3. Застосування знайдених формул дозволяє уточнити кількісно та якісно напружений стан деталей машин та споруд, які працюють в умовах контактного навантаження.

1. Римар О.М. Система переміщень точного розв'язку просторової контактної задачі // Зб. наук. пр. – Львів, 2000. – Вип. 4. – С. 96–100. 2. Римар О.М. Загальний вигляд формул для дотичних напружень задачі Герца // Зб. наук. пр. – Львів, 2001. – Вип. 5. – С. 130–133. 3. Римар О.М. Визначення межі інтеграла ньютонового потенціала простого шару // Зб. наук. пр. – Львів, 2000. – Вип. 3. – С.103–105 4. Бейтмен Г., Эрдейи А. Высшие трансцендентные функции. – М., 1967. – 300 с.

УДК 621.192

Ю.М. Слюсарчук, Р.А. Пельо
Національний університет "Львівська політехніка",
кафедра експлуатації та ремонту автомобільної техніки

ОБҐРУНТУВАННЯ ОПТИМАЛЬНИХ АЛГОРИТМІВ ДІАГНОСТУВАННЯ ДИЗЕЛЬНИХ АВТОМОБІЛЬНИХ ДВИГУНІВ

Розглянуто питання побудови оптимальних алгоритмів визначення працездатного стану дизельних автомобільних двигунів на підставі моделі логічного типу.

The problem of construction of optimum algorithms definition of an able-bodied condition of diesel automobile engines ground models of a logical type is reviewed.

Одним з чинників, що суттєво впливає на ефективність діагностування, є якість алгоритмів визначення технічного стану. Необхідність збільшення продуктивності праці на операціях діагностування, скорочення часу виявлення, пошуку та усунення несправностей, створення нових засобів діагностування викликає інтерес до розробки оптимальних алгоритмів діагностування, що дасть можливість за мінімальною кількістю діагностичних параметрів встановити технічний стан автомобіля з найменшими затратами.

Більшість об'єктів, які діагностуються в автомобілі характеризуються параметрами, що змінюються неперервно протягом експлуатації. При діагностуванні технічного стану таких об'єктів широко застосовуються "допускові" методи. На підставі цих методів висновок про технічний стан об'єкта приймається за результатами оцінок сигналів у контрольних точках – елементарних перевірок. Результати контролю параметрів оцінюють за принципом: "в межах норми або ні". Тому, для опису поведінки таких об'єктів використовують моделі логічного типу [1].

Така модель передбачає формальний опис станів об'єкта діагностування

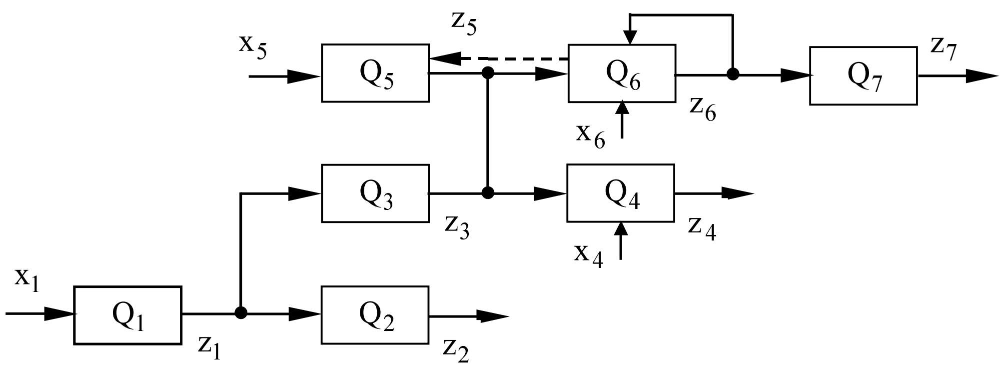
$$r_{0j} = \psi_0(\pi_j), \quad r_{ij} = \psi_i(\pi_j), \quad (i = \overline{1,n};\ j = \overline{1,m}),$$

де r_{0j}, r_{ij} – результати елементарних перевірок за відсутності чи наявності i-го несправного стану, відповідно; π_j – елементарна перевірка; ψ_0 , ψ_i – передаточні функції об'єкта діагностування, що перебуває у справному або i- му несправному станах, відповідно; n – кількість можливих несправних станів об'єкта; m – кількість елементарних перевірок.

Зауважимо, що кожна елементарна перевірка π_j визначається: режимами діагностування – значенням обумовлених зовнішніх впливів, які подаються на об’єкт, їх послідовністю в часі, початковою величиною внутрішніх параметрів; відповіддю об’єкта, що визначається складом контрольних точок та результатами перевірок.

Розглянемо задачу побудови мінімального алгоритму визначення працездатного стану дизельного двигуна. Цільовою функцією оптимізації, що характеризує якість алгоритму діагностування загалом, тут є кількість елементарних перевірок, а її екстремумом – мінімум цих перевірок.

Вихідними даними для побудови логічної моделі дизельного двигуна є структурно-функціональні та принципові схеми. Як об’єкт діагностування двигун можна зобразити у вигляді сукупності пов’язаних між собою функціональних елементів – блоків Q_j $(j=\overline{1,7})$, кожний з яких має один вихід z_j та суттєві для цього виходу входи (рисунок) [2]. Позначимо входи блока Q_j, що є зовнішніми входами об’єкта (вхідними параметрами) – x_j (x_1, x_4, x_5, x_6). Виходи блока z_j одночасно можуть бути як входами (внутрішніми параметрами об’єкта) для інших блоків моделі – z_1, z_3, z_5, z_6, так і виходами з об’єкта (вихідними параметрами) – z_2, z_4, z_7.



Логічна модель дизельного двигуна:
Q_1 *– кривошипно-шатунний механізм;* Q_2 *– циліндро-поршнева група;*
Q_3 *– привод газорозподільного механізму;* Q_4 *– клапани;*
Q_5 *– паливо-підкачувальний насос;* Q_6 *– паливний насос високого тиску;*
Q_7 *– форсунки;* x_1 *– оберти;* x_4 *– повітря;* x_5 *– паливо;*
x_6 *– керування подачею палива;* z_1, z_3, z_5, z_6 *– внутрішні параметри об’єкта;*
z_2, z_4, z_7 *– вихідні параметри об’єкта*

Теоретичний аналіз такої складної системи як дизель, що характеризується протіканням як складних термодинамічних, так і механічних процесів, передбачає деяку ідеалізацію функціональної схеми. При цьому враховуються найсуттєвіші властивості зв’язків, зокрема зворотні, і нехтуються другорядні. Ступінь пріоритетності внутрішніх зв’язків при формуванні такої функціональної схеми визначається задачами діагностування та режимами функціонування об’єкта. Зокрема в цьому випадку другорядним можна вважати такий очевидний зворотний зв'язок між блоками: Q_6 і Q_5 (привід паливо-підкачувального насоса від кулачкового валу паливного насоса високого тиску (ПНВТ) – пунктирна стрілка (див. рисунок). Річ у тім, що вимоги до приводу ПНВТ жорсткіші, ніж до паливо-підкачувального насоса. В обох випадках насоси плунжерного типу, але для ПНВТ важливим є своєчасність початку піднімання плунжера, що коректується муфтою випередження впорскування. Для паливо-підкачувального насоса, який працює з продуктивністю, більшою за розрахункову, момент початку переміщення плунжера не має значення. Тому цим зв'язком можна знехтувати.

Значення входу (виходу) блока "допустимо" – (1), якщо значення відповідних параметрів належить області допустимих значень, в протилежному випадку значення входу (виходу) "недопустимо" – (0). Зауважимо, що для будь-якої пари сусідніх блоків виконується умова: області допустимих (недопустимих) значень параметрів внутрішніх входів та виходів – збігаються.

Значення виходу блока Q_j логічної моделі залежить від наявності несправності в блоці, а також від значення функції умов роботи F_j [1]:

$$z_j = Q_j F_j, \quad (j = \overline{1,7}). \tag{1}$$

Якщо в блоці несправність відсутня, тоді $Q_j = 1$, в іншому випадку $Q_j = 0$. Булева функція умов роботи зображається у мінімальній досконалій кон'юнктивній нормальній формі [3], та є кон'юнкцією зовнішніх і внутрішніх входів блока Q_j: $F_j = x_{j1} \cdot \ldots \cdot x_{jp} \cdot z_{j1} \cdot \ldots \cdot z_{jk}$ (p, k – відповідно кількість зовнішніх та внутрішніх входів блока Q_j). Вважатимемо, що умови прояву будь-яких несправностей одного і того ж блока однакові та наявні поодинокі несправності типу $1 \to 0$. Загальна кількість можливих поодиноких несправностей логічної моделі дизельного двигуна (див. рисунок) дорівнює кількості блоків. Технічний стан об'єкта діагностування визначається за результатами елементарних перевірок z_j – виходів блоків логічної моделі. Крім того вважатимемо, що затрати на реалізацію кожної можливої елементарної перевірки однакові. Ймовірності появи технічних станів не враховуються. За таких умов визначимо мінімальну, перевіряючи сукупність контрольних точок для встановлення працездатного стану двигуна.

Складемо матрицю несправностей (табл. 1). Рядки матриці відповідають елементам множини технічних станів $E = \bigcup_{\nu=0}^{7} E_\nu$, E_0 – справний стан, E_i $(i = \overline{1,7})$ – несправний блок Q_i, а стовпці – елементарним перевіркам, виходам блоків z_j. Визначимо функцію умов роботи: $F_1 = x_1, F_2 = z_1, F_3 = z_1,$ $F_4 = x_4 z_3, F_5 = x_5, F_6 = x_6 z_3 z_5 z_6, F_7 = z_6$. Матрицю несправностей побудуємо по рядках (табл. 1). Для i-го несправного стану обчислимо за формулою (1) значення виходів z_j, вважаючи, що $Q_i = 0$, решта $Q_k = 1$ $(i \neq k; i, k = \overline{1,7})$.

Побудова мінімального алгоритму перевірки працездатного стану двигуна за матрицею несправностей (табл. 1) полягає у виборі найменшої кількості стовпців матриці (елементарних перевірок), які містять принаймні один нуль у кожному рядку. У цьому випадку отримаємо таку сукупність елементарних перевірок: $\{z_2; z_4; z_7\}$. Отже, для логічної моделі двигуна (див. рисунок) можна встановити найменшу кількість функціональних елементів, які необхідно перевірити. Знайдена сукупність перевірок не дає можливості розпізнавання конкретного i -го несправного стану.

Таблиця 1

Матриця несправностей

R	z_1	z_2	z_3	z_4	z_5	z_6	z_7
E_0	1	1	1	1	1	1	1
E_1	0	0	0	0	1	0	0
E_2	1	0	1	1	1	1	1
E_3	1	1	0	0	1	0	0
E_4	1	1	1	0	1	1	1
E_5	1	1	1	1	0	0	0
E_6	1	1	1	1	1	0	0
E_7	1	1	1	1	1	1	0

Побудуємо мінімальний алгоритм діагностування, який забезпечуватиме розпізнавання кожної пари (E_i, E_k), $(i \neq k; i,k = \overline{1,7})$. несправних станів двигуна. Утворимо множину U всіх пар $U_\ell = (E_i, E_k)$, $(\ell = \overline{1,p};$ де p – кількість комбінацій всіх різних пар поодиноких несправностей $p = C_7^2 = 21)$: $u_1 = (E_1, E_2)$; $u_2 = (E_1, E_3)$; $u_3 = (E_1, E_4)$; $u_4 = (E_1, E_5)$; $u_5 = (E_1, E_6)$; $u_6 = (E_1, E_7)$; $u_7 = (E_2, E_3)$; $u_8 = (E_2, E_4)$; $u_9 = (E_2, E_5)$; $u_{10} = (E_2, E_6)$ $u_{11} = (E_2, E_7)$; $u_{12} = (E_3, E_4)$; $u_{13} = (E_3, E_5)$; $u_{14} = (E_3, E_6)$; $u_{15} = (E_3, E_7)$; $u_{16} = (E_4, E_5)$; $u_{17} = (E_4, E_6)$; $u_{18} = (E_4, E_7)$; $u_{19} = (E_5, E_6)$; $u_{20} = (E_5, E_7)$; $u_{21} = (E_6, E_7)$. Складемо матрицю покриття A (табл. 2), рядки якої відповідають елементам множини U, а стовпці – елементарним перевіркам z_j. Елементи матриці покриття A – двійкові змінні, які шукаються за елементами r_{ij} матриці несправностей (табл.1) для кожної пари (E_i, E_k) та відповідної елементарної перевірки z_j:

$$a_{\ell j} = \begin{cases} 1, \text{ якщо } r_{ij} \neq r_{kj}; \\ 0, \text{ якщо } r_{ij} = r_{kj}. \end{cases}$$

Умовою розпізнавання кожної пари станів, що задані множиною U, хоча б однією елементарною перевіркою є кон'юнкція диз'юнкцій:

$$\bigwedge_{\ell}^{21} \bigvee_{j}^{7} z_{j\ell} = \bigwedge_{\ell=1}^{21} (z_{1\ell} \vee \ldots \vee z_{7\ell})_\ell . \qquad (2)$$

Цей вираз – логічний добуток логічних сум.

Для матриці покриття умова (2) має вигляд

$$(1 \vee 3 \vee 4 \vee 6 \vee 7)_1 \cdot (1 \vee 2)_2 \cdot (1 \vee 2 \vee 3 \vee 6 \vee 7)_3 \cdot (1 \vee 2 \vee 3 \vee 4 \vee 5)_4 \cdot (1 \vee 2 \vee 3 \vee 4)_5 \cdot$$
$$\cdot (1 \vee 2 \vee 3 \vee 4 \vee 6)_6 \cdot (2 \vee 3 \vee 4 \vee 6 \vee 7)_7 \cdot (2 \vee 4)_8 \cdot (2 \vee 5 \vee 6 \vee 7)_9 \cdot (2 \vee 6 \vee 7)_{10} \cdot (2 \vee 7)_{11} \cdot$$
$$\cdot (3 \vee 6 \vee 7)_{12} \cdot (3 \vee 4 \vee 5)_{13} \cdot (3 \vee 4)_{14} \cdot (3 \vee 4 \vee 6)_{15} \cdot (4 \vee 5 \vee 6 \vee 7)_{16} \cdot (4 \vee 6 \vee 7)_{17} \cdot (4 \vee 7)_{18} \cdot$$
$$\cdot (5)_{19} \cdot (5 \vee 6)_{20} \cdot (6)_{21} .$$

Виконавши необхідні перетворення над булевими змінними, отримаємо покриття матриці покриття (табл. 2): $14567 \vee 2456 \vee 23567$. Серед отриманої множини сукупностей елементарних перевірок є мінімальна – 2456.

Таблиця 2

Матриця покриття

R	z_1	z_2	z_3	z_4	z_5	z_6	z_7
U_1	1	0	1	1	0	1	1
U_2	1	1	0	0	0	0	0
U_3	1	1	1	0	0	1	1
U_4	1	1	1	1	1	0	0
U_5	1	1	1	1	0	0	0
U_6	1	1	1	1	0	1	0
U_7	0	1	1	1	0	1	1
U_8	0	1	0	1	0	0	0
U_9	0	1	0	0	1	1	1
U_{10}	0	1	0	0	0	1	1
U_{11}	0	1	0	0	0	0	1
U_{12}	0	0	1	0	0	1	1
U_{13}	0	0	1	1	1	0	0
U_{14}	0	0	1	1	0	0	0
U_{15}	0	0	1	1	0	1	0
U_{16}	0	0	0	1	1	1	1
U_{17}	0	0	0	1	0	1	1
U_{18}	0	0	0	1	0	0	1
U_{19}	0	0	0	0	1	0	0
U_{20}	0	0	0	0	1	1	0
U_{21}	0	0	0	0	0	1	0

Отже, для визначення працездатності двигуна достатньо перевірити циліндропоршневу групу, газорозподільний механізм та систему живлення. Знайдена сукупність перевірок дає можливість розрізняти будь-яку пару поодиноких несправностей двигуна, логічна модель якого зображена на рисунку, та встановити найменшу кількість функціональних елементів, які необхідно перевіряти. Однак за допомогою даного методу, що базується на диз'юнктивно-кон'юнктивній формі, неможливо обґрунтувати послідовність виконання перевірок.

1. Основы технической диагностики / В.В. Карибский, П.П. Пархоменко, Е.С. Согомонян, В.Ф. Халчев. – М., 1976. – Ч. 1. – 464 с. 2. Экономия топлива на автомобильном транспорте / О.Д. Климпуш, В.А. Рубцов, Ю.Ф. Гутаревич. – К., 1988. – 144 с. 3. Сигорский В.П. Математический аппарат инженера. – К., 1975. – 768 с.