

## ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ЧАСТОТНОГО ДІАПАЗОНУ ВІБРОАКУСТИЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ В СИСТЕМІ МОНІТОРИНГУ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ ОБ'ЄКТІВ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

© Марченко Д.М., Бойко А.В., Гелетій В.М., 2005

**Обґрунтовано вибір частотного діапазону системи моніторингу залізничного транспорту, оснований на застосуванні ймовірносно-статистичних методів.**

**In article is motivated the choice of frequency range of system of monitoring the rail-freight traffic founded on using is probabilistic-statistical methods.**

У зв'язку з довготривалою експлуатацією і зростаючою з кожним роком інтенсивністю відмов об'єктів залізничного транспорту, які пов'язані з утворенням у металі експлуатаційних дефектів у вигляді корозійного й ерозійного зносу стінок, розшарувань і тріщин, використання традиційних дискретних методів обстеження стає неефективним через їх велику трудомісткість і локальність.

Радикальним способом забезпечення необхідного рівня експлуатаційної надійності конструкцій є застосування системи безупинного спостереження (моніторингу) за технічним станом у процесі експлуатації на основі акустико-емісійного методу, методів неруйнівного контролю і методів експериментальної оцінки напружено-деформованого стану.

Широке впровадження систем технічної діагностики є одним з найважливіших факторів підвищення ефективності використання машин і технологічного устаткування, різкого скорочення витрат на їхні ремонт і експлуатацію. Особливого значення набувають системи технічної діагностики у залізничному транспорті через необхідність забезпечення необхідних параметрів надійності об'єктів, оптимізації системи їх планово-попереджувальних ремонтів або переходу на ремонт за фактичним станом об'єкта.

Варто підкреслити, що збитки від невикористано частих ремонтів вузлів і агрегатів локомотива з надлишковою трудомісткістю розбірно-складальних робіт настільки великі, що нагальною стала проблема переходу від планово-попереджувальної системи експлуатаційно-ремонтного обслуговування цих об'єктів до системи, основаної на результатах систематичної віброакустичної діагностики.

Нова технологія експлуатації покликана усунути раптові відмови, забезпечити достатню надійність устаткування й економію фінансових і матеріальних засобів. За цією технологією джерелом інформації про технічний стан агрегатів тягового приводу є параметри діагностичного сигналу, зміни властивостей якого корельовані зі змінами технічного стану, викликаного деградацією вузлів, зміною геометричних розмірів деталей, зносом. Одним з найбільш інформаційних діагностичних ознак є параметри віброакустичної емісії, яка генерується у процесі роботи механізму.

Рухи деталей, вузлів і агрегатів тягового рухомого складу (як і будь-якої машини) не довільні, а відбуваються визначеними траєкторіями і з визначеними швидкостями, обумовленими існуючими між деталями кінематичними зв'язками. В ідеальному випадку положення і швидкість будь-якої ланки механізму загалом визначають положення і швидкість обертання ведучої ланки. Такий механізм називають ідеальним. Різні дефекти виготовлення виявляють себе тим, що запроектовані зв'язки між ланками порушуються. Їхній рух відрізняється від заданого, що можна витлумачити як появу в ланках механізму додаткових ступенів вільності. Рух ланок у кінематичному ланцюзі маши-

ни за паразитними ступенями вільності, що виникає при зносі й інших несправностях, супроводжується їхніми зіткненнями, у результаті яких корпусом механізму поширюються пружні хвилі.

Більшість опублікованих досліджень, присвячених акустичним явищам у машинах, спрямовані на пошук шляхів зниження загального рівня потужності випромінюваного шуму. Що ж стосується віброакустичної діагностики (ВАД), то тут шум використовують як носій інформації про технічний стан агрегатів. Однією з переваг ВАД є те, що явища, що руйнують механізм, одночасно є джерелом діагностичного сигналу, тобто під час віброакустичної діагностики можна одержати інформацію про технічний стан машини.

Основні причини організації систем діагностичного моніторингу на залізничному транспорті:

- відсутність доступу й утруднений доступ до об'єкта;
- високі швидкості росту експлуатаційних дефектів у конструкції;
- катастрофічні наслідки від руйнування об'єкта.

Як базовий засіб виміру для моніторингу раціонально використовувати апаратно-програмні комплекси із збирання й оброблення вимірювальної інформації на базі персональних комп'ютерів, які надають широкі можливості для оброблення і збереження результатів, характеризуються багатофункціональністю, високою мобільністю та відносно низькою вартістю.

Розробка універсального алгоритму ідентифікації робочого стану системи на приналежність до аварійного чи нормального режиму, алгоритму перевірки системи на керованість і створення автоматичної системи моніторингу – актуальні, але далеко не вирішені науково-технічні задачі.

Передбачення стану аварії можливе тільки у випадку, якщо відомі закономірності динаміки зміни стану, що переходить з області нормального режиму роботи системи в аварійну. За ступенем наближення до того чи іншого стану можна ідентифікувати систему.

Дисипація енергії у відкритій нелінійній системі відбувається всередині якогось спектра частот.

Інтервал  $[a, b]$  з мінімальною відстанню  $(b - a)$ , що містить у собі  $p$ -% рівень випромінювання (наприклад,  $p = 95$  %), назвемо  $p$ -вікном  $[a, b]$ . Усередині цього частотного діапазону стану нормальної роботи відповідають схожі між собою розподіли енергії для цих частот.

Сукупність центрів ваг частотних діаграм утворюють кластери, характерні для нормального й аварійного режимів роботи системи.

Аналізом статистичної структури кластера можна знайти двовимірні закони усередині будь-якого кластера, сформулювати вирішальне правило ідентифікації приналежності досліджуваної системи до того чи іншого режиму.

Для задачі формування кластерів образів для “нормального” та “аварійного” режимів роботи системи розглянемо вектор спостережень  $\bar{x}(t) = \{x_1(t), x_2(t)\}$ , що підкоряється двовимірному нормальному закону:

$$\varphi(x) = \frac{1}{2\pi\sigma_1\sigma_2\sqrt{1-\rho^2}} \times \\ \times \left[ \frac{1}{2(1-\rho^2)} \left( \left( \frac{x_1 - m_1}{\sigma_1} \right)^2 - 2\rho \left( \frac{x_1 - m_1}{\sigma_1} \right) \left( \frac{x_2 - m_2}{\sigma_2} \right) + \left( \frac{x_2 - m_2}{\sigma_2} \right)^2 \right) \right],$$

де  $m_1, m_2$  – математичне очікування, а  $\sigma_1$  і  $\sigma_2$  – дисперсія.

Відомо, що густина невідродженого нормального закону розподілу зберігає нормальні значення на еліпсах вигляду:

$$\lambda^2 = \frac{1}{2(1-\rho^2)} \left( \left( \frac{x_1 - m_1}{\sigma_1} \right)^2 - 2\rho \left( \frac{x_1 - m_1}{\sigma_1} \right) \left( \frac{x_2 - m_2}{\sigma_2} \right) + \left( \frac{x_2 - m_2}{\sigma_2} \right)^2 \right),$$

де  $\lambda^2$  – еліпси ймовірності. Доведено, що ймовірність потрапляння вектора  $\bar{\xi}$  до такого еліпса дорівнює  $P = 1 - e^{-\frac{\lambda^2}{2}}$ .

Центри двох кластерів знайдемо як центри двох еліпсів. Точку торкання знаходимо з розв'язку системи двох рівнянь другого порядку.

Система, що визначає точку торкання еліпсів:

$$\begin{cases} 0 = F_1(x, y) \\ 0 = F_2(x, y) \end{cases}$$

Розв'язок системи однозначно визначає точку  $(x_0, y_0)$ .

$$\begin{cases} \frac{1}{(1-r^2)} \left( \left( \frac{x_0-a}{S_1} \right)^2 - 2r \left( \frac{x_0-a}{S_1} \right) \left( \frac{y_0-b}{S_2} \right) + \left( \frac{y_0-b}{S_2} \right)^2 \right) = \\ = \frac{1}{2(1-\rho^2)} \left( \left( \frac{x_0-\alpha}{\sigma_1} \right)^2 - 2\rho \left( \frac{x_0-\alpha}{\sigma_1} \right) \left( \frac{y_0-\beta}{\sigma_2} \right) + \left( \frac{y_0-\beta}{\sigma_2} \right)^2 \right) \\ \frac{\sigma_2 \cdot \rho \sigma_1 (y_0 - \beta) - \sigma_2 (x_0 - \alpha)}{\sigma_1 \cdot \sigma_1 (y_0 - \beta) - \rho \sigma_2 (x_0 - \alpha)} = \frac{S_2 \cdot r S_1 (y_0 - b) - S_2 (x_0 - a)}{S_1 \cdot S_1 (y_0 - b) - r S_2 (x_0 - a)} \end{cases}$$

Рівняння загальної дотичної до еліпсів запишемо у вигляді:  $F(x, y) = y - y_0 - k(x - x_0)$ . Ця функція є критеріальною під час перевірки на приналежність поточної точки до того чи іншого кластера.

Якщо  $F(x, y) \cdot F(a, b) > 0$ ,  $F(x, y) \cdot F(\alpha, \beta) < 0$ , то  $M \in K_1$ , де  $K_1$  – перший кластер. Якщо  $F(x, y) \cdot F(a, b) < 0$ ,  $F(x, y) \cdot F(\alpha, \beta) > 0$ , то  $M \in K_2$ , де  $K_2$  – другий кластер.

Значення границь вікна визначає, у якому діапазоні – акустичному чи електромагнітному – “знаходиться” система.

Вибір діапазону частот і створення банку даних нормального й аварійного режимів роботи системи, а також поповнення банку даних – основні завдання для вирішення науково-практичної задачі діагностики технічного стану системи в режимі реального часу.

1. Гнеденко Б.В., Беляев Ю.К., Соловьев Л.Д. Математические методы в теории надежности. – М.: Наука, 1965. – 478 с. 2. Пожидаев В.Ф. Прикладные задачи математической статистики. – Луганск: Изд-во ВУГУ, 1998. – 153 с. 3. Гнеденко Б.В. Математика и контроль качества продукции. – М.: Знание, 1978. – 265 с. 4. Кокс Д.Р., Смит В.Л. Теория восстановления. – М.: Советское радио, 1967. 637 с. 5. Гадасин В.А., Ушаков И.А. Надежность сложных информационно-управляемых систем. – М.: Советское радио, 1975. – 345 с. 6. Барзилович Е.Ю., Капитанов В.А. Некоторые математические вопросы теории обслуживания сложных систем. – М.: Советское радио, 1971. – 180 с.