

# ВІЙСЬКОВІ НАУКИ

DOI: <https://doi.org/10.32839/2304-5809/2020-4-80-82>

УДК 621.397

Бондаренко Т.В., Побережець Т.В., Ліманська О.Л.  
Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації

## АНАЛІЗ ПРИНЦИПІВ І МОДЕЛЕЙ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ

**Анотація.** Під складними технічними об'єктами розуміються об'єкти, що складаються з великого числа різнотипних елементів (десятки, сотні тисяч), кожен з яких може являти собою досить складний технічний пристрій. Елементи можуть бути радіоелектронними, механічними, електромеханічними, гідравлічними, і т.д. Різнотипність елементів призводить до того, що для різних елементів характерні принципово різні фізичні процеси (і, отже, швидкості) деградації, що призводять до їх відмов. Об'єкти можуть мати довільну надійну структуру (як правило – послідовно-паралельну). Конструктивна структура таких об'єктів зазвичай ієрархічна, тобто, об'єкт складається з підсистем, підсистеми складаються з агрегатів (шаф), агрегати – з пристроїв (блоків), і т.д. Складні технічні об'єкти в сучасному суспільстві мають виключно важливе значення. Характерною особливістю складних технічних об'єктів спеціального призначення є наявність в їх складі великої кількості (десятки, сотні тисяч) різнотипних комплектуючих елементів, які мають різний рівень надійності, різні закономірності процесів їх зносу і старіння. Ця особливість вимагає більш тонкого підходу до організації та планування ТО в процесі їх експлуатації.

**Ключові слова:** технічне обслуговування, складний технічний об'єкт, відмова, математична модель, оптимальна стратегія.

Bondarenko Tetiana, Poberezhets Tetiana, Limanska Olena  
Military Institute of Telecommunications and Informatization

## ANALYSIS OF MAINTENANCE PRINCIPLES AND MODELS

**Summary.** Complex technical objects are objects that consist of a large number of different types of elements (tens, hundreds of thousands), each of which may be a rather complex technical device. Elements can be radio-electronic, mechanical, electromechanical, hydraulic, etc. The diversity of elements leads to the fact that different elements are characterized by fundamentally different physical processes (and, consequently, speed) of degradation, which lead to their failure. Objects can have an arbitrarily robust structure (usually sequentially parallel). The structural structure of such objects is usually hierarchical, that is, the object consists of subsystems, subsystems consist of units (cabinets), units – of devices (blocks), etc. Complex technical facilities in modern society are extremely important. It is primarily about various military and special purpose radio-electronic complexes, radar stations, automated control systems (air traffic, energy facilities, etc.). The considered objects belong to a class of renewable objects of long repeated use, and in the course of their operation to maintain the required level of trouble-free maintenance is usually assumed. Maintenance (MOT) means «a set of operations or operations to maintain the serviceability or performance of an object when used for its intended purpose, simple operation, storage and transportation». The state's defense capability, economic security, the lives of hundreds and thousands of people depend on the level of reliability of such facilities. Such objects belong to the class of long-term reusable objects. They are usually expensive and costly to operate. In order to ensure the necessary level of trouble-free operation, maintenance is usually carried out in the course of their operation, the essence of which consists in timely preventive replacement of the elements in the pre-failure state. A characteristic feature of complex technical objects of special purpose is the presence in their composition of a large number (tens, hundreds of thousands) of various components, which have different levels of reliability, different patterns of processes of their wear and aging. This feature requires a more nuanced approach to the organization and planning of maintenance during their operation.

**Keywords:** maintenance, complex technical object, failure, mathematical model, optimal strategy.

**Постановка проблеми.** В процесі експлуатації об'єкт в кожен момент часу може знаходитися в одному з наступних станів:

- справний;
- працездатний;
- непрацездатний.

Застосовуватися за призначенням об'єкт може тільки в справному або працездатному стані. Відновлення справного або працездатного стану проводиться за рахунок поточного ремонту. ТО, як правило, проводиться тільки при працездатному стані об'єкта. Якщо до моменту початку проведення ТО (або в процесі ТО) відбувається повна відмова, то на початок проводиться відновлення об'єкта, а потім виконується ТО.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Суть ТО полягає в запобіганні деякої частини відмов за рахунок проведення заміни окремих елементів, чищення, змащення, регулювання і т.п. (Тому ТО часто називають профілактикою). В сучасних технічних об'єктах в переважній кількості випадків ТО зводиться до заміни елементів (рідин, масел та ін.), Що знаходяться в предвідмовному стані.

**Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми.** Існують різні принципи (стратегії) організації проведення ТО [3–5]. Залежно від критерію, який використовується при визначенні термінів проведення ТО, розрізняють такі принципи: «по ресурсу», «за станом» і змішаний принцип.

При ТО «по ресурсу» здійснюється контроль за поточним ресурсом (напрацюванням) об'єкта, і в разі, якщо залишковий ресурс (залишкове напрацювання) знижується до деякого заданого граничного значення, проводяться роботи ТО. Цей принцип організації ТО також називають принципом планування ТО «з напрацювання».

При ТО «за станом» (ТОС) здійснюється контроль за поточним технічним станом об'єкта, і ТО проводиться в разі, якщо технічний стан об'єкта погіршується до деякого заданого неприпустимого рівня.

При змішаному принципі організації ТО частина операцій ТО може плануватися «по ресурсу», а інша частина – «за станом».

Іноді говорять про «календарний принцип» планування ТО, коли терміни проведення ТО призначаються через певні інтервали календарного часу. Очевидно, що «календарний принцип» планування ТО є лише різновидом принципу ТО «по ресурсу».

Часто використовують також поняття «регламентованого ТО», згідно з яким проведення ТО регламентується вимогами нормативів (регламентом), що визначають час, зміст, обсяг робіт ТО, і т.д. Очевидно, що це поняття більше відноситься до нормативної сторони процесів ТО, і менше стосується їх сутності.

**Мета статті.** З наведених визначень різних принципів організації ТО видно, що ТО завжди тісно пов'язане з контролем технічного стану (ТС) об'єкта. У разі стратегії ТО «по ресурсу» контроль поточного ресурсу також можна розглядати як опосередкований контроль ТС, вважаючи, що ТС завжди тісно пов'язане (корелюється) із залишковим ресурсом.

**Виклад основного матеріалу.** Джерелом інформації про ТС об'єкта є система технічного діагностування (система контролю) об'єкта. Для дійсно складних технічних об'єктів вважається обов'язковим наявність вбудованої автоматизованої системи технічного діагностування (АСТД), яка повинна забезпечувати необхідний рівень ремонтоспридатності об'єкта. За допомогою АСТД здійснюється контроль (безперервний або періодичний) ТС об'єкта і визначення причини виниклої несправності (елемента, що відмовив).

Наявність АСТД є необхідною умовою для практичного застосування принципу ТО «за станом». АСТД крім вбудованих апаратних засобів вимірювання визначальних параметрів повинна включати в себе базу даних (БД), в якій накопичувалася б вимірювальна інформація. За результатами обробки накопиченої інформації можуть розраховуватися оптимальні терміни проведення ТО. Сукупність технічних і програмних засобів аналізу інформації про ТС об'єкта та розрахунку оптимальних параметрів процесу ТО можна розглядати як підсистему прийняття рішень ТО (АСПР ТО). АСТД, функції якої розширені за рахунок об'єднання її з БД і АСПР ТО, буде в цілому являти собою автоматизовану систему ТО (АСТО). Очевидно, що практично реалізувати принцип ТО «за станом» можливо тільки в рамках АСТО.

Інформація АСТД безперервно (або періодично) аналізується АСПР ТО, яка на основі відповідних розрахунків визначає оптимальні терміни і необхідний обсяг ТО, видає конкретні рекомен-

дації для проведення ТО оперативному персоналу (ОП) об'єкта. АСПР ТО може бути вбудованою або зовнішньою по відношенню до об'єкта.

Технічна реалізація АСТО в цілому може бути різною в залежності від цілей, що стоять перед розробником об'єкта. Чим вищі вимоги пред'являються до рівня безвідмовності об'єкта, тим більш розвинутою (інтелектуальною) повинна бути АСТО. Розробка АСТО повинна здійснюватися на ранніх стадіях проектування об'єкта. Тому дуже важливим є питання розробки адекватних моделей процесу ТОС.

Теоретично (потенційно) ТОС є більш гнучким і ефективним принципом організації ТО, однак, якщо інформація про поточний стан об'єкта недостатня, то корисний ефект від проведення ТО може виявитися мінімальним. Достовірна інформація про ТС об'єкта забезпечується наявністю вбудованої (або зовнішньої) АСТД. Чим більш досконалої (і, отже, дорогої) є система діагностування, тим більше достовірною буде поточна інформація про дійсний ТС об'єкта. Тому практичне здійснення принципу ТОС істотно залежить від характеристик АСТД об'єкта.

Для розробки програмного забезпечення АСПР ТО необхідно на початок розробити математичні моделі процесу ТОС, в рамках яких визначити параметри, що характеризують процес ТОС і досліджувати їх вплив на показники надійності і вартості експлуатації об'єкта. Тільки за результатами таких досліджень можна приймати рішення про доцільність розробки АСТО, визначити її необхідні параметри.

Найважливішим питанням для всього подальшого дослідження є визначення поняття ТС. Будемо вважати, що ТС об'єкта визначається ТЗ окремих його елементів. Для визначення ТС елемента будемо використовувати поняття визначального параметра. Згідно [6; 7] під визначальним параметром розуміється фізичний або функціональний параметр, значення якого визначає працездатність елемента (елемент стає непрацездатним при досягненні визначальним параметром деякого граничного найбільшого або найменшого значення).

Кожен елемент зазвичай має безліч параметрів, зміна яких може призвести до виникнення відмови. Однак встановлено, що в більшості випадків можна виділити один або кілька преvalюють визначальних параметрів, знання яких досить повно характеризує реальний технічний стан елемента.

Розробники технічних пристроїв, як правило, мають можливість спостерігати тільки деякі вихідні електрофізичні параметри, що представляють вторинні явища по відношенню до параметрів, що є першопричиною виникнення відмови елемента. Тому далеко не всі визначальні параметри можуть бути виміряні.

Навіть в тому випадку, якщо для елемента достовірно відомий вимірюваний визначний параметр, далеко не завжди він реально вимірюється в конкретній апаратурі, так як такий вимір може зажадати значних додаткових апаратних і, отже, вартісних витрат.

Отже, будемо виходити з того, що в об'єкті є тільки невелика частина елементів, що мають вимірювані визначні параметри. Перед розробником об'єкта, для якого передбачається проведення ТО,

стоїть досить складне завдання визначення безлічі потенційно обслуговуючих елементів і їх визначальних параметрів. Від того, наскільки правильно будуть визначені такі елементи, в кінцевому рахунку, буде залежати ефективність майбутньої АСТО, яку передбачається створювати.

При розробці математичних моделей процесів ТОС ми будемо використовувати імовірно-фізичні моделі (ІФ-моделі) відмов, в яких найбільш природно зв'язуються параметри фізичних процесів деградації елементів з ймовірними характеристиками відмов. Згідно [6] до ІФ-моделей належать альфа-розподіл, дифузно монотонний (DM) і дифузно немонотонний (DN) розподіли. Найбільш універсальною з цих моделей є DN-розподіл [6,8]. Саме ця модель взята нами за основу при розробці моделей ТОС.

За допомогою рис. 1.3 пояснюється суть ІФ-моделі. Відповідно до ІФ-моделі будь-яка відмова розглядається як подія, що виникає внаслідок того, що визначний параметр досягає деякого граничного неприпустимого значення.

ТО елемента в поняттях ІФ-моделі можна розглядати як відновлення початкового значення визначального параметра в момент часу, коли визначальний параметр досягає значення. Як правило, ТО елемента полягає в його заміні.

Безумовно перевагою ІФ-моделі є також те, що вона може бути застосована навіть в тому випадку, коли вимірюваний параметр для потенційно обслуговуваного елемента відсутній. В цьому випадку ТЗ елемента можна характеризувати його залишковим ресурсом, середнє значення якого дорівнює [8]

$$\bar{R}(t) = \int_t^{\infty} \tau f(\tau) d\tau - t,$$

## Список літератури:

1. Лянг Х.Ф. Оцінка надійності військових кораблів на основі динамічних байесівських мереж та чисельного моделювання [Текст] / Х.Ф. Лянг, Х.Д. Ванг, Х. Йі, Д. Лі // Океанічна інженерія. – 2017. – Вип. 136. – С. 129–140. doi: 10.1016/j.oceaneng.2017.03.023
2. Ву Дж. Механізм надійності бістабільних сумісних механізмів з урахуванням деградації та невизначеності: Метод моделювання та оцінки [Текст] / Дж. Ву, С. Ян, Дж. Лі, Ю. Гу // Прикладне математичне моделювання. – 2016. – Вип. 40. Випуски 23-24. – С. 10377–10388. doi: 10.1016/j.apm.2016.07.006
3. Окаро І.А. Аналіз надійності та оптимізація системи стиснення підводного моря, що стикається з експлуатаційними коваріатними напруженнями [Текст] / І.А. Окаро, Л. Тао // Інженерія надійності та безпека системи. – 2016. – Вип. 156. – С. 159–174. doi: 10.1016/j.res.2016.07.018
4. Куй Л. Надійність для дискретних державних систем з періодами циклічних місій [Текст] / Л. Куй, Ю. Лі, Дж. Шен, К. Лін // Прикладне математичне моделювання. – 2016. – Том. 40. Випуски 23-24. – С. 10783–10799. doi: 10.1016/j.apm.2016.08.004
5. Тянь І. Алгоритми моделювання мереж Байеса та оцінки надійності інфраструктурних систем [Текст] / І. Тянь, А. Дер Кіурегян // Інженерія надійності та безпека системи. – 2016. – Вип. 156. – С. 134–147. doi 10.1016/j.advengsoft.2017.02.008

## References:

1. Liang, X.F. Warship reliability evaluation based on dynamic bayesian networks and numerical simulation [Text] / X.F. Liang, H.D. Wang, H. Yi, D. Li // Ocean Engineering. – 2017. – Vol. 136. – P. 129–140. doi: 10.1016/j.oceaneng.2017.03.023
2. Wu, J. Mechanism reliability of bistable compliant mechanisms considering degradation and uncertainties: Modeling and evaluation method [Text] / J. Wu, S. Yan, J. Li, Y. Gu // Applied Mathematical Modelling. – 2016. – Vol. 40, Issues 23-24. – P. 10377–10388. doi: 10.1016/j.apm.2016.07.006
3. Okaro, I. A. Reliability analysis and optimisation of subsea compression system facing operational covariate stresses [Text] / I.A. Okaro, L. Tao // Reliability Engineering & System Safety. – 2016. – Vol. 156. – P. 159–174. doi: 10.1016/j.res.2016.07.018
4. Cui, L. Reliability for discrete state systems with cyclic missions periods [Text] / L. Cui, Y. Li, J. Shen, C. Lin // Applied Mathematical Modelling. – 2016. – Vol. 40, Issues 23-24. – P. 10783–10799. doi: 10.1016/j.apm.2016.08.004
5. Tien, I. Algorithms for Bayesian network modeling and reliability assessment of infrastructure systems [Text] / I. Tien, A. Der Kiureghian // Reliability Engineering & System Safety. – 2016. – Vol. 156. – P. 134–147. doi 10.1016/j.advengsoft.2017.02.008

де  $t$  – момент часу (значення напрацювання), при якому визначається середній залишковий ресурс  $\bar{R}(t)$ .

Для кожного значення визначального параметра  $x(t)$  можна знайти його нормоване значення  $u_x(t)$  наступним чином:

$$u_x(t) = \frac{|x(t) - x^0|}{|x^{\text{доп}} - x^0|}$$

За аналогією з  $u_x(t)$  введемо нормований визначний параметр  $u_R(t)$ , заснований на використанні залишкового ресурсу елемента:

$$u_R(t) = \frac{\bar{R}(t)}{T_{cp}}$$

де  $T_{cp}$  – середній залишковий ресурс нового елемента, що дорівнює середньому наробітку до відмови елемента.

Величина  $T_{cp}$ , як відомо, дорівнює [8]

$$T_{cp} = \int_0^{\infty} \tau f(\tau) d\tau.$$

Таким чином, за допомогою ІФ-моделі встановлюється взаємно однозначна відповідність між значенням фізичного визначального параметра  $u_x(t)$  і його імовірнісним еквівалентом  $u_R(t)$  ( $u_x(t) \in [0, 1]$ ,  $u_R(t) \in [0, 1]$ ). Завдяки цьому застосування ІФ-моделей відмов відкриває широкі можливості для статистичного моделювання процесів ТО.

**Висновки і пропозиції.** Розглянуті загальні положення процесу ТОС використовуються як основа подальших досліджень. Далі розробляється математична модель процесу ТОС, аналізуються можливості її практичної реалізації, формулюються задачі, для вирішення яких призначається модель.