

ВИБІР ДІАГНОСТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ДЛЯ ЕКСПРЕС-ДІАГНОСТУВАННЯ ДИЗЕЛІВ

Кандидат технічних наук Жерновий А.С., кандидат технічних наук Климпуш О.Д., Колобов К.С.

Аналіз розробленої діагностичної логіко-ймовірнісної моделі дизеля дозволив обрати мінімальну кількість необхідних та достатніх діагностичних параметрів при перевірці його працездатності. Обрана сукупність діагностичних параметрів є основою алгоритму діагностування при контролі працездатності, а також, може бути застосована при пошуку відмов дизелів дорожніх транспортних засобів.

Analysis of the developed diagnostic logic-probabilistic models of diesel allowed to choose the minimum number necessary and sufficient diagnostic options when checking its performance. The selected set of diagnostic parameters of the algorithm is the basis of diagnosis at the control performance and may be used when searching for bounce diesel road vehicles.

Підтримка працездатного стану двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ) дорожніх транспортних засобів (ДТЗ) - одна з основних функціональних задач технічної експлуатації, для реалізації якої необхідна об'єктивна інформація про технічний стан ДВЗ. Таку інформацію з визначеною точністю забезпечує в процесі експлуатації технічне діагностування, починаючи з вибору мінімальної сукупності параметрів, необхідних та достатніх для визначення технічного стану двигунів ДТЗ, складання на їх основі раціональних алгоритмів контролю цих станів і пошуку відмовлень, а також прогнозування станів ДВЗ [1].

Основний інструмент досліджень ДВЗ ДТЗ, як об'єктів технічного діагностування, є моделювання [2, 3, 4], що надає можливість для експрес-діагностування спочатку вибрати мінімальну кількість необхідних та достатніх діагностичних параметрів при перевірці працездатності, а потім скласти раціональний алгоритм діагностування.

Дизелі ДТЗ можна представити як складні аналогові об'єкти, діагностування яких раціонально здійснювати під час функціонування (тільки при робочих впливах).

Основою для розробки процесів є математичні моделі об'єктів діагностування. До найбільш прийнятних і ефективних для опису складних аналогових об'єктів, якими є дизелі, відносяться двозначні логічні моделі [1, 2, 4]. Перевага їх у тому, що вони придатні для різних способів завдання об'єктів діагностування: у вигляді функціонально-логічних схем, матриць станів, систем рівнянь будь-якого виду та сукупностей причинно-наслідкових зв'язків.

Для визначення, у якому з безлічі можливих помітних станів знаходиться дизель, необхідно знати загальну кількість можливих станів його функціональних елементів (ФЕ). Аналіз конструкції та функціонування дизеля як складного аналогового об'єкта дозволяє представити його у вигляді функціональної схеми, а потім - у вигляді схеми функціонально-логічної моделі (ФЛМ) шляхом розбивки його систем і механізмів на функціональні блоки та елементи з зазначенням характеру зв'язків між ними (рис. 1). Так на схемі ФЛМ знаком z - позначені зовнішні впливи, а знаком y - вихідні сигнали.

В технічній діагностиці реально використовуються тільки два несумісних стани елементів - працездатний та відмова. У такому випадку можлива кількість станів системи, яка складається з N елементів, буде дорівнювати 2^N , із яких розпізнають один працездатний стан - S_0 та $2^N - 1$ станів відмов - S_i . Але розпізнати таку кількість станів під час діагностування складних систем практично неможливо.

Для зменшення кількості станів, що розпізнаються, а також щоб математична модель найбільш повно відповідала реальному стану дизеля в експлуатації і крім функціональних та логічних зв'язків враховувались імовірності станів його систем та механізмів необхідно здійснити в експлуатації емпіричні дослідження об'єкта діагностування з аналізом розподілу імовірностей можливих станів й закономірності виявлення відмов окремих елементів системи. Тільки при умовах, що потоки відмов елементів виявляться ординарними можна припустити, що кількість не працездатних станів визначається тільки кількістю елементів системи - N .

За результатами статистичних даних підконтрольної експлуатації дизелів Ярославського моторного заводу [5], встановлених на автомобілях МАЗ і КраЗ, здійснено дослідження їх систем та механізмів з аналізом розподілу імовірностей можливих станів і закономірності виявлених відмов.

Аналіз результатів підконтрольної експлуатації показав розподіл відмов механізмів і систем дизелів та встановив, що протягом усієї підконтрольної експлуатації надійність КШМ і системи живлення паливом безупинно знижується, а надійність ЦПГ підтримується практично на одному рівні, причому інтенсивність відмов залишається практично постійною протягом усього терміну експлуатації.

Враховуючи ординарність потоку відмов дизелів, можна припустити, що кількість непрацездатних станів визначається кількістю систем та механізмів - N , тобто кожен ФЕ може знаходитися в одному з двох несумісних видів технічного стану - працездатному і непрацездатному. А вихідні сигнали кожного ФЕ - це можливе число перевірок (діагностичних параметрів).

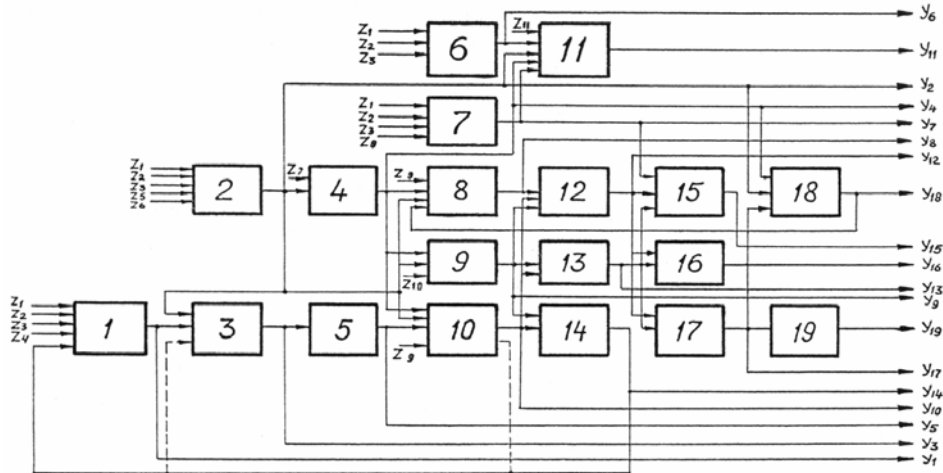


Рис. 1. Схема функціонально-логічної моделі дизеля: 1 - паливний бак; 2 - пусковий пристрій; 3 - паливопідкачувальний насос; 4 - система мащення; 5 - паливний фільтр; 6 - повітряний фільтр; 7 - система охолодження; 8,9, 10 - ФЕ ПНВТ; 11 - МГР; 12, 13, 14 - форсунки; 15,16,17 - ЦПГ; 18,19 - КШМ; z_1, z_2, z_3 - величина тиску, температури і вологості навколишнього середовища; z_4 - кількість палива; z_5, z_6 - величина напруги і струму акумулятора; z_7, z_8 - рівень оливи і охолодної рідини; z_9 - положення важеля керування паливом; z_{10} - кут випередження впорскування; z_{11} - зазор у МГР

Найменування ФЕ, їхні вихідні сигнали (Y) та ймовірності безвідмовної роботи (P), отримані в результаті обробки статистичної інформації, наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Найменування функціональних елементів дизеля, їхніх вихідних сигналів і ймовірності безвідмовної роботи

| №. | Найменування функціональних елементів | Вихідні сигнали | Ймовірність безвідмовної роботи |
|----|---------------------------------------|---------------------------------------------------|---------------------------------|
| 1 | Паливний бак | Розрядження на вході в паливопідкачувальний насос | 0,87 |
| 2 | Пусковий пристрій | Пускова частота обертання | 0,96 |
| 3 | Паливопідкачувальний насос | Тиск палива за паливопідкачувальним насосом | 0,97 |
| 4 | Система мащення | Тиск оливи в головній масляній магістралі | 0,96 |
| 5 | Фільтр очищення палива | Тиск палива після фільтра тонкого очищення | 0,97 |
| 6 | Повітряний фільтр | Тиск повітря на вході в дизель | 0,87 |
| 7 | Система охолодження | Температура охолодної рідини | 0,96 |
| 8 | ПНВТ | Циклова подача палива | 0,98 |
| 9 | ПНВТ | Кут випередження упорскування палива | 0,94 |
| 10 | Регулятор частоти обертання | Регульована регулятором частота обертання | 0,92 |
| 11 | Газорозподільний механізм | Кути фаз газорозподіл | 0,92 |
| 12 | Форсунки | Тиск упорскування палива | 0,96 |
| 13 | Форсунки | Кут розпилювання палива при упорскуванні | 0,95 |
| 14 | Форсунки | Величина витоків палива з форсунки в лінію зливу | 0,97 |
| 15 | Циліндро-поршнева група | Димність відпрацьованих газів | 0,92 |
| 16 | Циліндро-поршнева група | Температура відпрацьованих газів | 0,92 |
| 17 | Циліндро-поршнева група | Тиск повітря наприкінці такту стиску | 0,93 |
| 18 | Кривошипно-шатунний механізм | Частота обертання колінчатого вала дизеля | 0,93 |
| 19 | Кривошипно-шатунний механізм | Ефективна потужність дизеля | 0,89 |

ФЕ, їхні вихідні сигнали та ймовірності безвідмовної роботи є основою складання логіко-ймовірнісної математичної моделі дизеля у вигляді матриці станів, що встановлює зв'язок між безліччю станів ФЕ (S) з урахуванням їхніх ймовірностей, безліччю можливих перевірок (діагностичних параметрів) (Y) та безліччю наслідків цих перевірок.

Побудована матриця (табл. 2) містить 19 рядків (рівних числу ФЕ), що позначають непрацездатний стан (S_i) - "0" і одну (верхню), що відповідає працездатному стану функціональних елементів (S_0), коли Всі діагностичні параметри (Y_j) мають допустимі значення - "1", при допустимих значеннях усіх зовнішніх вхідних впливів.

Стовпці матриці станів позначають результати перевірок (Y_j), кількість яких дорівнює числу вихідних сигналів ФЕ. А останній стовпець містить обчислені ймовірності i -го стану моделі $P(S_i)$.

$$P(s_i) = [1 - P(s_0)] \cdot (1 - P_i) / \sum_{j=1}^n (1 - P_j) \quad (1)$$

де $P(s_0)$ - ймовірність безвідмовної роботи,

$$P(s_0) = \prod_{i=1}^n p_i \quad (2)$$

$$P_i - \text{ймовірність безвідмовної роботи усіх ФЕ; причому } \sum_{i=0}^n P(s_i) = 1 \quad (3)$$

Таблиця 2.

Матриця станів дизеля з розрахованими ймовірностями

| $Y_j \backslash S_i$ | Y_1 | Y_2 | Y_3 | Y_4 | Y_5 | Y_6 | Y_7 | Y_8 | Y_9 | Y_{10} | Y_{11} | Y_{12} | Y_{13} | Y_{14} | Y_{15} | Y_{16} | Y_{17} | Y_{18} | Y_{19} | $P(S_i)$ |
|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| S_0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0,352 |
| S_1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0,019 |
| S_2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,026 |
| S_3 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0,019 |
| S_4 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0,026 |
| S_5 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0,019 |
| S_6 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,019 |
| S_7 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0,026 |
| S_8 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0,013 |
| S_9 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0,039 |
| S_{10} | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0,052 |
| S_{11} | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,052 |
| S_{12} | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0,026 |
| S_{13} | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0,032 |
| S_{14} | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0,019 |
| S_{15} | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0,052 |
| S_{16} | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0,052 |
| S_{17} | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,045 |
| S_{18} | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0,045 |
| S_{19} | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0,071 |

Визначення мінімальної (необхідної та достатньої) сукупності діагностичних параметрів ґрунтується на аналізі основної властивості матриці станів яка свідчить: якщо при відмові i -го ФЕ діагностичний параметр (Y_j) приймає недопустиме значення, то на перетинанні i -го рядка та j -го стовпця у таблиці проставляємо символ "0", тобто відмовлення i -го ФЕ впливає на діагностичний параметр j -го ФЕ або "1", якщо не впливає.

Для перевірки працездатності дизеля необхідно одержати інформацію про стан усіх ФЕ, тому визначення мінімальної кількості діагностичних параметрів полягає у відшукуванні мінімальної

кількості стовпців матриці станів, які заповнюють нулями всі рядки (крім S_0), що відповідає працездатному стану.

Відбір мінімальної сукупності діагностичних параметрів для перевірки працездатності дизеля здійснюється з урахуванням найбільших значень імовірності i -го стану моделі $P(s_i)$.

Виконаний таким чином аналіз матриці станів дизеля дозволив встановити мінімальну (необхідну та достатню) сукупність перевірок, яка складається з контролю всього двох сукупностей трьох діагностичних параметрів: Y_{19} та Y_{15} , тобто перевірки потужності та димності відпрацьованих газів або Y_{19} та Y_{16} (перевірки потужності та температури відпрацьованих газів).

Перша сукупність дає загальну оцінку працездатності дизеля, друга - може бути основою алгоритму діагностування не тільки під час контролю працездатності, а й пошуку відмов окремо по циліндрах дизелів ДТЗ.

Контроль потужності двигуна потребує використання складних навантажувальних стендів, що призводить до збільшення вартості та часу діагностування. Відомо, що температура відпрацьованих газів прямо пропорційна потужності [5,6], то мінімальна необхідна та достатня обґрунтована кількість перевірок може складатися з двох діагностичних параметрів: димності (Y_{15}) та температури (Y_{16}) відпрацьованих газів.

Якщо ці обидва параметри відповідають нормативним значенням, то дизель перебуває у працездатному стані. А якщо хоч один із двох контрольованих параметрів не відповідає нормативу, то дизель - у непрацездатному стані.

Це підтверджує необхідність контролю димності відпрацьованих газів у режимі вільного прискорення за діючим ДСТУ 4276:2004 та температури відпрацьованих газів. У разі застосування швидкодіючого пристрою для вимірювання температури відпрацьованих газів додатково з'являється можливість виконувати діагностування окремих циліндрів дизеля.

Висновки. Обрана у такий спосіб мінімальна сукупність діагностичних параметрів може бути основою алгоритму діагностування при контролі працездатності та пошуку відмов дизелів ДТЗ.

Література

1. П. П. Пархоменко Основные задачи технической диагностики. Техническая диагностика.- М. : Наука, 1972. – С. 7 – 21.
2. Е. С. Согомонян Контроль работоспособности и поиск неисправностей в функционально связанных системах// Автоматика и телемеханика. – 1964. – Т. 25, № 6. – С. 5 – 10.
3. П. С. Давыдов Техническая диагностика радиоэлектронных устройств и систем. – М. : Радио и связь, 1988. – 256 с.
4. Методика выбора диагностических параметров для непрерывных объектов, представленных логическими моделями.//Горьковский филиал ВНИИИНАШ; Руководитель темы Б.Н.Колесов, 1977. – 66с.
5. Исследование и оценка выходных параметров дизельных двигателей ЯМЗ-236 и ЯМЗ-238, применяемых для диагностирования их технического состояния.//Научно-технический отчёт./ГОСАВТОТРАНСНИИПРОЕКТ. Тема №054.381; Руководитель работы Б.В.Левинсон, 1972. – 61с.
6. Исследование мгновенной температуры выпускных газов.//Технический отчёт./МВТУ им.Н.Э.Баумана. Тема №Э2-2/68; Руководитель работы М.Г.Круглов, 1970. – 128с.