

ПРОГНОЗУВАННЯ І ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ ТЕХНІЧНИХ ВИРОБІВ НА ЕТАПІ ПРОЕКТУВАННЯ

Постановка проблеми, аналіз попередніх досліджень. Питанню забезпечення надійності виробів машинобудування присвячено досить багато робіт як вітчизняних, так і зарубіжних учених [1,4]. Теоретичні і практичні питання забезпечення надійності досить добре вивчені для виробів масового і серійного виробництва, а для складних виробів індивідуального і дрібносерійного виробництва ще вивчені недостатньо. Тому проводяться дослідження, присвячені як теоретичним, так і практичним питанням прогнозування і забезпечення надійності виробів індивідуального і дрібносерійного виробництва [2]. Наукові дослідження охоплюють весь життєвий цикл виробу, починаючи від проектування і закінчуючи терміном зняття з експлуатації [3].

Мета статті. Розробити модель прогнозування та визначення на етапі проектування нестационарну випадкову функцію надійності всіх елементів і в цілому технічного виробу.

Основна частина. На етапі проектування існуючі методи розрахунку базувалися лише на випадковій стаціонарній функції, незалежній ні від умов роботи, ні від фактичного стану елементів. Проведені дослідження дозволили науково обґрунтувати, а потім і практично підтвердити багаточисельними результатами випробувань і експлуатації необхідність введення додатково нестационарної випадкової функції, залежної від умов роботи і фактичного стану елементів. В цьому випадку надійність виробу розглядається як функція від двох складових, вираженої рівнянням вірогідності.

$$G(t) = P(t)R(t), \tag{1}$$

де $P(t)$ - вірогідність безвідмовної роботи за час t від випадкових відмов, викликаних несприятливим збігом багатьох обставин, стаціонарна випадкова функція надійності, незалежна ні від умов роботи, ні від фактичного стану елементів; $R(t)$ - вірогідність безвідмовної роботи за час t від випадкових відмов, викликаних зміною умов роботи і зміною фактичного стану елементів - нестационарна випадкова функція надійності, яка може змінюватися через зміни умов роботи або фактичного стану елементів.

У практиці проведення проектного розрахунку надійності прийнято допущення про те, що протягом технічного ресурсу стаціонарна випадкова функція надійності $P(t)$ описується експоненціальним законом розподілу відмов. Це пояснюється тим, що процес прироблення елементів і вузлів пройшов при приймально-здавальних випробуваннях виробу, а процес старіння ще не настав, тому інтенсивність відмов приймається постійною величиною $\lambda = \text{const}$, яка береться або з довідкової літератури, або за результатами випробувань або експлуатації елементів-аналогів. Ця вірогідність розраховується за формулою

$$P(t) = e^{-\lambda t}. \tag{2}$$

Нестационарну випадкову функцію надійності $R(t)$ можна представити у вигляді деякого незмінного закону розподілу, параметри якого залежатимуть від деяких детермінованих змін параметрів елементів (наприклад, запасу міцності, зносу, втоми напруги, старіння і тому подібне).

Найбільш прийнятним законом нестационарної випадкової функції надійності $R(t)$ може бути нормальний закон, логарифмічно-нормальний або закон розподілу Вейбулла. Це пояснюється тим, що перераховані закони є двопараметричними і добре описують розподіл відмов після виділення технічного ресурсу, коли настає період зносу і старіння елементів, а також несприятлива дія зовнішніх умов.

Змінюючи параметри розподілу, можливо прогнозувати побудову нестационарної випадкової функції надійності $R(t)$ в часі. Розглянута ідея за рішенням проблеми прогнозування і забезпечення надійності з використанням стаціонарної випадкової функції надійності і нестационарної випадкової функції надійності застосовна як для окремого елемента, так і для виробу в цілому.

Запропоновану ідею розрахунку надійності складних систем з використанням стаціонарної і нестационарної випадкової функції надійності можна розглядати як один з варіантів, який підтверджений результатами експлуатації багатолітньої великої сукупності складних виробів.

Як приклад розрахунку нестационарної випадкової функції надійності можна продемонструвати на металокопцюваннях, механічних вузлах, поверхнях, що труться, і т.д. Так, при розрахунку нестационарної випадкової функції надійності металокопцювання використовується формула

$$R(t) = \varphi \left(\frac{m_1 - m_2}{\sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}} \right), \tag{3}$$

де $U_R = \left(\frac{m_1 - m_2}{\sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}} \right)$, квантиль функції нормального розподілення, яку можна виразити через коефіцієнт запасу:

$$U_R = \frac{n-1}{\sqrt{n^2 v_1^2 + v_2^2}} \quad (4)$$

де $n = m_1/m_2$ - коефіцієнт запасу міцності; m_1 - розрахунковий параметр міцності (несучої здатності); m_2 - розрахунковий параметр діючого навантаження; $v_1 = \sigma_1/m_1$ коефіцієнт варіації міцності (несучої здатності); $v_2 = \sigma_2/m_2$ - коефіцієнт варіації навантаження, що діє; σ_1 - середньоквадратичне відхилення параметра міцності від номінального значення; σ_2 - середньоквадратичне відхилення параметра навантаження від номінального значення.

Таким чином, детерміновані конструктивні параметри (міцності і навантаження) виражені через нестационарну випадкову функцію надійності. По розрахунковому значенню квантилі визначають нестационарну випадкову функцію надійності по таблиці нормованої нормальної функції розподілу.

Розрахунок нестационарної випадкової функції надійності для поверхні деталей, що труться, проводиться по квантилі

$$U_R = \frac{n-1}{\sqrt{n^2 v_\Delta^2 + v_J^2}}, \quad (5)$$

де $n = \frac{\Delta}{Jv^2t}$ - коефіцієнт запасу по зносу;

$v_\Delta = \frac{\sigma_h}{\Delta}$ - коефіцієнт варіації розміру деталі при зносі;

$v_J = \frac{\sigma_j}{J}$ - коефіцієнт варіації інтенсивності зношування;

$\Delta = h_{поч} - h_{гран}$ при зменшенні розміру;

$\Delta = h_{гран} - h_{поч}$ при збільшенні розміру;

J - середнє значення інтенсивності зношування;

v - швидкість відносного переміщення поверхонь, що труться;

t - час роботи поверхонь, що труться;

σ_h - середнє квадратичне відхилення начального розміру;

σ_j - середнє квадратичне відхилення інтенсивності зношування;

$h_{гран}$ - гранично допустиме значення розміру при зношуванні;

$h_{поч}$ - початкове значення розміру.

Таким чином, на цьому етапі можливо прогнозувати і розраховувати нестационарну випадкову функцію надійності всієї генеральної сукупності як для окремого елемента, так і виробу в цілому по конструктивним і технологічним значенням параметрів і виразити у вигляді замкнутої системи з врахуванням керуючих впливів представлених на рисунку 1.

Як вхід в цю систему приймають вектор дій, який подають, у вигляді конструктивних і технологічних параметрів, закладених в конструкторській і технологічній документації. Вихідна характеристика системи найчастіше представлена у вигляді вірогідності безвідмовної роботи або напрацювання на відмову. Найбільш прийнятним в практиці є закон управління, виражений у вигляді інтегральної функції

$$BU(t) = \int_0^t R(t) dt ; \quad (6)$$

$$R(t) = B \frac{dU(t)}{dt}. \quad (7)$$

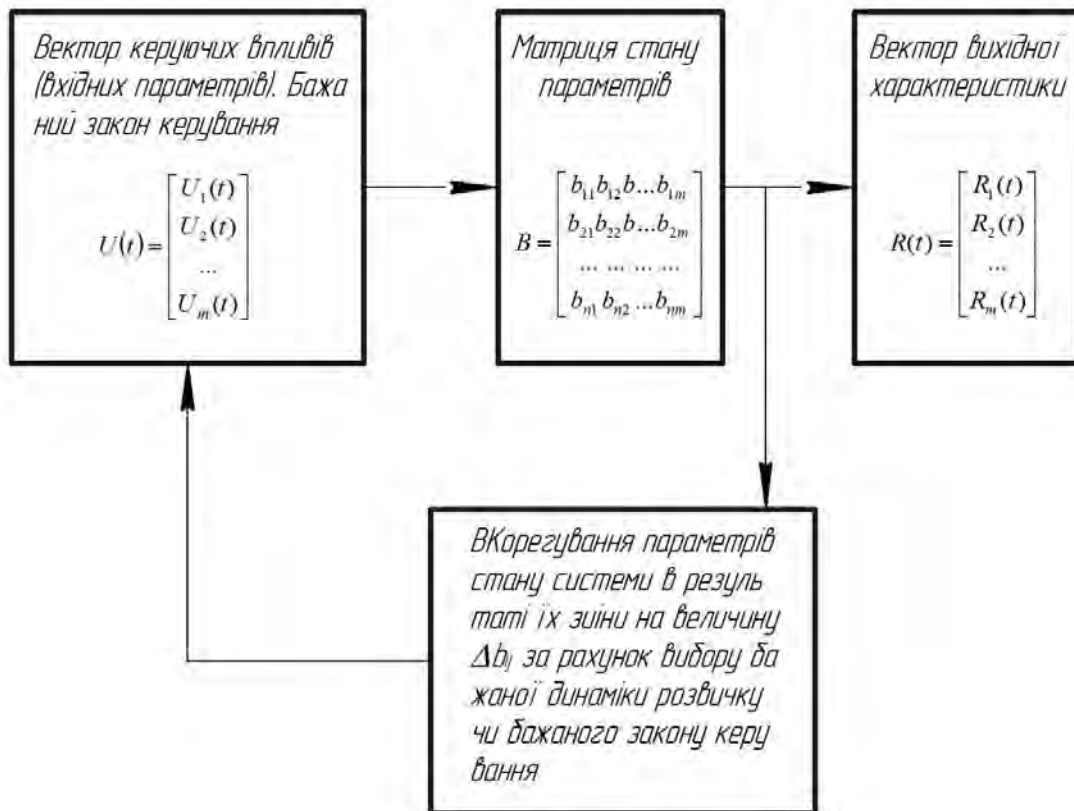


Рисунок 1. Модель розрахунку нестационарної випадкової функції надійності системи з врахуванням керуючих впливів

Рівняння (6) в розгорнутому вигляді можна записати так:

$$\begin{aligned}
 R_1(t) &= b_{11} \frac{dU_1(t)}{dt} + b_{12} \frac{dU_2(t)}{dt} + \dots + b_{1m} \frac{dU_m(t)}{dt}; \\
 R_2(t) &= b_{21} \frac{dU_1(t)}{dt} + b_{22} \frac{dU_2(t)}{dt} + \dots + b_{2m} \frac{dU_m(t)}{dt}; \\
 R_n(t) &= b_{n1} \frac{dU_1(t)}{dt} + b_{n2} \frac{dU_2(t)}{dt} + \dots + b_{nm} \frac{dU_m(t)}{dt}.
 \end{aligned}
 \tag{8}$$

Зважаючи, що бажана динаміка зміни вихідна характеристики має плавне пониження в часі, тому в розгорнутому вигляді вектор управління запишеться виразом:

$$\begin{bmatrix} U_1(t) \\ U_2(t) \\ \dots \\ U_m(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} U_1^0(t) \\ U_2^0(t) \\ \dots \\ U_m^0(t) \end{bmatrix} + T(1 - e^{-t/T}) \times \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & \dots & b_{1m} \\ b_{21} & b_{22} & \dots & b_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ b_{n1} & b_{n2} & \dots & b_{nm} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} R_1^{mp}(t) \\ R_2^{mp}(t) \\ \dots \\ R_n^{mp}(t) \end{bmatrix}
 \tag{9}$$

Або запишемо в компактній формі:

$$U(t) = U^0(t) + T(1 - e^{-t/T}) B^+ R^{mp}(t),
 \tag{10}$$

де B^+ - псевдозворотна матриця; $U_j^0(t)$ - кількісний показник надійності при номінальному значенні параметра або номінальне значення параметра, закладене в технічній документації; b_{ij} - зміна кількісного показника надійності від зміни параметра або допустима зміна номінального значення параметра по технічній документації; T - період часу, на який розраховується надійність виробу.

Із співвідношення (10) знаходимо вектор вихідної характеристики. У випадку, якщо отримана за розрахунком вихідна характеристика не задовольняє вимогам, проводимо коректування конструкторської або технологічної документації за відповідними параметрами.

Висновок. Запропоновано нові підходи до проблеми прогнозування і забезпечення надійності складних виробів на етапах їх життєвого циклу. Запропонована математична модель розрахунку нестационарних випадкових функцій надійності з врахуванням керуючих впливів.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Капур К. Надежность и проектирование систем / К. Капур, Л. Ламберсон. – М.: Мир, 1980. – 604с.
2. Нигора В.Н. Прогнозирование показателей эффективности и надежности модульных гидроочистных машин/ В.Н. Нигора, М.В. Киндрачук// Вестник Херсонского нац. технич. университета. – Херсон. – 2002. – Вып. 2(15). – С. 349 – 353.
3. Нигора В.М. Обґрунтування надійності модульних гідроочисних машин/ В.М. Нигора // Машинознавство. – 2002. – №11. – С. 49 – 52.
4. Нигора В.М. Вплив показників надійності на продуктивність гідроочисних машин модульної конструкції/ В.М. Нигора, Ю.Г. Сухенко, М.В. Киндрачук // Вісник технолог. ун – ту Поділля. 2003. – №4. Ч.2. – С. 7 – 10.
5. Хазов Б.Ф. Справочник по расчету надежности машин на стадии проектирования / Б.Ф. Хазов, Б.А. Дидусов // – М.: Машиностроение, 1986. – 224 с.

НИГОРА Володимир Миколайович – д.т.н., професор кафедри інженерної і комп'ютерної графіки Національного університету харчових технологій (м. Київ)

Наукові інтереси:

- системний аналіз і моделювання об'єктів машинобудування.

БІЛЕЦЬКИЙ Ігор Миколайович – викладач кафедри інженерної і комп'ютерної графіки Національного університету харчових технологій (м. Київ)

Наукові інтереси:

- моделювання та проектування технічних об'єктів.

ЗРІБНЯК Андрій Володимирович – студент Національного університету харчових технологій (м. Київ)

Наукові інтереси:

- комп'ютерне проектування.