

## **ФОРМУВАННЯ СЛОВНИКА ДІАГНОСТИЧНИХ ОЗНАК ПРИ ВІБРОАКУСТИЧНОМУ ДІАГНОСТУВАННІ ТРАКТОРІВ І АВТОМОБІЛІВ**

*Описано методика формування робочого словника діагностичних ознак для оцінки технічного стану вузлів і агрегатів при віброакустичному діагностуванні тракторів і автомобілів.*

Широке застосування систем діагностування, що забезпечують можливості пошуку несправностей механізмів і систем без їх розбирання, перехід від не ефективного планово-попереджувального ремонту до ремонту за фактичною необхідністю, оптимальне регулювання механізмів і прогнозування їх стану є важливим напрямком підвищення ефективності використання тракторів і автомобілів та інших технічних систем [1].

В даний час розробка процедур діагностування з метою визначення та прогнозування стану технічної системи найчастіше базується на інженерній інтуїції розробників продукції або практичному досвіді фахівців, що займаються її експлуатацією. Це не завжди дозволяє отримати оптимальні результати. Науковий підхід до розробки методів та систем діагностування більш опрацьований для виробів радіоелектронної промисловості, а проблемам діагностування механічних систем приділено менше уваги [2, 6].

При побудові систем діагностування виникає питання про розміри алфавіта класів станів діагностування  $W_i$  і словника діагностичних ознак  $u_j$ . Якщо зафіксувати розміри словника ознак, то розширення алфавіту класів приводить до зменшення достовірності діагностування. Розширення словника ознак, хоч і приводить до збільшення достовірності розпізнавання, але потребує збільшення затрат ресурсів на реалізацію системи.

Перелік класів розпізнавання станів визначається насамперед необхідною глибиною діагностування. Існує маса об'єктів, які потребують оцінки якості функціонування за принципом «добре-погано» («придатний-непридатний», «працездатний-непрацездатний», «справний-несправний» і т.п.). В цьому випадку добре працює метод дихотомії (поділ на два класи). Якщо ж необхідна глибина діагностування така, що потрібно виявити не тільки вихід з ладу кількох вузлів машини, але і вид, а також ступінь пошкодження кожного з них, завдання діагностування різко ускладнюється.

Завдання формування алфавіту класів розпізнавання станів, робочого словника діагностичних ознак і вирішальних правил класифікації взаємопов'язані, тому при виборі діагностичних ознак необхідно враховувати ряд вимог, що впливають із завдання оптимізації системи діагностування.

Раціональний вибір діагностичних ознак, тобто відповідним чином представлених характеристик коливальних процесів, чутливих до змін технічного стану об'єкта, значною мірою визначає успіх діагностування. Перш за все ознаки повинні бути однозначно пов'язані зі станом об'єкта і утворювати достатню систему для забезпечення достовірного діагнозу. Слід надавати перевагу ознакам з підвищеною чутливістю до розпізнавання дефектів, які дозволяють виявляти пошкодження машин на ранній стадії. Таким чином, ознаки повинні відповідати вимогам чутливості, інформативності, інваріантності до факторів, що заважають забезпечувати необхідну глибину і достовірність діагностування, не ускладнюючи її

процедуру і не збільшуючи вартість засобів діагностування. Така загальна постановка задачі [3, 4, 5, 7].

Очевидно, що найбільш корисними ознаками є ті, які інваріантні (нечутливі) до зміни всередині класу і різко змінюються при переході від одного класу до іншого.

У віброакустичному діагностуванні найбільш інформативними є такі характеристики, які мало змінюються від експерименту до експерименту при моделюванні одних і тих же параметрів технічного стану, тобто мають найменшу дисперсію за умови, що середні значення цих ознак для різних дефектних станів значно відрізняються один від одного.

Для виділення ознак, що володіють мінімальною дисперсією, будується кореляційна матриця ознак:

$$K = \begin{vmatrix} k_{11} & \dots & k_{1n} \\ \dots & \dots & \dots \\ k_{n1} & \dots & k_{nn} \end{vmatrix}, \quad (1)$$

в якій ступінь корелювання ознак визначається за формулою:

$$k_{ij} = \frac{\sum_{l=1}^q (u_{il} - MU_i)(u_{jl} - MU_j)}{q-1}, \quad (2)$$

де  $MU_i$  - оцінка математичного очікування ознаки  $u_i$ ;  $MU_j$  - оцінка математичного очікування ознаки  $u_j$ ;  $q$  - число повторних експериментів.

Якщо ознаки незалежні, тобто  $k_{ij} = k_{ji} = 0$  і їх кореляційна матриця діагональна, легко встановити, які ознаки мають максимальну дисперсію і отже, більшу інформативність. Корельовані ознаки і ознаки, котрі володіють великою дисперсією, можуть бути виключені, що спрощує діагностичне обладнання і знижує його вартість.

При використанні діагностичних ознак отриманих шляхом розкладання віброакустичного сигналу по системі ортогональних функцій, кореляційна матриця завідомо є діагональною.

Відносно інформативності ознак можна помітити наступне: якщо під інформативністю ознаки розуміти кількість інформації, яке система розпізнавання отримує при вимірюванні цієї ознаки:

$$J(u_j) = H_0 - H(u_j), \quad (3)$$

то послідовна оцінка інформативності  $J(u_1), J(u_2), \dots, J(u_n)$  дозволила б ранжувати ознаки за величиною інформативності, а потім виключити ті з них інформативність яких низька, і тим самим скласти робочий словник ознак, тобто мінімізувати опис об'єкта діагностування. У виразі (3) початкова ентропія системи:

$$H_0 = -\sum_{i=1}^m P(W_i) \ln P(W_i), \quad (4)$$

де  $m$  - кількість структурних параметрів;  $P(W_i)$  - апіорна ймовірність стану.

Ентропія після вимірювання ознаки  $u_j$ :

$$H(u_j) = -\sum_{i=1}^m P(W_i / u_j) \ln P(W_i / u_j), \quad (5)$$

$$P(W_i / u_j) = \frac{P(W_i) p_i(u_j)}{\sum_{i=1}^m P(W_i) p_i(u_j)}, \quad (6)$$

де  $P(W_i / u_j)$  - апостеріорна ймовірність віднесення стану розпізнавання об'єкта до класу  $W_i$ ;  $p_i(u_j)$  - умовна щільність розподілу ознаки  $u_j$  в  $W_i$ -му класі.

Одна з основних вимог до діагностичної ознаки - висока чутливість до зміни даного структурного параметра, тобто велика відносна швидкість його зміни від нормального стану механізму до дефектного:

$$J_j = (u_j^h - u_j^p) / u_j^p, \quad (7)$$

де  $u_j^h$  і  $u_j^p$  - значення діагностичних ознак при несправному і робочому станах механізму.

#### Список літературних джерел

1. Малкин В.С. Техническая диагностика / В.С. Малкин. – СПб: Издательство «Лань», 2013. – 272 с.
2. Ананьин А.Д. Диагностика и техническое обслуживание машин / А.Д. Ананьин, В.М. Михлин, И.И. Габитов. – М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 432 с.
3. Генкин М.Д. Виброакустическая диагностика машин и механизмов / М.Д. Генкин, А.Г. Соколова. – М.: Машиностроение, 1987. – 288 с.
4. Балицкий Ф.Я. Виброакустическая диагностика зарождающихся дефектов / Ф.Я. Балицкий, Н.А. Иванова, А.Г. Соколова, Е.М. Хомяков. - М: Наука, 1984. –120 с.
5. Костюков В.Н. Основы виброакустической диагностики и мониторинга машин / В.Н. Костюков, А.П. Науменко. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2011. – 360 с.
6. Зелінська О. В. Актуальні проблеми підвищення надійності та ефективності діагностування сільськогосподарської техніки / О. В. Зелінська, Р. Д. Іскович-Лотоцький, Н. Р. Веселовська // Збірник наукових праць, серія «Галузеве машинобудування, будівництво» – Полтава. – 2009. – Випуск 3(25), Том 2. – С. 91–94.
7. Абрамов И.Л. Вибродиагностика энергетического оборудования / И.Л. Абрамов. – Кемерово, 2011. – 80 с.

**Борисюк Дмитро Вікторович** – інженер кафедри автомобілів та транспортного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, e-mail: [bddv@mail.ru](mailto:bddv@mail.ru)