

МОДЕЛІ БЕЗВІДМОВНОСТІ СКЛАДНИХ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

Д. П. Домуші, канд. техн. наук
Одеський державний аграрний університет

Представлена методика переходу від параметричної до непараметричної моделей ймовірності безвідмовної роботи при многократних случайних циклах навантаження. Визначені основні поняття отриманих моделей безвідмовності, які можливо розповсюджувати на різні технічні засоби технологічних комплексів для підтримання їх в надійному стані.

Ключові слова: модель, ймовірність, безвідмовність, складна технічна система, навантаження, міцність.

Вступ. Складність технічних засобів і підвищення швидкодії технологічних машин, які використовуються в сільськогосподарському виробництві, ставлять перед інженерами нові науково-технічні завдання. Серед них істотне місце займають питання, пов'язані з вивченням статистичних запасів міцності різних конструкцій складних технічних систем (СТС) - наприклад, енергетичних засобів технологічних збиральних комплексів для зернових та інших культур [1]. Надійність – один з найбільш важливих, визначальних функціональних показників будь яких технічних засобів і систем. Від надійності залежить безпека, економічність, ресурс роботи, конкурентоспроможність [2].

Проблема. Вибір статистичних запасів міцності різних конструкцій вузлів та агрегатів енергетичних засобів засноване на використанні параметричної моделі "міцність-навантаження" [1]. Методи даної групи є найстарішими методами теорії надійності. В основу розрахунку надійності з використанням даної моделі лежить те, що кожний елемент конструкції має відповідну міцність по відношенню к діючим на нього навантаженням [3].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Основою для рішення задач по забезпеченню надійності з'явилася теорія ймовірностей та математичної статистики. На їх базі вже в 30-е роки ХХ століття встановлена статистична природа коефіцієнтів запасу міцності та сформульовано поняття відмови, як перевищення навантаження над міцністю [4]. Перший етап в рішенні проблем надійності був пов'язаний з виявленням причин відмов обладнання машин: деталей, вузлів, агрегатів. Особливе бурний розвиток теорії надійності навчалася з інтенсифікації електроніки і автоматики, авіації і ракетно-технічної техніки [5].

Мета досліджень. Перед розробниками виникли питання: які основні причини ненадійності елементів і які шляхи їх усунення? Існують лі способи створення

надійних систем із ненадійних елементів і можливо лі прогнозувати надійність проектованої системи? Відповідь на поставлені питання - вивчення впливу на відмови експлуатаційних факторів: середи та умов експлуатації – вібрацій, навантаження, температури та ін..

Результати досліджень. Формули, як представлені в дослідженнях [1] дозволяють вичислити ймовірність безвідмовної роботи при однократному приложенні навантаження. В реальних умовах експлуатації конструкції завантажують многократне, при цьому найбільш характерні випадки цикли навантаження.

По ступені невизначеності міцність і навантаження можуть бути віднесені к однієї з трьох категорій:

- 1) детермінованим величинам – приймають відомі раніше величини, можуть служити прийнятною апроксимацією повністю контрольованих процесів раніше відомим величинам;
- 2) фіксованим випадковим величинам – вони випадковий в початковий момент часу, а далі змінюються в часі відомим образом. Наприклад, це може бути функція $Y_k = Y_0 K^{-a}$ або $Y_k = Y_0 + bk$, де k - число циклів навантаження;
- 3) незалежним випадковим величинам – послідовні значення, приймаємі в часі, статистично незалежні. Звичайно послідовні значення навантаження незалежні, а міцність може бути змінюватися випадковим образом і бути незалежним від циклу k до циклу навантаження тільки в тому випадку, як що на неї впливають інші фактори навколишнього середовища, які незалежні від процесу навантаження (температура, вібрація тощо).

Міцність залежить від числа циклів навантажень, її величини і довжини часу. Ефект зміни міцності в часі називається старінням або зносом. В таблиці 1 представлені вирази ймовірності безвідмовної роботи при многократних випадкових циклах навантаження [4].

Аналізуючи формули, які представлені в таблиці 1 для ряду практично важливих випадків, приходимо к широко розповсюдженій непараметричній і експоненціальної моделі зміни ймовірності безвідмовної роботи в часі:

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (1)$$

Визначимо основні поняття отриманої моделі. Відмова є ймовірною подією, відповідно, час від моменту включення пристрою машини до першої відмови (наробітку) теж ймовірною величиною τ . Ймовірності безвідмовної роботи визначається умовою $R(t) = P \{ \tau > t \}$, тобто ймовірність того, що наробіток до першої відмови перевищує t . В інтервалі від 1 до 0 функція $R(t)$ – монотонно убиваюча.

Таблиця 1. Вирази ймовірності безвідмовної роботи при многократних випадкових циклах навантаження.

№ п/п	Характер зміни міцності	Характер зміни навантаження	Ймовірність безвідмовної роботи після N циклів навантаження
1.	Детермінована не зростаюча величина	Детермінована не убиваюча величина	$R(t) = e^{-\alpha t}$
2.	Фіксована випадкова величина	Детермінована постійна величина	$R(t) = R_0 + (1-R_0)e^{-\alpha t}$
3.	Незалежна випадкова величина	Детермінована постійна величина	$R(t) = e^{-\alpha t (1-R_0)}$
4.	Детермінована постійна величина	Фіксована випадкова величина	$R(t) = R_0 + (1-R_0)e^{-\alpha t}$
5.	Фіксована випадкова величина	Фіксована випадкова величина	$R(t) = R_0 + (1-R_0)e^{-\alpha t}$
6.	Незалежна випадкова величина	Фіксована випадкова величина	$R(t) = \int_0^{\infty} f(S)e^{-\alpha F(S)} dS$
7.	Детермінована величина	Незалежна випадкова величина	$R(t) = e^{-\alpha t (1-R_0)}$
8.	Фіксована випадкова величина	Незалежна випадкова величина	$R(t) = \int_0^{\infty} f(S)e^{-\alpha(1-F(S))} dS$
9.	Незалежна випадкова величина	Незалежна випадкова величина	$R(t) = e^{-\alpha t (1-R_0)}$

Примітка. В таблиці - R_0 - ймовірності безвідмовної роботи при одиничному навантаженні

Ймовірність того, що відмова настане через час t після включення, визначається умовою $q(t) = P\{\tau \leq t\} = 1 - R(t)$. Щільність ймовірності моменту першої відмови $f(t) = dq(t) / dt = dR(t) / dt$ (2)

$$\text{де } R(t) = \int_0^{\infty} f(t)dt$$

Середня на робітка до відмови (або середній час безвідмовної роботи) визначаються по формулі:

$$T_{CP} = \int_0^{\infty} tf(t)dt \quad \text{або} \quad T_{CP} = \int_0^{\infty} R(t)dt \quad (3)$$

Інтенсивність відмов визначається з виразу: $\lambda = f(t) R(t)$ (4)

Тоді
$$R(t) = \exp\left\{-\int_0^{\infty} \lambda(t) dt\right\} \quad (5)$$

Висновки. При постійній інтенсивності відмов маємо $\lambda(t) = \text{const}$, маємо $R(t) = \exp\{-\lambda t\}$, тобто отримуємо експоненціальний розподіл часу безвідмовної роботи. Математичне очікування цього розподілу $M(t) = T_{\text{ср}} = 1/\lambda$, дисперсія $\sigma^2(t) = 1/\lambda^2$. Експоненціальний розподіл є фундаментальним розподілом в теорії надійності: основні результати отримані в допущенні адекватності цього розподілу реальним процесам виникнення відмов.

ЛІТЕРАТУРА

1. Домуші Д.П. Конструктивні методи забезпечення надійності складних технічних систем // Аграрний вісник Причорномор'я: Зб. наук. пр. Одеського ДАУ/ Технічні науки.- Одеса: 2013.- №65.- С.45-53.
2. Байхельт Ф., Франкен П. Надежность и техническое обслуживание. Математический подход: Пер. с нем. – М.: Радио и связь, 1988. – 392 с.
3. Проников А.С. Надежность машин. – М.: Машиностроение, 1978. – 592 с.
4. Капур К., Ламберсон Л. Надежность и проектирование.- М.: Мир, 1980.
5. Эффективность и надежность сложных систем. - М. Машиностроение, 1977.

МОДЕЛИ БЕЗОТКАЗНОСТИ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Домуші Д.А.

Ключевые слова: модель, вероятность, безотказность, сложная техническая система, нагрузка, прочность.

Резюме

Представлена методика переходу от параметрической модели к непараметрической модели вероятности безотказной работы при многократных случайных циклах нагрузки. Определены основные понятия полученных моделей безотказности, которые можно распространять на различные энергетические средства технологических комплексов для поддержания их в надежном состоянии.

MODEL FAULTLESSNESS DIFFICULT TECHNICAL SYSTEMS

Domuschy D.A.

Key words: model, probability, faultlessness, difficult technical system, loading, durability.

Summary

The technique of the transition from a parametric model to nonparametric models the probability of failure-free robots in multiple random load cycles. The basic concept of receiving models of reliability that can be distributed on different power facilities of technological complexes for maintenance of them in the safe state.