

ДІАГНОСТУВАННЯ МОДУЛЯ ТРАНСПОРТУ ЛИВАРНИХ АВТОМАТИЧНИХ ЛІНІЙ

© Долішній Б. С., 1999

Івано-Франківський державний технічний університет нафти і газу

Розглядається діагностична модель стану модуля транспорту автоматичних ливарних ліній, на основі якої побудована система діагностування.

Модуль транспорту (МТ) є одним з найважливіших складових елементів ливарних автоматичних ліній (ЛАЛ), який зв'язує окремі модулі ЛАЛ в єдину систему. Його технічний стан визначає надійність роботи всієї ЛАЛ. Виходячи з цього питання розробки методів і засобів діагностування стану МТ має особливо важливе значення.

Одним із методів робочого діагностування дискретних систем, до яких можна віднести ЛАЛ, є метод діагностування за алгоритмом функціонування, який включає діагностування: по тривалості операції, часу виконання операцій та послідовності і часу виконання операцій. При використанні як діагностичної ознаки тривалості циклу переміщення опок необхідно встановити її залежність від величини зношення роликів рольгангу. В зв'язку з цим необхідно провести дослідження по виявленню закономірностей їх зносу, обумовленого роботою МТ.

При роботі рольгангу відбувається зношення його роликів. При цьому виділяють два процеси зношення:

послідовне зношення роликів під час переміщення опок по рольгангу;

зношення окремих роликів внаслідок прискорення руху опоки після випадкових тимчасових їх затримок.

Ці процеси зумовлюють нерівномірне зношення окремих роликів, що дає підставу прийняти зміну радіуса ролика як ймовірнісну величину, що підлягає деякому розподілу.

Для визначення загальних законів зношення роликів був проведений імітаційний експеримент на ЕОМ. За основу математичної моделі процесу зношення роликів була прийнята така модель [1]:

$$\frac{dR}{dt} = -\frac{K_p^p mgn}{n_p h} \cdot \left[K_{\text{коз}} - \frac{V_e}{2\pi R n} \cdot K \right], R(0) = R_0, \quad (1)$$

де R - поточне значення радіуса роликів, R_0 - початкове значення радіуса роликів, K_p^p - коефіцієнт руйнування матеріалу роликів, m - маса

вантажу, g - сила земного тяжіння, n - частота обертання роликів, n_p - кількість роликів контактуючих з вантажем, h - ширина вантажу, $K_{\text{коз}}$ - коефіцієнт тертя ковзання, V_e - швидкість пересування вантажу, $K = K_{\text{коз}} - K_{\text{коч}}$, $K_{\text{коч}}$ - коефіцієнт тертя кочення.

Як модель руху опоки по рольгангу було використано диференційне рівняння виду

$$\frac{d^2x}{dt^2} = Kg \left(\frac{V_{p1} + V_{p2}}{V} - \frac{2}{V} \frac{dx}{dt} \right),$$

$$\frac{dx}{dt}(0) = V_0, \quad x(0) = 0, \quad (2)$$

де V_{p1} , V_{p2} - лінійні швидкості обертання першого і другого ролика відповідно, V_0 - початкова швидкість вантажу, V - нормуючий множник $V = \max(V_{p1}, V_{p2})$.

Імітаційне моделювання проводилося по плану факторного експерименту 2^3 , де як фактори впливу на зношення було прийнято комплексний коефіцієнт

$$M = \frac{K_p^p mgn}{n_p h}, \quad \text{початкові значення середнього}$$

радіусу роликів \bar{R}_0 і його середньоквадратичного відхилення $S(R_0)$. На рис. 1 подано декілька реалізацій імітаційного експерименту для відношення середніх радіусів, а на рис. 2 для відношення середньоквадратичних відхилень.

Результати імітаційного моделювання показали наступне.

1. Незалежно від початкового розподілу радіуса роликів внаслідок їх зношення після зупинок опок функція розподілу радіусів роликів швидко наближається до нормальної. При цьому зміни її параметрів (середнього і середньоквадратичного відхилення) можна подати у вигляді таких формул:

$$\Delta \bar{R} = \frac{\delta}{N_p}, \quad \Delta S(R) = 2\bar{R} \frac{\delta}{N_p}, \quad (3)$$

де δ - зменшення радіуса ролика при одному акті затримки, N_p - кількість роликів рольгангу.

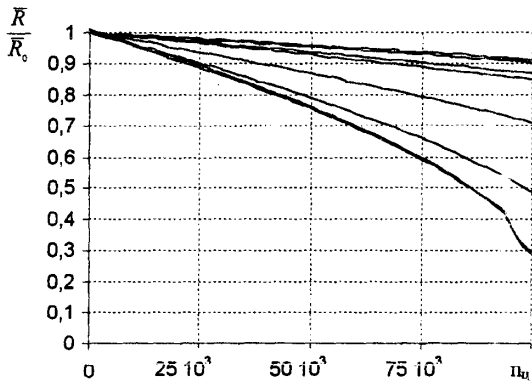


Рис. 1. Залежність відношення середніх радіусів $\frac{\bar{R}}{\bar{R}_0}$ роликів рольгангу від кількості його робочих циклів $n_{\text{ц}}$.

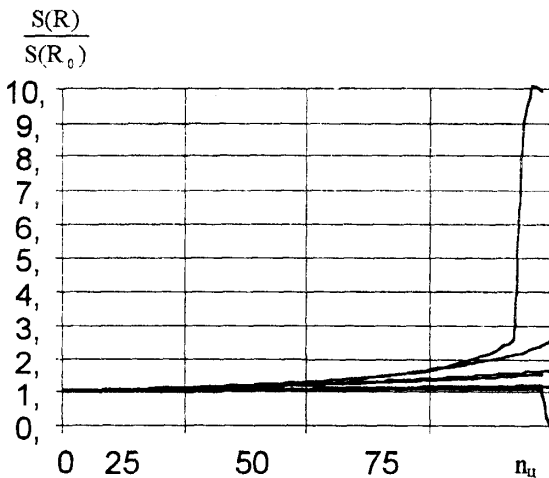


Рис. 2. Залежність відношення дисперсії радіусів $\frac{S(R)}{S(R_0)}$ роликів рольгангу від кількості його робочих циклів $n_{\text{ц}}$.

2. При роботі рольганга без зупинок функція розподілу не змінюється а змінюються тільки її параметри — середнє \bar{R}_0 і дисперсія $S^2(R_0)$. При малих змінах радіуса $\left(\frac{\bar{R}}{\bar{R}_0} \geq 0.9\right)$, що характерно для реальних умов роботи рольгангу, середній радіус розмірів роликів може бути з достатньою точністю описаний такою лінійною моделлю:

$$\frac{\bar{R}}{\bar{R}_0} = 1 - b_{cp} \cdot n_{\text{ц}}, \quad (4)$$

де \bar{R} - середній розмір роликів, \bar{R}_0 - середній початковий радіус роликів, $n_{\text{ц}}$ - кількість циклів, b_{cp} - коефіцієнт зменшення середнього радіуса роликів.

На відміну від середнього розміру роликів, яке зменшується під час роботи рольгангу, середньоквадратичне відхилення зростає і його зростання має експоненційний характер. Аналогічно, як для випадку середнього при малих змінах розмірів роликів, залежність відношення середньоквадратичних відхилень розмірів роликів по рольгангу з достатньою точністю може бути описана такою лінійною моделлю:

$$\frac{S(R)}{S(R_0)} = 1 + b_{\sigma} \cdot n_{\text{ц}}, \quad (5)$$

де $S(R)$ -середньоквадратичне відхилення радіусу роликів, $S(R_0)$ -початкове середньоквадратичне відхилення, b_{σ} - коефіцієнт зміни, $n_{\text{ц}}$ -кількість циклів.

З врахуванням випадкових затримок на рольгангу тривалість робочого циклу буде такою:

$$\tau = \tau_p + \tau_z, \quad (6)$$

де τ_p - час переміщення опоки по рольгангу, τ_z - час затримки опок.

Час переміщення опоки по рольгангу τ_p безпосередньо пов'язаний із середнім радіусом ролика таким співвідношенням [1]:

$$\tau_p = \frac{L}{2\pi\bar{R}n}, \quad (7)$$

де L - довжина рольгангу.

Так як τ_z є випадковою величиною, то і також буде випадковою величиною, яка може бути подана такою функцією розподілу [1]:

$$f(\tau) = \begin{cases} \lambda \cdot e^{-\lambda(\tau-\tau_p)}, & \tau \geq \tau_p \\ 0 & \end{cases} \quad (8)$$

На переміщення однієї опоки по рольгангу витрачається робота:

$$A_1 = mgK_{\text{ков}}L. \quad (9)$$

Виходячи з теорії черг [2] кількість опок на рольгангу $\bar{N}_{\text{он}}$ може бути подана такою формулою:

$$\bar{N}_{\text{он}} = \frac{\mu_{\text{ex}} \cdot (1 + \lambda\tau_p)}{1 - \mu_{\text{ex}} \cdot (1 + \lambda\tau_p)}, \quad (10)$$

де μ_{ex} - інтенсивність подачі опок на рольганг.

Враховуючи (9) і (10) робота по переміщенню опок становить:

$$\bar{A} = A_1 \cdot \bar{N}_{\text{он}}. \quad (11)$$

При русі опоки по роликах різного радіусу, крім переміщення по горизонталі, відбувається вертикальне переміщення при переході з ролика одного радіуса на ролик іншого радіуса. Для визначення роботи вертикального переміщення пропонується така формула:

$$\bar{A}_{np} = m \cdot g \cdot \int_0^{\infty} f(z) \cdot z dz = mg \frac{S(R)}{\sqrt{\pi}}, \quad (12)$$

де $f(z)$ - функція розподілу різниць радіусів роликів

$$z, f(z) = \frac{e^{-\left(\frac{1}{4}z^2\right)} \cdot S(R)}{2 \cdot \sqrt{\pi}}.$$

Таким чином навантаження (робота по переміщенню опоки) на привід рольганга (електродвигун, трансмісія, передаточні зірочки) залежить від середнього радіуса ролика (опосередковано через τ_p) і безпосередньо від дисперсії.

При переміщенні опоки по роликах різного радіусу виникають ударні (вібраційні) навантаження на елементи рольгангу, зумовлені явищем "утикання" при переході опоки з ролика меншого радіуса на ролик більшого радіуса і "падіння" опоки на ролик при переході опоки з ролика більшого радіуса на ролик меншого радіуса. Середнє значення сили \bar{F}_y , яка виникає при "утиканні", пропорційна зміні кількості руху опоки, а саме:

$$\bar{F}_y = k_y \cdot 2\pi \cdot \bar{R} \cdot n \cdot m \cdot \frac{S(R)}{\sqrt{\pi}}, \quad (13)$$

де k_y - коефіцієнт пропорційності.

Середнє значення сили \bar{F}_n , що виникає при "падінні", пропорційна різниці потенційних енергій пов'язаних з радіусами роликів. Таким чином:

$$\bar{F}_n = k_n \frac{m \cdot g \cdot S(R)}{\sqrt{\pi}}, \quad (14)$$

де k_n - коефіцієнт пропорційності.

Таким чином навантаження на рольганг (осі роликів, підшипники, фрикціони) залежить від дисперсії радіусів роликів.

Згідно принципу накопичення навантажень інтенсивність відмов приводу λ_{np} і рольгангу λ_p пропорційна відповідним нагромадженням навантажень:

$$\lambda_{np}(t) = k_{np} \cdot \int_0^t (\bar{A}_{np} + \bar{A}_e) dt,$$

$$\lambda_p(t) = k_p \cdot \int_0^t (\bar{F}_y + \bar{F}_n) dt. \quad (15)$$

Проаналізуємо, як розглянуті фактори впливають на зміну основного показника, що визначає ефективність функціонування ЛАЛ - продуктивність.

Продуктивність в загальному визначається за формулою [3]:

$$П = K_e \Pi_{\tau}, \quad (16)$$

де K_e - коефіцієнт використання, Π_{τ} - циклова продуктивність.

Під цикловою продуктивністю розуміється кількість опок, які транспортуються рольгангом за одиницю часу, а саме:

$$\Pi_{\tau} = \frac{T}{\tau}, \quad (17)$$

де T - облікова одиниця часу (година, зміна, доба, місяць і т. і.).

Коефіцієнт використання визначається за формулою:

$$K_e = 1 - \frac{t_{np}}{T} = 1 - \frac{t_{np,прив} + t_{np,рол}}{T}, \quad (18)$$

де t_{np} - сумарний час простоїв за технічними причинами, $t_{np,прив}$ - сумарний час простоїв по приводу рольганга, $t_{np,рол}$ - сумарний час простоїв по рольгангу.

Якщо $\lambda(t)$ - інтенсивність відмов, $t_{рем}$ - середній час відновлення роботоздатності рольгангу, то

$$t_{np} = \lambda(t) T t_{рем}. \quad (19)$$

Таким чином продуктивність рольгангу залежить від поточних значень радіуса ролика, що наочно видно з (рис. 3). Отже поточне значення радіуса \bar{R} безпосередньо зв'язане з тривалістю робочого циклу рольгангу (7), який приймається за діагностичну ознаку стану МТ. На рис. 3 поданий взаємозв'язок діагностичних ознак з радіусом роликів і факторів, які на нього впливають та продуктивністю ЛАЛ (в дужках вказані математичні співвідношення між факторами).

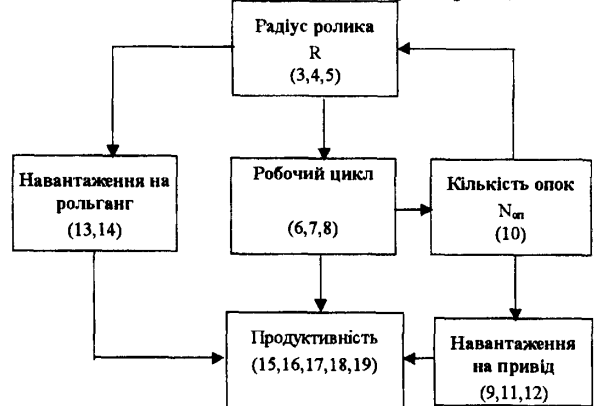


Рис. 3. Взаємозв'язок між факторами, які впливають на продуктивність ЛАЛ.

Однією з найбільш поширених задач, які вирішуються в процесі діагностування є контроль роботоздатності (запасу роботоздатності) і

прогнозування технічного стану.

Безпосереднє використання наведеної вище моделі дозволяє в будь-який момент часу визначити поточне значення \bar{R} і відповідне йому значення інтенсивності відказів, а значить визначити ймовірність відказу на даний момент часу. Аналогічно, визначивши прогнозні значення радіусу роликів, можна визначити інтенсивності відказу як складових рольгангу, так і МТ ЛАЛ в цілому на будь-який період часу.

Контроль роботоздатності відбувається по наступній схемі. Встановимо деякий рівень ймовірності відказу P , якому відповідає критичне значення радіусу роликів $\bar{R}_{кр}$. Якщо умови роботи рольгангу не змінюються в часі, то величина $\bar{R}_{кр}$ є постійною (лінія 1 на рис. 4). Оскільки на інтенсивність відказів впливає не тільки середнє значення радіусів, а і їх дисперсія, а також ефекти затримок опок на рольгангу, лінія $\bar{R}_{кр}$ буде вигинатися в сторону збільшення значення $\bar{R}_{кр}$ за рахунок зростання навантаження (лінія 2 на рис.4). Тому запас роботоздатності буде зменшуватися швидше, ніж у першому випадку. В обох випадках запас роботоздатності визначається згідно такої формули [4]

$$\Delta R = |\bar{R} - \bar{R}_{кр}|,$$

а ступень роботоздатності відповідно

$$C = \frac{\Delta R}{\Delta R_c},$$

де ΔR_c - поточний запас роботоздатності, який розраховується з врахуванням всіх факторів, що впливають на стан рольгангу.

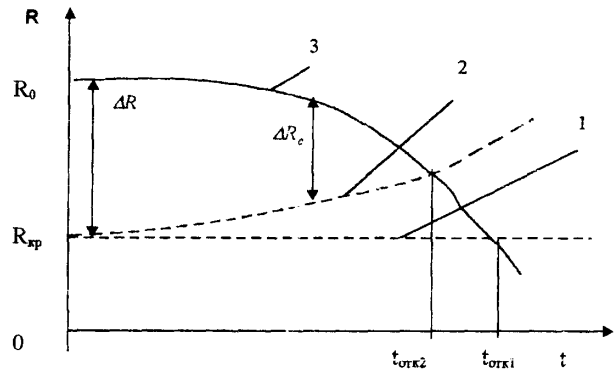


Рис. 4. Графік зміни роботоздатності МТ ЛАЛ.

Точки перетину ліній 1 і 2 з лінією поточного значення радіусу роликів (лінія 3) визначають час настання відмови ($t_{отк1}$, $t_{отк2}$). З рис.4 видно, що в другому випадку відмова настає раніше.

1. Долишній Б. С. Діагностика зносу роликів модуля рольгангового транспорту ливарно-автоматичних ліній // Методи і засоби технічної діагностики. Збірник праць міжнародної міжвузівської школи-семінару. Івано-Франківськ, ІФДТУНГ, 1999.- № 14. - С. 177-186. 2 Карманов В. Г. Математическое программирование.- М.: Наука, 1986. 3. Горский А. И. Расчет машин и механизмов автоматических линий литейного производства. -М.: Машиностроение, 1978. 4. Калявин В. П, Мозгалевский А. В, Галка В. Л. Надежность и техническая диагностика судового электрооборудования и автоматики: Учебник.-СПб.: Элмор, 1996.