

Яблонський Петро Михайлович (кандидат технічних наук, доцент)

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

Целіщев Юрій Павлович (кандидат технічних наук, доцент)

<https://orcid.org/0000-0002-6308-4024>

Авраменко Олександр Васильович (д-р техн. наук)

<https://orcid.org/0000-0003-1358-1185>

Косков Юрій Максимович

<https://orcid.org/0000-0003-4707-9898>

Іванов Василь Іванович

<https://orcid.org/0000-0002-1963-1991>

П'явчук Олександр Олександрович

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

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

ОЦІНКА НАДІЙНОСТІ СИСТЕМИ, ЩО ПРАЦЮЄ В ДВОХ ЗМІННИХ РЕЖИМАХ ВИКОРИСТАННЯ

У статті розглянуті питання оцінки надійності систем, що працюють зі змінним режимом роботи. З використанням теорії напівмарковського випадкового процесу здійснено розрахунок імовірності безвідмовної роботи системи, що працює у двох змінних режимах роботи, при цьому у кожному із режимів система працює невідповідний інтервал часу, а функція розподілу часу безвідмовної роботи має експоненціальний характер.

Ключові слова: надійність, змінний режим роботи, імовірність безвідмовної роботи, експоненціальний розподіл, невідповідний інтервал часу.

Постановка проблеми

Питанням розрахунку надійності систем, що працюють зі змінним режимом роботи, в науковій літературі приділяється певна увага. Найпростішим є випадок, коли система працює у двох змінних режимах, які притаманні багатьом технічним системам. В наявній роботі розглядається випадок, коли система працює у першому режимі невідповідний інтервал часу T_0 з відомою інтенсивністю, а у другому режимі – невідповідний час T_1 з іншою інтенсивністю. Вважається, що функція розподілу часу безвідмовної роботи має експоненціальний характер.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

В роботі “Оценка надежности систем с переменным режимом использования” [1] розглянута постановка такої проблеми з припущенням, що час безвідмовної роботи має експоненціальний характер. У наявній роботі з використанням теорії напівмарковського випадкового процесу [2] розглядається випадок, коли інтервали T_0 і T_1 невідповідні.

В роботі “Оценка надежности систем, работающих с переменным режимом использования” [3] розглядалась аналогічна постановка задачі. Під час визначення імовірності безвідмовної роботи в статті допущена помилка, яка суттєво ускладнює визначення імовірності безвідмовної роботи. У наявній статті така помилка усунена, отриманні у роботі результати свідчать про правильність виконаних розрахунків.

Викладення основного матеріалу дослідження

У військовій справі існує багато технічних систем, які працюють у змінних режимах використання обладнання. Наприклад, на літаку МІГ-29 радіонавігаційна система ближньої навігації А-323 працює в двох режимах, а саме режим Навігації та режим Посадка. Командна радіостанція Р-862 на літаках Повітряних Сил може працювати в режимі прийому і передачі. Частина елементів кожної системи з певною інтенсивністю відмов протягом деякого інтервалу часу знаходяться у робочому стані. Потім вона відключається і включаються другі елементи з відомою інтенсивністю відмов, що працюють протягом іншого інтервалу часу.

У загальному випадку система може знаходитись в n режимах використання, але у наявній статті розглянуто два режими, що відрізняються інтенсивністю відмов та часом перебування у кожному з режимів [4-6].

Нижче розглядається задача визначення імовірності безвідмовної роботи технічної системи, що працює зі змінним режимом використання елементів для випадку, коли функція розподілу часу до відмови експоненціальна, а час напрацювання у кожному з двох режимів невідповідний [6-8].

Позначимо інтенсивність відмов системи в першому режимі через λ_0 , а в другому режимі – через λ_1 . Різниця в значеннях λ_0 і λ_1 пояснюється неоднаковим числом елементів у кожному режимі. Нехай об'єкт працює у кожному режимі

невипадковий деякий час η_0 , а в другому режимі – час η_1 .

Будемо вважати, що функція розподілу часу перебування у кожному з двох режимів має вигляд [9-11]:

$$F(\eta_i \leq t) = \begin{cases} 0 & \eta_i < T_i; \\ 1 & \eta_i \geq T_i, \quad i=0,1. \end{cases} \quad (1)$$

$$R(t) = \sum_{0 \leq n \leq \frac{t}{T_0+T_1}} (-1)^n (-e^{-\lambda_0 T_0 + \lambda_1 T_1})^n f(K_i) e^{-\lambda_0(t-(T_0+T_1)n} + e^{-\lambda_0 T_0} [f(K_j) (e^{-\lambda_1(t-T_0-(T_0+T_1)n)} - e^{-\lambda_0(t-T_0-(T_0+T_1)n)} - f(K_2) e^{-\lambda_1 T_1} e^{-\lambda_1(t-T_0+T_1)(n+1)}], \quad (2)$$

$$\text{де: } f(K_i) = \begin{cases} 0 & t < (T_0+T_1)n, \\ 1 & t \geq (T_0+T_1)n; \end{cases}$$

$$f(K_j) = \begin{cases} 0 & t < T_0 + (T_0+T_1)n, \\ 1 & t \geq T_0 + (T_0+T_1)n; \end{cases}$$

$$f(K_2) = \begin{cases} 0 & t < T_0 + (T_0+T_1)n, \\ 1 & t \geq (T_0+T_1)(n+1). \end{cases}$$

Якщо у формулі (2) прийняти, що $\lambda_1=0$ і $T_1=0$, тобто вважати, що система працює тільки в одному режимі, то отримаємо:

$$R(t) = \sum_{0 \leq n < \frac{t}{T_0}} (-1)^n (-e^{-\lambda_0 T_0})^n [f(K_i) e^{-\lambda_0(t-nT_0)} - e^{-\lambda_0 T_0} f(K_j) e^{-\lambda_0(t-T_0)(n+1)}] \quad (3)$$

$$\text{де } f(K_i) = \begin{cases} 0 & t < (T_0)n, \\ 1 & t \geq (T_0)n; \end{cases}$$

$$f(K_j) = \begin{cases} 0 & t < 1+nT_0, \\ 1 & t \geq (1+n)T_0. \end{cases}$$

Для вказаних значення $f(K_i)$ і $f(K_j)$ формула (3) буде мати вигляд:

$$R(t) = \sum_{0 \leq n < \frac{t}{T_0}} (-1)^n (-e^{-\lambda_0 T_0})^n. \quad (4)$$

Для $n=0$, $R(t)=1$, для $n=1$ $R(t)=e^{-\lambda_0 T_0}$, для $n=2$, $R(t)=e^{-2\lambda_0 T_0}$, тобто імовірність безвідмовної роботи буде залежати тільки від λ_0 , T_0 і числа n і

буде зменшуватися тим більш, що більшим буде поточний час, а значить і число n .

Для проведення розрахунку залежності імовірності безвідмовної роботи від часу для системи, працюючої зі змінним режимом використання, ми використали наступні значення:

$$T_0=80 \text{ год.}; T_1=20 \text{ год.}; \lambda_0=2,5 \times 10^{-4} \frac{1}{\text{год}};$$

$$\lambda_1=3,5 \times 10^{-3} \frac{1}{\text{год}}.$$

За формулами (3) та (4) проведені розрахунки з використанням MathCad-15, результати яких показано на рис. 1.



Рисунок 1. Графік залежності безвідмовної роботи системи, що працює у двох різних режимах роботи

Червоною лінією позначено систему, що працює у першому режимі невідмовний час T_0 з інтенсивністю λ_0 , а в другому режимі - T_1 , λ_1 відповідно. Крім того, для $n=1$, тобто при T_1 і $\lambda_1=0$ імовірність безвідмовної роботи буде $R(t)=e^{-(\lambda_0 T_0)}$. Тобто з рис.1 робимо висновок, що при $t=T_0$ імовірність безвідмовної роботи двох графіків співпадає, що свідчить про правильність проведених розрахунків.

Висновки

Таким чином, у наявній науковій статті здійснено розрахунок надійності безвідмовної роботи двох систем, що працюють у змінних режимах роботи, а саме: у першому режимі невідмовний час T_0 з інтенсивністю λ_0 , а в другому режимі - T_1 з інтенсивністю λ_1 .

Розрахунки проведені з використанням програми MathCad-15. Показано, що в разі, коли один з режимів відключений, а у другому режимі система працює лише час T_0 , імовірність безвідмовної роботи обох систем співпадає. Отримані результати можуть бути використані на практиці для багатьох технічних систем, що працюють у змінних режимах роботи.

Список використаних джерел

1. Броди С.М., Власенко О.Н. Оценка надежности систем с переменным режимом использования / С.М. Броди, О.Н. Власенко // Техническая кибернетика, 1967. – С. 35-38 с.
2. Королюк В.С. Время пребывания полумарковского процесса в фиксированном множестве состояний / В.С. Королюк // Украинский математический журнал, 1965. Т. 17. – С. 123-128 с.
3. Яблонский П.М. Оценка надежности систем, работающих с переменным режимом использования / П.М. Яблонский // Автоматика и

вычислительная техника, 1977. – С. 26-28 с.

4. Надежность и эффективность в технике: Справочник. В 10 т. / Ред. совет: В.С. Авдеевский (пред.) и др. – М.: Машиностроение, 1987. – Т. 9: Техническая диагностика / Под общ. ред. В.В. Клюева, П.П. Пархоменко. – 352 с.

5. Зорин В. А. Основы работоспособности технических систем: учебник для вузов / В.А. Зорин. - М.: ООО «Магистр-Пресс», 2005. - 536 с.

6. Стрельников В.П. Состояние и перспективы теории и практики надежности // Надежность и долговечность машин и сооружений: Международный научно-технический сборник, 2005. - Вып. 24. - С. 27-38.

7. Сотсков Б.С. Физика отказов и определение интенсивности отказов // О надежности сложных технических систем. - М.: Советское радио, 1966. - С. 289-306.

8. Хевиленд Р. Инженерная надежность и расчет на долговечность / Пер. с англ. - М.: Энергия, 1966. - 231 с.

9. Сильвестров Д.С. Полумарковские процессы с дискретным множеством состояний (Основы расчета функциональных и надежностных характеристик стохастических систем) / Д.С. Силевестров. – М.: Советское радио, 1977. – 271 с.

10. Дружинин Г.В. Надежность автоматизированных производственных систем. - М.: Энергоатомиздат, 1986. - 480 с.

11. Проников А.С. Надежность машин. - М.: Машиностроение, 1978. - 592 с.

12. Беляев Ю.К. Надежность технических систем: [Справочник-Н17] / Ю.К. Беляев, В.А. Богатырев, В.В. Болотин и др.; Под ред. И.А. Ушакова. - М.: Радио и связь, 1985. - 608 с.

13. Надежность в машиностроении: [Справочник-Н17] / Под общ. ред. В.В. Шашкина, Г.П. Карзова. - СПб.: Политехника, 1992. - 719 с.