}^*, U_{TO}^*, T_K^*) \rightarrow \min, \quad (1)$$

$$T_0(E_{TO}^*, U_{TO}^*, T_K^*) \geq T_0^{\text{необх}}; K_{TB}(E_{TO}^*, U_{TO}^*, T_K^*) \rightarrow \max, \quad (2)$$

де: $T_0^{\text{необх}}$ – задана вимога до рівня безвідмовності об'єкта; E_{TO}^* , U_{TO}^* і T_K^* – шукані оптимальні значення параметрів ТОС з постійною періодичністю контролю; E_{TO} – множина елементів, які обслуговуються; U_{TO} – вектор рівнів, що визначають необхідність проведення ТО елементів; T_K – періодичність контролю.

Задачу (1) передбачається розв'язувати як послідовність часткових задач, у яких множина E_{TO} зафіксована. На кожному кроці формується допоміжна множина E_{TO}^+ шляхом додавання в неї по одному елементу, взятому з E_{TO} , та розв'язується часткова задача визначення оптимальних параметрів, що задовольняють умові:

$$c_e(E_{TO}^+, U_{TO}^+, T_K^+) \rightarrow \min_{U_{TO}, T_K}. \quad (3)$$

Розв'язок $P_{TO}^+ = \langle E_{TO}^+, U_{TO}^+, T_K^+ \rangle$, що задовольняє умові (3), є умовно оптимальним розв'язком, отриманим за умови, що множина обслуговуваних елементів має склад E_{TO}^+ , $U_{TO}^+ = \{u_{TO1}^*, u_{TO2}^*, \dots, u_{TOi}^+\}$ – вектор, в якому $u_{TO1}^*, u_{TO2}^*, \dots, u_{TOi-1}^*$ – це оптимальні значення рівнів ТО, знайдені в попередніх кроках процесу послідовної оптимізації, а u_{TOi}^+ – умовно оптимальне значення, отримане в останньому (i -му) кроці в результаті розв'язання часткової задачі (3); T_K^+ – періодичність контролю, яка задовольнить умові (3).

Пошук умовно оптимальних значень $\langle u_{TOi}^+, T_K^+ \rangle$, здійснюється в двовимірному просторі $[0,1] \times [0, \infty)$, що істотно спрощує вихідну задачу в її загальній постановці (4.1). Оскільки вид цільової функції c_e в (3) невідомий, будемо застосовувати метод прямого перебору [8, 9].

У багатьох випадках часткової задачі (4.6) може не мати розв'язку внаслідок того, що у цільової функції c_e може бути відсутнім екстремум за параметром T_K^+ . Крім того, у зв'язку з тим, що цільова функція c_e утворюється як результат імітаційного статистичного моделювання, її значення схильні випадковим флуктуаціям, внаслідок чого розв'язок задачі (3) часто виявляється нестійким. Структурна схему алгоритму розв'язання задачі (1), наведену на рис. 1.

Оператор 1 створює порожні множини E_{TOi}^+ і U_{TOi}^+ , та ініціює змінну i , яка використовується для підрахунку числа виконаних кроків пошуку рішення (одночасно змінна i є номером елемента e_i , який доданий до множини E_{TOi}^+ останнім). Множина E_{TOi}^+ використовується як поточна множина елементів, що обслуговуються (в неї на кожному кроці буде додаватися один елемент, узятий з множини E_{TO}). Множина U_{TOi}^+ використовується для запам'ятовування знайдених оптимальних значень рівнів ТО u_{TOi}^+ елементів, включених до множини E_{TOi}^+ .

Оператор 2 формує номер i чергового (поточного) кроку процесу пошуку.

Оператор 3 вибирає з множини E_{TO} i -й елемент e_i і додає його до множини E_{TOi}^+ . Вибір

елементів e_i з множини $E_{\text{ТО}}$ здійснюється в порядку зростання їх середнього наробітку до відмови.

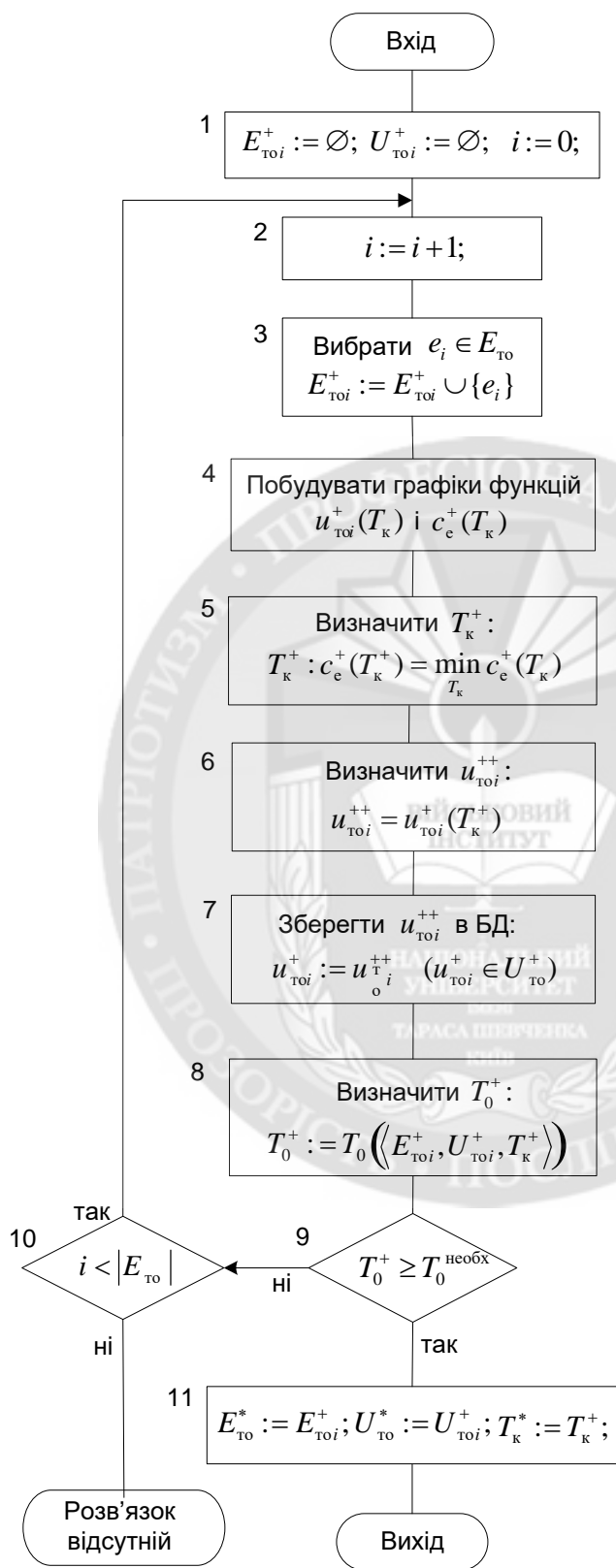


Рис. 1. Алгоритм пошуку оптимальних параметрів стратегії ТОС з постійною періодичністю контролю

Вихідною інформацією для алгоритму є задані користувачем множина елементів E_{TO} , які підлягають чи можуть бути обслуговуваними, та потрібне значення середнього наробітку на відмову об'єкта $T_0^{необх}$.

Оператор 4 будує графіки функцій $u_{TOi}^+(T_K)$ і $c_e^+(T_K)$ залежно від періодичності ТО T_K , де $u_{TOi}^+(T_K)$ – це оптимальне значення рівня ТО для i -го елемента, знайдене з умови:

$$u_{TOi}^+(T_K) : c_e(E_{TOi}^+, U_{TOi}^+, T_K) \rightarrow \min_{u_{TOi} \in U_{TOi}^+}, \quad (4)$$

$U_{TOi}^+ = \{u_{TO1}^*, \dots, u_{TOi-1}^*, u_{TOi}^*\}$ – вектор, у якому $u_{TO1}^*, \dots, u_{TOi-1}^*$ – оптимальні значення рівнів ТО елементів e_1, \dots, e_{i-1} , знайдені в попередніх кроках; u_{TOi} – варійований рівень ТО для елемента e_i , оптимальне значення якого має бути знайдено у відповідності з умовою (4).

Величина $c_e^+(T_K)$ – питома вартість експлуатації, що одержана при оптимальному значенні рівня ТО $u_{TOi}^+(T_K)$:

$$c_e^+(T_K) = c_e(E_{TOi}^+, U_{TOi}^+, T_K). \quad (5)$$

Вектор U_{TO}^+ у виразі (4) відрізняється від U_{TOi}^* тільки тим, що в U_{TO}^+ в якості i -ої компоненти підставлено знайдене умовно оптимальне значення $u_{TOi}^+(T_K)$.

Оператор 5 визначає оптимальне в поточному кроці значення періодичності контролю T_K^+ , що задовольняє умові:

$$c_e^+(T_K^+) = \min_{T_K} c_e^+(T_K). \quad (6)$$

Оператор 6 визначає оптимальне значення рівня ТО u_{TOi}^{++} :

$$u_{TOi}^{++} = u_{TOi}^+(T_K^+). \quad (7)$$

Оператор 7 зберігає обчислене значення u_{TOi}^{++} в БД, як оптимальне значення для даного кроку.

Оператор 8 визначає досягнуте в поточному кроці пошуку значення середнього наробітку на відмову об'єкта T_0^+ : $T_0^+ = T_0(P_{ТОС}^+(i))$.

Оператор 9 перевіряє виконання умови $T_0^+ \geq T_0^{необх}$. Якщо ця умова виконується, то отримане умовно оптимальне рішення $P_{ТОС}^+(i)$ приймається в якості остаточного розв'язання задачі (оператор 11): $P_{ТОС}^* := P_{ТОС}^+(i)$. Процес пошуку розв'язку в цьому випадку завершується.

В іншому випадку, якщо $T_0^+ < T_0^{необх}$, виконується оператор 10, який перевіряє, чи всі елементи з E_{TO} були використані при пошуку розв'язку. Якщо усі елементи були розглянуті, то відбувається перехід до оператора 2 і пошук продовжується.

Якщо на деякому кроці всі елементи, які обираються з E_{TO} , будуть вичерпані ($i = |E_{TO}|$), це означатиме, що вихідна задача (1) не має розв'язку, тобто задана вимога $T_0^{необх}$ не може бути забезпечена тільки за рахунок вибору оптимальних параметрів ТОС.

Для вирішення задачі (1), необхідно: підвищувати рівень безвідмовності об'єкта; розширювати множину елементів $E_{\text{ТО}}$; або знижувати необхідний рівень безвідмовності об'єкта $T_0^{\text{необх}}$.

Алгоритм розв'язання задачі (2) аналогічний розглянутому, з тією лише відмінністю, що в якості цільової функції використовується не питома вартість експлуатації c_e , а коефіцієнт технічного використання $K_{\text{ТВ}}$.

Висновки. У статті розв'язується задача щодо розробки алгоритмів оптимізації параметрів процесу ТО об'єкта РЕТ для стратегії технічного обслуговування за станом з постійною періодичністю контролю. Алгоритми розроблені для двох критеріїв: мінімізації питомої вартості експлуатації об'єкта, яка визначається на заданому періоді експлуатації, при забезпеченні заданої вимоги до рівня безвідмовності об'єкта; та максимізації коефіцієнта технічного використання при забезпеченні вимог до рівня безвідмовності об'єкта. Вимога щодо рівня безвідмовності об'єкта визначається заданим значенням середнього наробітку на відмову. Розроблені алгоритми засновані на застосуванні спрямованого перебору в просторі параметрів технічного обслуговування.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Прогнозирование надежности сложных объектов радиоэлектронной техники и оптимизация параметров их технической эксплуатации с использованием имитационных статистических моделей / С.В. Ленков, К.Ф. Боряк, Г.В.Банзак, В.О.Браун, В.А.Осыпа, С.А.Пашков, В.Н. Цыцарев, Ю. В.Березовская. – Одесса: Изд-во «ВМВ», 2014. – 256 с.
2. Основы надежности и техническое обеспечение радиоэлектронных средств РТВ ПВО / А.Н. Буточнов, Б.П.Креденцер, В.Г.Тоценко, В.Н.Цыцарев и др. – К.: КВИРТУ ПВО, 1982. – 226 с.
3. Барзилович Е.Ю. Модели технического обслуживания сложных систем. – М.: Высш. школа, 1982. – 231 с.
4. Жиров Г.Б. Алгоритмічна модель процесу технічного обслуговування за станом з постійною періодичністю контролю / Г.Б. Жиров, Е.С. Ленков // Сучасна спеціальна техніка: наук-пр. журн. / Держ. Н.-д. ін.-т МВС України. – 2017.– №1(48). – С.26–29.
5. Zhyrov G. Features of modeling failures of recoverable complex technical objects with a hierarchical constructive structure / S. Lenkov, G. Zhyrov, D. Zaitsev, I. Tolok, E. Lenkov, T. Bondarenko, Y. Gunchenko, V. Zagrebnyuk, O. Antonenko // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2017. – 4/4 (88). – P.34–42.
6. Жиров Г.Б. Усовершенствованная имитационная модель процесса технического обслуживания и ремонта сложного технического объекта / Г.Б. Жиров, Е.С. Ленков // Журнал Харківського національного університету Повітряних Сил імені І.Кожедуба «Системи обробки інформації». – 2017. – Вип.№ 3 (149). – С.14–18.
7. Банди Б. Методы оптимизации. Вводный курс: пер с англ. / Б. Банди. – М.: Радио и связь, 1988. – 128 с.
8. Шуп, Т. Решение инженерных задач на ЭВМ: практическое руководство: пер. с англ. / Т. Шуп. – М.: Мир, 1982. – 238 с.

REFERENCES:

1. Lenkov S.V., Boriak, K.F., Banzak, G.V., Braun, V.O., Osypa, V.A., Pashkov, S.A., Tsytsarev, V.N., Berzovskaia, Iu.V. (2014). *Prognozirovanie nadezhnosti slozhnykh obektov radioelektronnoy tehniki i optimizaciya parametrov ih tehnichejskoj jekspluatacii s ispolzovaniem imitacionnyh statisticheskikh modelej*. Odessa, VMV, 256 p.
2. Butochnov A.N., Kredencer B.P., Tocenko V.G., Sycarev V.N. i dr. (1982). *Osnovy nadezhnosti i tehnichejskoe obespechenie radioelektronnyh sredstv RTV PVO*. Kyiv, KKVIRTU PVO, 226 p.
3. Barzilovich E.Iu. (1982). *Modeli tehnichejskogo obsluzhivaniia slozhnyh sistem*. – М.: Vyssh. shkola, 231 p.
4. Zhyrov G.B. Lenkov E.S. Algoritmichna model' protsesu tehnichejskogo obsluzhovuvannia za stanom z postiinoiu periodichnistiu kontroliu (2017)/ *Suchasna spetsial'na tehnika: nauk-pr. zhurn.* №1(48), pp. 26–

29.

5. Lenkov S., Zhyrov G., Zaitsev D., Tolok I., Lenkov E., Bondarenko T., Gunchenko Y., Zagrebnyuk V., Antonenko O. (2017). Features of modeling failures of recoverable complex technical objects with a hierarchical constructive structure. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. № 4/4 (88), pp.34–42.

6. Zhirov G.B. Lenkov E.S. (2017). Uovershenstvovannaia imitatsionnaia model' protsessa tehničeskogo obsluzhivaniia i remonta slozhnogo tehničeskogo ob#ekta. *Zhurnal Harkivs'kogo natsional'nogo universitetu Povitrianih Sil imeni I.Kozheduba «Sistemi obrobki informatsii»*. – Vip.№ 3 (149), pp.14–18.

8. Bandi B. (1988). *Metody optimizatsii. Vvodnyi kurs : per s angl.* M. : Radio i sviaz', 128 p.

9. Shup T. (1982). *Reshenie inzhenernyh zadach na EVM: praktičeskoe rukovodstvo.* M.: Mir, 238 p.

Рецензент: д.т.н., доц., **Боряк К.Ф.**, завідувач кафедри метрології та метрологічного забезпечення Одеської державної академії технічного регулювання та якості, директор науково-дослідного інституту проблем стандартизації, сертифікації та експериментальної метрології

к.т.н., с.н.с. **Жиров Г.Б.**, к.т.н. **Ленков Е.С.**

АЛГОРИТМ ОПТИМИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ПО СОСТОЯНИЮ С ПОСТОЯННОЙ ПЕРИОДИЧНОСТЬЮ КОНТРОЛЯ

Одними из основных показателей, которые задаются при проектировании и модернизации сложных технических объектов (в том числе и радиоэлектронных) являются показатели надежности и стоимости эксплуатации. Указанные показатели зависят как от свойств безотказности и ремонтпригодности самого объекта, так и от параметров системы технического обслуживания и ремонта.

В статье предложены обновленные алгоритмы оптимизации параметров процесса технического обслуживания по состоянию с постоянной периодичностью контроля сложного технического объекта. Алгоритмы разработаны для двух критериев: минимизации удельной стоимости эксплуатации объекта, который определяется на заданном периоде эксплуатации, при обеспечении заданной требования к уровню безотказности объекта; и максимизации коэффициента технического использования при обеспечении требований к уровню безотказности объекта. Требование относительно уровня безотказности объекта определяется заданным значением средней наработки на отказ. Разработанные алгоритмы основаны на применении направленного перебора в пространстве параметров технического обслуживания.

Ключевые слова: техническое обслуживание, техническое обслуживание по состоянию, имитационное статистическое моделирование.

Ph.D. Zhirov G.B., Ph.D. Lenkov Ye.S.

ALGORITHM OF OPTIMIZATION OF PARAMETERS OF THE MAINTENANCE PROCESS AS A CONSTANT PERIODICITY OF CONTROL

One of the main indicators that are asked when designing and modernizing complex technical objects (including radio-electronic ones) are indicators of reliability and cost of operation. These indicators depend on both the properties of faultlessness and repair of the object itself, and on the parameters of the system of maintenance and repair.

The article proposes updated algorithms for optimization of the parameters of the process of conducting maintenance, as the constant periodicity of control of a complex technical object. The algorithms are developed for two criteria: minimization of the specific cost of the operation of the object, which is determined at a given period of operation, with the provision of a given requirement to the level of failure of the object; and maximizing the technical use coefficient while ensuring requirements to the level of failure of the facility. The requirement for the level of failure of the object is determined by the set value of the average failure rate. The developed algorithms are based on the application of directional overview in the space of maintenance parameters.

Keywords: maintenance, state maintenance, simulation.