

УДК 621.81.«401»:620.178.16.001.24

<sup>1</sup>В.В. Варюхно, к.т.н., доц.  
<sup>2</sup>О.Ю. Сидоренко, к.т.н., доц.  
<sup>3</sup>Н.В. Машинська, асист.  
Є.Ю. Євсюков, асист.

## МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ РЕСУРСУ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ ДЕТАЛЕЙ МАШИН ПРИ НАВАНТАЖЕННІ ТЕРТЯМ

Національний авіаційний університет

<sup>1</sup>E-mail: variukho@gmail.com

<sup>2</sup>E-mail: sidoral@ukr.net

<sup>3</sup>E-mail: natalil79@mail.ru

*Розглянуто аспекти прогнозування довговічності деталей машин при навантаженні тертям із використанням методики розрахунків. Побудовано алгоритм розрахунку показників довговічності вузла тертя у рамках прийнятих допущень.*

**Ключові слова:** алгоритм розрахунку, довговічність, навантаження тертям, прогнозування, теоретична модель.

### Вступ

Теоретичною основою побудови математичних моделей за емпіричними даними є регресійний аналіз і планування експериментів, яке часто розглядають як окремий розділ математичної статистики.

Правильне виконання всіх етапів побудови математичних моделей дуже важливе з точки зору отримання результатів, придатних для їх практичного використання. Послідовність дій з отримання і використання моделей, можна розглядати як технологію, порушення якої приводить до браку.

### Постановка завдання

Довговічність контактних сполучень робочих поверхонь деталей машин, що працюють в умовах тертя, визначається взаємопов'язаними факторами:

- напружено-деформуючим станом поверхневих шарів покриттів;
- зношуванням контактуючих поверхонь;
- накопиченням продуктів зношування;
- формуванням вторинних структур.

Максимальне значення напружено-деформуючого стану при навантаженні тертям виникає у всіх мікрооб'ємах поверхні.

Але це проходить не одночасно та залежить від ступеня дискретності контакту та швидкості відносного переміщення.

Протягом часу напруження виникають у кожному елементі поверхневого об'єму незалежно від його вихідної структури, орієнтації та дефектів.

При цьому матеріал покриття змінює структуру і переходить в активований стан, з якого намагається перейти в пасивний стан шляхом адсорбційної, дифузійної чи хімічної взаємодії з середовищем. У результаті в поверхневих шарах утворюється нова фаза – вторинні структури, які і стають об'єктом зношування [1; 2].

Отже, в розрахунках ресурсу вузлів тертя необхідне комплексне врахування всіх відмічених факторів.

Складність та багатогранність явищ у зоні контактної взаємодії ставлять при розрахунках альтернативну задачу:

- по-перше, ускладнити теоретичну модель шляхом вивчення та опису всієї множини складових, що в завершенні призведе до значної складності;
- по-друге, спростити модель, ураховуючи лише визначальні фактори.

У загальному випадку довговічність вузла тертя визначається як сукупність таких факторів:

- напружено-деформуючого стану;
- зношування;
- властивості вторинних структур.

### Вирішення завдання

Ураховуючи поступовий характер відмови, доцільно використовувати для описування визначених процесів, що розглядаються, кумулятивні моделі накопичення пошкоджень, засновані на аналітичному правилі зв'язку величини пошкоджень.

Уведемо векторну величину пошкодження вузла

$$V = \{V_1, V_2, V_3\},$$

складові якої є відповідними скалярними величинами напруженого стану, зношування та формування вторинних структур.

До початку експлуатації

$$V_1 = V_2 = V_3 = 0$$

в момент часу  $t = 0$ , при експлуатації  $V_1(t)$ ,  $V_2(t)$ ,  $V_3(t)$  – не зростаючі функції часу. Граничні значення цих даних означають відповідно недопустимі рівні даних.

Множина значень вектора якості вузла, що допустимі за технічними умовами експлуатації, утворює у просторі якості  $P$  область  $L$ , обмежену контуром

$$\Gamma = \Gamma(V_1, V_2, V_3).$$

Відмова вузла – це вихід  $P$  із  $L$ .

Відповідно до прийнятої теоретичної моделі вектор-функція задовольняє векторне диференціальне рівняння

$$\frac{dV}{dt} = \Phi(V, d, q, r_0, f, R, t_q, t), \quad (1)$$

де  $d$  – вектор фактичної площі контакту;

$q$  – вектор діючих навантажень;

$r_0$  – вектор властивостей матеріалу;

$f$  – вектор характеристики тертя та зношування;

$R$  – вектор параметрів шорсткості площі контактуючих поверхонь;

$t_q$  – температура в зоні контакту.

Значення функціоналу  $\Phi$ , характеристик його аргументів та контуру  $\Gamma$  дозволяють, розв'язавши рівняння (1), знайти характеристики  $V(t)$  і виходячи з цього вирахувати показники безвідмовності та довговічності, такі, як імовірність безвідмовної роботи:

$$R(t) = P\{V(\tau) \in L, \tau \in [0, t]\}, \quad (2)$$

середній

$$M(T) = \int_0^{\infty} R(t) dt$$

та  $\gamma$ -процентний ресурс  $T_\gamma$ .

Для величини  $V_1$  беремо аналогічно з класичним напруженням кінетичну модель лінійного додавання напружень, що має вираз:

$$\frac{dV_1}{dt} = \frac{1}{T_B [q(t)]}, \quad (3)$$

де  $T_B$  – ресурс при стаціонарному режимі навантаження.

Якщо міцність характеризується скалярним параметром  $r > 0$ , а навантаження – відповідним скалярним параметром  $q \geq 0$ , то відношення  $T_B$  матиме вигляд:

$$T_B = t_c \left( \frac{r}{q} \right)^m,$$

де  $t_c$  – стала величина, що має розмірність часу або ж напрацювання;

$m$  – позитивний показник.

Значення  $t_c$  та  $m$  відбирають відповідно з ресурсними дослідженнями.

Для визначення зношування безрозмірну величину:

$$V_2 = \frac{h - h_0}{G},$$

де  $h = h(t)$  – сумарний зазор у вузлі тертя;

$h_0, G$  – вихідний та номінальний зазори,

поєднаємо з інтенсивністю зношування контактуючих поверхонь [3; 4].

Прийmemo за інтенсивність зношування  $I_i$  об'єм матеріалу, винесеного з одиниці площі контактуючої поверхні на одиницю відносного шляху, тобто

$$I_i = \frac{dV_D}{dS_D dl_D} = \frac{dh_D}{dt_D}.$$

Тоді за час контакту  $\Delta t$  приймаємо зміну розміру деталі як

$$\Delta h_D = \int_{\Delta t}^D I_i dl,$$

де  $\Delta \ell$  – шлях тертя за час контакту.

Сумарний зазор у результаті зношування за час  $\Delta t$  збільшується на

$$\Delta h = \Sigma \Delta h_D.$$

Кінетичне рівняння для величини  $V_2$  має вигляд:

$$\frac{dV_2}{dt} \equiv \frac{\Delta h}{G \Delta t}. \quad (4)$$

Для визначення інтенсивності зношування використовуємо напівемпіричний вираз:

$$I_i = K \left( \frac{q}{q_0} \right)^{m_1 - m_2 V^2} V,$$

де  $K, m_1, m_2$  – емпіричні константи;

$q_0$  – параметр, що характеризує поверхневу міцність;

$V$  – швидкість.

Величини  $K, m_1, m_2$  для кожної деталі вузла тертя визначаються за результатами ресурсних досліджень.

Тоді  $V_3$  задовольняє рівняння

$$\frac{dV_3}{dt} \equiv a \frac{t_q}{t_{q_0}} \frac{dV(t)}{dt}. \quad (5)$$

Таким чином, у рамках прийнятих допущень, векторне рівняння (1) є системою рівнянь (3), (4), (5). Ці залежності мають емпіричні константи  $t_c, r, m, K, m_1, m_2$ , що визначаються обробкою результатів ресурсних досліджень [5; 6].

## Висновки

Розрахунок показників довговічності вузла тертя проводять відповідно до алгоритму:

– задаються розміри контактуючих деталей вузла тертя, номінальний та вихідний зазори;

– задаються характеристики матеріалів покриття, що визначають вибір емпіричних констант;

– задаються режими експлуатації  $q(t), V(t), tq$ ;

– розв'язуються рівняння (3), (4), (5) та визначаються характеристики  $V_1(t), V_2(t), V_3(t)$ ;

– задаються допустимі з заданою довірчою ймовірністю значення величин  $V_{1m}, V_{2m}, V_{3m}$ , контур області допустимих станів  $\Gamma$ ;

– вираховується функція безвідмовності за формулою (2).

## Література

1. Селиванов А.И. Основы теории старения машин / А.И. Селиванов. – М.: Машиностроение, 1971. – 408 с.

2. Щипачев А.М. Определение усталостной долговечности с учетом структурных параметров материала и качества поверхностного слоя / А.М. Щипачев, Р.В. Ромашов // сб. науч. тр. – Орск: ОГУ, 2001. – Вып. 4. – С. 32–36.

3. Когаев В.П. Прочность и износостойкость деталей машин: учеб. пособие / В.П. Когаев. – М.: Высш. шк., 1991. – 319 с.

4. Горский С.В. Циклические кривые деформирования конструкционных материалов при повышенных температурах / С.В. Горский, К.М. Кононов // Прочность машин и аппаратов при переменных нагрузениях: сб. науч. тр. – Челябинск: ЧГТУ, 2001. – С. 48–54.

5. Комаровский А.А. Прогнозирование остаточного ресурса и долговечности / А.А. Комаровский // Тяжелое машиностроение. – 2000. – №12. – С. 16–20.

6. Михлин В.М. Ресурсосберегающий метод определения допустимых износ, изменений параметров при техническом обслуживании и ремонте машин / В.М. Михлин, А.Г. Дарер // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2007. – №1. – С. 18–22.

Стаття надійшла до редакції 18.05.2011.