

АЛГОРИТМ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ЗА РЕСУРСОМ СКЛАДНИХ РАДІОЕЛЕКТРОННИХ ОБ'ЄКТІВ

Процес розробки складних радіоелектронних об'єктів та оптимізації методик проведення їх технічного обслуговування необхідно розглядати як єдину взаємозалежну задачу. Вирішення даної задачі неможливе без розробки моделей та відповідних програмних засобів. Метод дослідження базується на ідеї, що технічний стан об'єкта визначається технічним станом його елементів, а для визначення технічного стану елемента використовується поняття визначального параметру. Значення параметра можна контролювати засобами діагностування. В якості моделей відмов елементів використовується DN -розподіл.

У роботі розроблений алгоритм проведення технічного обслуговування за ресурсом, який являє собою складову частину імітаційної статистичної моделі об'єкта. Проведення моделювання дозволяє визначити оптимальні конструктивні характеристики об'єкту та параметри проведення його технічного обслуговування, а критерієм виступають максимізація показників надійності та мінімізація вартості експлуатації об'єкта.

Ключові слова: технічне обслуговування за станом, технічне обслуговування за ресурсом, визначальний параметр.

Вступ. Експлуатація складних сучасних технічних об'єктів, таких як об'єкти радіоелектронної техніки (РЕТ), неможлива без якісно налагодженої системи технічного обслуговування та ремонту (ТОiP). Така система необхідна для забезпечення необхідного рівня надійності даних об'єктів. Необхідність проведення технічного обслуговування полягає у своєчасній заміні елементів, які знаходяться в перед відмовному стані, а ремонт проводиться з метою відновлення справного або працездатного стану об'єкта, а також відновлення ресурсу всього об'єкту або його частини [1, 2].

Показники надійності та вартості експлуатації об'єктів РЕТ залежать, як від

властивостей безвідмовності та ремонтпридатності самих об'єктів, так і від параметрів процесу проведення ТОiP. Для того, щоб мати можливість оптимізувати характеристики об'єкта (на етапі його розробки), а також параметри системи ТОiP, необхідно попередньо побудувати моделі, які встановлюють зв'язок між параметрами об'єкта, системами та прогнозованими показниками надійності та вартості експлуатації об'єкта PЕT.

На сьогоднішній день, залежно від критерію, який використовується при визначенні термінів проведення ТО, існують два основні стратегії організації проведення ТО: ТО за ресурсом (ТОР) і ТО за станом (ТОС). При проведенні ТОР здійснюється контроль за поточним ресурсом об'єкта, і в разі, якщо залишковий ресурс знижується до деякого заданого граничного значення, проводиться технічне обслуговування. При проведенні ТОС здійснюється контроль за поточним технічним станом об'єкта, а ТО проводиться у разі, якщо технічний стан об'єкта погіршується до деякого заданого неприпустимого рівня. У свою чергу, при проведенні ТОС можна виділити 2 стратегії: ТОС з постійною періодичністю контролю та ТОС зі змінною періодичністю контролю (адаптивне ТОС).

Постановка завдання. На сьогоднішній час, існує загальна проблема оптимізації характеристик об'єкту та параметрів системи ТОiP з метою підвищення показників надійності об'єкту та зменшення вартості його експлуатації. Визначити показники надійності складних технічних об'єктів та їх взаємозв'язок з параметрами системи ТОiP на основі статистичних даних є складною задачею. Значно простіше та ефективніше, для встановлення зв'язків між даними параметрами і прогнозованими показниками надійності і вартості, проводити імітаційне статистичне моделювання. Для проведення моделювання необхідні: модель безвідмовності об'єкту та моделі (алгоритми) процесу проведення технічного обслуговування та ремонту.

Таким чином, у статті вирішується актуальна наукова задача, щодо будови алгоритмів моделювання процесу проведення технічного обслуговування за станом для різних стратегій. Алгоритми являють собою складові частини загальної імітаційної статистичної моделі складного об'єкту PЕT та параметрів системи ТОiP.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. При проектуванні складного технічного об'єкта важливо мати різноманітні інструменти (моделі, методики та алгоритми), а також програмне забезпечення, для прогнозування показників надійності і вартості експлуатації в залежності від конструктивних особливостей самого об'єкту, а також від параметрів його експлуатації, параметрів технічного обслуговування і ремонту. Питаннями розрахунку і прогнозування надійності, а також створення моделей (в тому числі і імітаційних) займалася велика кількість відомих вчених в тому числі: Креденцера Б.П., Барзилович Є.Ю., Кокс Д., Сміт В., Каштанов В.О., Ушаков І.О., Барлоу Р., Прошан Ф. та ін.

Останнім часом, також з'явилося багато публікацій з даної тематики. В [3] запропонований метод наслідування і розробки сучасних методів оцінки надійності на основі чисельного моделювання, заснований на динамічних байєсовських мережах і чисельному моделюванні. Таким чином, він долає обмеження аналітичного методу і методу багаторівневого синтезу, а також забезпечує ефективний засіб для оцінки надійності складних динамічних систем. В [4] розроблена стратегія вибіркового обслуговування з метою максимального збільшення очікуваної надійності системи з використанням методу Monte-Carlo. В [5] представлений метод моделювання структурної надійності MEMS і описаний FORM метод для отримання індексу надійності і його чутливості по відношенню до вхідних випадкових величин і їх параметрами, які можуть не тільки використовуватися для оцінки надійності об'єкта, але також допомагають визначити ключові фактори для додаткових структурних удосконалень. В [6] пропонується метод оцінки надійності механізму бістабільності податливого механізму з урахуванням деградації і невизначеності параметрів. В [7] пропонується розширена коваріаційна модель для оцінки надійності системи, що стикається з експлуатаційними напруженнями. В [8] розроблено модель динамічної надійності з циклічним періодом множинних місій для не відновлювальних дискретних систем. В [9] розроблено алгоритми для оцінки надійності систем у вигляді

байесовских мереж, при експоненціальному збільшенні кількості інформації, яку необхідно зберегти по мірі збільшення кількості компонентів у системі. В [10] запропоновано комбінаційний метод для аналізу надійності різноманітної системи. Метод заснований на поєднанні моделей BDD і MMDD. Запропоновані моделі і методи, безумовно, мають переваги, але також не позбавлені і недоліків.

На сьогоднішній час, відсутній вітчизняний програмний комплекс по розрахунку показників надійності складних радіоелектронних об'єктів з урахуванням різних стратегій технічного обслуговування і ремонту. Математичною основою такого програмного комплексу повинна бути імітаційна статистична модель самого об'єкту та системи ТОіР, як єдиного цілого. Для вирішення наведеної загальної проблеми, необхідно вирішити задачу щодо будови алгоритмів моделювання процесу проведення технічного обслуговування для різних стратегій.

Основний зміст. Моделювання процесу ТО за ресурсом. Формалізований опис процесу. Сутність стратегії ТО за ресурсом (ТОР) полягає в тому, що ТО проводяться в заздалегідь заплановані моменти часу із заданим фіксованим обсягом робіт. Технічний стан об'єкта при проведенні ТОР не перевіряється, перед початком ТО проводиться тільки контроль працездатності об'єкта. Параметрами стратегії ТОР згідно [1] та з урахуванням показників вартості є:

$$P_{\text{ТО}} = \left\{ \tau_{\text{ТО}a}, N_{\text{ТО}}, \left\{ \left\langle E_{\text{ТО}j}, T_{\text{ТО}j}, \tau_{\text{ТО}j}, C_{\text{ТО}j} \right\rangle; j = \overline{1, N_{\text{ТО}}} \right\} \right\},$$

де: $\tau_{\text{ТО}a}$ – адміністративний час ТО (час підготовки об'єкта до ТО); $N_{\text{ТО}}$ – число видів ТО; $T_{\text{ТО}j}$, $E_{\text{ТО}j}$, $\tau_{\text{ТО}j}$ і $C_{\text{ТО}j}$ – періодичність, обсяг, тривалість і вартість ТО j -го виду відповідно ($j = \overline{1, N_{\text{ТО}}}$). Обсяг ТО визначається множиною $E_{\text{ТО}j}$ елементів, які підлягають обслуговуванню (або заміні) при ТО j -го виду ($E_{\text{ТО}j} \subset E_{\text{ТО}}$).

Моделювання процесу ТОР є складовою частиною загального алгоритму і полягає в імітації оновлення елементів множини $E_{\text{ТО}j}$ в момент часу проведення ТО j -го виду [1,11].

Алгоритм моделювання (процедура Modelir_TOP). Для моделювання процесу ТОР в оперативній пам'яті комп'ютера створюються структури даних, в яких представляється інформація про види технічного обслуговування. Структурна схема алгоритму моделювання ТОР наведена на рис. 1. Алгоритм виконується в момент часу t , що відповідає поточній події “початок ТОР”.

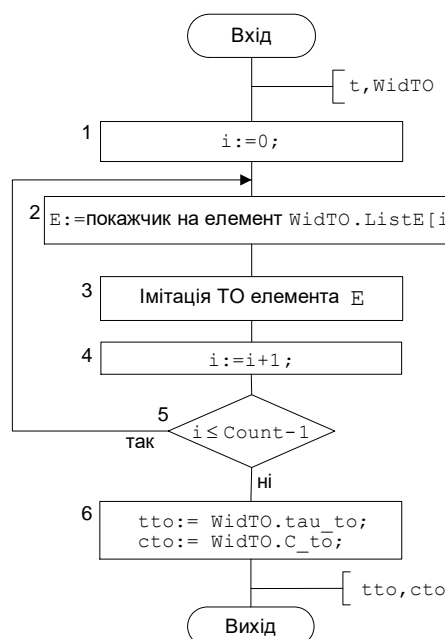


Рис. 1. Алгоритм процедури Modelir_TOP

Алгоритм складається з єдиного циклу (оператори 1, 4 і 5), в якому здійснюється перебір всіх елементів списку WidTO.ListE (списку елементів, що обслуговуються при ТО даного виду).

ListE – список елементів, які повинні обслуговуватися при ТО даного виду. Якщо говорити точно, елементами списку є покажчики на структури даних типу tE, що містять всю інформацію про відповідні конструктивні елементи об'єкта PЕT.

Оператор 2 формує покажчик E на область пам'яті, в якій зберігається інформація про характеристики елемента, що обслуговується.

Оператор 3 імітує оновлення елемента E: генерує нове значення випадкового наробітку до відмови елемента в календарі подій і формує нове значення часу останнього відновлення.

Календар подій у випадку стратегії ТОР являє собою множину полів {WidTO.t}, що належать списку List_WidTO, у якому зберігається інформація про параметри різних видів ТОР. Поле WidTO.t призначено для запам'ятовування запланованого моменту часу ТОР даного виду. Планування першої події «ТОР» виконується оператором :

$$WidTO.t := T_{TOj}, (\forall WidTO \in List_WidTO),$$

де: T_{TOj} – періодичність ТО даного виду.

Після завершення циклу виконується оператор 6, який формує значення змінних tto і sto присвоюванням відповідних значень зі структури WidTO. Вихідні змінні tto і sto – тривалість і вартість ТОР, повертаються через параметри процедури.

Висновки. Прогнозування показників надійності і вартості експлуатації складного технічного об'єкта на етапі його проектування або модернізації є актуальною, складною науковою проблемою. Для поліпшення показників надійності, оптимізації комп'ютерних розрахунків і конструктивних складових об'єкту необхідно провидить імітаційне статистичне моделювання щодо визначення показників надійності і вартості з урахуванням проведення технічного обслуговування об'єкта. Для цього, в роботі розроблений алгоритм моделювання процесів технічного обслуговування за ресурсом складних радіоелектронних об'єктів.

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. Jason Brown, Lucas Mol On the roots of all-terminal reliability polynomials / Discrete Mathematics, Volume 340, Issue 6, June 2017, Pages 1287–1299.
4. Cuong D.Dao, Ming J. Zuo Optimal selective maintenance for multi-state systems in variable loading conditions / Reliability Engineering & System Safety, Volume 166, October 2017, Pages 171-180.
5. Hongmao Tu, Wenzhong Lou, Zhili Sun, Yunpeng Qian Structural reliability simulation for the latching mechanism in MEMS-based Safety and Arming device / Advances in Engineering Software, Volume 108, June 2017, Pages 48-56.
6. Jianing Wu, Shaoze Yan, Junlan Li, Yongxia Gu Mechanism reliability of bistable compliant mechanisms considering degradation and uncertainties: Modeling and evaluation method / Applied Mathematical Modelling, Volume 40, Issues 23–24, December 2016, Pages 10377-10388.
7. Ikenna Anthony Okaro, Longbin Tao Reliability analysis and optimisation of subsea compression system facing operational covariate stresses / Reliability Engineering & System Safety, Volume 156, December 2016, Pages 159-174.
8. Lirong Cui, Yan Li, Jingyuan Shen, Cong Lin Reliability for discrete state systems with cyclic missions periods / Applied Mathematical Modelling, Volume 40, Issues 23–24, December 2016, Pages 10783-10799.

9. Iris Tien, Armen Der Kiureghian Algorithms for Bayesian network modeling and reliability assessment of infrastructure systems / Reliability Engineering & System Safety, Volume 156, December 2016, Pages 134-147.

10. Ying Yi Li, Ying Chen, Zeng Hui Yuan, Ning Tang, Rui Kang Reliability analysis of multi-state systems subject to failure mechanism dependence based on a combination method / Reliability Engineering & System Safety, Available online 18 November 2016.

11. 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.

REFERENCES:

1. Lenkov S.V., Boriak, K.F., Banzak, G.V., Braun, V.O., Osypa, V.A., Pashkov, S.A., Tsytsarev, V.N., Berezovskaia, Iu.V. (2014). Prognozirovanie nadezhnosti slozhnyh obektov radioelektronnoj tehniki i optimizacija parametrov ih tehnichej jekspluatacii s ispolzovaniem imitacionnyh statisticheskikh modelej. Odessa, VMV, 256 p.

2. Butochnov A.N., Kredencer B.P., Tocenko V.G., Cycarev V.N. i dr. (1982). Osnovy nadezhnosti i tehnichej obespechenie radioelektronnyh sredstv RTV PVO. Kyiv, KKVIRTU PVO, 226 p.

3. Jason Brown, Lucas Mol. (2017). On the roots of all-terminal reliability polynomials. Discrete Mathematics, 340(6), 1287–1299.

4. Cuong D.Dao, Ming J. Zuo. (2017). Optimal selective maintenance for multi-state systems in variable loading conditions/ Reliability Engineering & System Safety, 166, 171–180.

5. Hongmao Tu, Wenzhong Lou, Zhili Sun, Yunpeng Qian. (2017). Structural reliability simulation for the latching mechanism in MEMS-based Safety and Arming device. Advances in Engineering Software, 108, 48–56.

6. Jianing Wu, Shaoze Yan, Junlan Li, Yongxia Gu. (2016). Mechanism reliability of bistable compliant mechanisms considering degradation and uncertainties: Modeling and evaluation method. Applied Mathematical Modelling, 40(23–24), 10377–10388.

7. Ikenna Anthony Okaro, Longbin Tao. (2016). Reliability analysis and optimisation of subsea compression system facing operational covariate stresses. Reliability Engineering & System Safety, 156, 159–174.

8. Lirong Cui, Yan Li, Jingyuan Shen, Cong Lin. (2016). Reliability for discrete state systems with cyclic missions periods. Applied Mathematical Modelling, 40(23–24), 10783–10799.

9. Iris Tien, Armen Der Kiureghian. (2016). Algorithms for Bayesian network modeling and reliability assessment of infrastructure systems. Reliability Engineering & System Safety, 156, 134–147.

10. Ying Yi Li, Ying Chen, Zeng Hui Yuan, Ning Tang, Rui Kang. (2016). Reliability analysis of multi-state systems subject to failure mechanism dependence based on a combination method. Reliability Engineering & System Safety, Available online 18 November 2016.

11. Zhiron G.B., Lenkov E.S. Usovershenstvovannaja imitacionnaja model processa tehnichej obsluzhivanija i remonta slozhnogo tehnichej obekta. *Sistemi obrobki informacii*. 2017, № 3 (149), pp.14–18.

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

АЛГОРИТМ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ПО РЕСУРСУ СЛОЖНЫХ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ ОБЪЕКТОВ

Процесс разработки сложных радиоэлектронных объектов и оптимизации методик проведения их технического обслуживания необходимо рассматривать как единую взаимосвязанную задачу. Решение данной задачи невозможно без разработки моделей и соответствующих программных средств. Метод исследования базируется на идее, о том, что техническое состояние объекта определяется техническим состоянием его элементов, а для определения технического состояния элемента используется понятие определяющего параметра. Значение параметра можно контролировать средствами диагностирования. В качестве моделей отказов элементов используется DN-распределение.

В работе разработан алгоритм проведения технического обслуживания по ресурсу, который представляет собой составную часть имитационной статистической модели объекта. Проведение моделирования позволяет определить оптимальные конструктивные характеристики объекта и параметры проведения его технического обслуживания, а критерием выступают максимизация показателей надежности и минимизация стоимости эксплуатации объекта.

Ключевые слова: техническое обслуживание по состоянию, техническое обслуживание по ресурсу, определяющий параметр.

Ph.D. Zhiron G.B.

ALGORITHM FOR MODELING MAINTENANCE PROCESSES FOR THE RESOURCE OF COMPLEX RADIOELECTRONIC OBJECTS

The process of developing complex radio electronic objects and optimizing the methods of their maintenance should be viewed as a single interrelated task. The solution of this task is impossible without the development of models and corresponding software.

The method of research is based on the idea that the technical state of the object is determined by the technical state of its elements, and for the definition of the technical state of the element, the concept of the defining parameter is used. The parameter value can be controlled by means of diagnostics. DN-distribution is used as bounce-out models.

An algorithm for performing maintenance on a resource is developed, which is an integral part of the simulation statistical model of the object. Simulation allows to determine the optimal design characteristics of the object and the parameters of its maintenance, and the criterion is to maximize reliability indicators and minimize the cost of operating the facility.

Keywords: maintenance according to condition, maintenance by resource, defining parameter.