

УДК 631.362: 629.113

О. Жулай

Кіровоградський національний технічний університет

ФУНКЦІЇ ЗМІНИ ТА ОБЛАСТЬ РОЗПОДІЛУ ГРАНИЧНИХ ЗНАЧЕНЬ ДІАГНОСТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ СИЛОВИХ АГРЕГАТІВ МОБІЛЬНОЇ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ

За діагностичною інформацією показано ймовірнісну природу технічного стану мобільної сільськогосподарської техніки та встановлено закономірності його зміни. Запропоновано диференціальне рівняння зміни технічного стану, диференціальну та інтегральну функції розподілу тривалості експлуатації машин до відмови.

О. Zhulai

FUNCTIONS OF CHANGE AND OF DIVISION OF MAXIMUM VALUES OF DIAGNOSTIC PARAMETERS OF THE TECHNICAL STATE OF POWER AGGREGATES OF MOBILE AGRICULTURAL TECHNIQUE

On diagnostic information probabilistic nature of the technical state of mobile agricultural technique is rosined and set conformities to the law of his change. Differential equalization of change of the technical state is offered, differential and integral to the function of division of duration of exploitation of machines to the refusal.

Умовні позначення

- D_i - значення діагностичного параметра отриманого i -м діагностичним методом;
- D_{oi} - значення діагностичного параметра, отриманого i -м діагностичним методом у початковий момент дослідження технічного стану;
- $T_{\text{гп}}$ - граничний період напрацювання об'єкта за діагностичною інформацією;
- $\alpha_1, \alpha_{\text{гп}}$ - відповідно параметр зміни технічного стану за перший і граничний періоди напрацювання;
- $D_{\text{гп}i}$ - граничні значення діагностичного параметра;
- D_i, D_o - відповідно вектори технічних станів для визначеного і початкового моментів напрацювання за діагностичною інформацією;
- α_i - параметр зміни технічного стану за напрацювання t_i ;
- t - напрацювання деталей та їх сполучень;
- a - середня швидкість зміни визначального параметра (коефіцієнт зносу);
- $D=D(t)$ - визначальний діагностичний параметр (діагностичний вектор) технічного стану;
- b - коефіцієнт потоку ймовірностей технічного стану;
- b^2 - середня швидкість зміни дисперсії визначального діагностичного параметра (діагностичного вектора);
- V - коефіцієнт варіації процесу зміни технічного стану;
- $\mu = 1/a$ - масштабний параметр розподілу;
- V_i - коефіцієнт варіації напрацювання до відмови - параметр форми розподілу;
- T_o - математичне сподівання напрацювання до відмови;
- μ - параметр масштабу розподілу відмов;
- $\Phi(z)$ - табличний інтеграл ймовірності (функції Лапласа).

Виходячи з дійсної картини розвитку фірмового сервісу на Україні, просто нересально забезпечити своєчасне і якісне технічне обслуговування та ремонт мобільної сільськогосподарської техніки (МСГТ), що, в свою чергу зумовлює значні трудові, матеріальні та фінансові затрати. Ці обставини приводять до того, що технічні служби агропідприємств вимушені працювати в дуже жорстких обмеженнях - техніка повинна бути в працездатному стані, але при цьому затрати на підтримання її в такому стані й на заданому рівні надійності потрібно звести до мінімуму [1]. Особливо це стосується силових агрегатів, оскільки двигуни (в переважній більшості - дизелі) лімітують технічний стан машини в цілому. Вирішити цю проблему без застосування адаптивної системи технічного обслуговування і ремонту та сучасного діагностичного обладнання неможливо [2, 3].

Її розв'язок потребує нових закономірностей формування методів оцінки і прогнозування ресурсу силових агрегатів, які враховують індивідуальні особливості і зовнішні умови роботи конкретної машини природу та закономірності зміни її технічного стану.

Метою даної роботи є теоретичне обґрунтування імовірнісної природи технічного стану силових агрегатів та виявлення області розподілу граничних значень його діагностичних параметрів.

Оскільки 80...90% деталей МСГТ виходять із ладу через зношування, яке в своїй основі має імовірнісну природу, то можна вважати, що така узагальнена характеристика машин, як їх технічний стан, змінюється на основі закономірностей випадкових функцій сумарного спрацювання елементів машини як технічної системи [4].

Для одного об'єкту сукупність діагностичної інформації подається як вектор діагностичних параметрів, а для сукупності об'єктів - матриця діагностичних параметрів.

Вектор діагностичних параметрів одного об'єкта в певний момент часу має вигляд:

$$D = (D_1, D_2, \dots, D_i, D_{m-1}, D_m). \quad (1)$$

Матриця діагностичних параметрів сукупності однотипних об'єктів записується наступним чином:

$$D = \begin{pmatrix} 1D_{11}, \dots, 1D_{1m} \\ 2D_{21}, \dots, 2D_{2m} \\ \dots \dots, \dots \dots \\ nD_{n1}, \dots, nD_{nm} \end{pmatrix}. \quad (2)$$

Можна бачити, що певний діагностичний параметр є випадковою величиною, яка змінюється з терміном напрацювання технічного об'єкта, тобто сукупність діагностичних параметрів можна розглядати не тільки як сукупність реалізацій, а і як сукупність випадкових функцій, що змінюються з часом (рис. 1).

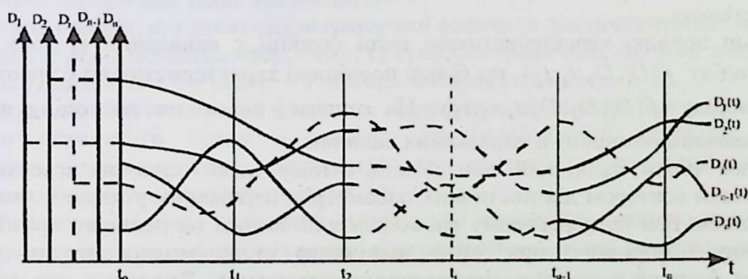


Рисунок 1 - Графічна інтерпретація випадкової функції діагностичного параметра сукупності однотипних об'єктів.

Якщо діагностувати сукупність однотипної техніки, то маємо функцію розподілу діагностичного параметра в певному часовому перерізі (рис. 2).

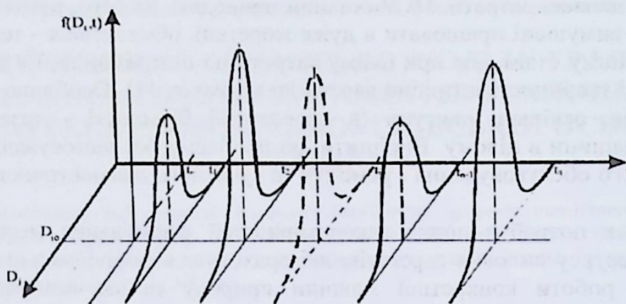


Рисунок 2 - Графічна інтерпретація випадкових функцій певного діагностичного параметра D_i сукупності однотипних об'єктів.

Якщо функція розподілу діагностичного параметру відома, то існує певний діапазон – "коридор" реалізації випадкової функції визначеного діагностичного параметру (рис. 3).

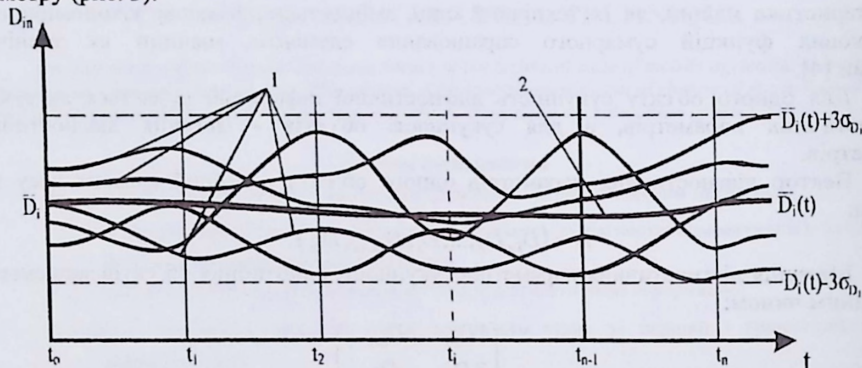


Рисунок 3 - Коридор реалізації випадкових функцій визначеного діагностичного параметра, розподілених нормально в часі: 1 – випадкові функції діагностичного параметра; 2 – усереднена функція діагностичного параметра.

Для нормального закону розподілу діапазон реалізації діагностичного параметра знаходиться в межах $(\bar{D}_i(t) - 3\sigma_{D_i}; \bar{D}_i(t) + 3\sigma_{D_i})$.

Щільність розподілу випадкової величини в n -му перерізі напрацювання є одномірним законом розподілу випадкової функції, отже, не є повною та вичерпною її характеристикою.

Більш повною характеристикою такої функції є складаний із двох перерізів закон розподілу $f(D_1, D_2, t_1, t_2)$, ще більш повнішою характеристикою є трьохвимірний закон розподілу $f(D_1, D_2, D_3, t_1, t_2, t_3)$. Це означає, що закон розподілу випадкової функції є законом розподілу n випадкових величин.

Таким чином, технічний стан об'єкта, в тому числі і силових агрегатів МСГТ, можна описати вектором діагностичних параметрів, отриманих у певний момент часу, та їх матрицею при безперервному спостереженні за ним на певному проміжку часу. Діагностичну інформацію при зміні технічного стану можна подати у вигляді випадкових функцій розподілу діагностичних параметрів. Виявлено, що для функції розподілу певного діагностичного параметра існує діапазон – "коридор" його реалізації.

Показано, що сукупність реалізацій діагностичної інформації про технічний стан силового агрегату МСГТ можна описати функцією зміни його діагностичних параметрів.

В процесі експлуатації технічний стан машини і її систем змінюється з певною швидкістю, що залежить як від внутрішніх факторів, і визначаються як специфікою конструктивних та технологічних характеристик машини, так і від зовнішніми факторів – умов експлуатації, системи технічних дій (ТО, ПР, КР).

Початковий технічний стан об'єкта за діагностичною інформацією визначається вектором:

$$D_o = (D_{o1}, D_{o2}, \dots, D_{oi}, \dots, D_{on}). \quad (3)$$

Відповідно до граничного стану, а отже, і граничного періоду напрацювання T_{zp} об'єкта за діагностичною інформацією, відповідає вектор:

$$D_{zp} = (D_{zp1}, D_{zp2}, \dots, D_{zpi}, \dots, D_{zpn}). \quad (4)$$

Цей факт можна охарактеризувати параметром зміни технічного стану α для i -го періоду напрацювання. За своїм змістом ця величина випадкова і характеризує зміну діагностичного параметра на одиницю напрацювання. Вона вимірюється в одиницях виміру параметра, поділену на одиницю напрацювання.

Аналогічно до (3) і (2), параметр технічного стану для певних моментів напрацювання також можна подати у вигляді векторів:

$$\alpha_1 = (\alpha_{11}, \alpha_{12}, \dots, \alpha_{1i}, \dots, \alpha_{1n}); \quad (5)$$

$$\alpha_{zp} = (\alpha_{zp1}, \alpha_{zp2}, \dots, \alpha_{zp3}, \dots, \alpha_{zpn}). \quad (6)$$

Процес зміни технічного стану об'єкта можна уявити як випадкові реалізації переходу визначальних діагностичних параметрів від початкових значень D_o до їх граничних значень D_{zp} .

Математико-статистична обробка на ПЕОМ бази даних, отриманої діагностичними методами, доводить, що зміну технічного стану можна описати закономірністю:

$$D_t = D_o \exp(-\alpha_i t). \quad (7)$$

Експоненціальний закон зміни величин діагностичних параметрів найбільш повно відображає характер зниження технічного стану об'єкта через визначену своєрідність складного комплексу процесів, що відповідають природному спрацюванню його деталей і вузлів.

Рівняння зміни технічного стану або умова відмови об'єкту матиме вигляд:

$$\lim_{D_i(t) \rightarrow D_{zp}(t)} \left(\frac{D_i(t)}{D_{zp}(t)} \right) = 1. \quad (8)$$

Зміні технічного стану МСГТ можна дати графічну інтерпретацію (рис. 4), про це свідчить функція зміни діагностичних параметрів – як сукупності реалізації діагностичної інформації технічного стану.

Можна бачити, що досягнення граничної величини діагностичними параметрами відбувається в різні моменти часу, отже, сукупність граничних значень діагностичних параметрів утворюють цілу область з певним законом розподілу.

Відомо, що коли перехід фізичних параметрів від одного значення до іншого (з одного технічного стану в інший) має імовірнісний характер, то зміна визначальних діагностичних параметрів у процесі експлуатації описується стохастичним марківським процесом [4, 5].

При цьому умовну щільність імовірності переходу з одного стану в інший $f(t, D)$ можна описати диференціальним рівнянням ймовірності у частинних похідних подібним до рівняння дифузії в теорії переносу речовин [6].

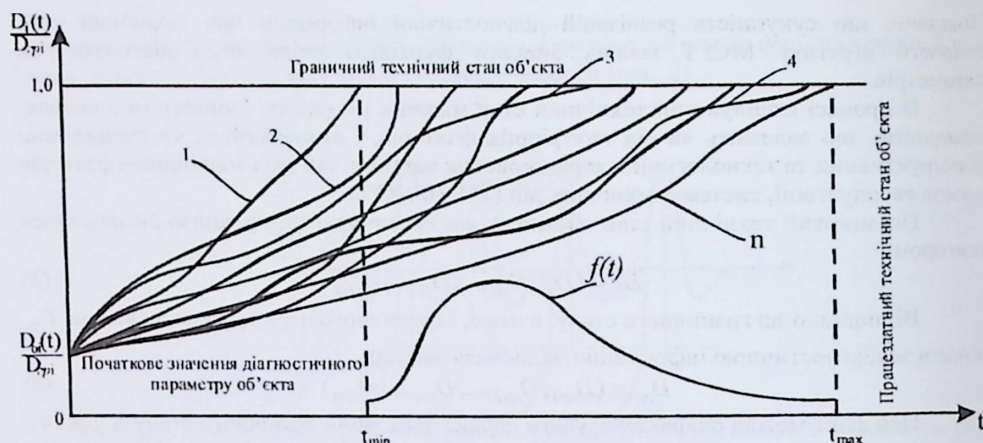


Рисунок 4 - Функції зміни діагностичних параметрів – як сукупність реалізації діагностичної інформації технічного стану: 1,2,...,n – криві, що характеризують зміну відповідного діагностичного параметра від їх значень у початковому і граничному станах; $f(t)$ – щільність розподілу граничних значень діагностичних параметрів.

Для діагностичної інформації про технічний стан об'єкта це рівняння матиме вигляд:

$$\frac{\partial \omega(t, D)}{\partial t} + a \frac{\partial \omega(t, D)}{\partial D} - b^2 \frac{\partial^2 \omega(t, D)}{\partial D^2}. \quad (9)$$

Рівняння (9) являє собою математичну модель зміни технічного стану об'єкта за визначальними діагностичними параметрами або *DN-модель*.

Умовна щільність $\omega(t, D)$ імовірності реалізації технічного стану має простий зв'язок зі щільністю розподілу напрацювання до відмови:

$$f(t) = - \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\partial \omega(t_0, D_0, t, D)}{\partial t} dD. \quad (10)$$

Вираз для закону розподілу тривалості експлуатації до відмови, тобто математична модель відмов має вигляд:

$$f(t) = \frac{1}{bt\sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{(1-at)^2}{2b^2t} \right]. \quad (11)$$

Цей розподіл одержав назву в науковій літературі як *DN-розподіл* або *дифузійний немонотонний розподіл*, через те, що він впливає з розв'язку рівняння потоку (дифузії) ймовірностей.

Коефіцієнт дифузії ймовірностей технічного стану b :

$$b = \frac{\sigma_a}{\sqrt{a}} = V\sqrt{a}. \quad (12)$$

З урахуванням співвідношення (12) в (11) маємо:

$$f(t) = \frac{\sqrt{\mu}}{V_t\sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{(\mu-t)^2}{2V_t^2\mu} \right]. \quad (13)$$

Математичне сподівання напрацювання до відмови має вигляд:

$$T_0 = \int_0^{\infty} t f(t) dt = \frac{\sqrt{\mu}}{V_t\sqrt{2\pi}} \exp(V_t^{-2}) \cdot \sqrt{\mu} \cdot V_t \sqrt{\frac{\pi}{2}} \exp(-V_t^{-2}) = \mu \quad (14)$$

Таким чином, у *DN-моделі* розподілу відмов параметр масштабу μ має фізичний зміст середнього напрацювання до відмови.

Диференціальна функція розподілу (13) при цьому відповідала наступній інтегральній функції розподілу:

$$F(t) = \Phi\left(\frac{t - \mu}{V_t \sqrt{\mu \cdot t}}\right) + \exp\left(\frac{2}{V_t^2}\right) \Phi\left(-\frac{t + \mu}{V_t \sqrt{\mu \cdot t}}\right), \quad (15)$$

де $\Phi(z)$ - табличний інтеграл ймовірності (функції Лапласа) виду:

$$\Phi(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^z \exp\left(-\frac{x^2}{2}\right) dx.$$

Отже DN -розподіл можна вважати як модель надійності МСГТ у більшості випадків. Фізичний зміст і адекватність цієї моделі зумовлюється взаємозалежністю її факторів.

Висновки:

1. Технічний стан силових агрегатів МСГТ визначається вектором діагностичних параметрів, отриманих у певний момент часу, та їх матрицею при безперервному спостереженні за ним на певному проміжку часу.

2. Діагностичну інформацію при зміні технічного стану можна подати у вигляді випадкових функцій розподілу діагностичних параметрів. Виявлено, що для функції розподілу певного діагностичного параметра існує діапазон - "коридор" його реалізації. Показано, що сукупність реалізацій діагностичної інформації про технічний стан силового агрегату МСГТ можна описати функцією зміни його діагностичних параметрів.

3. Отримано умову відмови технічного об'єкта при досягненні граничних значень діагностичних параметрів та математичну модель відмов. Наведено диференціальну та інтегральну форми закону розподілу напрацювання об'єктом до відмови.

Література

1. Анилович В.Я. и др. Эксплуатационная надежность сельскохозяйственных машин.- Минск: Ураджай, 1974.-274 с.
2. Козаченко О.В. Випробування сільськогосподарських машин і прогнозування їх технічного стану. // Вісник ХДТУСГ.- Вип.4.- 2000.- С.44-48.
3. Аулін В.В., Скобло Т.С., Жулай О.Ю., Солових Е.К., Лисенко С.В. Система трибомоніторингу технічного стану дизельного ДВЗ // Проблеми трибології (Problems of tribology).-Хмельницький: ХДУ, 2006. - №2. - С.63-79
4. Селиванов А.И., Артемьев Ю.Н. Теоретические основы ремонта и надежности сельскохозяйственной техники. - М.: Колос, 1978.-248 с.
5. Черепанов С.С. Техническое обслуживание и ремонт машин в сельском хозяйстве (основы научной организации).- М.: Колос, 1978.- 278 с.
6. Сухарев Э.А. Эксплуатационная надежность машин: теория, методология, моделирование. - Ровно: НУВХП, 2006. - 192 с.

Одержано 26.01.2007 р.