

Сафонов Ігор Євгенович

<https://orcid.org/0000-0001-5717-2813>

Коротін Сергій Михайлович (кандидат технічних наук, доцент)

<https://orcid.org/0000-0003-2123-6103>

Радько Олег Віталійович (кандидат технічних наук, доцент)

<https://orcid.org/0000-0002-6391-5713>

Національний університет оборони України, Київ, Україна

МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ВІЙСЬКОВО-ТРАНСПОРТНИХ ВЕРТОЛЬОТІВ НА ОСНОВІ МАРКОВСЬКОГО ПРОЦЕСУ З ДИСКРЕТНИМИ СТАНАМИ ТА БЕЗПЕРЕРВНИМ ЧАСОМ

У статті запропоновано варіант побудови моделі системи технічної експлуатації вертольотів із застосуванням методу статистичного моделювання на основі марковського процесу з дискретними станами та безперервним часом та проведено порівняння математичних розрахунків з результатами моделювання. Для простоти математичних розрахунків прийнято невелику кількість припущень. Разом з тим модель обмежена розподілом часу перебування у станах, зміна яких відбувається під дією випадкових факторів, тому її використання можливо лише для аналізу станів системи технічної експлуатації вертольотів за минулий період часу. Розроблена модель системи технічної експлуатації вертольотів реалізується за допомогою комп'ютерних програм і, на відміну від існуючих, враховує час на проведення робіт з продовження ресурсних показників та дообладнання вертольотів сучасною радіоелектронною апаратурою та бортовими комплексами оборони.

***Ключові слова:** авіаційна техніка, система технічної експлуатації, технічне обслуговування і ремонт, модель, марковський процес.*

Вступ

Майже 75% військово-транспортних вертольотів (ВТВ) державної авіації України експлуатуються понад 30 років та перебуває у гранично допустимому технічному стані. Збільшення інтенсивності їх використання призвело до збільшення кількості відмов. Найважливішим завданням щодо підтримання вертольотів у справному стані є пошук шляхів підвищення ефективності їх експлуатації [1]. Визначення раціональної періодичності технічного обслуговування і ремонту (ТОіР) можна вважати одним із перспективних шляхів. Для проведення розрахунків необхідно знайти оптимальну кількість станів системи технічної експлуатації вертольотів та побудувати математичну модель, яка дозволяє максимально наблизитись до об'єктивно існуючого процесу технічної експлуатації, що характеризується послідовною зміною в часі різних станів: польоту, видів обслуговування та ремонту, зберігання, очікування тощо. Математична модель надасть можливість знаходження фінальних ймовірностей перебування вертольотів у різних станах, на основі яких можна провести оцінювання якості управління технічною експлуатацією.

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 розроблення моделі системи технічної експлуатації вертольотів, що пов'язане з вирішенням наукових та практичних задач

під час їх експлуатації з продовженими призначеними ресурсними показниками.

Питанню дослідження ефективності процесів технічної експлуатації, методів і режимів технічного обслуговування виробів АТ присвячено багато наукових робіт. Основи математичних моделей і методів розрахунку надійності закладені у статтях та монографіях у середині 1950-х та на початку 1960-х років. Відтоді ці основи набули широкого розвитку в працях багатьох авторів сучасності.

Так, у роботі [2] визнано, що процес ТОіР виробів АТ є стохастичним, але врахувати всі фактори, що мають випадковий характер та впливають на нього, практично неможливо. Цей факт свідчить про необхідність побудови стохастичної моделі, що адекватно описує процес ТОіР. Для реальних стохастичних систем, стани в яких змінюються стрибком, характерна наявність кінцевої кількості можливих переходів, що визначені кінцевою кількістю випадкових факторів, які впливають на неї. Кожен із цих факторів характеризується випадковим часом впливу, що залежить, як правило, від певного стану системи. У зв'язку з цим серед стохастичних моделей складних технічних систем особлива увага приділяється марковським та напівмарковським процесам.

Аналітичний огляд наукової літератури показав, що серед невирішених завдань з пошуку та впровадження ефективних методів ТОіР виробів АТ є розроблення математичних моделей процесу технічної експлуатації, які б дозволяли проводити порівняльне оцінювання ефективності різних

режимів ТОiP систем та агрегатів АТ, що мають різноманітні закони зміни інтенсивності відмов, а також враховували би збільшення часу на обслуговування АТ, яка експлуатується понад призначені показники.

Виникнення змін в умовах експлуатації, поява нових вихідних даних, призводять до недостовірних результатів розрахунків статистичними методами. Цей факт вимагає пошуку інших підходів, найбільш адаптованих під можливості інформаційних технологій [3, 4].

Мета статті – створення моделі системи технічної експлуатації ВТВ із застосуванням методу статистичного моделювання на основі марковського процесу з дискретними станами та безперервним часом, яка дозволяє спростити процедури отримання розрахунків для стаціонарних ймовірностей станів такої системи.

Матеріали та методи

Моделі процесу технічної експлуатації АТ запропоновані науковцями ще у 1980-х роках, але набувають розвитку і сьогодні, наприклад у роботі [4], і є ефективним та зручним інструментом моделювання процесів складних авіаційних систем, до складових яких можна віднести і вертольоти.

Аналіз вітчизняних та зарубіжних робіт з управління складними технічними системами показує, що нині при їх експлуатації в основному прийнято “жорстку” стратегію технічного обслуговування, яка використовує лише апріорну інформацію. У той же час, більш перспективними є “гнучкі” стратегії управління технічним станом потенційно небезпечних об'єктів, засновані на аналізі та оцінюванні фактичного технічного стану об'єктів з використанням діагностичних даних, прогнозі його зміни в процесі експлуатації, оцінюванні залишкового ресурсу, коригуванні параметрів програми підтримки та функціонування процесу експлуатації. Для цього необхідний науково-методичний апарат, що дозволяє за результатами реального оцінювання (достовірної діагностичної інформації про існування передумов до аварійних ситуацій) приймати своєчасні рішення щодо запобігання можливим надзвичайним ситуаціям [3].

Вибір методів дослідження ґрунтується на підставі властивостей моделі. В більшості своїй методи вдосконалення технічної експлуатації АТ засновані на усередненні розрахункових значень та статистико-ймовірнісних методах. Так, у роботі [5] автор розглядає теоретичні основи і практичні рекомендації з розробки і впровадження нових методів ТОiP виробів АТ за технічним станом.

У роботі [6] запропоновано загальний підхід до вирішення завдань надійності на основі програмного забезпечення Simulink. За результатами імітаційного моделювання отримана інформація з достатньою точністю обробляється чисельним методом – основним апаратом розв'язання математичних задач.

Аналіз сучасних підходів до моделювання систем технічної експлуатації АТ та її компонентів показує, що такі моделі будуються як на основі

давно відомих та широко застосовуваних методів системи масового обслуговування, методу динаміки середніх, алгоритмів на основі марковських процесів, так і, наприклад, на основі методології IDEF3 (Integrated Definition for Process Description Capture Method) та нотації DFD (Data Flow Diagrams) [7].

Імітаційному моделюванню механічних статичних та динамічних систем присвячена робота [8]. Вдале поєднання в одному виданні базових теоретичних засад комп'ютерного моделювання, обчислювальних експериментів, та практичних засобів комп'ютерного моделювання здійснено у дослідженні [6].

При побудові моделі функціонування складної багатокomпонентної системи технічної експлуатації вертольотів, як метод дослідження, використаний статистичний аналіз станів і переходів реального процесу технічної експлуатації [5]. На основі отриманих статистичних даних методом імітаційного моделювання визначаються ймовірності перебування вертольотів у різних станах, що дає можливість проведення аналізу їх технічного стану в період безпосередньої експлуатації та оцінювання ефективності режимів технічного обслуговування.

Результати

При реалізації моделей експлуатації АТ за станом виникає проблема збирання та оброблення великого динамічного масиву статистичних даних. На шляху вирішення цієї проблеми гостро постає питання обґрунтування мінімально необхідного обсягу контрольованих параметрів у процесі експлуатації авіаційних систем, пошуку шляхів скорочення обсягу вимірювань тощо [2, 4].

Дослідження експлуатаційних властивостей авіаційних систем із залежними елементами та складною структурою у ряді випадків доцільно проводити із застосуванням методу статистичного моделювання. Завдання полягає в оцінюванні показників надійності системи на різних етапах експлуатації та у прогнозуванні цих показників [9]. Широке поширення для оцінювання систем технічної експлуатації АТ отримав марковський процес з дискретними станами та безперервним часом переходів з одного стану в інший [2].

При аналізі випадкових процесів із дискретними станами зручно користуватися геометричною схемою – так званим графом станів [10]. Для реалізації науково обґрунтованого підходу до оцінювання станів ВТВ, спочатку розробляється модель системи технічної експлуатації у вигляді блок-схеми (рис.1), яку у подальшому необхідно перетворити на граф станів (рис.2), більш наближений для математичних розрахунків.

Модель системи технічної експлуатації ВТВ можна представити наступним чином: стани процесу технічної експлуатації задаються через стани кожного вертольоту (рис.1), знаходяться часи перебування в станах технічного обслуговування із своїми функціями розподілу, що дозволяє оцінювати ефективність режимів технічного обслуговування.

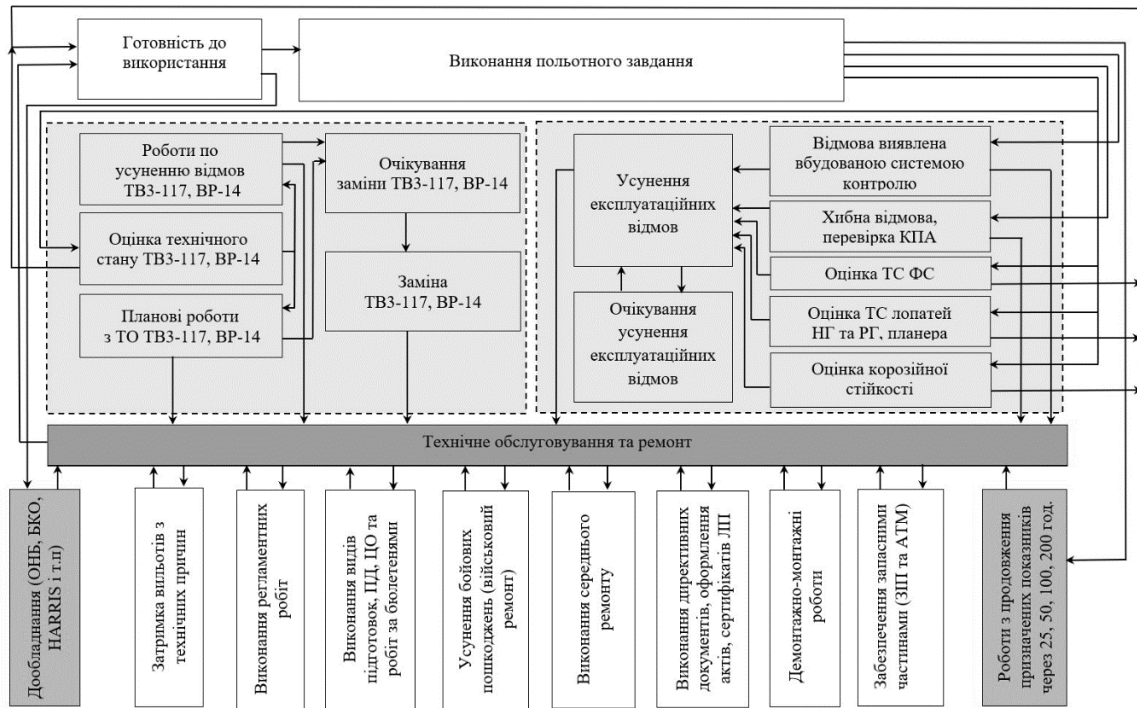


Рисунок 1. Блок-схема системи технічної експлуатації ВТВ

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; ЗП – запасні частини, інструмент та приладдя; АТМ – авіаційно-технічне майно

Закінчення перебування в одному зі станів характеризується миттєвим переходом в інший стан, причому перехід в інший стан можна описати певною інтенсивністю та ймовірністю переходу [4, 7, 9]. Таким чином, здійснюється процес функціонування системи технічної експлуатації вертольотів загалом.

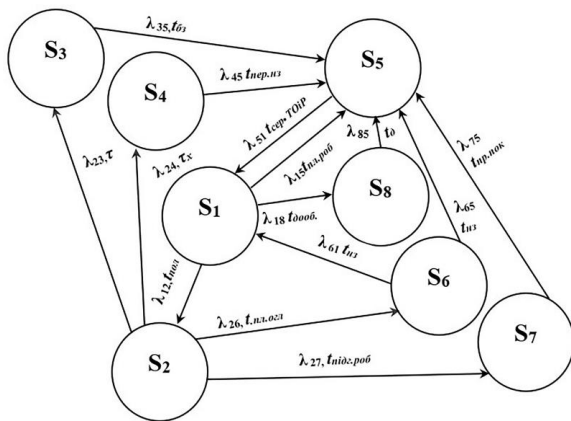


Рисунок 2. Граф станів системи технічної експлуатації вертольотів

Для опису випадкового процесу, який протікає у системі, застосовують ймовірність станів $p_1(t), p_2(t), \dots, p_i(t)$ [10],

де $p_i(t)$ – ймовірність того, що система в момент t знаходиться у стані S_i (1).

$$\sum_{i=1}^n p(t)=1, \quad (1)$$

Стан S_1 – вертоліт знаходиться у справному стані.

Стан S_2 – політ.

Стан S_3 – на вертольоті проводиться контроль технічного стану після виникнення у випадкову мить відмови, що зафіксувала вбудована система контролю.

Стан S_4 – на вертольоті проводиться контроль технічного стану вбудованою системою контролю після виникнення у випадкову мить помилкової тривоги.

Стан S_5 – виконується повне відновлення вертольоту.

Стан S_6 – на вертольоті проводиться перевірка функціональних систем, оцінка параметрів наземною системою контролю, оцінка технічного стану лопатей НГ та РГ, планера, корозійної стійкості.

Стан S_7 – на вертольоті проводяться роботи по продовженню призначених показників у відповідності до Переліку обов'язкових робіт через 25, 50, 100, 200 годин нальоту.

Стан S_8 – на вертольоті проводяться роботи з дообладнання під використання окулярів нічного бачення, дообладнання новітніми засобами зв'язку, бортовим комплексом оборони тощо.

Підхід до моделювання процесу технічної експлуатації заснований на простому уявленні про те, що ймовірність відмови елемента в системі визначається сумарною щільністю потоку відмов елементів у працездатній частині системи, та їх попереднім напрацюванням.

В моделі зроблено припущення, що величини часу є невинпадковими, це зроблено з метою спрощення подальших розрахунків. Переходи з будь-якого стану у інший стан відбуваються миттєво.

Для знаходження стаціонарних ймовірностей марковського процесу, необхідно вирішити систему диференціальних рівнянь Колмогорова, які мають наступний загальний вигляд (2):

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

$(i, j=1, 2, 3, \dots, n)$

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

Складемо систему рівнянь Колмогорова (3) для розміченого графу, який представлено на рис. 2 [9, 10]:

$$\begin{aligned} \frac{dp_1(t)}{dt} &= \lambda_{51}p_5(t) + \lambda_{61}p_6(t) - \lambda_{15}p_1(t) - \lambda_{18}p_1(t) - \lambda_{12}p_1(t); \\ \frac{dp_2(t)}{dt} &= -\lambda_{23}p_2(t) - \lambda_{24}p_2(t) - \lambda_{26}p_2(t) - \lambda_{27}p_2(t) + \lambda_{12}p_1(t); \\ \frac{dp_3(t)}{dt} &= -\lambda_{35}p_3(t) + \lambda_{23}p_2(t); \\ \frac{dp_4(t)}{dt} &= -\lambda_{45}p_4(t) + \lambda_{24}p_2(t); \\ \frac{dp_5(t)}{dt} &= -\lambda_{51}p_5(t) + \lambda_{35}p_3(t) + \lambda_{45}p_4(t) + \lambda_{15}p_1(t) + \\ &\quad + \lambda_{65}p_6(t) + \lambda_{75}p_7(t) + \lambda_{85}p_8(t); \\ \frac{dp_6(t)}{dt} &= -\lambda_{61}p_6(t) - \lambda_{65}p_6(t) + \lambda_{26}p_2(t); \\ \frac{dp_7(t)}{dt} &= -\lambda_{75}p_7(t) + \lambda_{27}p_2(t); \\ \frac{dp_8(t)}{dt} &= -\lambda_{85}p_8(t) + \lambda_{18}p_1(t). \end{aligned} \quad (3)$$

Для рішення системи алгебраїчних рівнянь необхідно одне із рівнянь відкинути та замінити умовою нормування (у нашому випадку рівняння для стану 5), після чого отримаємо систему рівнянь з сімома невідомими [10]. Таким чином знайдемо стаціонарні ймовірності станів марковського процесу.

Система лінійних диференціальних рівнянь за початкових умов має єдине рішення, якщо задані інтенсивності переходу із одного стану в інший [8]. З урахуванням статистичних даних, які отримано за результатами експлуатації ВТВ протягом 2-х років безпосередньої експлуатації, знаходимо усі інтенсивності потоків подій, які переводять систему із одного стану в інший (табл.1), тобто визначимо щільності ймовірностей переходів із станів i у стани j [10].

При визначенні показників використовуємо прямий метод оцінки показників надійності, без визначення законів розподілу часу між відмовами [11].

Таблиця 1

Інтенсивності переходів із одного стану в інші

$\lambda_{12}=0,225423$	$\lambda_{15}=0,120225$
$\lambda_{18}=0,001252$	$\lambda_{23}=0,015278$
$\lambda_{24}=0,022222$	$\lambda_{26}=0,443056$
$\lambda_{27}=0,019444$	$\lambda_{35}=0,5$
$\lambda_{45}=0,5$	$\lambda_{51}=0,154412$
$\lambda_{61}=0,249739$	$\lambda_{65}=0,083595$
$\lambda_{75}=0,083333$	$\lambda_{85}=0,008929$

Якщо ймовірності p_1, p_2, \dots, p_8 постійні, то їх похідні дорівнюють нулю. Це означає, що для того, щоби знайти фінальні ймовірності, необхідно усі ліві частини у рівнянні прирівняти до нуля та розв'язати отриману систему вже не диференціальних, а лінійних алгебраїчних рівнянь. Одне із рівнянь необхідно замінити умовою нормування [10].

Систему рівнянь вирішуємо за допомогою програмного забезпечення, та отримаємо результати, які представлені у табл.2.

Таблиця 2

Стаціонарні ймовірності станів

P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_7	P_8
0,2772	0,1251	0,0038	0,0056	0,3542	0,1661	0,0292	0,0388

Відмінною рисою представленого методу є визначення основних розрахункових залежностей ймовірностей та інтенсивностей переходу з урахуванням вимог сучасної нормативної бази щодо надійності у техніці та визначення технічного стану.

Для адекватного відображення процесів зміни технічного стану вертольотів, представлених в логіко-математичній формі, використане імітаційне моделювання [7, 12].

Імітаційне моделювання (simulation) передбачає представлення моделі у вигляді комп'ютерної програми, яка дозволяє відтворити поведінку об'єкту. При цьому імітуються елементарні явища, що складають процес, зі збереженням їх логічної структури та послідовності у часі, що дозволяє отримати відомості про стан системи у певний момент часу та оцінити характеристики системи. Сутність імітаційного моделювання полягає у відшуванні кількісних і якісних результатів. При цьому є можливість проведення багатократних дослідів з поступовими змінами вхідних даних. У процесі побудови математичної моделі і під час її дослідження можна проаналізувати і зрозуміти характеристики досліджуваного процесу [6]. Модель системи технічної експлуатації ВТВ представлено на рис.3. Логіку спостереження за реальною системою ми перенесемо з реального часу поведінки системи в модельний час [7]. Підставляючи отримані значення інтенсивностей переходів (табл.1) в блоки станів і задаючи модельний час, можна отримати фінальні ймовірності марковського процесу. Результати моделювання на рис.3 представлені у вікнах блоків

вихідних параметрів, які характеризують кожний із станів. Порівняння результатів аналітичних

розрахунків і імітаційного моделювання надає можливість вважати створену модель адекватною.

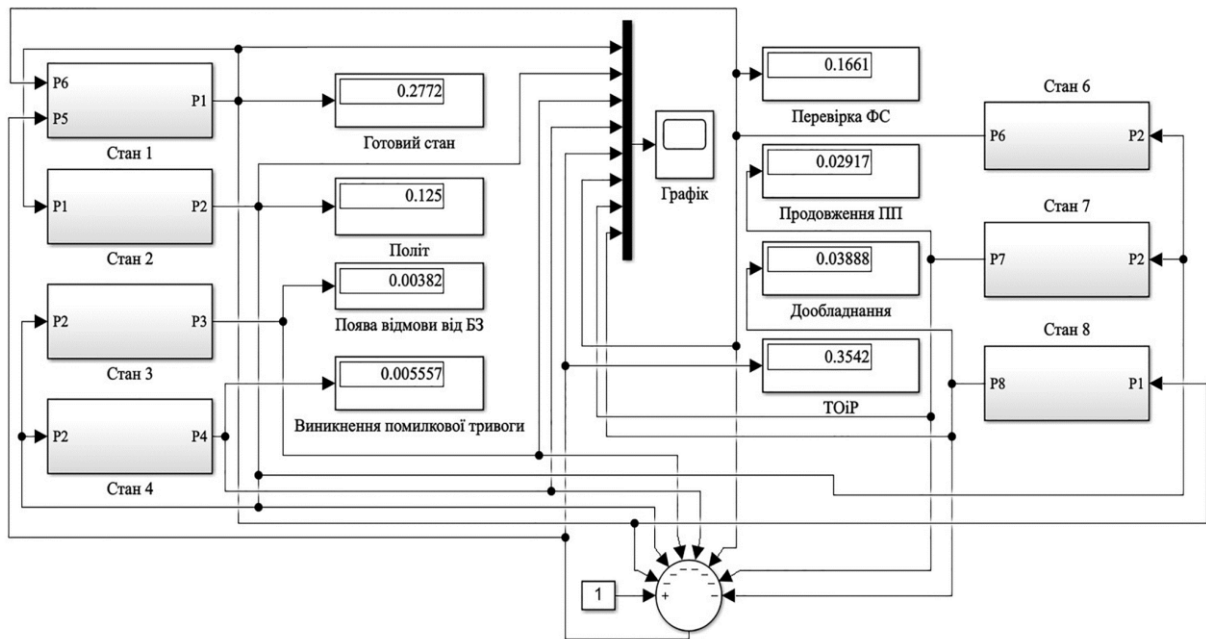


Рисунок 3. Модель розрахунку стаціонарних ймовірностей марковського процесу

Аналітичні вирази доведено до кількісної відповіді, яка визначає характеристики системи, що моделюється. Отримання таких відповідей базується на чисельних методах, що дозволяють звести розв'язування задачі до виконання скінченного числа арифметичних і логічних дій з числами.

Для того щоб скористатися результатами розрахунків, їх необхідно представити у зручній для сприйняття формі [12]. Результати моделювання можуть бути представлені у вигляді таблиць, графіків, діаграм, схем тощо. Найпростішою формою вважаються таблиці, хоча графіки наочно ілюструють результати моделювання системи [14].

Для наочної ілюстрації результатів моделювання у статті представлено графік залежності ймовірностей станів від часу (рис. 4). Із збільшенням часу функціонування, в системі настає стаціонарний режим, коли 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 [15].

На підставі аналізу результатів моделювання приймається рішення про те, за яких умов система буде функціонувати із найбільшою ефективністю [7].

Обговорення

Створена імітаційна модель:

має переваги в простоті використання у порівнянні з аналітичними математичними моделями;

дозволяє здійснювати порівняння різних варіантів організації ТОiP;

дає можливість отримання параметрів процесу технічної експлуатації з достатньою точністю при невеликому обсязі статистичної інформації;

дає задовільну збіжність результатів моделювання з розрахунковими показниками системи;

дозволяє контролювати результати моделювання і встановлювати причинно-наслідкові зв'язки параметрів моделі протягом заданого періоду часу.

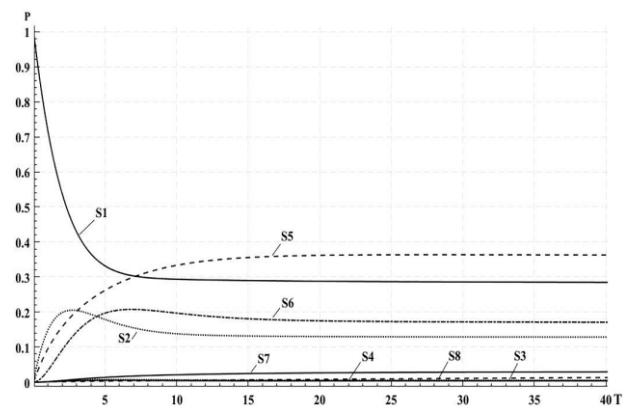


Рисунок 4. Залежність ймовірностей станів від часу

Перехід вертольотів з одного стану до іншого відбувається за часом, який визначається статистичними даними.

Висновки

За результатами проведеного дослідження вирішено завдання побудови моделі системи технічної експлуатації ВТВ за блочно-модульним принципом, яка перевірена методом статистичного моделювання на

основі марковського процесу з дискретними станами і безперервним часом і яка спрощує процедуру отримання розрахунків для стаціонарних ймовірностей станів.

Знання стаціонарних ймовірностей можуть допомогти оцінити ефективність роботи системи технічної експлуатації вертольотів. На основі інформації про технічний стан в період безпосередньої експлуатації вертольотів, розроблена модель системи технічної експлуатації дозволить коригувати строки ТОіР, продовження ресурсних показників та передбачати напрямки модернізації АТ.

Програмне забезпечення Simulink дозволило модифікувати математичну модель та фактично спостерігати за поведінкою системи технічної експлуатації вертольотів протягом заданого проміжку часу.

Запропонована імітаційна модель може бути взята за основу для створення напівмарковської моделі прогнозування технічного стану ВТВ та їх функціональних систем. У ході подальших досліджень одними із важливих завдань є встановлення закономірностей виникнення відмов, прогнозування відмов, а також знаходження способів збереження надійності у процесі експлуатації вертольотів.

Список використаних джерел

1. І.Є. Сафонов, С.М. Коротін. Тенденції розвитку вертольотобудування у світі та його перспективи в Україні. Науково-практичний журнал "Повітряна міць України", 2021. № 1(1). С. 102–107.
2. Н.А. Северцев. Прогнозирование надежности технических устройств в зависимости от конструктивных параметров и условий эксплуатации. Киев: Сборник общества "Знание, 1973.
3. В.В. Вичужанін. Методи інформаційних технологій у діагностиці стану складних технічних систем: монографія. Одеса: Наукове видання. Видавництво «Екологія», 2019. 178 с.
4. О.М. Нечипоренко. Основи надійності літальних апаратів: навч. посіб. Київ, 2010. 240 с.
5. В.А. Игнатов, В.В. Константиновский, Г.Г. Маньшин. Элементы теории оптимального обслуживания технических изделий. Минск: Наука и техника, 1974. 190 с.
6. Н.В. Богданова, О.В. Богданов. Математичне моделювання систем і процесів: навч. посіб. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. 85 с.
7. А.М. Лоу, В.Д. Кельтон. Имитационное моделирование. СПб. Киев: BHV, 2004. 847 с.
8. В.Б. Струтинський. Математичне моделювання процесів та систем механіки: підручник. Житомир: ЖПТ, 2001. 612 с.
9. 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.
10. Е.С. Венцель. Исследование операций. М.: Советское радио, 1972. 552 с.
11. Оцінка впливу функціональних систем вертольотів Мі-8МСБ-В та Ми-8МТ(МТВ) на показники їх безвідмовності за 2017-2021 роки / В.М. Голуб та ін. Збірник ДНДІ ВіС ОБТ. 2022. № 1(11). С.29–37.
12. І.В. Кравченко, В.І. Микитенко, Г.С. Тимчик. Комп'ютерне моделювання: системи і процеси: підручник. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. 215 с.
13. А.В. Сохацький. Моделювання в транспортних технологіях: монографія. Дніпро: УМСФ, 2022. 182 с.
14. Моделювання економіки: навчальний посібник / Н. Клименко та ін. Київ: Редакційно-видавничий відділ. НУБіП України, 2022. 252 с.
15. С.М. Броди, О.Н. Власенко, Б.Г. Марченко. Расчет и планирование испытаний систем на надежность. Киев: Наукова думка, 1970.

SIMULATION OF OPERATION OF THE MAINTENANCE SYSTEM OF MILITARY TRANSPORT HELICOPTERS BASED ON THE MARKOV PROCESS WITH DISCRETE STATES AND CONTINUOUS TIME

Ihor Safonov

<https://orcid.org/0000-0001-5717-2813>

Serhii Korotin (Candidate of Technical Sciences, Associate Professor)

<https://orcid.org/0000-0003-2123-6103>

Oleg Radko (Candidate of Technical Sciences, Associate Professor)

<https://orcid.org/0000-0002-6391-5713>

The National Defence University of Ukraine, Kyiv, Ukraine

The article proposes a variant of constructing a model of the helicopter technical operation system using the statistical modeling method based on the Markov process with discrete states and continuous time and comparing mathematical calculations with the results of modeling. For the simplicity of mathematical calculations, a small number of assumptions are made. At the same time, the model is limited by the distribution of the time spent in the states, the change of which occurs under the influence of random factors, so its use is possible only for the analysis of the states of the helicopter technical operation system over the past period of time. The developed model of the helicopter technical operation system is implemented with the help of computer programs and, unlike the existing ones, takes into account the time required for the continuation of resource indicators and the retrofitting of helicopters with modern radio-electronic equipment and on-board defense systems.

Keywords: aviation equipment, technical operation system, maintenance and repair, model, Markov process.

References

1. I.E. Safonov, S.M. Korotin. Tendenciji rozvytku vertoljotobuduvannya u sviti ta joho perspektyvy v Ukraini. Naukovo-praktychnyj zhurnal "Povitryana micj Ukrainy", 2021. № 1(1). S. 102–107.
2. N.A. Severtsev. Prognozirovanie nadezhnosti tehniceskikh ustroystv v zavisimosti ot konstruktivnykh parametrov i usloviy ekspluatatsii. Kiev: Sbornik obschestva "Znanie, 1973.
3. V.V. Vychuzhanin. Metody informacijnykh tekhnologij u diaghnostyci stanu skladnykh tekhnichnykh system: monografija. Odesa: Naukove vydannja. Vydavnyctvo «Ekologhija», 2019. 178 s.
4. O.M. Nechyporenko. Osnovy nadijnosti litalnykh aparativ: navch. posib. Kyjiv, 2010. 240 s.
5. V.A. Ignatov, V.V. Konstanovskiy, G.G. Manshin. Elementy teorii optimalnogo obsluzhivaniya tehniceskikh izdelij. Minsk: Nauka i tehnika, 1974. 190 s.
6. N.V. Boghdanova, O.V. Boghdanov. Matematyčne modeljuvannja system i procesiv: navch. posib. Kyjiv: KPI im. Ighorja Sikorsjkogho, 2022. 85 s.
7. A.M. Lou, V.D. Kelton. Imitatsionnoe modelirovanie. SPb. Kiev: BHV, 2004. 847 s.
8. V.B. Strutynskij. Matematyčne modeljuvannja procesiv ta system mekhaniky: pidruchnyk. Zhytomyr: ZhITI, 2001. 612 s.
9. Imitatsionnoe modelirovanie polumarkovskikh protsessov v sistemah s diskretnymi sostoyanijami i nepreryvnym vremenem / L.B. Afanasevskiy ta In. Vestnik VGU. Sistemnyy analiz i informatsionnyie tehnologi. 2019. № 3. S. 42–52.
10. E.S. Venttsel Issledovanie operatsiy. M.: Sovetskoe radio, 1972. 552 s.
11. Ocinka vplyvu funkcionalnykh system vertoljotiv Mi-8MSB-V ta My-8MT(MTV) na pokaznyky jikh bezvidmovnosti za 2017-2021 roky / V.M. Gholub ta in. Zbirnyk DNDI ViS OVT. 2022. # 1(11). S.29–37.
12. I.V. Kravchenko, V.I. Mykytenko, Gh.S. Tymchyk. Komp'juterne modeljuvannja: systemy i procesy: pidruchnyk. Kyjiv: KPI im. Ighorja Sikorsjkogho, 2022. 215 s.
13. A.V. Sokhac'kyj. Modeljuvannja v transportnykh tekhnologhijakh: monografija. Dnipro: UMSF, 2022. 182 s.
14. Modeljuvannja ekonomiky: navchalnyj posibnyk / N. Klymenko ta in. Kyjiv: Redakcijnno-vydavnychyj viddil. NUBiP Ukrainy, 2022. 252 s.
15. S.M. Brodi, O.N. Vlasenko, B.G. Marchenko. Raschet i planirovanie ispytaniy sistem na nadezhnost. Kiev: Naukova dumka, 1970.