

Диптан Валентин Петрович (канд. військ. наук, доцент)

<https://orcid.org/0000-0003-0286-7460>

Яблонський Петро Михайлович (канд. техн. наук, доцент)

<https://orcid.org/0000-0003-2651-4299>

Дуленко Дмитро Іванович (канд. техн. наук)

<https://orcid.org/0000-0002-3900-1612>

Поліщук Василь Володимирович (канд. військ. наук)

<https://orcid.org/0000-0001-8990-9648>

П'явчук Олександр Олександрович

<https://orcid.org/0000-0002-5623-1866>

Національний університет оборони України імені Івана Черняховського, м. Київ, Україна

ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАСТОСУВАННЯ ДИФУЗІЙНО- НЕМОНОТОННОГО РОЗПОДІЛУ У ЯКОСТІ МОДЕЛІ ВІДМОВ АВІАЦІЙНИХ ЗАСОБІВ УРАЖЕННЯ

У доповіді розглянуті загальні характеристики найбільш вживаних законів розподілу неперервних випадкових величин, які використовуються в теорії надійності.

При цьому в якості вихідного параметру використовується залежність розбіжності в оцінці показників надійності авіаційних засобів ураження від вибору відповідної теоретичної моделі розподілу напрацювання до відмови, яка в залежності від прийнятої теоретичної моделі може становити кілька порядків. В результаті цей вибір визначає точність розрахункових кількісних показників надійності розроблюваних методик підвищення ефективності технічного обслуговування авіаційних засобів ураження.

Ключові слова: моделі відмов, закони розподілу випадкових величин, ефективність, надійність, технічне обслуговування.

Постановка проблеми

Після розпаду Радянського Союзу на території України, як і на території інших пострадянських республік, залишилась велика кількість зразків озброєння і військової техніки, в тому числі і авіаційних засобів ураження, терміни зберігання і терміни служби яких вичерпано або строки експлуатації яких у найближчий час закінчаться. Заводи-виробники, здебільшого, залишилися на території сучасної Російської Федерації, що в існуючих реаліях негативно позначається на їх авторському нагляді, а якщо точніше, на його повній відсутності.

В таких умовах оборонно-промисловий комплекс України спільно з науково-дослідними організаціями і приватними компаніями веде роботу з пошуку рішення, яке дасть можливість збільшити терміни експлуатації (зберігання) авіаційних засобів ураження, продовження їх ресурсних показників і проведення модернізації, а також розробки методики підвищення ефективності проведення технічного обслуговування авіаційних засобів ураження без зниження їх показників надійності до граничних значень.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Основне завдання надійності – встановлення закономірностей виникнення відмов і оцінка кількісних показників надійності – може

вирішуватися двома різними шляхами. До теперішнього часу в теорії і практиці надійності найбільший розвиток отримав напрям, заснований на використанні тільки імовірнісних концепцій (суто імовірнісна теорія). В цьому випадку відмови розглядаються як деякі абстрактні випадкові події, а різноманітні фізичні стани виробів зводяться до двох станів: справність і несправність [4-6]. Методологія отримання кінцевих результатів про надійність виробів згідно суто імовірнісної теорії полягає в наступному. З початку на підставі випробувань або експлуатації отримують статистику відмов виробів. Далі, використовуючи відомі статистичні критерії, обирають найбільш відповідну модель розподілу випадкових величин, розроблену в теорії імовірності (експоненціальна, нормальна, Вейбулла, логарифмічно нормальна тощо), і приймають її як теоретичну модель розподілу імовірності безвідмовної роботи (моделі надійності), на підставі якої визначають необхідні кількісні показники надійності. Оцінка (розрахунок) надійності систем здійснюється шляхом обчислення ймовірності працездатних станів елементів. Необхідно відмітити, що переважно розвинені статистичні методи оцінки надійності, які увійшли до основних нормативних матеріалів, недостатньо ефективні при оцінці надійності виробів, що знову розробляються, високонадійних або одиничних, знаходяться в експлуатації, тобто там, де нечисленна або взагалі відсутня статистика відмов. Крім того, відсутність

зв'язку показників надійності з фізичними характеристиками виробів і зовнішніми умовами експлуатації не дає можливості ефективно управляти проектуванням і забезпеченням необхідного рівня надійності виробів, що розробляються.

Викладення основного матеріалу

Дифузійні розподіли, як імовірно-фізичні моделі надійності мають велику перевагу перед суто імовірнісними моделями в тому, що їх параметри можуть бути оцінені як на основі статистики відмов (в цьому випадку вони розглядаються як суто імовірнісні моделі), так і на підставі аналізу статистичних характеристик фізичного процесу, що призводить до відмови, а також при спільному використанні статистичної інформації обох типів. Як відомо, рішення основних завдань надійності (як при апіорних, так і апостеріорних методах) зрештою зводиться до оцінки параметрів розподілу шуканої величини (напрацювання до відмови, на відмову, ресурс тощо). Слід зазначити, що найважливішим чинником, який сприяє рішенню різноманітних завдань надійності при використанні дифузійних розподілів, є те, що параметр форми цих розподілів є узагальненою характеристикою взаємообернених досліджуваних процесів (процесу руйнування і розподілу напрацювання) – коефіцієнтом варіації. А коефіцієнт варіації, як узагальнена характеристика з достатньою для інженерної практики точністю може бути оцінений апіорі на підставі численних досліджень як процесів руйнувань (міцності, втоми, зношування тощо), так і статистичних даних про відмови при випробуваннях і експлуатації виробів-аналогів. Саме завдяки конкретній фізичній інтерпретації параметрів дифузійних розподілів вдалося на їх основі вирішити такі важливі завдання надійності, як: розрахунок надійності систем, планування контрольних і визначальних випробувань на надійність, оцінка (прогнозування) залишкового ресурсу (терміну служби), розрахунок запасних частин, розрахунок довговічності електронної апаратури, розрахунок надійності типових деталей машин на основі міцнісних характеристик матеріалів деталей і інші завдання [1, 2].

Імовірно-фізичні моделі відмов отримують на підставі аналізу фізичних процесів деградації, які відбуваються в об'єкті і спричиняють виникнення відмов. Типові (найбільш розповсюдженні) моделі випадкових фізичних процесів деградації подано на рис. 1, де показано реалізації визначальних параметрів (найслабкіших складових об'єкта) для сукупності однотипових об'єктів.

Зараз, на основі двопараметричних дифузійних розподілів [3], достатньо розроблено методів рішення усіх основних завдань надійності виробів (оцінки надійності елементів механічних і електронних виробів, технічних систем) на усіх життєвих циклах. При цьому визначаються як найповніші характеристики надійності – функції

розподілу напрацювання (до відмови, на відмову, ресурсу тощо), які дозволяють оцінити будь-які показники надійності (середнє напрацювання, гама-відсотковий ресурс, ймовірність безвідмовної роботи за заданий інтервал напрацювання, залишковий ресурс та інші).

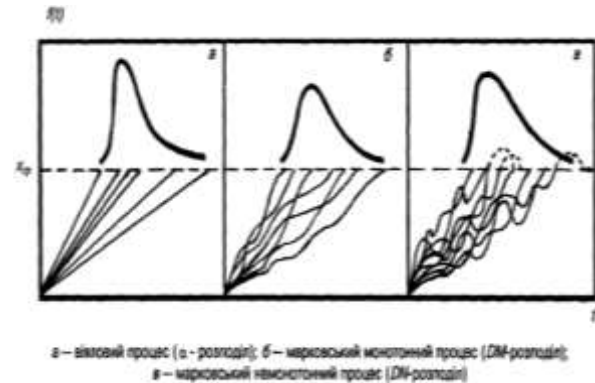


Рисунок 1 – Моделі випадкових процесів деградації і схеми формування розподілу наробітку до відмови

Уточнення оцінок показників надійності на усіх етапах, у тому числі і на етапі проектування, об'єктивно приведе до підвищення надійності. Великий ефект дає використання дифузійних розподілів в завданнях планування контрольних випробувань на надійність. Плани контролю надійності на основі дифузійних розподілів являються істотно економнішими. Для того, щоб з необхідною достовірністю і точністю зробити висновок про відповідність або невідповідність контролюваному рівню надійності об'єкта контролю, потрібний в 1,5-2 рази менший обсяг випробувань [1, 2]. Це означає, що впровадження планів контролю надійності на основі пропонованого апарату знизить витрати на випробування на 30% і більше. Зазначимо, що цей економічний ефект тільки від зниження витрат на випробування. Об'єктивно використання суворіших і точніших планів приведе до підвищення надійності, тобто досягненню планованого рівня надійності.

Необхідно також підкреслити, що математичний апарат рішення завдань надійності на основі дифузійних розподілів [3] призводить не лише до точніших прогнозних оцінок в порівнянні з традиційним математичним апаратом, але і до рішення істотно більшого числа типових завдань надійності. Якщо на основі DN-розподілу вирішується 25 типових завдань надійності, то на основі експоненціального розподілу тільки 13, із визначених 25 [3].

Основні характеристики дифузійно-немонотонного розподілу [3]:

1. Щільність імовірності:

$$f(t) = \frac{\sqrt{\mu}}{vt\sqrt{2\pi t}} \exp \left[-\frac{(t-\mu)^2}{2v^2\mu t} \right];$$

2. Модель відмов (функція розподілу):

$$F(t) = DN(t; \mu; v) = \Phi \left(\frac{t-\mu}{v\sqrt{\mu t}} \right) + e^{2v^{-2}} \cdot \Phi \left(-\frac{t+\mu}{v\sqrt{\mu t}} \right);$$

3. Модель надійності (імовірність безвідмовної роботи):

$$R(t) = \Phi\left(\frac{\mu-t}{v\sqrt{\mu t}}\right) - e^{2v^{-2}} \cdot \Phi\left(-\frac{\mu+t}{v\sqrt{\mu t}}\right);$$

4. Математичне сподівання: $M(t) = \mu$;

5. Дисперсія: $D(t) = \mu^2 v^2$;

6. Коефіцієнт варіації: $V(t) = v$;

7. Коефіцієнт асиметрії: $A_s = 3v$;

8. Коефіцієнт ексцесу: $E_k = 15v^2$.

Загально визнаними критеріями ефективності технічного обслуговування авіаційних засобів ураження є коефіцієнт готовності і коефіцієнт технічного використання, які зв'язані простою залежністю [3].

З метою обґрунтування дифузійно-немонотонного розподілу у якості моделі відмов розглянемо порівняння ефективності технічного обслуговування авіаційних засобів ураження, за коефіцієнтом технічного використання для моделей дифузійно-немонотонного і дифузійно-монотонного розподілів відмов [7-11].

Процес експлуатації зразків авіаційних засобів ураження, будемо описувати з використанням напівмарковського випадкового процесу. Такий процес передбачає існування дискретних станів, які змінюються з часом детерміновано або випадково. Таким чином, зміна станів відбувається з певними ймовірностями переходів, а час перебування у станах моделі є детермінованим або випадковим.

У подальшому планується визначити залежність коефіцієнту технічного використання від періодичності проведення регламентних робіт при різній вірогідності зовнішньої системи контролю, залежність коефіцієнту технічного використання від періодичності проведення регламентних робіт при різних значеннях параметрів форми та масштабу, залежність коефіцієнту технічного використання від ймовірності надходження сигналу про відмову від вбудованої системи контролю при різних значеннях параметрів форми, масштабу та часу.

Висновки

Таким чином, визначено, що використання двопараметричних імовірнісно-фізичних моделей надійності (дифузійних законів розподілу) надає можливість підвищити точність оцінок показників надійності об'єктів і зниження витрат на забезпечення надійності. Враховуючи твердження, що авіаційні засоби ураження значною мірою містять механічні та електричні приладів, то під час вибору моделі відмов було враховано фізичну сутність об'єкта експлуатації і з дифузійних законів розподілу, для вирішення наукового завдання

дослідження, було обрано дифузійно-немонотонний розподіл.

Список використаних джерел

1. Погребинский С.Б., Стрельников В.П. Проектирование и надежность многопроцессорных ЭВМ. – М.: Радио и связь, 1988. – 168 с.
2. Стрельников В.П., Федухин А.В. Оценка и прогнозирование надежности электронных элементов и систем. – К.: Логос, 2002. – 486 с.
3. Надійність техніки. Моделі відмов. Основні положення: ДСТУ 3433-96. – К.: Держспоживстандарт України, 1996. – 42 с. – (Національний стандарт України).
4. Стрельников В.П. Оценка ресурса изделий электронной техники // Математичні машини і системи, 2004 - №2. – С. 186-195.
5. Стрельников В.П. Расчет надежности паралельных структур на основе аппарата функций случайных аргументов с использованием DN - распределения // Радиоэлектронные системы, 2007 – № 2. – С. 21-25.
6. Стрельников В.П. Вероятностно-физические методы исследования надежности машин и аппаратуры // Надёжность и контроль качества, 1989. - №9. - С. 3-7.
7. Стрельников В.П. Определение ожидаемой остаточной наработки при DM-распределении // Математичні машини і системи, 2000. – № 1. - С. 94-100.
8. Королюк В.С. Полумарковские процессы и их приложения / В.С. Королюк, А.Ф. Турбин. – К.: Наукова думка, 1976. – 184 с.
9. Сильвестров Д.С. Полумарковские процессы с дискретным множеством состояний (Основы расчета функциональных и надёжностных характеристик стохастических систем) / Д.С. Силевстров. – М.: Советское радио, 1977. – 271 с.
10. Кітків С.В., Мірненко В.І., Яблонський П.М. Застосування дифузійно-немонотонного розподілу для моделювання процесу експлуатації радіоелектронної техніки // Journal of Scientific Papers: Social development & Security: електронне наукове фахове видання. ГО "Українська наукова спільнота". – Київ, 2019. – Вип. 9(6). – С. 102-111.
11. Китик С.В., Мирненко В.И., Яблонский П.М., Петренко А.Н., Бутенко Н.А. Моделирование эксплуатации силовых трансформаторов ТМ, ТМГ и ТМН с использованием диффузионно-немонотонного распределения их отказов // Науковий журнал "Nauka i Studia". – Пшемисль, Польща, 2017. – №14(175). – С.106-116.