

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ЗЧЕПЛЕННЯ АВТОМОБІЛЯ VOLKSWAGEN POLO SEDAN ЯК ОБ'ЄКТА ДІАГНОСТУВАННЯ

Вінницький національний технічний університет

Під час проектування автомобіля конструктори повинні знайти компроміс між динамічністю і економічністю автомобіля, з одного боку, та надійністю і безпекою – з іншого. Перше завдання вирішується в основному за рахунок зниження маси автомобіля за допомогою оптимізації конструкції і зниження запасів міцності, а друге – за рахунок підвищення запасів міцності і довговічності елементів конструкції. Надійність агрегатів автомобілів є максимальною при роботі на сталих режимах, що підтверджує досвід їх експлуатації. Відомо, що в умовах замських маршрутів на хороших дорогах надійність автомобілів істотно вища, ніж при експлуатації в межах міста. У містах несталі режими роботи агрегатів автомобілів обумовлюються, перш за все, частими зупинками і подальшими розгонами через наявність світлофорів, пішохідних переходів, залізничних переїздів, заторів на дорогах, крутих підйомів і спусків на маршрутах руху автомобілів тощо. Все це викликає необхідність частих гальмувань, перемикань передач і рушань з місця. Ці обставини спричиняють зростання динамічного навантаження агрегатів автомобіля і, як наслідок, до інтенсифікації процесів зношування тертьових пар дисків зчеплення, зубчастих і карданних передач тощо. Всі чинники зниження надійності агрегатів автомобілів в міських умовах експлуатації особливо яскраво проявляються на прикладі автобусів і маршрутних таксі з механічною коробкою передач. За деякими даними, частка відмов агрегатів механічних трансмісій таких автомобілів становить 19...23 % від всіх відмов.

При інтенсивній експлуатації автомобіля можуть виникнути різні несправності зчеплення. Розрізняють несправності власне зчеплення і несправності приводу зчеплення. Дефекти зчеплення виникають не тільки через інтенсивну експлуатацію, але й через порушення правил експлуатації. В даний час несправності зчеплення в основному діагностують за зовнішніми ознаками. Разом з тим, одна зовнішня ознака може відповідати декільком несправностям зчеплення. Таким чином, процес визначення технічного стану зчеплення автотранспортних засобів є актуальною науково-технічною задачею.

У статті представлено математичну модель зчеплення автомобіля Volkswagen Polo Sedan як об'єкта діагностування. Побудовано матрицю діагностування зчеплення автомобіля Volkswagen Polo Sedan та блок-схему її синтезу.

Ключові слова: математична модель, діагностування, автомобіль, зчеплення, матриця діагностування, блок-схема, несправність, ознака несправності, булева функція.

Вступ

Виробництво автомобіля класу «В» Volkswagen Polo (рис. 1) з кузовом седан почалося в 2010 році на заводі ТОВ «Фольксваген Груп Рус» в промзоні Грабцево під Калугою. Для російського ринку автомобіль був спеціально спроектований на основі бюджетного бразильського Volkswagen Gol (рис. 2).



Рис. 1. Автомобіль Volkswagen Polo 2010–2015 Sedan



Рис. 2. Автомобіль Volkswagen Gol 2008–2012

При проектуванні нового седана Volkswagen Polo враховувалися кліматичні і дорожні умови країн Співдружності Незалежних Держав – у машини повністю оцинкований кузов, посилена підвіска і дорожній просвіт 170 мм.

Автомобіль оснащується тільки бензиновим двигуном об'ємом 1,6 л, потужністю 105 к. с.

Автомобіль Volkswagen Polo може комплектуватися як 5-ступінчастою механічною коробкою передач, так і 6-ступінчастою автоматичною трансмісією з функцією послідовного ручного перемикавання (Tiptronic).

Зчеплення автомобіля призначене для короточасного роз'єднання двигуна і трансмісії і їхнього плавного з'єднання.

Зчеплення автомобіля Volkswagen Polo Sedan – однодискове, сухе, з центральною пружиною діафрагмового типу, розташоване в алюмінієвому картері, конструктивно об'єднаному з картером коробки передач і прикріпленому до блока циліндрів двигуна (рис. 3). Натискний диск з кожухом зчеплення (рис. 4) з'єднаний з маховиком двигуна шістьма болтами. Трьома парами пружних сталевих пластин кожух зчеплення з'єднаний з натискним диском. Цей вузол ще називають «кошиком» зчеплення.

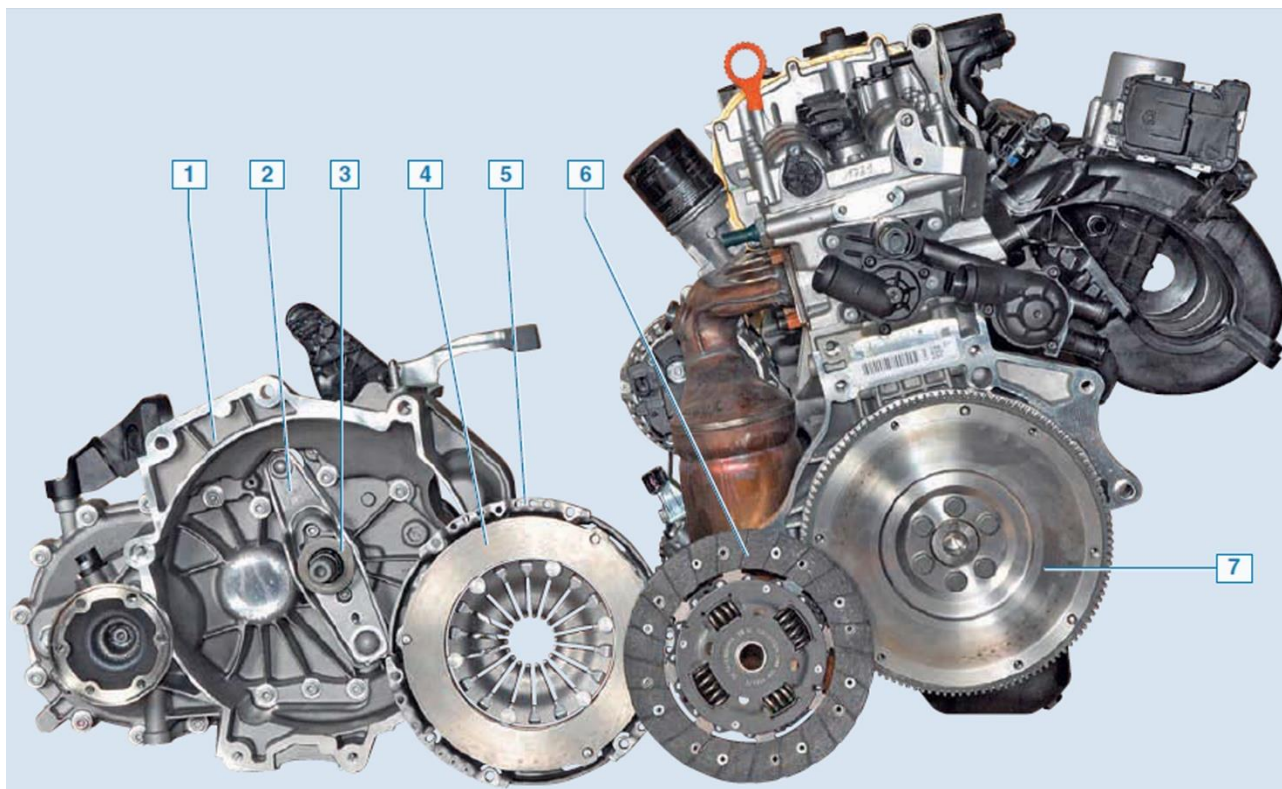


Рис. 3. Елементи зчеплення автомобіля Volkswagen Polo Sedan:

1 – картер зчеплення; 2 – важіль вимикання зчеплення; 3 – підшипник вимикання зчеплення; 4 – натискний диск з кожухом зчеплення в зборі («кошик»); 5 – кожух зчеплення; 6 – ведений диск; 7 – маховик

У кожусі встановлена діафрагмова пружина. Заміна «кошика» необхідна при кільцевому зносі пелюсток діафрагмової пружини і в тому випадку, якщо кінці пелюсток розташовані не на одному рівні. Вибраковується «кошик» при зменшенні зусилля на педалі при виключенні зчеплення, що вказує на великий знос поверхні натискного диска або «осадку» пружини.

Ведений диск (рис. 5) з пружинним демпфером крутильних коливань розташований на шліцах первинного вала коробки передач між маховиком і натискним диском. Демпфер крутильних коливань гасить коливання, що виникають від динамічних навантажень в трансмісії і нерівномірної роботи двигуна. Дві фрикційні накладки веденого диска приклепані з обох сторін до притисної пластини, яка в свою чергу приклепана до однієї з двох пластин демпфера. Пружинна пластина має хвилясту форму. При ввімкненні зчеплення фрикційні накладки стискають пружинну пластину, що сприяє більш плавному ввімкненні зчеплення.

Між пластинами демпфера встановлена втулка диска. У пазах маточини і демпферних пластин встановлені пружини демпфера. Демпферні пластини з'єднані опорними пальцями. У маточині диска навпроти опорних пальців є вирізи, які дозволяють маточині повертатися в певних межах відносно пластин демпфера, стискаючи при цьому демпферні пружини. Це дозволяє знизити динамічні навантаження в трансмісії при русанні автомобіля і перемиканні передач.

На маточині веденого диска розташований демпфер холостого ходу, що призначений для гасіння крутильних коливань і усунення стукотів в коробці передач при роботі двигуна на холостому ходу.

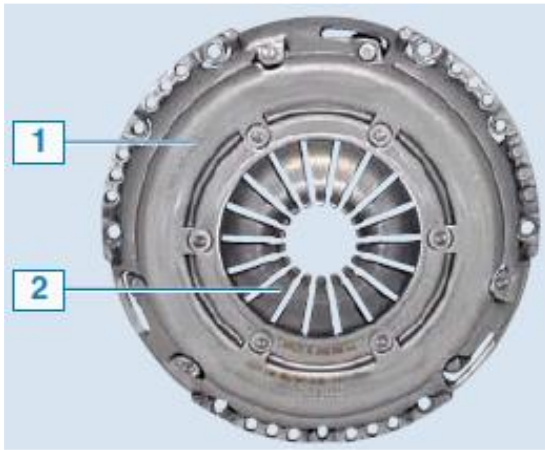


Рис. 4. Натискний диск з кожухом зчеплення:
1 – кожух зчеплення; 2 – діафрагмова пружина

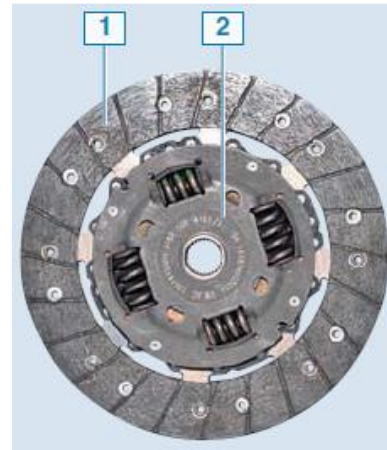


Рис. 5. Ведений диск:
1 – фрикційні накладки; 2 – демпфер крутильних коливань

Привід вимикання зчеплення автомобіля Volkswagen Polo Sedan – гідравлічний. Зусилля в ньому від педалі до підшипника вимикання зчеплення передається через робочу рідину.

Гідропривід складається з головного і робочого циліндрів зчеплення, пов'язаних трубопроводом і шлангом. Бачок гідроприводу зчеплення спільний з бачком гідроприводу гальмівної системи. Головний циліндр зчеплення кріпиться двома гайками до щитка передка і фланця кронштейна педалі зчеплення.

Педаль зчеплення встановлена на осі кронштейна педалі зчеплення. Педаль з'єднана штовхачем з поршнем головного циліндра зчеплення. В середині кронштейна педалі зчеплення встановлено відвідну пружину педалі.

Постановка проблеми

За деякими даними, частка відмов агрегатів механічних трансмісій автомобілів становить 19...23 % від всіх відмов. У свою чергу відмови трансмісії розподіляються таким чином: 70% - відмови зчеплення, 17 % – коробки передач, 10 % – карданної передачі, 3 % – заднього моста [1].

При інтенсивній експлуатації автомобіля можуть виникнути різні несправності зчеплення. Розрізняють несправності власне самого зчеплення і несправності приводу зчеплення.

В даний час несправності зчеплення в основному діагностують за зовнішніми ознаками. Разом з тим, одна зовнішня ознака може відповідати декільком несправностям зчеплення. Тому конкретні несправності зчеплення встановлюються, як правило, при його розбиранні.

Вирішити задачу оцінки технічного стану зчеплення автомобіля можна шляхом розробки і впровадження ефективних методів і засобів контролю технічного стану (діагностування).

Аналіз останніх досліджень і публікацій

В даний час існує небагато методів визначення технічного стану елементів зчеплення автомобілів. Найпростішим і поширеним є органолептичний метод, його особливості розглянуті в роботі [2]. В деякій мірі від помилок суб'єктивної оцінки позбавляє логічний метод [3–5], але не достатньою мірою. Імовірність помилок першого і другого роду залишається досить таки значною.

Аналіз літературних і наукових джерел показав, що існуючі методи та засоби діагностування елементів зчеплення автомобіля, не повною мірою відповідають сучасним вимогам щодо визначення їх поточного технічного стану, що вимагає розробки математичних моделей їх основних частин і механізмів як об'єкта діагностування.

Мета дослідження

Надійність автомобіля залежить від надійності його складових частин, і однією з таких частин є механізм зчеплення.

Метою дослідження є підвищення надійності функціонування такого важливого механізму автомобіля Volkswagen Polo Sedan, як зчеплення, за рахунок створення математичної моделі діагностування його вузлів та деталей, яка пов'яже несправності та ознаки несправностей.

Основна частина

Розв'язання задачі автоматизації логічного процесу постановки діагнозу вимагає розробки моделей елементів зчеплення автомобіля як об'єктів діагностування, що описують на одному математичному рівні взаємозв'язки між безліччю можливих несправностей і безліччю значень діагностичних параметрів.

Заміна об'єкта діагностування моделлю пов'язана з виділенням основних, істотних для постановки діагнозу елементів і властивостей, пов'язаних із завданням визначення дійсного технічного стану об'єктів. При цьому деяка кількість елементів і зв'язків об'єкта, виключно важливих з точки зору його функціонування як пристрою, призначеного для виконання певної роботи, стають другорядними і при розробці моделі технічного пристрою, як об'єкта діагностування, можуть бути виключені.

Заміна реальних технічних пристроїв їх ідеалізованими моделями дозволяє широко використовувати різні математичні методи. Під математичною моделлю об'єкта діагностування слід розуміти безліч аналітичних, логічних, статистичних, графічних і взагалі будь-яких якісних співвідношень, які пов'язують вихідні параметри об'єкта з його вхідними і внутрішніми параметрами.

Найбільш універсальною моделлю об'єкта діагностування є представлення його у вигляді «чорного ящика», вхідні і вихідні параметри якого мають кінцеву множину значень. Передбачається, що всі можливі стани об'єкта утворюють кінцеву множину станів. В даному випадку об'єкт є «чорним ящиком» не тому, що його внутрішня структура і параметри повністю не відомі, а тому, що накладається заборона на доступ до них і стан об'єкта можна визначати, тільки досліджуючи його вихідні параметри (без розбирання) [6–11].

Для представлення об'єкта діагностики у вигляді «чорного ящика» необхідно задати (рис. 6):

- кількість всіх вхідних дій Y від стимулюючих пристроїв і зовнішнього середовища;
- кількість всіх вихідних ознак несправності S ;
- кількість всіх несправностей об'єкта діагностування X ;
- оператор A , який перетворює кількості X та Y в кількість S :

$$S = A\{Y, X\}. \quad (1)$$

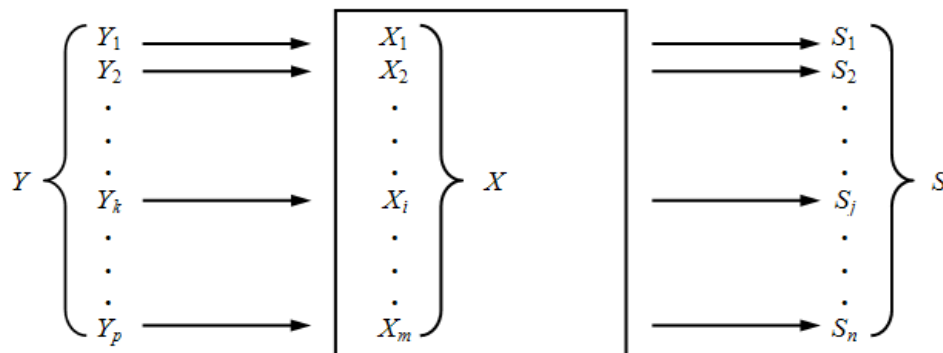


Рис. 6. Представлення об'єкта діагностування у вигляді «чорного ящика»

Враховуючи, що при діагностуванні елементи кількості Y стабілізуються (або змінюються за заданим законом), вираз (1) матиме такий вигляд:

$$S = A\{X\}. \quad (2)$$

Іншими словами, будь-який вихідний параметр об'єкта діагностування є функцією його технічного стану при даному стані входів.

Якщо несправність об'єкта діагностування $\{X_i\}$ віднести до вихідних параметрів автоматизованої системи, то діагностична задача формулюється таким чином: за відомими ознаками несправності $\{S_j\}$ визначити невідомі несправності об'єкта діагностування $\{X_i\}$.

Для успішного розв'язання цього завдання необхідно знати вид оператора A , іншими словами, необхідний вичерпний опис зв'язків між усіма вихідними параметрами і всіма можливими станами (несправностями) об'єкта.

Нижче описується ряд моделей об'єктів діагностування, що відрізняються один від одного різними формами опису зазначених зв'язків.

При наявності аналітичної моделі об'єкта діагностування завдання постановки діагнозу в загальному вигляді формулюється таким чином. За даними ознаками несправності S_1, S_2, \dots, S_n ,

отримані в результаті відповідних вимірювань, визначити технічний стан (несправності) об'єкта діагностування X_1, X_2, \dots, X_m , якщо відомі функціональні залежності між кожним діагностичним сигналом і структурними параметрами:

$$\begin{cases} S_1 = \phi_1(x_1, x_2, \dots, x_m); \\ S_2 = \phi_2(x_1, x_2, \dots, x_m); \\ \dots\dots\dots \\ S_j = \phi_j(x_1, x_2, \dots, x_m); \\ \dots\dots\dots \\ S_n = \phi_n(x_1, x_2, \dots, x_m). \end{cases} \quad (3)$$

Система рівнянь (3) є математичною моделлю об'єкта діагностування, що має m структурних параметрів і n діагностичних сигналів.

Очевидною перевагою постановки діагнозу з використанням аналітичної моделі є можливість отримання конкретної несправності об'єкта діагностування, що дозволяє визначити технічний стан об'єкта не тільки в момент діагностування, але і накопичуючи інформацію, отриману за кілька діагностичних обстежень об'єкта, аналізувати зміну структурних параметрів з метою прогнозування його технічного стану.

Однак практичне використання такої аналітичної моделі поки обмежене в силу таких обставин:

- вид функцій ϕ_j для більшості вузлів і механізмів поки не встановлений;
- якщо функція ϕ_j не задовольняє умови безперервності і диференціювання по кожному зі своїх аргументів, що зазвичай має місце в реальних моделях, то розв'язання системи рівнянь (3) пов'язано з великими математичними труднощами;
- більшість діагностичних параметрів, в принципі не можуть бути описані у вигляді аналітичних функцій структурних параметрів.

У ряді робіт з технічного діагностування машин і механізмів, можливі технічні стани (несправності) агрегатів і систем та ознаками цих несправностей, що описуються у вигляді так званих діагностичних матриць [10–15].

З досвіду багаторічної експлуатації автомобілів Volkswagen Polo Sedan всіх модифікацій в табл. 1 представлена матриця діагностування їх зчеплення [16, 17].

В матриці (див. табл. 1) позначимо такі несправності зчеплення автомобілів Volkswagen Polo Sedan:

- x_1 – замаслення маховика, натискного диска і фрикційних накладок веденого диска зчеплення;
- x_2 – зниження зусилля діафрагмової пружини;
- x_3 – зношеність або пригорання фрикційних накладок веденого диска;
- x_4 – поршень головного циліндра зчеплення повільно повертається в початкове положення через розбухання гумових манжет;
- x_5 – у систему гідропроводу потрапило повітря;
- x_6 – ослаблення заклепок або поломка фрикційних накладок, викривлення веденого диска (торцеве биття більше 0,5 мм);
- x_7 – нерівномірна зношеність, задирки на робочих поверхнях маховика або натискного диска зчеплення;
- x_8 – перекіс або викривлення натискного диска;
- x_9 – заїдання маточини веденого диска на шліцах первинного вала коробки передач;
- x_{10} – знос та дефекти робочої поверхні головного циліндра;
- x_{11} – бруд в головному циліндрі;
- x_{12} – зношеність або дефект манжети головного циліндра;
- x_{13} – втрата пружності пружинних пластин веденого диска;
- x_{14} – осідання або поломка пружин гасника крутильних коливань, зношеність вікон під пружини;
- x_{15} – зношеність, пошкодження або витік мастила з підшипника виключення зчеплення;
- x_{16} – втратила пружність або зламана поворотна пружина педалі.

Також в матриці (див. табл. 1) вводимо ознаки вище вказаних несправностей зчеплення:

- S_1 – зчеплення пробуксовує (при різкому натисканні педалі «Газу» двигун набирає обертів, але автомобіль майже не розганяється);
- S_2 – зчеплення веде (утруднене перемикавання передач переднього ходу, передача заднього ходу перемикається з шумом при справній коробці передач);
- S_3 – зчеплення не вимикається (педаль «провалюється»);

- S_4 – зчеплення не вимикається (педаля «провалюється»). Короткочасно вимкнути зчеплення вдається тільки різким натисканням на педаль;
- S_5 – ривки при початку руху автомобіля;
- S_6 – стук або шум при ввімкненні зчеплення;
- S_7 – підвищений шум при вимиканні зчеплення;
- S_8 – після відпускання педаль зчеплення не повертається у вихідне положення.

Таблиця 1

Матриця діагностування зчеплення автомобілів Volkswagen Polo Sedan

Несправність зчеплення автомобіля	Ознака несправності зчеплення автомобіля							
	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	S_6	S_7	S_8
x_1	1	0	0	0	1	0	0	0
x_2	1	0	0	0	0	0	0	0
x_3	1	0	0	0	0	0	0	0
x_4	1	0	0	0	0	0	0	0
x_5	0	1	1	1	0	0	0	1
x_6	0	1	0	0	1	1	0	0
x_7	0	1	0	0	1	0	0	0
x_8	0	1	0	0	0	0	0	0
x_9	0	1	0	0	1	0	0	0
x_{10}	0	0	0	1	0	0	0	0
x_{11}	0	0	0	1	0	0	0	0
x_{12}	0	0	0	1	0	0	0	0
x_{13}	0	0	0	0	1	0	0	0
x_{14}	0	0	0	0	1	1	0	0
x_{15}	0	0	0	0	0	0	1	0
x_{16}	0	0	0	0	0	0	0	1

Як видно з табл. 1, кожна несправність характеризується певною комбінацією значень її ознак, які можуть приймати два умовних значення: «0» або «1».

На перетині i -го рядка і j -го стовпця ставиться «1», якщо при наявності i -ї несправності спостерігається вихід j -ї ознаки з області її допустимих значень, в протилежному випадку ставиться «0».

Для синтезу такої матриці необхідно нескінченну кількість технічних станів об'єкта замінити кінцевою множиною технічних станів, кожний з яких пов'язано з певною несправністю (або їхньою комбінацією) або з працездатним станом (рис. 7).

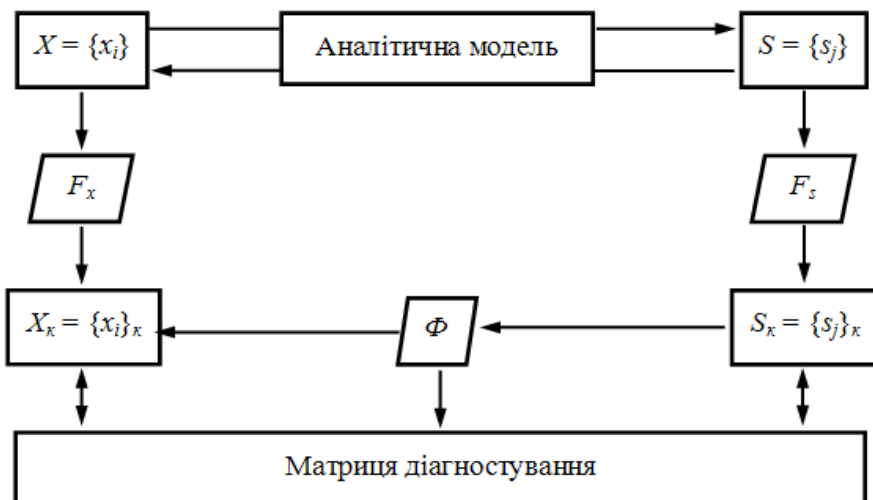


Рис. 7. Блок-схема синтезу матриці діагностування зчеплення автомобілів Volkswagen Polo Sedan:

$X = \{x_i\}$ – нескінченна кількість технічних станів об'єкта; $X_k = \{x_i\}_k$ – кінцева кількість технічних станів;
 $S = \{s_j\}$ – нескінченна множина ознак технічних станів об'єкта; $S_k = \{s_j\}_k$ – кінцева множина ознак технічних станів об'єкта
 F_x – оператор, перетворюючий кількість $\{x_i\}$ в кількість $\{x_i\}_k$; F_s – оператор, що перетворює кількість $\{s_j\}$ в кількість $\{s_j\}_k$;
 Φ – оператор, що перетворює кількість технічних станів об'єкта в кількість діагностичних параметрів

Таке перетворення може бути записано у вигляді

$$\{x_i\}_k = F_x \{x_i\}, \quad (4)$$

де $\{x_i\}$ – множина ознак технічних станів об'єкта діагностування, кожна з яких може приймати в загальному випадку нескінченну кількість значень; $\{x_i\}_k$ – кінцева множина ознак технічних станів об'єкта діагностування, кожна з яких може приймати лише два умовних значення «0» і «1», які відповідають відсутності та наявності i -ї несправності; $i = 1, 2, \dots, m$; F_x – оператор, який перетворює кількість $\{x_i\}$ в кількість $\{x_i\}_k$ таким чином: для будь-якого i -го параметра x_i присвоюється значення «0», якщо величина лежить в області допустимих значень, в протилежному випадку присвоюється значення «1».

Перетворення нескінченної кількості значень параметрів вихідних процесів в кінцеву кількість значень діагностичних параметрів може бути записане у вигляді

$$\{s_j\}_k = F_s \{s_j\}, \quad (5)$$

де $\{s_j\}$ – кількість ознак вихідних процесів, кожна з яких може приймати в загальному випадку нескінченну кількість значень в певному інтервалі; $\{s_j\}_k$ – кінцева кількість діагностичних ознак, кожна з яких може приймати тільки два умовних значення: «0» або «1»; $j = 1, 2, \dots, n$; F_s – оператор, що перетворює кількість $\{s_j\}$ в кількість $\{s_j\}_k$ таким чином: будь-якій j -й ознаці s_j присвоюється умовне значення «0», якщо величина лежить в області значень, що відповідають справному стану об'єкта діагностування, в протилежному випадку присвоюється значення «1».

В результаті проведених перетворень отримано два кінцевих значення $\{x_i\}_k$ і $\{s_j\}_k$, елементи яких певним чином пов'язані один з одним.

У загальному вигляді цей зв'язок може бути виражений у вигляді

$$\{s_j\}_k = \Phi \{x_i\}_k \quad (6)$$

де Φ – оператор, що перетворює кількість технічних станів об'єкта в кількість діагностичних параметрів.

Перетворення (6) відображає функціонування будь-якого технічного об'єкта як перетворювача кількості структурних параметрів у кількість діагностичних параметрів і є модифікацією моделі (1).

Перетворення (6) можна розгорнути за допомогою системи (3).

Система рівнянь (3) пов'язує кожен знак несправності S_j з усіма структурними параметрами об'єкта діагностування, що відображає зв'язки між структурними параметрами і діагностичними сигналами.

Матриця діагностування, як модель об'єкта діагностування, показує, що вона є, по суті справи, табличною формою запису системи рівнянь (1).

Параметр S_1 в матриці діагностування можна розглядати як двозначну булеву функцію, яка залежить від аргументів x_1, x_2, x_3 . Булева функція залежить від аргументу x_1 , якщо має місце співвідношення

$$\phi(x_1, x_2, \dots, x_{i-1}, 0, x_{i+1}, \dots, x_m) \neq \phi(x_1, x_2, \dots, x_{i-1}, 1, x_{i+1}, \dots, x_m).$$

Як випливає з цього визначення та табл. 1, S_1 істотно залежить тільки від x_1, x_2, x_3 та x_4 .

Залежність $S_1 = \phi_1(x_1, x_2, x_3, x_4)$ виражається в цьому випадку в вигляді функції логічного додавання (диз'юнкція):

$$S_1 = x_1 + x_2 + x_3 + x_4.$$

Відповідний аналіз інших ознак несправностей дозволяє записати систему рівнянь (3) для даної матриці діагностування зчеплення автомобілів Volkswagen Polo Sedan у вигляді:

$$\begin{cases} S_1 = x_1 + x_2 + x_3 + x_4; \\ S_2 = x_5 + x_6 + x_7 + x_8 + x_9; \\ S_3 = x_5; \\ S_4 = x_{10} + x_{11} + x_{12}; \\ S_5 = x_1 + x_6 + x_7 + x_9 + x_{13} + x_{14}; \\ S_6 = x_6 + x_{14}; \\ S_7 = x_{15}; \\ S_8 = x_5 + x_{16}. \end{cases} \quad (7)$$

Всі послідовні перетворення, що приводять до синтезу моделі об'єкта діагностування у вигляді діагностичної матриці, наочно представлені на блок-схемі (див. рис. 7). У тому випадку, коли модель об'єкта діагностування представлена у вигляді діагностичної матриці, діагностична задача формулюється таким чином.

За даними ознаками несправностей S_1, S_2, \dots, S_n отриманими при діагностичному обстеженні, потрібно визначити несправності x_1, x_2, \dots, x_m в момент перевірки, якщо відомі функціональні залежності між діагностичними параметрами і всіма структурними параметрами, що задані у вигляді діагностичної матриці або системи рівнянь типу (7). Кожен структурний параметр і кожен діагностичний параметр приймає тільки два значення: «0» або «1».

Очевидно що для розв'язання діагностичної задачі необхідне зворотне перетворення кількості діагностичних параметрів в кількість структурних параметрів, тому що при постановці діагнозу відомими є саме значення діагностичних параметрів.

У загальному вигляді зворотне перетворення можна представити виразом

$$\{x_i\}_k = \Phi^{-1} \{s_j\}_k,$$

або в розгорнутому вигляді

$$\begin{cases} x_1 = f_1(S_1, S_2, \dots, S_n); \\ x_2 = f_2(S_1, S_2, \dots, S_n); \\ x_m = f_m(S_1, S_2, \dots, S_n). \end{cases} \quad (8)$$

Вид функцій f_m неважко встановити в кожному конкретному випадку на основі таких міркувань.

У діагностичній матриці (див. табл. 1) розглянемо окремо один із стовбців, наприклад, перший. З матриці видно, що наявність несправності x_1 викликає одночасно вихід ознак S_1, S_2 та S_5 з області їхніх допустимих значень. Значення інших діагностичних параметрів при наявності тільки несправності x_1 залишаються в межах норми. Значить x_1 є булевою функцією, в даному випадку кон'юнкцією (або функцією логічного множення):

$$x_1 = S_1 S_5.$$

Відповідний аналіз всіх інших стовбців розглянутої матриці дозволяє зворотне перетворення (3) записати в вигляді системи булевих функцій (кон'юнкцій):

$$\begin{cases} x_1 = S_1 S_5; \\ x_2 = S_1; \\ x_3 = S_1; \\ x_4 = S_1; \\ x_5 = S_2 S_3 S_4 S_8; \\ x_6 = S_2 S_5 S_6; \\ x_7 = S_2 S_5; \\ x_8 = S_2; \\ x_9 = S_2 S_5; \\ x_{10} = S_4; \\ x_{11} = S_4; \\ x_{12} = S_4; \\ x_{13} = S_5; \\ x_{14} = S_5 S_6; \\ x_{15} = S_7; \\ x_{16} = S_8. \end{cases} \quad (9)$$

Як видно з цього прикладу, процес постановки діагнозу на основі моделі об'єкта діагностування, вираженої у вигляді діагностичної матриці, складається з таких етапів:

- шляхом відповідних вимірювань і перетворень (5) встановлюються ознаки всіх несправностей S_1, S_2, \dots, S_n ;
- значення діагностичних параметрів підставляються в систему булевих функцій (8);
- обчислюються значення всіх булевих функцій несправностей x_i ($i = 1, 2, \dots, m$) причому якщо $x_i = 1$, то в об'єкті є i -та несправність.

Повертаючись до блок-схеми синтезу матриці діагностування (див. рис. 5), можна сформулювати в загальному вигляді умову здійснення діагностування таким чином: для здійснення діагностування достатньо, щоб зворотне перетворення кількості ознак несправностей у кількість структурних параметрів (несправностей) об'єкта було однозначним.

Якщо при синтезі діагностичної матриці не виконана ця умова і в системі (8) є дві або більше рівних функцій, то перелік діагностичних параметрів необхідно доповнити новим параметром, який увійшов би в якості додаткового аргументу тільки в одну з розглянутих рівних функцій.

Висновок

При синтезі діагностичної матриці виявлено, що в системі (8) є такі рівні функції як: $x_2 = S_1$; $x_3 = S_1$; $x_4 = S_1$; $x_7 = S_2$; $x_5 = S_2$; $x_9 = S_2$; $x_{10} = S_4$; $x_{11} = S_4$; $x_{12} = S_4$. Таким чином, перелік діагностичних параметрів зчеплення автомобілів Volkswagen Polo Sedan необхідно доповнити новими параметрами, які увійшли би в якості додаткових аргументів тільки в одну з розглянутих рівних функцій.

Розроблена математична модель зчеплення автомобілів Volkswagen Polo Sedan як об'єкта діагностування, яка дозволить виявити несправності в залежності від їх ознак з метою значного підвищення терміну експлуатації зчеплення автомобілів, вимагає введення нових додаткових діагностичних параметрів, що є предметом подальших наукових досліджень даного напрямку.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] А. Д. Кустиков, Н. А. Кузьмин, М. Г. Корчажкін, «Проблеми надійності трансмісій городських автобусов», *Тр. Нижегород. гос. техн. ун-та им. П. Е. Алексеева*, № 4 (101), с. 18-26, 2013.
- [2] Е. А. Пеньков, Р. И. Гарипов, Ш. С. Хуснетдинов, «Диагностирование сцепления автомобиля по показателям вибрации силового агрегата», *Вестник Оренбургского государственного университета*, № 10 (171), с. 146-151, 2014.
- [3] И. А. Биргер, *Техническая диагностика*. Москва, Россия: Машиностроение, 1978.
- [4] Б. В. Павлов, *Акустическая диагностика механизмов*. Москва, Россия: Машиностроение, 1971.
- [5] В. В. Лянденбургский, А. А. Карташов, А. С. Иванов, *Техническая эксплуатация автомобилей. Диагностика автомобилей*. Пенза, Россия: ПГУАС, 2011.
- [6] А. Д. Ананьин, В. М. Михлин, И. И. Габитов, *Диагностика и техническое обслуживание машин*. Москва, Россия: Академия, 2008.
- [7] А. П. Сырбаков, *Диагностика и техническое обслуживание*. Томск, Россия: Изд-во Томского политехнического университета, 2009.
- [8] Н. Я. Яхьяев, А. В. Кораблин, *Основы теории надежности и диагностика*. Москва, Россия: Академия, 2009.
- [9] В. И. Бельских, *Диагностика технического состояния и регулировка тракторов*. Москва, Россия: Колос, 1973.
- [10] Л. В. Мирошников, А. П. Болдин, В. И. Пал, *Диагностирование технического состояния автомобилей на автотранспортных предприятиях*. Москва, Россия: Транспорт, 1977.
- [11] В. С. Малкин, *Техническая диагностика*. Санкт-Петербург, Россия: Лань, 2013.
- [12] D. Borysiuk, A. Spirin, O. Trukhanska, L. Shvets, V. Zelinsky, «Mathematical model of a wheeled tractor steering axle as an object of diagnostics», *ТЕКА. Commission of motorization and energetics in agriculture*, vol. 17, no.1, pp. 41-47, 2017.
- [13] В. М. Барановський, А. В. Спирін, В. Й. Зелінський, В. С. Наляжний, «Математична модель діагностування системи уприскування палива «Моно-Jetronic»,» *Вісник машинобудування та транспорту*, вип. 1 (7), с. 10-17, 2018.
- [14] Д. В. Борисюк, В. В. Біліченко, В. Й. Зелінський, «Математична модель ударно-пускового механізму автомата Калашникова як об'єкта діагностування», *Вісник машинобудування та транспорту*, вип. 2 (8), с. 4-14, 2018.
- [15] Д. В. Борисюк, В. В. Біліченко, В. Й. Зелінський, «Математична модель ударно-пускового механізму пістолета Макарова як об'єкта діагностування», *Вісник машинобудування та транспорту*, вип. 1 (9), с. 15-26, 2019.
- [16] *Volkswagen Polo Sedan выпуска с 2010 года с двигателем 1,6. Устройство, обслуживание, диагностика, ремонт. Иллюстрированное руководство*. Москва, Россия: За рулем, 2012.
- [17] С. Н. Погребной, А. А. Владимиров, М. В. Титков, *Volkswagen Polo Sedan выпуска с 2010 г. Руководство по эксплуатации, техобслуживанию и ремонту*. Москва, Россия: Третий Рим, 2011.

Борисюк Дмитро Вікторович – канд. техн. наук, асистент кафедри автомобілів та транспортного менеджменту, e-mail: bddv@ukr.net.

Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

Mathematical model of the clutch of the Volkswagen Polo Sedan as an object of diagnosis

Vinnitsia National Technical University

When designing a car, designers must find a compromise between the dynamism and economy of the car, on the one hand, and reliability and safety - on the other. The first problem is solved mainly by reducing the weight of the car by optimizing the design and reducing strength reserves, and the second - by increasing the strength and durability of structural elements. Reliability of units of cars is the maximum at work on steady modes that confirms experience of their operation. It is known that in the conditions of country routes on good roads reliability of cars is essentially higher, than at operation within the city. In cities, unstable modes of operation of car units are caused, first of all, by frequent stops and subsequent accelerations due to the presence of traffic lights, pedestrian crossings, railway crossings, traffic jams, steep ascents and descents on car routes, etc. All this necessitates frequent braking, shifting gears and moving. These circumstances lead to an increase in the dynamic load of the vehicle units and, as a consequence, to the intensification of the processes of wear of the friction pairs of the clutch discs, gears and cardan gears, and so on. All the factors that reduce the reliability of car units in urban conditions are particularly evident in the example of buses and taxis with a manual transmission. According to some data, the share of failures of mechanical transmission units of such cars is 19 ... 23% of all failures.

During intensive operation of the car, various clutch malfunctions can occur. There are malfunctions of the actual clutch and malfunction of the clutch drive. Coupling defects occur not only due to intensive operation, but also due to violations of operating rules. Currently, clutch failures are mainly diagnosed by external signs. However, one external feature may correspond to several clutch failures. Thus, the process of determining the technical condition of the clutch of vehicles is an urgent scientific and technical task.

A mathematical model of the clutch of the Volkswagen Polo Sedan as an object of diagnosis are presents in the article. A matrix for diagnosing the clutch of a Volkswagen Polo Sedan and a block diagram of its synthesis have been built.

Key words: mathematical model, diagnosing, car, clutch, diagnosing matrix, block diagram, malfunction, fault sign, Boolean function.

Borysiuk Dmytro – Ph. D. (Eng.), assistant of the department of automobiles and transport management, e-mail: bddv@ukr.net.

Д. В. Борисюк

Математическая модель сцепления автомобиля Volkswagen Polo Sedan как объекта диагностирования

Винницкий национальный технический университет

При создании автомобиля конструкторы должны найти компромисс между динамичностью и экономичностью автомобиля, с одной стороны, и надежностью, и безопасностью – с другой. Первая задача решается в основном за счет снижения массы автомобиля посредством оптимизации конструкции и снижения запасов прочности, а вторая – за счет повышения запасов прочности и долговечности элементов конструкции. Надежность агрегатов автомобилей максимальна при работе на установившихся режимах, что доказывает опыт их эксплуатации. Известно, что в условиях загородных маршрутов на хороших дорогах надежность автомобилей существенно выше, чем при эксплуатации в черте города. В городах неустановившиеся режимы работы агрегатов автомобилей обуславливаются, прежде всего, частыми остановками и последующими разгонами из-за наличия светофоров, пешеходных переходов, железнодорожных переездов, пробок на дорогах, крутых подъемов и спусков на маршрутах движения автомобилей и др. Все это вызывает необходимость частых торможений, переключений передач и троганий с места. Данное обстоятельство приводит к возрастанию динамической нагруженности агрегатов автомобиля и, как следствие, к интенсификации процессов изнашивания рабочих пар дисков сцепления, зубчатых и карданных передач. Все факторы снижения надежности агрегатов автомобилей в городских условиях эксплуатации особенно ярко проявляются на примере автобусов и маршрутных такси с механической коробкой передач. По некоторым данным, доля отказов агрегатов механических трансмиссий таких автомобилей составляет 19...23 % от общего числа отказов.

При интенсивной эксплуатации автомобиля могут возникнуть различные неисправности сцепления. Различают неисправности собственно сцепления и неисправности привода сцепления. Дефекты сцепления возникают не только из-за интенсивной эксплуатации, но и из-за нарушения правил эксплуатации. В настоящее время неисправности сцепления в основном диагностируют по внешним признакам. Вместе с тем, один внешний признак может соответствовать нескольким неисправностям сцепления. Таким образом, процесс определения технического состояния сцепления автотранспортных средств является актуальной научно-технической задачей.

В статье представлено математическую модель сцепления автомобиля Volkswagen Polo Sedan как объекта диагностирования. Построено матрицу диагностирования сцепления автомобиля Volkswagen Polo Sedan и блок-схему ее синтеза.

Ключевые слова: математическая модель, диагностирование, автомобиль, сцепление, матрица диагностирования, блок-схема, неисправность, признак неисправности, булева функция.

Борисюк Дмитрий Викторович — канд. техн. наук, ассистент кафедры автомобилей и транспортного менеджмента, e-mail: bddv@ukr.net.