

ІМОВІРНІСТЬ БЕЗВІДМОВНОЇ РОБОТИ ГІДРОПРИВОДУ ЕКСКАВАТОРА ЯК СКЛАДНОЇ ТЕХНІЧНОЇ СИСТЕМИ

Гідропривод одноковшевого екскаватора як будь-яка складна технічна система характеризується множиною ймовірних станів працездатності $S\{x\}$, обумовлених станом працездатності кінцевої кількості його елементів та умовами збереження заданого рівня ефективності функціонування.

В разі відмови елементів або порушення умов збереження ефективності ГП переходить з одного стану множини $S\{x\}$ в інший стан тієї ж множини. Так, якщо кожний елемент або умова може знаходитися у двох станах (працездатний або непрацездатний) і ГП складається з N елементів (умов), то множина $S\{x\}$ складається з 2^N різноманітних несумісних станів. Кожній точці простору $S\{x\}$ можна поставити у відповідність певний рівень W працездатності ГП.

Вважаємо, що ГП працездатний (безвідмовний), якщо рівень працездатності його елементів знаходиться у заданих межах, а рівень ефективності відповідає заданому, і навпаки, якщо значення хоча б одного параметра, який характеризує здатність ГП виконувати задані функції, виходять за встановлені межі, то ГП визнається непрацездатним.

Тоді точки простору $S\{x\}$ можна розділити на два множники, які не перетинаються: працездатних станів $S_1\{x\}$ і непрацездатних станів $S_2\{x\}$, котрі повинні відповідати умовам:

$$S_1\{x\} + S_2\{x\} = S\{x\}, \quad (1)$$

$$S_1\{x\} \cdot S_2\{x\} = 0; \quad (2)$$

Якщо гідропривод працездатний, то він знаходиться в одному зі станів x_j , визначених співвідношенням:

$$x_j \in S_1\{x\}; \quad (3)$$

і якщо гідропривод знаходиться в стані:

$$x_j \in S_2\{x\}; \quad (4)$$

то він втратив працездатність.

Таким чином, подія A , яка полягає у безвідмовній роботі ГП, є складною подією і може бути визначеною як сума елементарних подій A_j :

$$A = \sum_{j=1}^N A_j, \quad (5)$$

де A_j - подія, яка полягає в тому, що складові, які забезпечують надійність ГП, знаходяться в стані $x_j \in S_1\{x\}$; N - число точок множини $S_1\{x\}$, тобто число працездатних станів.

Оскільки вираз (5) описує працездатність стану системи у формі подій, його можна прийняти за основний аналітичний запис структурної схеми надійності (ССН) гідроприводу.

Для ГП як для системи з послідовним з'єднанням його елементів (агрегатів, складових частин) аналітичну форму ССН можна представити у вигляді добутку подій:

$$A = \prod_{j=1}^N A_j, \quad (6)$$

де A - подія, яка означає безвідмовне функціонування ГП в процесі виконання поставленої



задачі; A_j - імовірність безвідмовного функціонування j -го елементу ГП та імовірність збереження заданого рівня ефективності, N - число складових елементів, з'єднаних послідовно, або умов роботоздатності.

Застосувавши до (6) правила визначення ймовірності добутку випадкових подій, запишемо в загальному вигляді:

$$P(A) = P(A_1) \prod_{j=2}^N P(A_j / A_1 A_2 \dots A_{j-1}), \quad (7)$$

де $P(A)$ - імовірність безвідмовного функціонування ГП при виконанні поставленої задачі та заданому рівні ефективності;

$P(A_j)$ - імовірність безвідмовного функціонування елементу ГП або ймовірність збереження умови роботоздатності при виконанні поставленої задачі;

$P(A_j / A_1 A_2 \dots A_{j-1})$ - умовна імовірність збереження j -ої умови роботоздатності або безвідмовного функціонування j -го елементу, яка вираховується при умові безвідмовного функціонування всіх елементів від першого до j -го, з'єднаних послідовно, та збереження всіх умов роботоздатності

Формулу (7) в розгорнутому вигляді можна записати так:

$$P(A) = P(A_1) \cdot P(A_2 / A_1) \cdot P(A_3 / A_1 A_2) \dots P(A_j / A_1 A_2 \dots A_{j-1}) \dots P(A_N / A_1 A_2 \dots A_{N-1}) \quad (8)$$

Формула (8) дозволяє враховувати не тільки безвідмовність функціонування елементів системи та умови збереження заданого рівня ефективності гідроприводу, але й наявність взаємозв'язків між ними.

Кількісною характеристикою лінійного зв'язку між подіями \bar{A}_i та \bar{A}_j є коефіцієнт кореляції:

$$\rho(\bar{A}_i, \bar{A}_j) = \frac{P(\bar{A}_i \bar{A}_j) - P(\bar{A}_i) \cdot P(\bar{A}_j)}{\sqrt{P(\bar{A}_i) \cdot P(\bar{A}_i) \cdot P(\bar{A}_j) \cdot P(\bar{A}_j)}}, \quad (9)$$

де $P(\bar{A}_i \bar{A}_j)$ - імовірність добутку подій \bar{A}_i та \bar{A}_j ;

$P(\bar{A}_i)$ та $P(\bar{A}_j)$ - імовірність подій \bar{A}_i та \bar{A}_j ;

$(P(A_i)$ та $P(A_j)$ - імовірність подій A_i та A_j , протилежних подіям \bar{A}_i та \bar{A}_j).

У формулі (9) події A_i та A_j означають безвідмовне функціонування i -го та j -го елементів (збереження умов роботоздатності), \bar{A}_i та \bar{A}_j - відмови i -го та j -го елементів (порушення умов роботоздатності).

Значення коефіцієнта кореляції $\rho(\bar{A}_i \bar{A}_j)$ знаходиться в межах:

$$-1 \leq \rho(\bar{A}_i \bar{A}_j) \leq 1 \quad (10)$$

або

$$0 \leq |\rho(\bar{A}_i \bar{A}_j)| \leq 1 \quad (11)$$

При $\rho(\bar{A}_i \bar{A}_j) = 1$ відмови елементів ГП (або умови) повністю залежні (лінійно), при $\rho(\bar{A}_i \bar{A}_j) = 0$ відмови елементів ГП (або умови) повністю незалежні.

При незалежних відмовах елементів ГП для всіх пар елементів $\rho(\bar{A}_i \bar{A}_j) = 0$, і формула (8) приймає вигляд:

$$P(A) = P(A_1) P(A_2) \dots P(A_j) \dots P(A_N) \quad (12)$$

або

$$P(A) = \prod_{j=1}^N P(A_j). \quad (13)$$

де $P(A)$ - імовірність безвідмовного функціонування ГП при виконанні поставленої задачі;

$P(A_j)$ - імовірність безвідмовної роботи j -го елемента ГП ($j = \overline{1, N}$).

Якщо відмови всіх N елементів ГП залежні повністю, то $\rho(\overline{A_i}, \overline{A_j}) = 1$, і імовірність безвідмовної роботи ГП залежить від імовірності $P(A_j)_{\min}$ безвідмовної роботи її найменш надійного елемента (модель "слабкої ланки"). В цьому випадку формула (8) має вигляд:

$$P(A) = P(A_j)_{\min} \quad (14)$$

Оскільки, в дійсності, реальних гідроприводів, в яких відмови елементів повністю залежні, або повністю незалежні, немає, то формули (13) та (14) не відображають структурної надійності реальних ГП.

В дійсності ймовірність безвідмовної роботи ГП $P(A)$ знаходиться в інтервалі:

$$\prod_{j=1}^N P(A_j) < P(A) < P(A_j)_{\min} . \quad (15)$$

Для зменшення невизначеності в кількісній оцінці $P(A)$ необхідно отримати інформацію щодо кореляції відмов, тобто про коефіцієнт кореляції відмов. Складність визначення коефіцієнта парної (9) або множинної кореляції відмов елементів ГП полягає у вирахуванні ймовірності добутку подій:

$$P(\overline{A_i}, \overline{A_j}) = P(\overline{A_i})P(\overline{A_j}/\overline{A_i}) = P(\overline{A_j})P(\overline{A_i}/\overline{A_j}). \quad (16)$$

Крім того, в теорії надійності відсутні методи визначення умовних ймовірностей $P(\overline{A_i}/\overline{A_j})$ та $P(\overline{A_j}/\overline{A_i})$. Іноді, для того, щоб уникнути розрахункових проблем, безпідставно вважають, що з достатньою для практики точністю можна використовувати модель незалежності відмов. Але застосування моделі (13) при оцінці показників надійності таких складних систем як гідропривід ОЕ, а особливо тоді, коли умовами збереження роботоздатності прийняті задані рівні ефективності його функціонування, може привести до великих похибок. Вихід із цього положення можна знайти, використовуючи методи статистичного, імітаційного моделювання на основі імовірнісно-фізичних та імовірнісно-статистичних моделей надійності з урахуванням мінливої структури при функціонуванні гідроприводу, зв'язків між елементами та умовами роботоздатності, процесів формування відмов в залежності від заданих умов роботоздатності та рівня ефективності.