



УДК 623.4

**THE OPERATING MODEL OF THE MAINTANCE PROCESS OF
COMPLEX TECHNICAL SYSTEMS****ОПЕРАТОРНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ
СКЛАДНИХ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ**

Tarasenko S.M. / Тарасенко С.М.

adjunct /ад'юнкт

ORCID: 0000-0002-8779-5621

*Military Academy (Odesa), Odesa, str. Fontana Road, 10, 65009
Військова академія (м.Одеса), Одеса, Фонтанська дорога, 10, 65009*

Анотація. Дана робота є науково-теоретичною статтею, у якій досліджено проблему використання операторних моделей для якісного використання їх при плануванні експлуатаційних заходів на техніці, зроблено огляд літератури з поставленої проблеми. У статті розглянуто перехід за технічним станом об'єктів складних технічних систем до системи технічного обслуговування та ремонту із застосуванням операторів стану, які тісно пов'язані між собою.

Для досягнення поставленої мети роботи вирішено ряд завдань, таких як проведений аналіз існуючих моделей життєвого циклу; сформовано типову концепцію життєвого циклу; систематизовано склад основних етапів життєвого циклу для можливості використання в плануванні в системах підтримки та прийнятті рішень.

Ключові слова: операторні моделі, складні технічні системи, життєвий цикл, технічне обслуговування, ремонт, планування, система підтримки прийняття рішень.

Вступ.

Дослідженню життєвого циклу складних технічних систем присвячено ряд публікацій як в нашій країні, так і за її межами. Будь який об'єкт експлуатації має обмежену тривалість свого існування, тобто він має свій життєвий цикл. Державним стандартом встановлені стадії життєвого циклу та викладені загальні умови до процесів та змісту робіт протягом життєвого циклу. Інформація про етапи життєвого циклу є вкрай важливою, вона дає можливість визначати ряд важливих показників ефективності його використання.

Основний текст

Розвиток техніки та її складових набув сьогодні неабиякого потенціалу особливо розглядаючи складні системи управління, радіотехнічні та механічні системи тощо, особливість розвитку яких спрямовані на вирішення питань надійності та безвідмовності.

Характерною особливістю складних технічних об'єктів спеціального призначення є наявність в їх складі великої кількості 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 технічного обслуговування (ТО) в процесі їх експлуатації [2].

Розглядаючи експлуатаційну довговічність механічних систем варто зазначити, що основними з чинників експлуатаційних втрат є явище втомлюваності складових механізмів (систем) чи раптові навантаження, які значно перевищують розрахункові критерії допустимих навантажень, що



призводять до поломки деталей (складових), та можливе виникнення заклинювання спряжень. Одним з вагомих показників виходу з ладу є людський фактор неякісної експлуатації, як наслідок відсутньої або недосконалої навченості експлуатаційних особливостей техніки (об'єкту).

Життєвий цикл експлуатації об'єкту варто розглянути як структурну схему у якій на об'єкт експлуатації діють різного роду пов'язані між собою фактори. Структурна схема системи забезпечення експлуатації (СЗЕ) стисло відображена на рисунку 1 (рис.1).

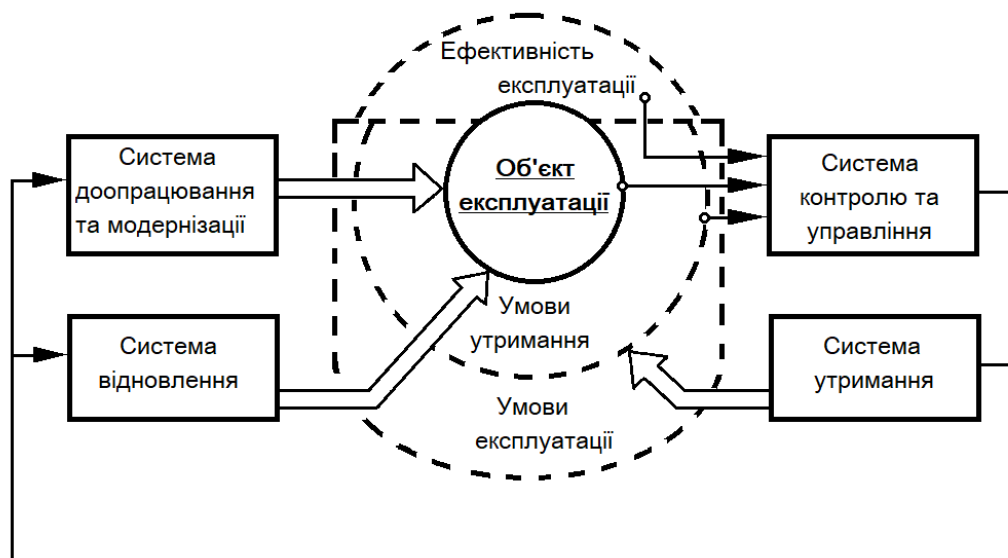


Рисунок 1 - Структурна схема СЗЕ

Джерело: [1]

Метою зображеної схеми є стисле представлення технологічного процесу використання об'єкту у вигляді взаємопов'язаних елементів - підсистем - з визначенням мети їх функціонування та визначення їх впливу на інші підсистеми. Представлена схема на перший погляд є проста, але вона представляє нам технологічну систему, складовими частинами якої є окремі підсистеми тісно пов'язаними між собою і саме за допомогою даної схеми можливо описати складні технічні системи, які на сьогоднішній день нас всюди оточують.

Моделі життєвого циклу технічного об'єкта можуть бути різними. Це обумовлено як їх різноманітністю, так і специфікою їх використання. Незважаючи на те, що життєві цикли для кожного окремо взятого випадку можуть суттєво відрізнятися, але існують деякі загальноприйняті моделі, які можуть стати базовою основою.

Для моделювання складних технічних систем особливо в умовах невизначеності застосовують операторні моделі відображення життєвого циклу об'єкту, саме воно є влучним та доцільним.

Операторна модель технологічного процесу складається з ланцюга взаємопов'язаних елементів - операторів, зв'язок між якими задовольняється завдяки потокам впливу.

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 до 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 [2]. Аналіз використання техніки та проведення ТО показує, що схематично він представляє собою ланцюг операцій «зберігання» – «контроль технічного стану» – «відновлення працездатності» – «зберігання» (рис.2).

Ланцюг операцій вказує на послідовність виконання операцій під час виконання відновлення.

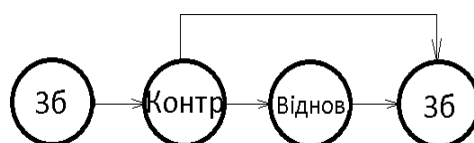


Рисунок 2 – Ланцюг операцій обслуговування техніки

Джерело: [6]

Перехід об'єкту з одного стану в наступні стани можливий лише після завершення попередньої операції та прийняття відповідного рішення [6].

Для побудови операторної моделі процесу технічного забезпечення експлуатації об'єкту використаємо типові оператори [1, 3], кожний з яких характеризується інтенсивністю дії ω_* , ресурсом Q_* , коефіцієнтом перетворення результатів операції q_* та \bar{q}_* , а також інтенсивністю λ_{**} зміни виду стану [6, 8].

Таким чином, типовий оператор описує продуктивність та якість обслуговування при виконанні покладеної операції, а також зміни виду технічного стану об'єкту під впливом негативних факторів.

Розглядаючи два види технічного стану (справний – з непарним індексом, несправний – з парним індексом) компонент процесу експлуатації буде представлений дією відповідного оператора L одразу на пару станів

$$E_i = \{e_{2i-1}, e_{2i}\}.$$

При цьому

$$\mu(E_{i-1}) = L_*(E_i),$$

де μ – кількісний показник розподілу елементу об'єкту експлуатації на множині E (індикаторна функція, ймовірність і т.д.). Відповідно до схеми оператора L інтенсивність його діяльності або продуктивність

$$\omega_* = \omega_{*2i-1} + \omega_{*2i}.$$

Інтенсивність



$$\lambda_* \equiv \lambda_*(t, \varphi_1, \varphi_2, \dots)$$

зміни виду технічного стану характеризує процес виникнення несправностей у елементі об'єкта експлуатації, тобто описує сукупні дії факторів $\varphi_1, \varphi_2, \dots$ умов утримання. Крім того виконується операція за визначеним алгоритмом, який може бути порушений некомпетентним підходом людського фактору чи під дією негативного впливу навколишнього середовища, тощо, що і призведе до спотворення очікуваного кінцевого результату.

$$q_* + \bar{q}_* = 1.$$

Структурна модель оператора технічного обслуговування може бути представлена у розгорнутому вигляді (див.рис.3). [4]

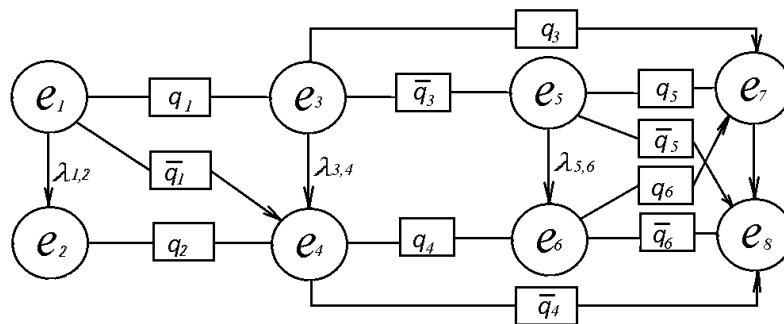


Рисунок 3 – Структурна модель оператора технічного обслуговування
Джерело: [4]

Ця модель відповідає оператору технічного обслуговування вигляду:

$$L_{TO} = L_{Cj} L_B L_K L_{Ck}$$

де L_{Cj}, L_{Ck} – оператори утримання; L_B – оператор відновлення, L_K – оператор контролю [4].

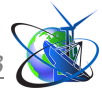
Так само на ряді з цим можливо використання інших операторів таких як L_D – оператор доопрацювання чи L_M – оператор модернізації тощо. В такому випадку система масштабується та матиме додаткові способи підтримки надійності та ефективності.

Існує багато різновидів систем забезпечення експлуатації об'єктів, які по структурі побудови відрізняються один від одного складовими, операторами, які застосовуються для побудови системи відповідної потреби.

В якості очікуваного показника системи забезпечення експлуатації складних технічних систем приймемо коефіцієнт експлуатаційної готовності об'єкту експлуатації, що можна виразити як [1, 4]

$$K_{EG}(t) = \frac{\mu_1 + \mu_7}{\mu_0},$$

математичним аналогом якого є ймовірність знаходження об'єкта експлуатації в стані придатному до використання за призначенням.



Таким чином, принцип побудови операторної моделі системи забезпечення експлуатації оснований на описі процесу обслуговування послідовності типових операторів складних технічних систем.

Висновки.

На підставі аналізу світового досвіду використання різних моделей життєвого циклу та сучасного підходу до оновлення техніки запропоновано використання операторних моделей життєвого циклу. Визначено основні етапи життєвого циклу враховуючи особливості експлуатації техніки та утримання її у технічно справному стані. Концепція побудови операторних моделей життєвого циклу об'єктів, дозволяє в подальшому систематизувати технічні, технологічні, економічні та екологічні аспекти формування життєвого циклу з метою мінімізації витрат, що пов'язані з втіленням та експлуатацією зразків нової техніки, а також визначити поетапно вплив факторів на об'єкт чим вчасно скоротити виникнення ризиків відмов технічного стану.

Література:

1. Вопросы кибернетики. Выпуск 94. Статистические методы в теории обеспечения эксплуатации. Сборник статей под ред. С. Ф. Левина. Москва : АН СССР, 1982. 152 с.
2. Бондаренко , Т., Побережець , Т., & Ліманська , О. (2020). Аналіз принципів і моделей технічного обслуговування. Молодий вчений, 4 (80), 397-399. DOI: 10.32839/2304-5809/2020-4-80-82
3. Левин С.Ф. Теория обеспечения эксплуатации технических объектов и вероятностно-статистические методы / С.Ф. Левин, С.А. Зверев // Вопросы кибернетики – 1982. – Вып. 94. – С. 3–27.
4. Тарасенко С. М., Левченко А. О. Принципи побудови операторної моделі процесу технічного обслуговування озброєння та військової техніки. Збірник наукових праць Військової академії (м. Одеса). 2022. Вип. 2(18). С. 61–65. <https://doi.org/10.37129/2313-7509.2022.18.61-65>.
5. Голомовзий В. М., Калиновська Н. Л. Аналіз систем технічного обслуговування і ремонту та їхня ефективність впливу на технічний стан заводської системи машин в процесі її експлуатації. Київ : Економіка та держава, 2020. № 7. С. 124–128. DOI: 10.32702/2306-6806.2020.7.124
6. Тарасенко С.М., Левченко А.О. Використання операторної моделі процесу експлуатації озброєння та військової техніки для формування потоків обслуговування та відновлення у системах підтримки прийняття рішень посадових осіб логістики. Збірник наукових праць Військової академії (м. Одеси). – Одеса : ВА, 2021. – Вип.2(16). – с. 74–81. DOI: 10.37129/2313-7509.2021.16.74-81
7. Відновлення авіаційної техніки: чинники забезпечення та економічна ефективність : монографія / О. Е. Кузьмін, Ж. В. Поплавська, О. Г. Мельник, А. О. Калиновський, Н. Л. Калиновська. «Міські інформаційні системи», 2019. 214 с. ISBN: 978-966-1577-36-6
8. Тарасенко С.М. Математичні моделі системи технічного обслуговування, моделі станів у сфері обслуговування озброєння та військової



техніки. Збірник наукових праць Військової академії (м. Одеси). – Одеса : ВА, 2022. – Вип.1(17). – с. 21–29. DOI: 10.37129/2313-7509.2022.17.21-29

Abstract. *This work is a scientific and theoretical article, in which the problem of using operator models for their qualitative use in the planning of operational activities on equipment is investigated, a review of the literature on the problem is made. The article considers the transition to a system of maintenance and repair according to technical condition of complex technical systems with the use of state operators, which are closely related to each other.*

To achieve the goal of the work, a number of tasks have been solved, such as the analysis of existing life cycle models; a typical concept of the life cycle has been formed; The composition of the main stages of the life cycle is systematized for the possibility of use in planning, in support systems and decision-making.

Key words: *operator models, complex technical systems, life cycle, maintenance, repair, planning, decision support system.*

Статтю надіслано: 19.12.2024 р.

© Тарасенко С.М.