

І.Є. Сафонов, С.М. Коротін, О.В. Радько

ЩОДО СТВОРЕННЯ МОДЕЛІ СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ВЕРТОЛЬОТІВ ДЕРЖАВНОЇ АВІАЦІЇ

Анотація: У роботі запропоновано модель системи технічної експлуатації вертольотів державної авіації, яка побудована на основі напівмарківських випадкових процесів, реалізується за допомогою спеціальних програм і, на відміну від існуючих, враховує час на проведення робіт з продовження ресурсних показників та дообладнання. Використання даної моделі для оцінювання та прогнозування показників надійності вертольотів державної авіації дозволить побудувати ефективну систему їх технічної експлуатації.

Ключові слова: модель, марківський (напівмарківський) процес, авіаційна техніка, система технічної експлуатації.

Annotation: In conference paper the system' model of the state aviation helicopters technical operation proposed. The model is built on the basis of semi-Markov random processes. It is implemented with the special programs and, unlike the existing ones, takes into account the time for carrying out work on the extension of resource indicators and additional equipment. The use of this model for evaluating and forecasting reliability indicators of state aviation helicopters will allow building an effective system of their technical operation.

Key words: model, Markov (semi-Markov) process, aviation equipment, technical operation system.

У рамках загальної проблеми оцінювання динаміки зміни технічного стану та надійності вертольотів, виявлення причин виникнення несправностей окремих систем, розроблення та впровадження заходів щодо попередження їх виникнення, актуальним є удосконалення моделі системи технічної експлуатації вертольотів, що пов'язане з вирішенням наукових та практичних проблем під час їх експлуатації з продовженими призначеними ресурсними показниками.

Завдання з розв'язання цих проблем полягає в оцінюванні та прогнозуванні на різних етапах експлуатації вертольотів показників надійності агрегатів і систем, на основі яких приймається рішення щодо подальшої експлуатації.

Для вирішення поставленого завдання необхідно розробити схему алгоритму функціонування системи технічної експлуатації вертольоту та знайти оптимальну кількість станів математичної моделі з метою виключення другорядних факторів. Базисом аналітичної моделі запропоновано метод статистичного моделювання на основі марківських процесів з дискретними станами та безперервним часом. Пропонований метод можна отримати з результату синтезу певного моделюючого алгоритму досліджуваного процесу, що імітує поведінку та взаємодію елементів складної системи і випадкових збурюючих факторів.

Отже, для будь-якого марківського процесу, можна скласти систему рівнянь Колмогорова.

$$\frac{dp_i(t)}{dt} = \sum_{i=1}^n \lambda_{ji}(t)P_j(t) - \sum_{i=1}^n \lambda_{ij}(t)P_i(t), \quad (i, j=1, 2, 3, \dots, n),$$

де $\lambda_{ij}P_i(t)$ – потік ймовірності переходу із стану S_i до стану S_j ;

n – кількість станів системи.

Для того, щоб знайти фінальні ймовірності, необхідно усі ліві частини у рівнянні прирівняти до нуля та розв'язати отриману систему вже не диференціальних, а лінійних алгебраїчних рівнянь. Також необхідно одне із рівнянь замінити умовою нормування.

Система лінійних диференціальних рівнянь за початкових умов має єдине рішення, якщо задані інтенсивності переходу із стану у стан. З урахуванням статистичних даних, які

$$\lambda_{ij} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{p_{ij}(t, t + \Delta t)}{\Delta t}, i \neq j.$$

отримано за результатами експлуатації вертольотів протягом 2-х років безпосередньої експлуатації, знаходимо усі інтенсивності потоків подій, які переводять систему із одного стану в інший, тобто визначимо щільності імовірностей переходів із станів i у стани j .

Модель системи технічної експлуатації вертольоту можна представити наступним чином: стани процесу технічної експлуатації задаються через стани вертольоту (рис.1), знаходяться часи перебування в станах технічного обслуговування із своїми функціями розподілу, що дозволяє оцінювати ефективність режимів технічного обслуговування. Закінчення перебування в одному зі станів системи характеризується миттєвим переходом в інший стан, причому перехід в інший стан можна описати певною інтенсивністю та ймовірністю переходу. Таким чином здійснюється процес функціонування системи технічної експлуатації вертольоту загалом.

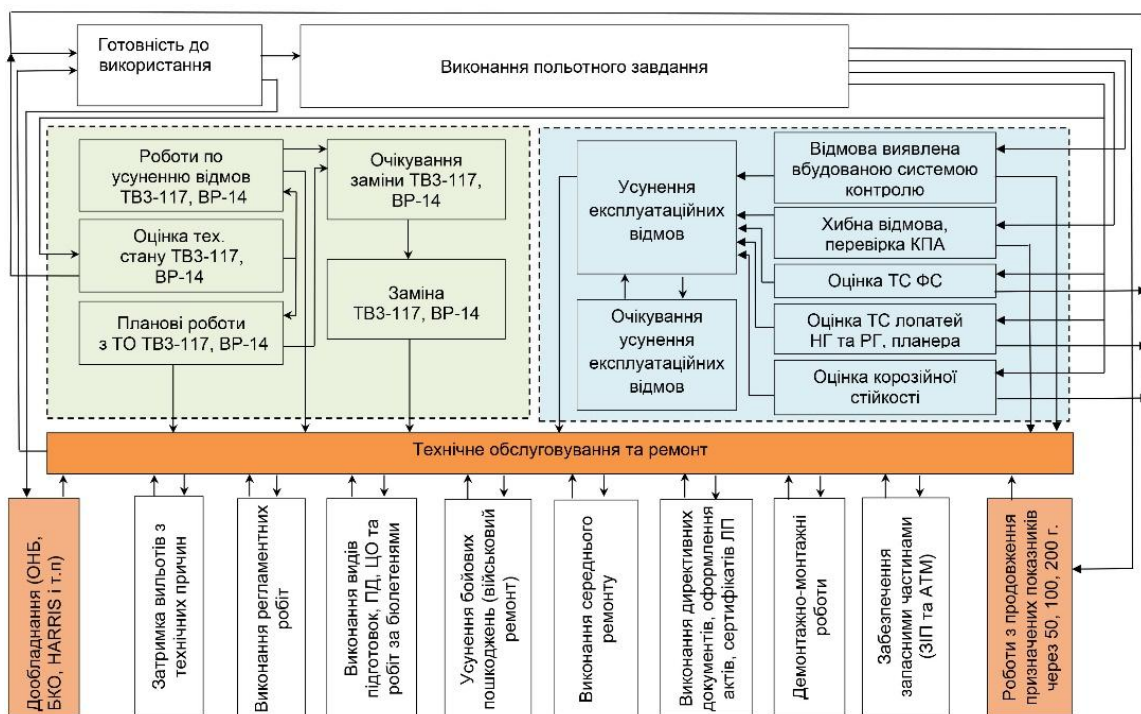


Рис.1. Граф станів системи технічної експлуатації вертольоту

ТВ3-117 – авіаційний двигун, ВР-14 – вертолітний редуктор; КПА – контрольно-перевірочна апаратура; ТС – технічний стан; ФС – функціональні системи; НГ та РГ – несучий та рульовий гвинти; ОНБ – окуляри нічного бачення; БКО – бортовий комплекс оборони; ЛП – льотна придатність; ПД – паркові дні; ЦО – цільові огляди; ЗІП – запасні частини, інструмент та приладдя; АТМ – авіаційно-технічне майно.

Для подальшого дослідження процесів технічної експлуатації, рис.1, необхідно перетворити на граф станів, який більш наближений для математичних розрахунків.

Наявність марківського ланцюга, вкладеного у складніший випадковий процес з довільним розподілом часу перебування у кожному стані, призводить до напівмарківського процесу. Крім ймовірнісних параметрів, модель напівмарківського процесу функціонування системи технічної експлуатації дозволяє визначати часові параметри, такі як безумовні та умовні математичні очікування часу перебування системи в кожному стані.

Вирішення завдання щодо створення моделі технічної експлуатації вертольотів здійснюється на основі положень теорії напівмарківських процесів. Модель можна програмно реалізувати за допомогою Matlab.

Використання напівмарківських випадкових процесів у моделі системи технічної експлуатації вертольоту найбільш повно відображає специфіку авіаційної системи. У реальних ситуаціях вдається апроксимувати процеси зміни параметрів різних систем за допомогою випадкових процесів, що потребують аналізу меншого обсягу статистичних даних (марківські, напівмарківські процеси). У запропонованій моделі, на відміну від існуючих, враховано час, який витрачається на проведення робіт з продовження ресурсних показників та дообладнання вертольоту новим обладнанням.

Напівмарківські ймовірності станів створеної системи у сталому режимі можна визначити двома способами. *Перший спосіб* заснований на тому факті, що із збільшенням часу функціонування в системі настає стаціонарний режим, коли напівмарківські ймовірності стають незалежними від початкового стану. Якщо час наближається до нескінченності, у системі встановлюється граничний стаціонарний режим, протягом якого вона випадковим чином змінює свої стани, але їх ймовірності вже не залежать від часу. Фінальну ймовірність можна тлумачити як середній відносний час перебування системи у цьому стані. *Другий спосіб* базується на безпосередньому визначенні стаціонарних напівмарківських ймовірностей станів через ймовірності вкладеного марківського ланцюга.

Знання фінальних ймовірностей перебування системи у різних станах надає можливість оцінити середню ефективність роботи досліджуваної системи.

Досконалість запропонованої моделі визначається тим, наскільки вона максимально враховуватиме взаємодію між об'єктивно існуючим процесом зміни технічного стану вертольоту та процесом його технічної експлуатації, що характеризується послідовною зміною в часі різних станів: польоту, видів обслуговування та ремонту, зберігання, очікування тощо. Проведення оцінювання адекватності розробленої моделі дозволяє зробити висновок щодо її придатності або непридатності для впровадження в експлуатуючі (науково-дослідні) організації авіаційної галузі. Для перевірки адекватності застосовано наступне положення: за умови експоненціальності часів знаходження системи у кожному стані і рівності математичного очікування часів знаходження в станах, фінальні ймовірності марківського процесу, отримані на основі розв'язування рівнянь Колмогорова та інтервально-перехідні ймовірності, які розраховані в режимі, що встановився на основі напівмарківського процесу, повинні бути рівні між собою.

Для оцінювання якості управління технічною експлуатацією використана цільова функція, в якості якої обрано коефіцієнт технічного використання.

За умови належної організації технічної експлуатації вертольоту із застосуванням сучасних математичних методів, можна побудувати систему, яка стане надійним джерелом забезпечення льотного ресурсу для виконання бойових завдань.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Самуленков Ю.И., Филатова Я.А., Груз А.Д. Построение имитационной математической модели системы технического обслуживания воздушных судов. *Научный Вестник МГТУ ГА*. Том 24. 2021. № 04. С. 38–49.
2. Киселев Д.Ю., Киселев Ю.В. Комплексный подход к моделированию процессов технического обслуживания авиационной техники. *Научный Вестник МГТУ ГА*. 2015. № 219 (9). С. 33–40.
3. Нечипоренко О.М. Основи надійності літальних апаратів: навч. посіб. Київ, 2010. 240 с.
4. Смирнов Н.Н., Ицкович А.А. Обслуживание и ремонт авиационной техники по состоянию. Москва: Транспорт, 1980. 232с.
5. Волков Л.И. Управление эксплуатацией летательных комплексов: учеб. пособие. Москва: Высшая школа, 1981. 386 с.
6. Козлов А.Ю. Модель полумарковского процесса функционирования мобильной системы видеонаблюдения (с реализацией в Matlab). *Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки*. 2016. № 1 (37). С. 40–55.
7. Вентцель Е.С. Исследование операций. Москва: Советское радио, 1972. 552 с.

8. Имитационное моделирование полумарковских процессов в системах с дискретными состояниями и непрерывным временем / Л.Б Афанасьевский та ін. *Вестник ВГУ. Системный анализ и информационные технологии*. 2019. № 3. С.42–52.
9. Модели технического обслуживания сложных систем / А.Н Бочкарев та ін.. *Научный вестник МГТУ ГА*. 2007. № 121. С.116–129.
10. Сафонов І.С., Коротін С.М. Тенденції розвитку вертольотобудування у світі та його перспективи в Україні. *Науково-практичний журнал "Повітряна міць України"*. 2021. № 1(1). С. 102–107.

Сафонов Ігор Євгенович – ад’юнкт кафедри авіації Національного університету оборони України імені Івана Черняхівського, м. Київ, <https://orcid.org/0000-0001-5717-2813>, e-mail: safonovigor79@gmail.com

Коротін Сергій Михайлович – кандидат технічних наук, доцент, полковник, заступник начальника інституту авіації та протиповітряної оборони Національного університету оборони України імені Івана Черняхівського, м. Київ, <https://orcid.org/0000-0003-2123-6103>, e-mail: korotin2008@meta.ua

Радько Олег Віталійович – кандидат технічних наук, доцент, полковник, професор кафедри авіації інституту авіації та протиповітряної оборони Національного університету оборони України імені Івана Черняхівського, м. Київ, <https://orcid.org/0000-0002-6391-5713>. e-mail: radkoolvit15@gmail.com

Ihor Safonov – Lt.colonel, PhD student of aviation Department of National Defence University of Ukraine named after Ivan Cherniakhovskyi, Kyiv, <https://orcid.org/0000-0001-5717-2813>, e-mail: safonovigor79@gmail.com

Serhii Korotin – assistant Professor, PhD (technical science), colonel, Deputy Head of Institute of Aviation and Air Defense of National Defence University of Ukraine named after Ivan Cherniakhovskyi, Kyiv, <https://orcid.org/0000-0003-2123-6103>, e-mail: korotin2008@meta.ua

Oleg Radko – assistant Professor, PhD (technical science), Professor of the aviation Department of National Defence University of Ukraine named after Ivan Cherniakhovskyi, Kyiv, <https://orcid.org/0000-0002-6391-5713>. e-mail: radkoolvit15@gmail.com