

УДК 004.052

Геннадій ЖИРОВ,
*кандидат технічних наук, старший науковий співробітник
Науково-дослідний центр Військового інституту
Київського національного університету
імені Тараса Шевченка, м. Київ*

Євгеній ЛЕНКОВ,
*кандидат технічних наук
Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації, м. Київ*

Ігор ТОЛОК,
*кандидат педагогічних наук
Військовий інститут Київського національного університету
імені Тараса Шевченка, м. Київ*

АЛГОРИТМІЧНА МОДЕЛЬ АДАПТИВНОГО ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ЗА СТАНОМ ОЗБРОЄННЯ І ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ

У статті розроблена алгоритмічна модель процесу проведення адаптивного технічного обслуговування за станом складного об'єкта озброєння і військової техніки. Модель представлена у вигляді структурної схеми алгоритму. Запропонована модель з'ясує механізм прийняття рішень при проведенні технічного обслуговування на самому об'єкті та необхідна для побудови на її основі імітаційної статистичної моделі процесу проведення адаптивного технічного обслуговування за станом. У свою чергу імітаційна статистична модель необ-

© Жиров Г., Ленков Є., Толук І.

хідна для оптимізації загального процесу технічного обслуговування і ремонту.

Ключові слова: *технічне обслуговування, стратегія адаптивного обслуговування за станом, визначальний параметр.*

Постановка проблеми у загальному вигляді. Радіоелектронні засоби озброєння і військової техніки, під якими розуміються засоби радіолокації (РЛС або РЛК виявлення, попередження, цілевказівки наведення); комплекси засобів автоматизації (КЗА), які містять автоматизовані системи управління (АСУ) різних рангів; системи передачі цифрової інформації; об'єкти військової техніки зв'язку і т. п., являють собою складні технічні об'єкти. Такі об'єкти належать до класу відновлювальних об'єктів тривалого використання. Вони, як правило, потребують значних витрат на експлуатацію. Кошторис експлуатації зазначених об'єктів може дорівнювати та перевищувати ціну самого виробу. Для забезпечення відповідного рівня надійності в процесі експлуатації та зменшення вартості експлуатації зазвичай проводиться їх технічне обслуговування й ремонт (ТОіР).

Показники надійності та вартості експлуатації об'єктів залежать від властивостей безвідмовності та ремонтпридатності самого об'єкта, а також від параметрів системи ТОіР. Таким чином виникає проблема оптимізації як параметрів процесу ТОіР, так і конструктивних та схемотехнічних рішень самих об'єктів озброєння і військової техніки (ОіВТ), які формуються при їх проектуванні. Однією із багатьох задач, які необхідно розв'язати для вирішення загальної проблеми оптимізації процесу ТОіР, є задача будови моделей технічного обслуговування (ТО), які б установлювали зв'язок між даними параметрами і прогнозованими показниками надійності і вартості експлуатації самого об'єкта ОіВТ.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано вирішення даної проблеми та на які опираються автори. “Сплеск” кількості теоретичних робіт з питань ТО складних технічних об'єктів припадає на 70-ті роки минулого століття, що можна пояснити масовим виробництвом у той час складної радіоелектронної апаратури

військового та спеціального призначення [1–6]. У даний час спостерігається спад кількості наукових публікацій, присвячених питанням ТО складних технічних об'єктів. Однією з причин цього є різке зростання рівня інтеграції і надійності комплектуючих виробів, завдяки чому розробникам складної техніки вдавалося вирішувати питання забезпечення необхідного рівня безвідмовності без значних витрат. Однак ця причина відкрила можливість реалізації все більш складної техніки з новими функціями, що зі старою елементною базою було неможливо. Це знову призвело до проблем забезпечення надійності і, відповідно, знову стало актуальним питання про необхідність ТО, а також вибір оптимальної стратегії його проведення.

На жаль, відомі в даний час математичні моделі і методи розрахунку оптимальних параметрів процесів ТО мало придатні для застосування до реальних технічних об'єктів. Основний недолік цих моделей полягає в тому, що в них або взагалі не враховується складна структура об'єкта, або є можливість враховувати тільки деякі найпростіші структури [7, 8]. У [9] проведений порівняльний аналіз проблем, що виникають при вирішенні завдань ТО “за ресурсом” і “станом”. Наводиться огляд останніх на той період робіт у сфері ТО і ремонту складних систем. У [10] зроблено теоретичне узагальнення відомих математичних моделей процесів ТО. Однак ці моделі не дозволяють будувати на їх основі придатні для практичного використання методики.

Ще гірші, на наш погляд, справи з математичними моделями процесів ТО за станом. Цьому напряму досліджень присвячена лише незначна кількість наукових робіт.

Метою статті є будова алгоритмічної моделі процесу адаптивного технічного обслуговування (ТО) за станом. Модель призначена для визначення шляхів (стратегії) створення імітаційних статистичних моделей загальної системи технічного обслуговування і ремонту.

Виклад основного матеріалу дослідження. Розглядаються складні сучасні радіоелектронні об'єкти ОіВТ, а також перспективні зразки, у яких передбачена наявність вбудованої автоматичної системи технічного діагностування (АСТД).

Сутність стратегії адаптивного ТО за станом полягає у тому, що час проведення чергового ТО визначається за результатами проведення контролю технічного стану (КТС) вбудованою системою технічного діагностування [11]. За результатами КТС приймається рішення щодо проведення або не проведення ТО. Якщо приймається рішення про недоцільність на поточний момент часу проведення ТО, то АСДТ розраховує час проведення чергового КТС. Після прийняття рішення на проведення ТО та виконання усіх необхідних операцій, АСДТ знову, на підставі нових статистичних даних, розраховує час проведення наступного (після проведення ТО) КТС.

Передбачається, що технічний стан (ТС) об'єкта визначається ТС його елементів, а для визначення ТС елемента використовується поняття визначального параметра [11]. Як моделі відмов елементів використовуються імовірнісно-фізичні моделі, а саме: для відмов електрорадіоелементів DN -розподіл, а механічних елементів – DM -розподіл [12,13]. Якщо функціональний вузол складається з механічних та електричних складників, то використовується також DN -розподіл.

Використовувати реальне значення визначального параметра (ВП) недоцільно, тому пропонується проводити його нормування (1):

$$u_i(t) = \frac{|x_i(t) - x^0|}{|x_i^{gr} - x^0|}, \quad (1)$$

де: $u_i(t)$ – нормоване значення визначального параметра i -го елемента; $x_i(t)$ – вимірне значення ВП в момент часу t ; x^0 – вихідне (номінальне) значення визначального параметра; x_i^{gr} – граничне значення визначального параметра, при досягненні якого виникає відмова. Якщо i -й елемент справний, то $u_i(t) = 0$, а несправний – то $u_i(t) = 1$.

Як основну характеристику визначального параметра i -го елемента – $u_i(t)$ беремо середню швидкість його деградації – $a_i(t)$:

$$a_i(t_k) = \frac{u_i(t_k) - u_i(t_{k-1})}{t_k - t_{k-1}}, \quad (2)$$

де $u_i(t_k)$ та $u_i(t_{k-1})$ – нормовані значення визначального параметра i -го елемента в моменти часу t_k та t_{k-1} відповідно; t_{k-1} – момент часу останнього КТС, при якому визначалося значення визначального параметра i -го елемента або прово-

дилось його оновлення чи заміна; $i = \overline{1, |E_0|}$, E_0 – множина усіх конструктивних елементів, які входять у структурну схему надійності об'єкта, $|E_0|$ – кількість елементів визначеної множини E_0 .

Відповідно до стратегії проведення технічного обслуговування його необхідно проводити при наближенні визначального параметра до граничного стану. Нормоване граничне значення визначального параметра, після перебільшення якого необхідно проводити ТО, можна отримати з такого виразу (3):

$$u_i^{TO}(t) = \frac{|x_i^{TO}(t) - x^0|}{|x_i^{gr} - x^0|}, \quad (3)$$

де: $x_i^{TO}(t)$ – значення визначального параметра, при досягненні якого необхідне проведення ТО.

Відповідно до (2), основною характеристикою визначального параметра i -го елемента є середня швидкість його деградації – $a_i(t)$, і відповідно в процесі експлуатації даний параметр підлягає прогнозуванню для визначення прогнозованого часу проведення наступного КТС. Як прогнозовану модель пропонується використовувати модель двопараметричного або трипараметричного експоненційного згладжування. Прогнозований час проведення КТС визначається

$$\tilde{T}_i^{KTC}(t_{k+1}) = \frac{u_i^{TO}}{\tilde{a}_i(t_{k+1})}. \quad (4)$$

У свою чергу, оцінка середньої швидкості деградації при виборі моделі трипараметричного експоненційного згладжування визначається так:

$$\begin{aligned} \tilde{a}_i(t_{k+1}) &= [L(t_k) + T(t_k)] \times S(t_{k+1-s}); \\ L(t_k) &= \alpha \cdot \frac{a_i(t_k)}{S(t_{k-s})} + (1-\alpha)[S(t_{k-1}) - T(t_{k-1})]; \\ T(t_k) &= \beta(S(t_k) - S(t_{k-1})) + (1-\beta) \cdot T(t_{k-1}); \\ S(t_k) &= \gamma \cdot \frac{a_i(t_k)}{L(t_k)} + (1-\gamma) \cdot S(t_{k-s}), \end{aligned} \quad (5)$$

де α – коефіцієнт згладжування ряду; β – коефіцієнт згладжування тренда; γ – коефіцієнт згладжування сезонності; $S(t_k)$ – значення сезонності на поточний

момент часу (за попередній період); $S(t_{k-s})$ – коефіцієнт сезонності за цей же період у попередньому сезоні. При проведенні ТО найбільш інформативними можуть бути зміни піврічні ($s = 2$) або сезонні ($s = 4$).

Якщо є необхідність прогнозування швидкості деградації елементів об'єкта для моменту часу проведення $k + l$ -го КТС, використовується такий вираз:

$$\tilde{a}_l(t_{k+l}) = [L(t_k) + T(t_k)] \times S(t_{k+l-s}).$$

Відповідно до визначеної стратегії проведення ТО можна побудувати структурну схему алгоритму проведення адаптивного ТО за станом (див. рисунок).

Оператор 1 здійснює введення вихідних даних: E_0 – множина усіх конструктивних елементів, які входять у структурну схему надійності об'єкта; E_0^{TO} – множина усіх конструктивних елементів вищого рівня декомпозиції (блоків, субблоків, ТЕЗів ...), у яких АСТД може виміряти визначальний параметр; $\lambda_{t_{ni}}$ – інтенсивність відмови i -го типу елемента в режимах експлуатації (випробуваннях); t_{ni} – напрацювання (тривалість випробувань), що відповідає значенню $\lambda_{t_{ni}}$; v_{oi} – коефіцієнт варіації напрацювання до відмови i -го типу елемента (параметр форми); $t(0)$ – час введення об'єкта в експлуатацію; μ – множина допустимих відхилень ВП i -го типу елемента.

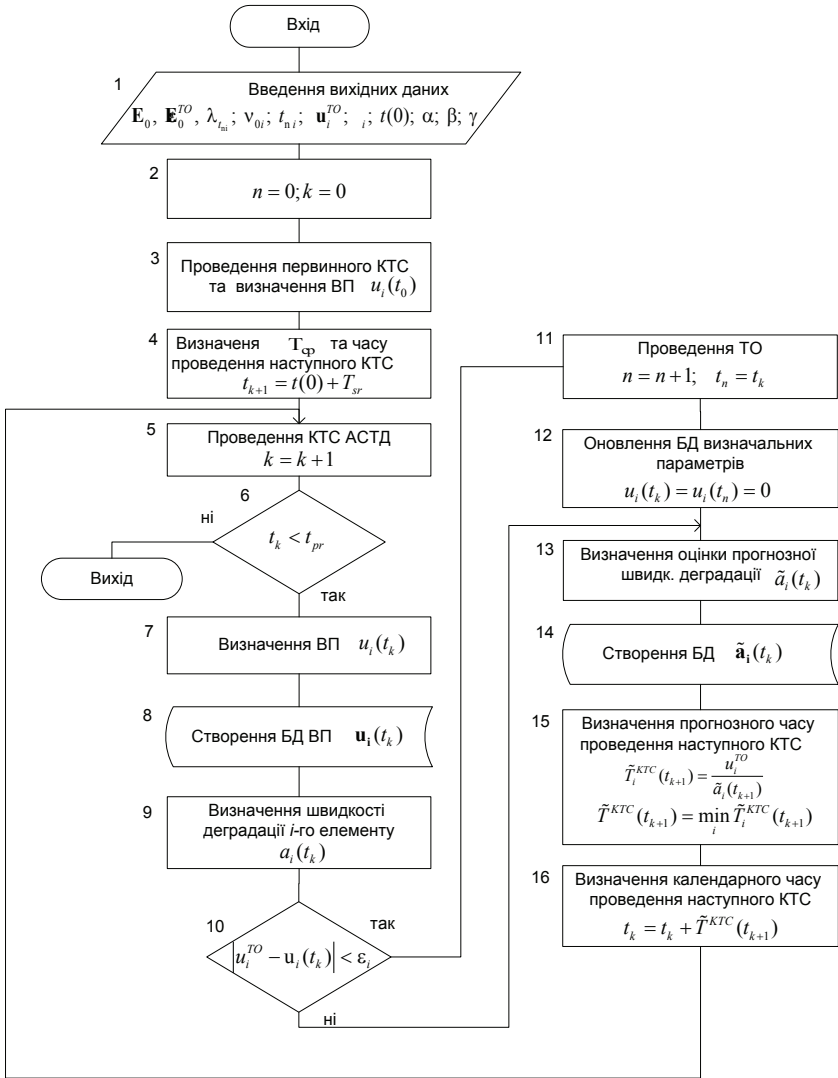
Оператор 2 встановлює початкові значення змінних: n – кількість проведених ТО; k – кількість проведених КТС.

Оператор 3 здійснює первинне визначення значень ВП елементів з множини E_0^{TO} , відповідно до виразу (1).

Оператор 4 здійснює визначення середнього напрацювання до відмови T_{sr} об'єкта у цілому (або його частини як сукупності елементів E_0^{TO}), відповідно до методики [12,14].

Оператори 5, 7 здійснюють проведення КТС, інструментальне визначення ВП $u_i(t_k)$ автоматизованою системою технічного діагносту-

вання та перевірку умови щодо необхідності проведення планових ремонтів, t_k – час проведення k -го КТС.



Структурна схема алгоритму проведення адаптивного ТО за станом

Оператор 8 здійснює створення бази даних (БД) та запис значень ВП елементів у створену БД.

Оператор 9 здійснює визначення швидкості деградації елементів $a_i(t_k)$ за виразом (2).

Оператор 10 перевіряє умови відхилення поточних значень ВП елементів від встановлених виробником значень. Якщо умова виконується, на об'єкті проводиться технічне обслуговування, якщо не виконується – АСТД прораховує на основі прогнозних даних час проведення наступного КТС.

Оператори 11, 12 здійснюють проведення ТО, записують в пам'ять системи час проведення ТО та оновлюють базу даних ВП елементів, які були оновлені або замінені під час проведення ТО. Остання операція необхідна для використання у подальшому в операторі 10. Оскільки елемент (елементи), який підлягає ТО, практично завжди є відновлювальним, який у своєму складі містить певну кількість невідновлювальних елементів (найнижчий рівень декомпозиції об'єкта), то оператори 11, 12, додатково спроможні визначати імовірності відмов на момент часу проведення ТО для кожного з даних елементів. У структурній схемі алгоритму дана функція не показана.

Оператори 13, 14 прогнозують значення швидкості деградації елементів $\tilde{a}_i(t_k)$, на основі виразу (5) створюють БД та записують у створену базу визначені значення.

Оператори 15, 16 на основі прогнозованих значень швидкості деградації елементів визначають час проведення наступного КТС кожного елементу (у відносному масштабі часу (вираз (4)), та оптимальний час проведення КТС усього об'єкта. Також визначається час проведення КТС у реальному масштабі часу.

Висновки. У статті розроблена алгоритмічна модель процесу проведення адаптивного технічного обслуговування за станом складного об'єкта озброєння і військової техніки. Модель подано у вигляді структурної схеми алгоритму. Запропонована модель з'ясовує механізм прийняття рішень при проведенні ТО на самому об'єкті та необхідну для побудови на її основі імітаційну статистичну модель процесу проведення адаптивного ТО за станом. За допомогою імітаційної

статистичної моделі можна вирішити актуальні наукові задачі щодо оптимізації параметрів ТО та ремонту, а також оптимізувати автоматичну систему технічного діагностування, як її апаратну, так і програмну частину з урахуванням конструктивних особливостей конкретного зразка ОіВТ, що визначає **перспективи подальших розвідок у даному напрямі.**

Список використаної літератури

1. Барзилович Е. Ю. Некоторые математические вопросы теории обслуживания сложных систем / Е. Ю. Барзилович, В. А. Каштанов. – М. : Сов. радио, 1971. – 272 с.
2. Барзилович Е. Ю. Организация обслуживания при ограниченной информации о надежности системы / Е. Ю. Барзилович, В. А. Каштанов. – М. : Сов. радио, 1975. – 136 с.
3. Герцбах И. Б. Модели профилактики (теоретические основы планирования профилактических работ) / И. Б. Герцбах. – М. : Сов. радио, 1969. – 216 с.
4. Барлоу Р. Математическая теория надежности; пер. с англ. ; под ред. Б. В. Гнеденко / Р. Барлоу, Ф. Прошан. – М. : Советское радио, 1969. – 488 с.
5. Степанов С. В. Профилактические работы и сроки их проведения / С. В. Степанов – М. : Сов. радио, 1972.
6. Методика оптимизации периодичности проведения замен технических устройств. – М. : Изд. стандартов, 1975. – 32 с.
7. Барзилович Е. Ю. Модели технического обслуживания сложных систем / Е. Ю. Барзилович. – М. : Высш. школа, 1982. – 231 с.
8. Надежность и эффективность в технике. Справочник. Т. 8. Эксплуатация и ремонт. – М. : Машиностроение, 1990. – 320 с.
9. Каштанов В. А. Оптимальные задачи технического обслуживания / В. А. Каштанов. – М. : Знание, 1981.
10. Вопросы математической теории надежности / Е. Ю. Барзилович, Ю. К. Беляев, В. А. Каштанов и др.; под ред. Б. В. Гнеденко. – М. : Радио и связь, 1983. – 376 с.
11. 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 и др. – Одесса : Изд-во “ВМВ”, 2014. – 256 с.

12. Стрельников В. П., Федухин А. В. Оценка и прогнозирование надежности электронных элементов и систем / В. П. Стрельников, А. В. Федухин. – К. : Логос, 2002. – 486 с.

13. Надежность в технике. Модели отказов. Основные положения: ГОСТ 27.005–97.– 45 с. – Введ. 01.01.99. – (Межгосударственный стандарт).

14. Жиров Г. Б. Визначення показників надійності радіоелектронних об'єктів з урахуванням процесів деградації/ Г. Б. Жиров, Б. Г. Жиров // Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. – 2013. – № 43. – С. 45–53.

Рецензент – доктор технічних наук, професор Ленков С. В.

Жиров Г., Ленков Е., Толлок И. Алгоритмическая модель адаптивного технического обслуживания по состоянию вооружения и военной техники

В статье разработана алгоритмическая модель процесса проведения адаптивного технического обслуживания по состоянию сложного объекта вооружения и военной техники. Модель представлена в виде структурной схемы алгоритма. Предложенная модель выясняет механизм принятия решений при проведении технического обслуживания на самом объекте и необходима для построения на ее основе имитационной статистической модели процесса проведения адаптивного технического обслуживания по состоянию. В свою очередь, имитационная статистическая модель необходима для оптимизации общего процесса технического обслуживания и ремонта.

Ключевые слова: *техническое обслуживание, стратегия адаптивного обслуживания по состоянию, определяющий параметр.*

Zhyrov G., Lenkov E., Tolok I. Algorithmic models adaptive maintenance as of weapons and military equipment

The article deals with complex technical objects of weapons and military equipment, which are understood radar equipment, systems of automation, of transmission of digital information, communications facilities of military equipment and so on. N., Is a complex technical facilities. These objects belong to a class of objects durable recovery. To ensure the appropri-

ate level of reliability in service and reducing the cost of operation is usually performed maintenance and repairs.

Indicators of reliability and cost of operation of the properties depend on the reliability and maintainability of the facility, as well as the parameters of the system maintenance. Thus there is a problem of optimization of process parameters maintenance and design solutions structure themselves objects of weapons and military equipment.

One of the many problems that must be solved to solve the general problem of process optimization maintenance is the task structure maintenance models that would establish the relationship between these parameters and predicted performance reliability and cost of operation of the facility.

Thus, the article developed algorithmic model of the process of adaptive maintenance complex object as weapons and military equipment. The model is represented as a block diagram of the algorithm. The proposed model clarifies decision-making at the maintenance facility and on the need to build on the basis of the simulation model of statistical process of adaptive maintenance of the state. In turn simulation statistical model is necessary to optimize the overall process of maintenance and repair.

Keywords: *maintenance, adaptive maintenance strategy as defining the parameter.*