

УДОСКОНАЛЕНИЙ АЛГОРИТМ ОПТИМІЗАЦІЇ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ АДАПТИВНОГО ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ СКЛАДНОГО ОБ'ЄКТА

Показники надійності та вартості експлуатації є одними з показників, які задаються як вихідні, при проектуванні та модернізації складних технічних об'єктів. На дані показники впливають показники процесу технічного обслуговування і ремонту. У свою чергу, процес технічного обслуговування складного об'єкта практично неможливо описати аналітичними виразами. Більш доцільно використовувати імітаційні та імітаційні статистичні моделі для визначення та оптимізації показників процесу ТО з метою досягнення заданих показників надійності.

У статті запропоновані удосконалені алгоритми оптимізації параметрів процесу проведення технічного обслуговування за станом з адаптивною 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.

Відмінністю наведених алгоритмів полягає у використанні моделей двох параметричного та трьох параметричного експоненційного згладжування що дозволяє більш точно прогнозувати середню швидкість деградації складових частин та елементів складного технічного об'єкта.

Ключові слова: технічне обслуговування, адаптивне технічне обслуговування за станом, імітаційне статистичне моделювання, експоненційне згладжування, показники безвідмовності.

Вступ та аналіз останніх досліджень. На сьогоднішній день, для опису функціонування складного технічного об'єкта все частіше використовуються імітаційні моделі. Дані моделі представляють собою сукупність опису системи і зовнішніх впливів, алгоритмів функціонування системи або правил зміни стану системи під впливом зовнішніх і внутрішніх збурень. Ці алгоритми і правила не дають можливості використання наявних математичних методів аналітичного і чисельного рішення, але дозволяють імітувати процес функціонування системи і проводити вимірювання необхідних характеристик.

Перевагою таких моделей є те, що вони можуть бути застосовні для більш широкого класу об'єктів і процесів, ніж аналітичні та чисельні моделі.

Процес технічного обслуговування складного технічного об'єкта практично неможливо описати аналітичними виразами. Однак, використовуючи імітаційно-статистичні моделі, на практиці можна визначити необхідні параметри процесу технічного обслуговування (ТО).

У свою чергу, необхідність проведення технічного обслуговування полягає у необхідності забезпечення визначеного рівня надійності даних об'єктів. Сутність ТО 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 технічного обслуговування і ремонту (ТОіР). Таким чином існує загальна проблема оптимізації характеристик самого процесу технічного об'єкту, а також окремих параметрів системи ТОіР.

У сучасних технічних об'єктах, у переважній кількості випадків, ТО зводиться до заміни елементів (рідин, масел та ін.), що знаходяться у стані перед відмовою.

Існують різні стратегії організації проведення ТО. Залежно від критерію, який використовується при визначенні термінів проведення ТО, розрізняють два основних принципи, які прийнято називати “ТО за ресурсом” і “ТО за станом”. У свою чергу “ТО за станом” (ТОС) може бути поділене на: ТОС з постійною періодичністю контролю та ТОС з адаптивною зміною періодичності контролю. Усі види проведення ТО характеризуються своїми особливими параметрами [2,8,9], які відрізняються один від одного.

Постановка завдання. В статті вирішується задача удосконалення алгоритму оптимізації параметрів процесу адаптивного технічного обслуговування.

Результати дослідження. За формалізовану модель адаптивного ТО, була взята удосконалена модель, яка описана в [8]. Оптимізаційна задача вирішувалася для одного з двох критеріїв: оптимізація за критерієм $\min c_e$ (1) та оптимізація за критерієм $\max K_{ТВ}$ (2):

$$T_0(\langle E_{ТО}^*, U_{ТО}^*, \alpha, \beta, \chi, \gamma^* \rangle) \geq T_0^{необ} \quad c_e(\langle E_{ТО}^*, U_{ТО}^*, \alpha, \beta, \chi, \gamma^* \rangle) \rightarrow \min, \quad (1)$$

$$T_0(\langle E_{ТО}^*, U_{ТО}^*, \alpha, \beta, \chi, \gamma^* \rangle) \geq T_0^{необ} \quad K_{ТВ}(\langle E_{ТО}^*, U_{ТО}^*, \alpha, \beta, \chi, \gamma^* \rangle) \rightarrow \max, \quad (2)$$

де $T_0, T_0^{необ}$ - середній та необхідний (заданий) наробіток на відмову; $E_{ТО}^*, U_{ТО}^*$ і γ^* – шукані оптимальні значення параметрів стратегії; $E_{ТО}$ – множина елементів, які обслуговуються; $U_{ТО}$ – вектор рівнів, який визначає необхідність проведення ТО елементів; α, β, χ – постійні згладжування, вибір яких залежить від ступеня достовірності вихідних даних про надійність елементів об'єкта та статистику відмов, з урахуванням сезонності. Постійні згладжування безпосередньо не пов'язані з вибором параметрів технічного обслуговування. З цієї причини параметри α, β, χ не включаються в число параметрів стратегії, що оптимізуються, і їх розглядаємо як константи.

При вирішенні задачі (1) множина $E_{ТО}$ фіксується і вирішується послідовність часткових задач. На кожному кроці формується допоміжна множина $E_{ТО}^+$ шляхом додавання до неї по одному елементу з множини $E_{ТО}$, та розв'язується часткова задача визначення оптимальних параметрів, що задовольняють умові:

$$c_e(\langle E_{ТО}^*, U_{ТО}^*, \alpha, \beta, \chi, \gamma^* \rangle) \rightarrow \min_{U_{ТО}, \gamma}. \quad (3)$$

Розв'язок $P_{\text{ato}}^+ = \langle E_{\text{TO}}^+, U_{\text{TO}}^+, \gamma^+ \rangle$, що задовольняє умові (3), є умовно оптимальним розв'язком, отриманим за умови, що множина обслуговуваних елементів складається з E_{TO}^+ , $U_{\text{TO}i}^+ = \{u_{\text{TO}1}^*, u_{\text{TO}2}^*, \dots, u_{\text{TO}i}^+\}$ – вектор, в якому: $u_{\text{TO}1}^*, u_{\text{TO}2}^*, \dots, u_{\text{TO}i-1}^*$ – умовно оптимальні значення рівнів ТО, які були знайдені на попередніх кроках процесу послідовної оптимізації, $u_{\text{TO}i}^+$ – умовно оптимальне значення, отримане на останньому (i -му) кроці в результаті розв'язання часткової задачі (3); а γ^+ – коефіцієнт випередження, який задовольняє умові (3). Оскільки вид цільової функції c_e у виразі (3) невідомий, застосовується метод прямого перебору [10, 11].

При додаванні нових елементів в E_{TO}^+ , середній наробіток на відмову об'єкта T_0 повинен зростати, і коли на деякому кроці буде виконуватися вимога: $T_0 \geq T_0^{\text{необ}}$, процес пошуку умовно оптимального рішення P_{ato}^+ припиняється. Дане рішення, яке отримане на останньому кроці P_{ato}^+ , приймається в якості загального оптимального P_{ato}^* .

Підхід до розв'язання задачі (1) подібний до підходу, що описаний [12].

Алгоритм щодо розв'язання задачі (1) наведено на рис. 1.

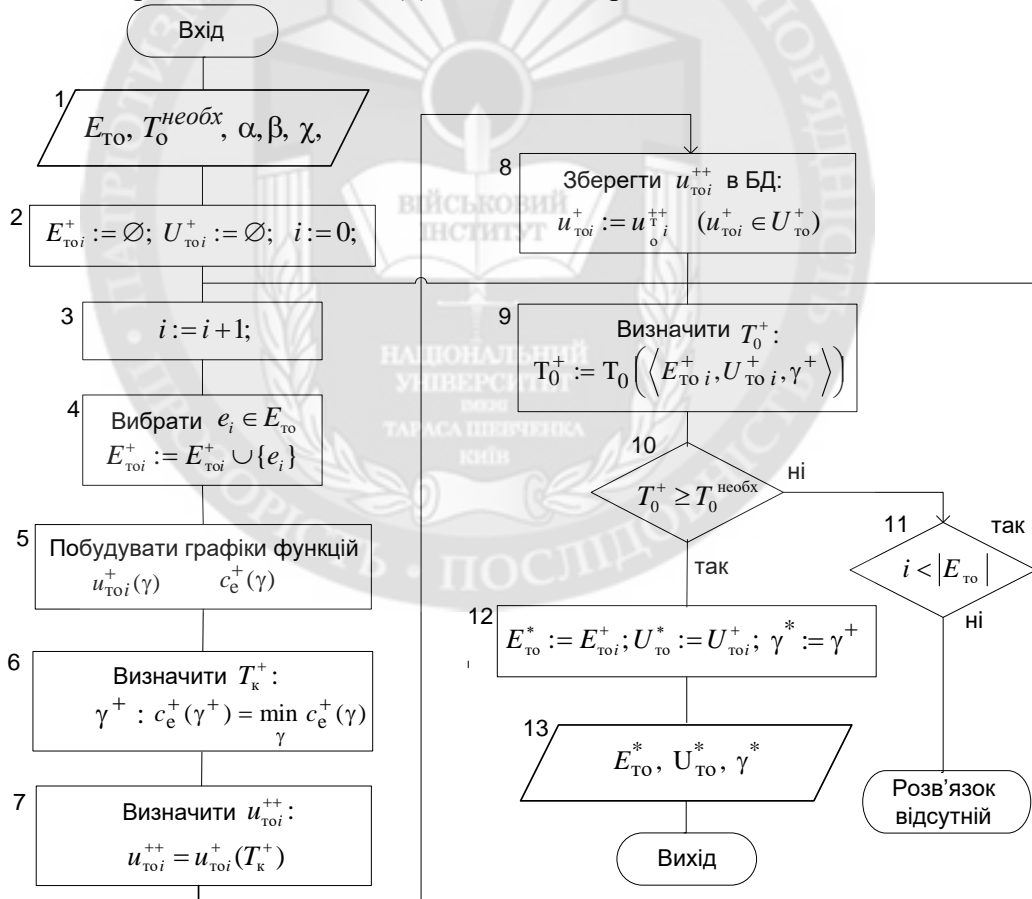


Рисунок 1 – Алгоритм пошуку оптимальних параметрів стратегії ТОС з адаптивною зміною періодичності контролю

Оператор 1 формує вихідні дані: множину елементів, які обслуговуються E_{TO} ; записує постійні згладжування.

Оператор 2 створює порожні множини $E_{\text{ТО}i}^+$ і $U_{\text{ТО}i}^+$, 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 $E_{\text{ТО}i}^+$ останнім). Множина $E_{\text{ТО}i}^+$ використовується як поточна множина елементів, що обслуговуються (в неї на кожному кроці буде додаватися один елемент, узятий з множини $E_{\text{ТО}}$). Множина $U_{\text{ТО}i}^+$ використовується для запам'ятовування знайдених оптимальних значень рівнів ТО $u_{\text{ТО}i}^+$ елементів, включених до множини $E_{\text{ТО}i}^+$.

Оператор 3 формує номер i чергового (поточного) кроку процесу пошуку.

Оператор 4 вибирає з множини $E_{\text{ТО}}$ i -й елемент e_i і додає його до множини $E_{\text{ТО}i}^+$. Вибір елементів e_i з множини $E_{\text{ТО}}$ здійснюється в порядку зростання їх середнього наробітку до відмови.

Оператор 5 будує графіки функцій $u_{\text{ТО}i}^+(\gamma)$ і $c_e^+(\gamma)$ залежно від значення коефіцієнта упередження γ . Коефіцієнт упередження зв'язує інтервал часу, що планується, до чергового ТО $\tilde{T}_{\text{ТО}}(t_k)$ з поточним прогнозованим значенням середнього наробітку до відмови найменш надійного елемента $T'_{\text{CP}}(t_k)$:

$$\tilde{T}_{\text{ТО}}(t_k) = \gamma T'_{\text{CP}}(t_k),$$

де t_k – поточний момент часу проведення k -го технічного обслуговування.

У свою чергу, $T'_{\text{CP}}(t_k)$ визначається:

$$T'_{\text{CP}}(t_k) = \frac{1}{\tilde{a}_i(t_k)},$$

де $\tilde{a}_i(t_k)$ - оцінка середньої швидкості деградації i -го елемента.

Для моделі двопараметричного експоненційного згладжування оцінка середньої швидкості деградації i -го елемента визначається виразом:

$$\tilde{a}_i(t_{k+1}) = L(t_k) + T(t_k),$$

де $L(t_k)$ - згладжена величина на поточний час контролю t_k ; $T(t_k)$ - значення тренда на поточний час,

$$L(t_k) = \alpha \cdot a_i(t_k) + (1 - \alpha)[S(t_{k-1}) - T(t_{k-1})]$$

$$T(t_k) = \beta(S(t_k) - S(t_{k-1})) + (1 - \beta) \cdot T(t_{k-1}) \quad ,$$

де α – коефіцієнт згладжування ряду; β – коефіцієнт згладжування тренда; $\alpha, \beta \in (0,1)$.

Для моделі три параметричного згладжування:

$$\tilde{a}_i(t_{k+1}) = [L(t_k) + T(t_k)] \times S(t_{k+1-s}),$$

де $S(t_k)$ - значення сезонності на поточний момент часу (за попередній період), s - період сезонності (для квартальних змін $s = 4$, для місячних $s = 12$). При проведенні ТО найбільш інформативними можуть виявитися піврічні зміни $s = 2$ або сезонні $s = 4$,

$$L(t_k) = \alpha \cdot \frac{a_i(t_k)}{S(t_{k-s})} + (1 - \alpha)[S(t_{k-1}) - T(t_{k-1})]$$

$$T(t_k) = \beta(S(t_k) - S(t_{k-1})) + (1 - \beta) \cdot T(t_{k-1}) \quad ,$$

$$S(t_k) = \chi \cdot \frac{a_i(t_k)}{L(t_k)} + (1 - \chi) \cdot S(t_{k-s})$$

де χ – коефіцієнт згладжування сезонності; $S(t_{k-s})$ – коефіцієнт сезонності за той самий період же період у попередньому сезоні [8].

Функція $u_{TOi}^+(\gamma)$ визначає залежність оптимального рівня ТО i -го елемента від коефіцієнта γ .

Величина $u_{TOi}^+(\gamma)$ визначається з умови:

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

де $U_{TOi}^+ = \{u_{TO1}^*, \dots, u_{TOi-1}^*, u_{TOi}^+\}$ – це множина (вектор), в якому $u_{TO1}^*, \dots, u_{TOi-1}^*$ – оптимальні значення рівнів ТО елементів e_1, \dots, e_{i-1} , знайдені на попередніх кроках, а u_{TOi}^+ – оптимальний рівень ТО елемента e_i , що задовольняє умові (4) ($e_i \in E_{TOi}^+; i = 1, \dots, |E_{TO}^+|$).

Функція $c_e^+(\gamma)$ – це питома вартість експлуатації, що отримується при оптимальному значенні рівня ТО $u_{TOi}^+(\gamma)$:

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

Оператор 6 визначає оптимальне на поточному кроці значення коефіцієнта γ^+ , що задовольняє умові:

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

Оператор 7 визначає оптимальне значення рівня ТО u_{TOi}^{++} :

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

Оператор 8 зберігає величину u_{TOi}^{++} у БД, як оптимальне значення для даного кроку.

Оператор 9 визначає досягнуте в поточному кроці пошуку значення середнього наробітку на відмову об'єкта $T_0^+ = T_0(P_{ATO}^+(i))$, де $P_{ATO}^+(i) = \langle E_{TOi}^+, U_{TOi}^+, \gamma^+ \rangle$.

Оператор 10 перевіряє виконання умови $T_0^+ \geq T_0^{TP}$. Якщо умова виконується, то оператор 12, формує остаточний розв'язок:

$$P_{ATOC}^* := P_{ATO}^+(i).$$

Процес пошуку розв'язку на цьому завершується.

Якщо при виконанні оператора 9 умова $T_0^+ \geq T_0^{TP}$ не виконується, то оператор 10 перевіряє, чи всі елементи з E_{TO} вже використані. Якщо ні, та ($i < |E_{TO}^+|$), то передає управління оператору 3 для продовження процесу пошуку розв'язку.

Оператор 13 формує оптимальні значення параметрів адаптивного ТО.

Структурна схема алгоритму розв'язання задачі (2) повністю співпадає з розглянутим алгоритмом розв'язання задачі (1), за винятком змісту операторів 4 і 5. Відмінність полягає тільки в тому, що замість критерію $\min c_e$ використовується критерій $\max K_{TB}$. Тому в операторі 4 будується графік функції $K_{TB}^+(\gamma)$, а в операторі 5 оптимальне значення визначається виходячи з умови

$$K_{\text{ТВ}}^+(\gamma^+) = \max_{\gamma} K_{\text{ТВ}}^+(\gamma). \quad (8)$$

Зміст всіх інших операторів залишається незмінним.

Висновки. У статті розв'язується задача щодо удосконалення алгоритмів оптимізації параметрів процесу ТО складного технічного об'єкта для стратегії адаптивного технічного обслуговування. 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. Forecasting reliability of complex technology objects. Parameters optimization of their technical exploitation: [monograph] in English / Sergey Lenkov, Igor Tolok, Vadim Tsitsarev, Genadiy Zhyrov, Evgen Lenkov, Yurii Khlaponin, Bohdan Borowik; under edition S.V. Lenkov. – Poland, Bielsko-Biala: Publishing house «BEL», 2018. – 253 p.
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. Моделі процесів витрат і поповнення ресурсу складних відновлювальних об'єктів і систем радіоелектронної техніки / К.Ф. Боряк, В.О. Браун, С.В. Ленков, О.В. Сєлюков, В.М. Цицарев. – К.: Знання України, 2008. – 267 с.
8. Жиров Г.Б. Формализованная математическая модель процесса адаптивного технического обслуживания по состоянию сложной радиоэлектронной техники / Е.С. Ленков, Г.Б. Жиров, Т.В. Бондаренко // Журнал «Інформатика та математичні методи в моделюванні». – 2016. –Т.6., №4. – С. 365–370.
9. Жиров Г.Б. Алгоритм моделювання процесів технічного обслуговування за ресурсом складних радіоелектронних об'єктів / Г.Б. Жиров // Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. – 2017. – № 57. – С. 24–30.
10. Банди Б. Методы оптимизации. Вводный курс : пер с англ. / Б. Банди. – М. : Радио и связь, 1988. – 128 с.
11. Шуп,Т. Решение инженерных задач на ЭВМ: практическое руководство: пер. с англ. / Т. Шуп. – М. : Мир, 1982. – 238 с.
12. Жиров Г.Б. Алгоритм оптимізації параметрів процесу технічного обслуговування за станом з постійною періодичністю контролю / Г.Б.Жиров, Е.С. Ленков // Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. – 2017. – № 58. – С. 7–13.

REFERENCES:

1. Lenkov S.V., Boriak, K.F., Banzak, G.V., Braun, V.O., Osypa, V.A., Pashkov, S.A., Tsytzarev, V.N., Berzovskaia, Iu.V. (2014). *Prognozirovanie nadezhnosti slozhnykh obektov radiojelektronnoj tehniky i*

оптимизация параметров их технической эксплуатации с использованием имитационных статистических моделей. Одесса, VMV, 256 p.

2. *Forecasting reliability of complex technology objects. Parameters optimization of their technical exploitation*: [monograph] in English / Sergey Lenkov, Igor Tolok, Vadim Tsitsarev, Genadiy Zhyrov, Evgen Lenkov, Yurii Khlaponin, Bohdan Borowik; under edition S.V. Lenkov. – Poland, Bielsko-Biala: Publishing house «BEL », 2018. – 253 p. .

3. Barzilovich E.Iu. (1982). *Modeli tehničeskogo obslužhivaniia slozhnyh sistem*. – M.: Vyssh. shkola, 231 p.

4. Zhyrov G.B. Lenkov E.S. Algoritmichna model' protsesu tehničnogo obslužhuvannia 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. Zhurov G.B. Lenkov E.S. (2017). Uovershenstvovannaia imitatsionnaia model' protsesa tehničeskogo obslužhivaniia i remonta slozhnogo tehničeskogo obekta. *Zhurnal Harkivs'kogo natsional'nogo universitetu Povitrianih Sil imeni I.Kozheduba «Sistemi obrobki informatsii»*. Vip.№3 (149), pp.14–18.

7. Boriak, K.F., Braun, V.O., Lenkov S.V., Sjeljukov V.M., Tsytarev, V.N. (2008). *Modeli procesiv vytrat i popovnennja resursu skladnyh vidnovljuval'nyh ob'ektiv i system radioelektronnoi' tehniky*. – K.:Znannja Ukrai'ny, 267 p.

8. Zhyrov G.B., Lenkov E.S., Bondarenko T.V. (2016). Formalyzovannaja matematyčeskaja model' processa adaptivnogo tehničeskogo obslužhuvannja po sostojanju slozhnoj radyoelektronnoj tehniky / E.S. Lenkov, G.B. Zhyrov. *Zhurnal «Informatyka ta matematyčni metody v modeljuvanni»*. T.6., №4, pp. 365–370.

9. Zhyrov G.B. (2017). Algoritm modeljuvannja procesiv tehničnogo obslužhuvannja za resursom skladnyh radioelektronnyh ob'ektiv. *Zbirnyk naukovykh prac' Vijs'kovogo instytutu Kyi'vs'kogo nacional'nogo universytetu imeni Tarasa Shevchenka. № 57*, pp. 24–30.

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

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

12. Zhyrov G.B., Lenkov E.S. (2017). Algoritm optymizatsii' parametriv procesu tehničnogo obslužhuvannja za stanom z postijnoju periodyčnistju kontrolju. *Zbirnyk naukovykh prac' Vijs'kovogo instytutu Kyi'vs'kogo nacional'nogo universytetu imeni Tarasa Shevchenka. № 58*, pp. 7–13.

к.т.н., с.н.с. Жиров Г.Б.

УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫЕ АЛГОРИТМЫ ОПТИМИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА АДАПТИВНОГО ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ СЛОЖНЫХ ОБЪЕКТОВ

Показатели надежности и стоимости эксплуатации являются одними из показателей, которые задаются в качестве исходных при проектировании и модернизации сложных технических объектов. На величину данных показателей влияют показатели процесса технического обслуживания и ремонта. В свою очередь, процесс технического обслуживания сложного объекта практически невозможно описать аналитическими выражениями. Более целесообразно использовать имитационные и имитационные статистические модели для определения и оптимизации показателей процесса технического обслуживания с целью достижения заданных показателей надежности.

В статье предложены усовершенствованные алгоритмы оптимизации параметров процесса технического обслуживания по состоянию с адаптивной периодичностью контроля сложного технического объекта. Алгоритмы разработаны для двух критериев: минимизации удельной стоимости эксплуатации объекта, определяется на заданном периоде эксплуатации, при обеспечении требований 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.

Отличием приведенных алгоритмов заключается в использовании моделей двух параметрического и трех параметрического экспоненциального сглаживания, что позволяет более точно прогнозировать среднюю скорость деградации составных частей и элементов

сложного технического объекта.

Ключевые слова: техническое обслуживание, адаптивное техническое обслуживание по состоянию, имитационное статистическое моделирование, экспоненциальное сглаживание, показатели безотказности.

Ph.D. Zhyrov H.B.

IMPROVED BY THE ALGORITHM OF OPTIMIZATION OF PARAMETERS OF THE ADAPTIVE MAINTENANCE PROJECT OF THE COMPLEX OBJECT

Reliability and cost of operation are one of the indicators that are set as the starting point for designing and upgrading complex technical objects. The values of these indicators are influenced by indicators of the maintenance and repair process. In turn, the process of maintenance of a complex object is practically impossible to describe by analytical expressions. It is more expedient to use simulation and simulation statistical models to determine and optimize the indicators of the maintenance process in order to achieve the specified reliability indicators. The article proposes advanced algorithms for optimizing the parameters of the maintenance process as per the adaptive periodicity of the control of a complex technical object. The algorithms are developed for two criteria: minimization of the specific cost of operation of the object, determined at a given period of operation, while ensuring requirements to the level of failure of the facility; and maximizing the technical utilization rate while ensuring the requirements for the failure rate of the object. The requirement for the reliability of the object is determined by the set value of the average failure time. The developed algorithms are based on the application of directional overview in the space of maintenance parameters. The difference between the above algorithms consists in the use of models of two parametric and three parametric exponential smoothing, which allows more accurately predict the average speed of degradation of composite parts and elements of a complex technical object.

Keywords: maintenance, adaptive maintenance on condition, simulation statistical simulation, exponential smoothing, indicators of non-failure.

