

Д. В. Борисюк, к. т. н.; А. В. Спирін, к. т. н., доц.; В. Й. Зелінський

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ВИЗНАЧЕННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ЕЛЕКТРОННОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ДВИГУНОМ АВТОМОБІЛІВ «KIA CEE'D»

Бурхливий прогрес в галузі електроніки і електротехніки за останні роки і десятиліття призвів до різкого збільшення кількості електронних компонентів в автомобілі. Поряд з гідравлікою і пневматикою електроніка проникла в усі частини сучасного автомобіля. Окремі електронні компоненти і комплексні електронні системи стають все компактнішими, дешевішими і, разом з тим, ефективнішими. В результаті з'являються нові можливості використання електроніки в автомобілі, що дозволяють постійно розширювати обсяг наявних функцій.

В цій роботі проаналізовані наявні методи та засоби діагностування електронних систем управління двигуном, як складового елемента автомобільного транспорту. Встановлено, що наявні методи і засоби діагностування електронних систем управління двигуном не в повній мірі дозволяють визначати їх поточний технічний стан, що вимагає розробки математичних моделей їх діагностування.

В якості об'єкту діагностування обрано електронну систему управління двигуном автомобілів «Kia Cee'd». Представлено аналіз складових частин системи управління двигуном автомобілів «Kia Cee'd», як об'єкта діагностування. Заміна реальних технічних пристроїв їх ідеалізованими моделями дозволяє широко застосовувати різні математичні методи. Запропоновано в загальному вигляді математичну модель, яка представляє собою систему функціональних залежностей між кожним діагностичним сигналом і структурними параметрами. Для системи управління двигуном автомобілів «Kia Cee'd» складена матриця діагностування, яка включає перелік несправностей та ознак несправностей. За допомогою розробленої математичної моделі можна удосконалити інформаційно-вимірвальну частину програмного забезпечення діагностичних приладів, що дозволить ефективно проводити діагностування системи управління двигуном автомобілів «Kia Cee'd». При розробці математичної моделі враховано, що зворотне перетворення кількості ознак несправностей у кількість структурних параметрів (несправностей) об'єкта було однозначним.

Дослідження запропонованої математичної моделі діагностування електронної системи управління двигуном автомобілів «Kia Cee'd» дозволить виявити несправності систем двигуна в залежності від їх ознак, що значно підвищить термін безвідмовної роботи як самого двигуна, так і транспортного засобу.

Ключові слова: математична модель, діагностування, автомобіль, двигун, система управління двигуна, матриця діагностування, блок-схема, несправність, ознака несправності, булева функція.

Вступ

У зв'язку з потужним розвитком електроніки та мікропроцесорної техніки відбувається зміна та удосконалення конструкцій багатьох систем автомобіля, і в першу чергу це стосується систем керування двигуном. На заміну традиційним механічним системам живлення та запалювання (карбюратор, переривач-розподільник та ін.) прийшли нові системи безпосереднього упорскування палива та безконтактного запалювання. Їх робота забезпечується електронними блоками керування та різноманітними давачами, що контролюють складні процеси, які протікають під час роботи двигуна та його систем. Окрім того, електронні блоки керування проводять самодіагностування, що полегшує пошук несправностей та їх усунення.

Використання електроніки в системах керування двигуном забезпечує отримання

оптимального сумішоутворення (паливо-повітря) на всіх режимах його роботи, підвищуючи при цьому динаміку, економічність, а також знижуючи кількість шкідливих викидів у навколишнє середовище, що є пріоритетним на сьогодні.

Необхідно відзначити, що практично всі фірми-виробники автомобільної техніки перейшли на використання електронних систем керування двигунами, хоча ще досить велика кількість транспорту, що має старі системи живлення та запалювання, експлуатується на дорогах багатьох країн.

Постановка проблеми

На сьогодні автотранспортна галузь є однією з найбільш розвинутих та перспективних. Сучасні автомобілі стають більш надійними, комфортними та безпечними, полегшується їх керування, обслуговування та ремонт. Це стало можливим завдяки широкому використанню електронного обладнання, що в свою чергу призвело до ускладнення в усіх системах керування автомобіля [1]. Автомобільні електронні системи керування мають одну загальну властивість – вони керують неелектричними процесами, але самі керуються від електронної автоматики. При цьому первинними джерелами керованих сигналів є людина (водій), програма, яка закладена в електронну пам'ять, та вхідні неелектричні впливи [2]. Система керування двигуном у цілому, система запалювання, система впорскування бензину, механізми автомобільного двигуна безпосередньо впливають на багато показників його роботи. До числа таких показників відносять потужність двигуна, економічність, рівномірність і стійкість роботи, токсичність відпрацьованих газів та ін. Відомо, що навіть непомітні несправності системи запалювання чи системи впорскування (зменшення пробивної напруги, порушення часу накопичення енергії, порушення кута випередження запалювання та ін.) суттєво збільшують витрату палива і підвищують вміст шкідливих речовин у відпрацьованих газах [3].

Двигуни з електронною системою керування мають функцію діагностування методом самодіагностування [4, 5]. Суть методу полягає у наявності вбудованої в електронну систему керування двигуном функції самодіагностування, яка дозволяє, шляхом опитування пам'яті несправностей електронного блоку, швидко визначити несправний конструктивний елемент та зберігати код несправності у пам'яті блоку. Перевагами цього методу є можливість визначення несправностей двигуна шляхом зчитування кодів похибок із пам'яті з мінімальними затратами часу та кількістю діагностичних операцій. Застосування цього методу в експлуатації ускладнюється відносно великою вартістю діагностичного обладнання та високими вимогами до кваліфікації персоналу, який в свою чергу, для правильної постановки діагнозу повинен дуже добре володіти традиційними методами діагностування.

Високі вимоги до кваліфікації персоналу пов'язані з тим, що дуже часто самодіагностування на несправних транспортних засобах не виявляє відмов, або невірно визначає причини несправності, оскільки у пам'ять самодіагностування вносяться дані щодо відхилень значень параметрів тих конструктивних елементів з якими у електронного блоку керування є електричний зв'язок. Виникнення гідродинамічних або механічних несправностей самодіагностування не виявляє, що може призвести до встановлення невірного діагностичного висновку [6].

Статистика виходу з ладу окремих складових автомобіля показує, що близько 30...35 % від всіх відмов становлять відмови електронної системи управління двигуном [2].

Отже, дослідження, спрямовані на вдосконалення методів і засобів діагностування електронної системи управління двигуном автомобілів «Kia Cee'd» є актуальною науково-технічною задачею.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

На сьогодні діагностування двигунів та їх систем здійснюється декількома методами із застосуванням різного устаткування. Великий внесок у розробку методів і засобів діагностування двигунів внутрішнього згорання та їх систем внесли: Курніков І. П. [3], Merotto L. [5], Канарчук В. Є. [7], Кукурудзяк Ю. Ю. [8], Лудченко О. А. [9], та ін. Методи технічного діагностування двигунів, що отримали поширення, як правило, виконуються при їх частковому розбиранні.

Застосування сучасних безконтактних і нерозбірних методів діагностування, заснованих на аналізі вихідних параметрів двигуна, функціонально пов'язаних з його структурними параметрами, дозволить вирішити завдання щодо зниження трудомісткості робіт, якості діагностування, однак, вони досліджені недостатньо.

Питанням проектування систем діагностування присвячені роботи Zhang J. [4], Чабанного В. Я. [10], Яцковського В. І. [11], Анісімова В. Ф. [12], Коваленка В. М. [13] та ін.

Аналіз літературних і наукових джерел показав, що наявні методи та засоби діагностування двигунів внутрішнього згорання, зокрема, електронних систем управління двигуном, не в повній мірі відповідають сучасним вимогам щодо визначення їх поточного технічного стану, що вимагає розробки математичних моделей автоматизації процесу діагностування їх основних частин.

Мета дослідження

Надійність транспортних засобів залежить від надійності їх вузлів та агрегатів, і одним з таких агрегатів є двигун внутрішнього згорання.

Підвищення достовірності і зниження трудомісткості діагностичних робіт при технічному сервісі двигуна автомобіля може бути досягнуто удосконаленням засобів діагностування електронних систем управління двигуном, що володіють можливістю оцифрування отриманих прямим вимірюванням даних і подальшою обробкою їх з використанням математичного апарату.

Метою дослідження є розробка математичної моделі діагностування електронної системи управління двигуном автомобілів «Kia Cee'd», в якій враховуються як несправності, так і ознаки несправностей.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

- розглянути будову і особливості функціонування електронної системи управління двигуном автомобілів «Kia Cee'd»;
- розробити математичну модель системи управління двигуном автомобілів «Kia Cee'd», що дозволить удосконалити інформаційно-вимірювальну частину програмного забезпечення діагностичних приладів.

Аналіз електронної системи управління двигуном автомобілів «Kia Cee'd»

Електронна система управління двигуном призначена для управління цикловою подачею палива двигуна в залежності від режимів роботи двигуна, його температурного стану, регульовальних характеристик та параметрів навколишнього середовища [14, 15].

Бензинові (G4FA, G4FB, G4FC) та дизельні (D4FB, D4EA) двигуни, що встановлюються на автомобілях «Kia Cee'd», обладнані електронною системою управління двигуном з розподільчою системою упорскування палива. Ця система забезпечує виконання сучасних норм щодо токсичності викидів та випаровування при збереженні високих ходових якостей та низької витрати палива [16].

Керуючим пристроєм в системі являється електронний блок управління [17]. На основі інформації, отриманої від датчиків, електронний блок управління розраховує параметри регулювання упорскування палива та керування кутом випередження запалення. Крім того,

відповідно до закладеного алгоритму електронний блок управління керує роботою електродвигуна вентилятора системи охолодження двигуна та електромагнітної муфти включення компресора кондиціонера, виконує функцію самодіагностики елементів системи та сповіщає водію про несправності.

При виході з ладу окремих датчиків та виконавчих механізмів, електронний блок управління вмикає аварійні режими, що забезпечують роботоздатність двигуна.

Кількість палива, що подається форсунками, визначається тривалістю електричного сигналу від електронного блоку управління. Електронний блок відстежує дані про стан двигуна, розраховує потребу в паливі та визначає необхідну тривалість подачі палива форсунками (тривалість сигналу). Для збільшення тривалості процесу подачі палива, тривалість сигналу збільшується, а для зменшення тривалості процесу подачі палива – зменшується.

Система управління двигуном включає в себе електронний блок управління, датчі, виконавчі пристрої, роз'єми та запобіжники.



Рис. 1. Електронний блок управління



Рис. 2. Датчик положення колінчастого вала



Рис. 3. Датчик положення розподільного вала

Електронний блок управління (контролер) (рис. 1) зв'язаний електричними проводами з усіма датчиками системи. Отримуючи від них інформацію, блок виконує розрахунки відповідно до параметрів та алгоритму управління, що зберігаються в пам'яті, і управляє виконавчими пристроями системи.

Електронний блок управління живить постійним струмом напругою 5 і 12 В різні датчі та вимикачі системи управління.

Електронний блок управління не придатний для ремонту, тож у разі несправності його необхідно замінити.

Датчик положення колінчастого вала (рис. 2) призначений для синхронізації роботи електронного блоку управління з верхніми мертвими точками поршнів першого та четвертого циліндрів та кутовим положенням колінчастого вала. Дія датчика ґрунтується на ефекті Холла. Датчик положення колінчастого вала встановлений у задній частині двигуна навпроти вінця маховика. Під час обертання колінчастого вала зубці маховика змінюють магнітне поле датчика, наводячи імпульси напруги змінного струму. Блок керування за сигналами датчика визначає частоту обертання колінчастого вала та видає імпульси на форсунки. При відмові датчика пуск двигуна неможливий.

Датчик положення розподільного вала індуктивного типу (рис. 3) встановлений у передній частині головки блоку циліндрів. Під час обертання впускного розподільного вала виступи на його передній шийці змінюють магнітне поле датчика, наводячи імпульси напруги змінного струму. Сигнали датчика використовуються електронним блоком управління для організації пофазного упорскування палива відповідно до порядку роботи циліндрів, а також для управління зміною фаз газорозподілу залежно від режиму роботи двигуна. У разі виникнення несправності ланцюга датчика положення розподільного вала, електронний блок заносить у пам'ять її код і включає сигнальну лампу.

Давач температури охолоджуючої рідини (рис. 4) встановлений у системі охолодження двигуна. Чутливим елементом давача є термістор, електричний опір якого змінюється обернено пропорційно до температури. За низької температури охолоджувальної рідини ($-20\text{ }^{\circ}\text{C}$) опір термістора становить близько 15 кОм, при підвищенні температури до $+80\text{ }^{\circ}\text{C}$ опір зменшується до 320 Ом.

Електронний блок управління живить ланцюг давача температури постійною «опорною» напругою. Напряга сигналу давача досягає максимального значення на «холодному» двигуні і знижується у міру його прогріву. За значенням напруги електронний блок визначає температуру двигуна і враховує її при розрахунку регульованих параметрів упорскування та запалювання. При відмові датчика або порушеннях у ланцюзі його підключення, електронний блок управління визначає код несправності та запам'ятовує його.

У корпусі давача встановлений також додатковий термістор для керування покажчиком температури охолоджуючої рідини у комбінації приладів.



Рис. 4. Давач температури охолоджуючої рідини



Рис. 5. Давач положення дросельної заслінки



Рис. 6. Давач концентрації кисню

Давач положення дросельної заслінки (рис. 5) встановлений на корпусі дросельного вузла та зв'язаний з віссю дросельної заслінки. Давач являє собою потенціометр, на один кінець якого подається «плюс» напруги живлення (5 В), а інший кінець з'єднаний з "масою". З третього виводу потенціометра (від повзунка) йде вихідний сигнал до електронного блоку управління.

Коли дросельна заслінка повертається (від дії на педаль управління), напруга на виході давача змінюється. При закритій дросельній заслінці вона нижче 0,5 В. Коли заслінка відкривається, напруга на виході датчика зростає, при повністю відкритій заслінці вона має бути більше 4 В. Відстежуючи вихідну напругу давача, електронний блок управління коригує подачу палива в залежності від кута відкриття дросельної заслінки.

Давач положення дросельної заслінки не вимагає регулювання, оскільки блок управління сприймає холостий хід (тобто повне закриття дросельної заслінки) як нульову позначку.

Давачі концентрації кисню (рис. 6) вкручені в нарізні отвори катколектора та приймальної труби системи випуску відпрацьованих газів. Давач на вході в катколектор служить для керування складом паливоповітряної суміші, а давач на виході – для оцінки ефективності роботи нейтралізатора. У металевих колбах давачів розташований гальванічний елемент, що «омивається» потоком відпрацьованих газів. Залежно від вмісту кисню у відпрацьованих газах у результаті згорання паливоповітряної суміші змінюється напруга сигналів давачів.

Інформація від кожного давача надходить в блок управління у вигляді сигналів низького (від 0,1 В) і високого (до 0,9 В) рівня. При сигналі низького рівня блок керування одержує інформацію про високий вміст кисню. Сигнал високого рівня свідчить про низький вміст кисню у відпрацьованих газах.

Постійно відстежуючи напругу сигналу давачів, блок управління коригує кількість палива, що впорскується форсунками. При низькому рівні сигналу давача на вході в катколектор (збіднена паливоповітряна суміш) кількість палива, що подається, збільшується, при високому рівні сигналу (збагачена суміш) – зменшується. Якщо різниця між рівнями сигналів

давачів на вході та виході нейтралізатора менша за значення, допустимих при цьому режимі роботи, блок управління ідентифікує несправність катколектора.

Давач детонації (рис. 7) прикріплений до верхньої частини блоку циліндрів у зоні між другим та третім циліндрами та вловлює аномальні вібрації (детонаційні удари) у двигуні. Чутливим елементом давача детонації є п'єзокристалічна пластина. При детонації на виході давача генеруються імпульси напруги, які збільшуються зі зростанням інтенсивності детонаційних ударів. Електронний блок за сигналом давача регулює випередження запалення для усунення спалахів палива.



Рис. 7. Давач детонації



Рис. 8. Давач абсолютного тиску



Рис. 9. Давач швидкості

Давач абсолютного тиску (рис. 8) у впускному трубопроводі перетворює розрідження в електричну напругу, за значенням якої електронний блок управління визначає навантаження двигуна. Давач встановлений на впускному трубопроводі і з'єднаний з його порожниною гумовою трубкою. Вихідна напруга давача змінюється відповідно до тиску у впускному трубопроводі – від 4,0 В (при повністю відкритій дросельній заслінці) до 0,79 В (при закритій заслінці). При непрацюючому двигуні блок керування напругою давача визначає атмосферний тиск і адаптує параметри регулювання упорскування до конкретної висоти над рівнем моря. Значення атмосферного тиску, що зберігаються в пам'яті, періодично оновлюються під час рівномірного руху автомобіля та за повного відкриття дросельної заслінки.

Давач швидкості (рис. 9) автомобіля встановлений на коробці передач. Принцип дії давача ґрунтується на ефекті Холла. Давач видає на електронний блок управління прямокутні імпульси напруги, частота яких пропорційна швидкості обертання ведучих коліс.



Рис. 10. Діагностичний роз'єм



Рис. 11. Електромагнітний клапан системи зміни фаз газорозподілу

Для виведення з пам'яті електронного блоку управління кодів несправностей, виявлених під час роботи системи управління двигуном, служать діагностичні роз'єми (рис. 10). Один діагностичний роз'єм розташований праворуч у моторному відсіку, другий – у салоні автомобіля під панеллю приладів з лівої сторони. До діагностичного роз'єму можна підключити скануючий пристрій, який зчитує інформацію з послідовної лінії даних.

Електромагнітний клапан системи зміни фаз газорозподілу (рис. 11) встановлений у

головці блоку циліндрів двигуна. Клапан регулює тиск масла, що подається до виконавчого механізму зміни фаз, який встановлений на передньому кінці розподільчого валу впускних клапанів.

Система здійснює оптимальне налаштування фаз газорозподілу, змінюючи їх у всьому діапазоні значень частоти та навантаження двигуна, що збільшує потужність і крутний момент за будь-якого швидкісного режиму.

Викладення основного матеріалу

За рахунок автоматизації логічного процесу постановки діагнозу можна попередити несправності об'єкта діагностування.

Вирішення задачі автоматизації логічного процесу постановки діагнозу вимагає розробки моделей елементів системи управління двигуном автомобілів «Kia Cee'd» як об'єктів діагностування, що описують на одному математичному рівні взаємозв'язки між безліччю можливих несправностей та 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 зав'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 розуміють 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 цьому 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) [1, 18].

Для представлення об'єкта діагностування у вигляді «чорного ящика» необхідно задати (рис. 12):

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

$$C = A\{Y, B\}. \quad (1)$$

Враховуючи те, що під час проведення діагностування елементи кількості Y стабілізуються (або змінюються за заданим законом), вираз (1) перетвориться у вид:

$$C = A\{B\}. \quad (2)$$

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

Якщо несправність об'єкта діагностування $\{B_i\}$ віднести до вихідних параметрів автоматизованої системи, то діагностична задача формулюється наступним чином: по відомим ознакам несправності $\{C_j\}$ визначити невідомі несправності об'єкта діагностування $\{B_i\}$.

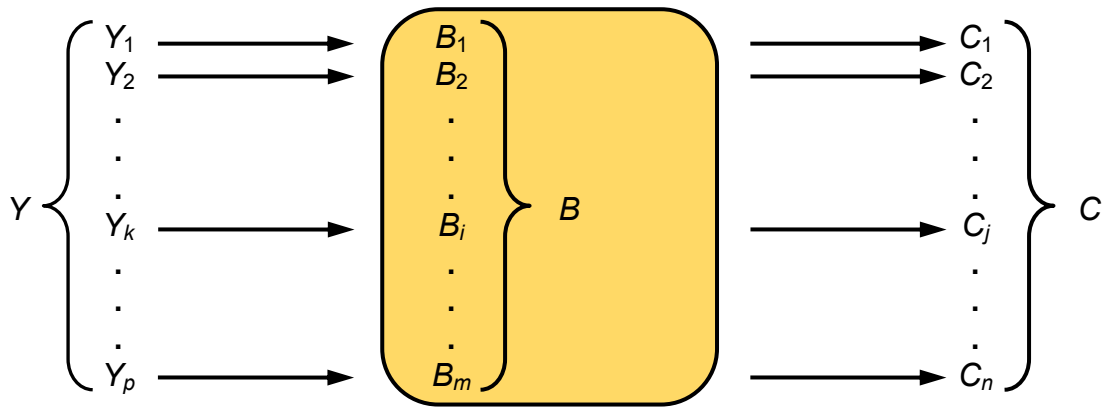


Рис. 12. Представлення об'єкта діагностування у вигляді «чорного ящика»

Для успішного вирішення 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, в яких різні форми опису зазначених взаємозв'язків відрізняються одна від одної.

При наявності аналітичної моделі об'єкта діагностування завдання постановки діагнозу в загальному вигляді формулюється таким чином. За цими ознаками несправності C_1, C_2, \dots, C_n , отриманих в результаті відповідних вимірювань, визначити технічний стан (несправності) об'єкта діагностування B_1, B_2, \dots, B_m , якщо відомі функціональні залежності між кожним діагностичним сигналом і структурними параметрами:

$$\begin{cases} C_1 = \phi_1(B_1, B_2, \dots, B_m); \\ C_2 = \phi_2(B_1, B_2, \dots, B_m); \\ \dots \dots \dots \\ C_j = \phi_j(B_1, B_2, \dots, B_m); \\ \dots \dots \dots \\ C_n = \phi_n(B_1, B_2, \dots, B_m). \end{cases} \quad (3)$$

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 обмежено в силу таких обставин:

- вид функцій ϕ_j для більшості вузлів і механізмів поки не встановлений;
- якщо функція ϕ_j не задовольняє умовам безперервності і диференціювання по кожному з своїх аргументів, що зазвичай має місце в реальних моделях, то рішення системи рівнянь (3) пов'язано з великими математичними труднощами;
- більшість діагностичних параметрів, в принципі не можуть бути виражені 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 описуються у вигляді так званих діагностичних матриць [18 – 27].

З досвіду багаторічної експлуатації автомобілів «Kia See'd» в таблиці 1 наведена матриця

діагностування електронної системи управління двигуном, якою вони оснащуються [1, 2, 15].

Таблиця 1

Матриця діагностування електронної системи управління двигуном автомобілів «Kia Cee'd»

Несправність електронної системи управління двигуном автомобілів «Kia Cee'd»	Ознака несправності електронної системи управління двигуном автомобілів «Kia Cee'd»					
	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6
B_1	+	+	-	-	-	-
B_2	+	-	-	-	-	-
B_3	-	+	-	-	-	-
B_4	-	+	-	+	-	-
B_5	-	-	+	-	-	-
B_6	-	-	+	-	-	-
B_7	-	-	+	-	-	-
B_8	-	-	-	+	-	-
B_9	-	-	-	+	-	-
B_{10}	-	-	-	+	-	-
B_{11}	-	-	-	+	-	-
B_{12}	-	-	-	+	-	-
B_{13}	-	-	-	-	+	-
B_{14}	-	-	-	-	-	+
B_{15}	-	-	-	-	-	+
B_{16}	-	-	-	-	-	+

В матриці діагностування позначимо наступні несправності електронної системи управління двигуном автомобілів «Kia Cee'd»: B_1 – несправна система запалювання; B_2 – несправна система упорскування палива; B_3 – відсутній надійний контакт електронного блоку управління з «масою»; B_4 – низька напруга в бортовій мережі (несправний генератор); B_5 – невідповідність калільного числа встановлених на двигун свічок запалювання; B_6 – пошкодження проводів високої напруги; B_7 – несправність датчик температури охолоджуючої рідини або його електричного ланцюга; B_8 – несправний датчик масової витрати повітря; B_9 – несправні дроти високої напруги; B_{10} – забруднення свічок запалювання; B_{11} – забруднення приладів запалювання; B_{12} – ненадійний контакт приладів запалювання з «масою»; B_{13} – несправність свічок запалювання; B_{14} – збіднена паливоповітряна суміш, що є причиною збільшення напруги сигналу датчик концентрації кисню внаслідок утворення відкладень на колбі датчик; B_{15} – заїдання дросельної заслінки у відкритому положенні; B_{16} – несправність датчик температури охолоджуючої рідини або його електричного ланцюга.

Також в матриці діагностування вводимо ознаки вищезазначених несправностей електронної системи управління двигуном автомобілів «Kia Cee'd»: C_1 – стартер обертає колінчастий вал, але двигун довго не запускається (після запуску двигун відразу зупиняється); C_2 – двигун не розвиває номінальної потужності (автомобіль повільно розганяється при частковому натисканні на педаль акселератора); C_3 – детонаційні стуки у двигуні під час прискорення автомобіля; C_4 – відсутність швидкої реакції двигуна на зміну положення дросельної заслінки, особливо під час руху автомобіля з місця; C_5 – двигун працює з перебоями (ривки автомобіля при збільшенні навантаження на двигун. Нерівний шум під час випуску відпрацьованих газів); C_6 – нестійка робота двигуна на холостому ході, що супроводжується підвищеною вібрацією та зупинками.

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

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

ставиться «-».

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 їх комбінацією) або з працездатним станом (рис. 13).

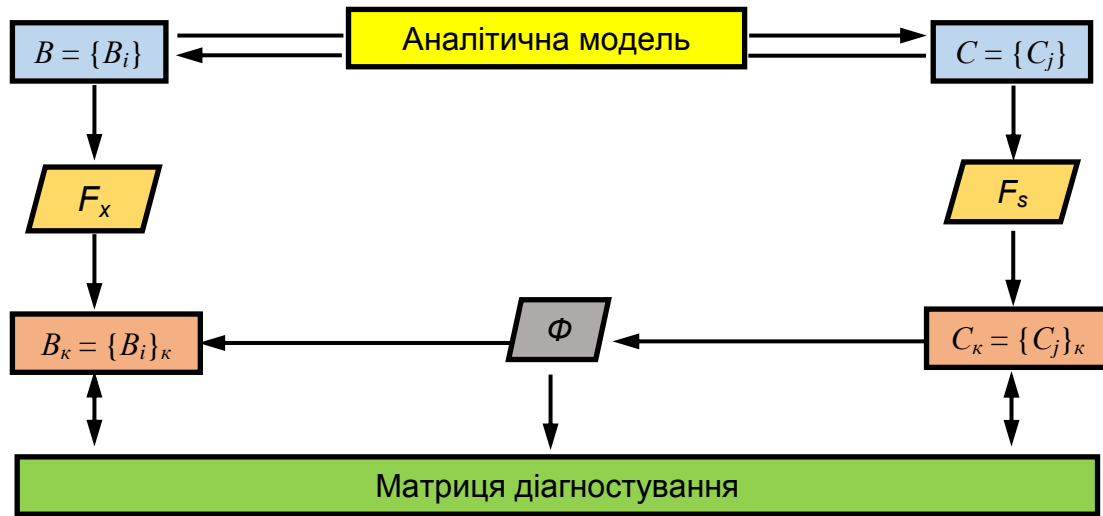


Рис. 13. Блок-схема синтезу матриці діагностування електронної системи управління двигуном автомобілів «Kia Cee'd»:

$B = \{B_i\}$ – нескінченна кількість технічних станів об'єкта;

$B_k = \{B_i\}_k$ – кінцева кількість технічних станів;

$C = \{C_j\}$ – нескінченна множина ознак технічних станів об'єкта;

$C_k = \{C_j\}_k$ – кінцева множина ознак технічних станів об'єкта

F_x – оператор, перетворюючий кількість $\{B_i\}$ в кількість $\{B_i\}_k$;

F_s – оператор, який перетворює кількість $\{C_j\}$ в кількість $\{C_j\}_k$;

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

Таке перетворення може бути записано у вигляді:

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

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

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

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

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

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

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

$$\{C_j\}_k = \Phi \{B_i\}_k, \quad (6)$$

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 C_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 C_1 в матриці діагностування можна розглядати як двозначну булеву функцію, яка залежить від аргументів B_1 та B_2 . Булева функція залежить від аргументів B_1 та B_2 , якщо має місце співвідношення:

$$\phi(B_1, B_2, \dots, B_{i-1}, 0, B_{i+1}, \dots, B_m) \neq \phi(B_1, B_2, \dots, B_{i-1}, 1, B_{i+1}, \dots, B_m).$$

Як випливає з цього визначення та таблиці 1, C_1 істотно залежить лише від B_1 та B_2 .

Залежність $C_1 = \phi_1(B_1, B_2)$ виражається в даному випадку в вигляді функції логічного додавання (диз'юнкція):

$$C_1 = B_1 + B_2.$$

Відповідний аналіз інших ознак несправностей дозволяє записати систему рівнянь (3) для цієї матриці діагностування електронної системи управління двигуном автомобілів «Kia Cee'd» у вигляді:

$$\begin{cases} C_1 = B_1 + B_2; & C_4 = B_4 + B_8 + B_9 + B_{10} + B_{11} + B_{12}; \\ C_2 = B_1 + B_3 + B_4; & C_5 = B_{13}; \\ C_3 = B_5 + B_6 + B_7; & C_6 = B_{14} + B_{15} + B_{16}. \end{cases} \quad (7)$$

Всі послідовні перетворення, що призводять до синтезу моделі об'єкта діагностування у вигляді діагностичної матриці, наочно представлені на блок-схемі (див. рис. 13). У тому випадку, коли модель об'єкта діагностування наведена у вигляді діагностичної матриці, діагностична задача формулюється наступним чином: за ознаками несправностей C_1, C_2, \dots, C_n отриманими при діагностуванні, потрібно визначити несправності B_1, B_2, \dots, B_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 одне значення: «-» або «+».

Очевидно що для вирішення 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:

$$\{B_i\}_k = \Phi^{-1} \{C_j\}_k,$$

або в розгорнутому вигляді

$$\begin{cases} B_1 = f_1(C_1, C_2, \dots, C_n); \\ B_2 = f_2(C_1, C_2, \dots, C_n); \\ B_m = f_m(C_1, C_2, \dots, C_n). \end{cases} \quad (8)$$

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

У діагностичній матриці розглянемо окремо один із рядків, наприклад, десятий. З матриці видно, що наявність несправності B_4 викликає одночасно вихід ознак C_2 та C_4 з області їх допустимих значень. Значення інших діагностичних параметрів при наявності тільки несправності B_4 залишаються в межах норми. Значить B_4 є булевою функцією, в цьому випадку кон'юнкція (або функцією логічного множення):

$$B_4 = C_2 \cdot C_4.$$

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

$$\begin{cases} B_1 = C_1 \cdot C_2; & B_5 = C_3; & B_9 = C_4; & B_{13} = C_5; \\ B_2 = C_1; & B_6 = C_3; & B_{10} = C_4; & B_{14} = C_6; \\ B_3 = C_2; & B_7 = C_3; & B_{11} = C_4; & B_{15} = C_6; \\ B_4 = C_2 \cdot C_4; & B_8 = C_4; & B_{12} = C_4; & B_{16} = C_6. \end{cases} \quad (9)$$

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 C_1, C_2, \dots, C_n ;
- значення діагностичних параметрів підставляються в систему булевих функцій (8);
- обчислюються значення всіх булевих функцій несправностей B_i ($i = 1, 2, \dots, m$) причому якщо $B_i = 1$, то в об'єкті є i -та несправність.

Виходячи з того, що об'єкт діагностування є працездатним лише у випадку відсутності всіх несправностей, то функція його роботоздатності F_P набуде вигляду:

$$F_P = \overline{B_1 + B_2 + B_3 + \dots + B_{17}}. \quad (10)$$

Повертаючись до блок-схеми синтезу матриці діагностування (рис. 3), можна сформулювати в загальному вигляді умову здійснення діагностування наступним чином: для виконання 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.

Висновки

1. Встановлено, що ефективність експлуатації транспортних засобів у значній мірі визначається технічним станом їх двигунів внутрішнього згорання, для активного впливу на який необхідна об'єктивна інформація, яка забезпечується технічним діагностуванням на базі різноманітних методів та технічних засобів.

2. В ході аналізу останніх досліджень і публікацій з представленої теми встановлено, що конкретних математичних залежностей визначення технічного стану систем управління двигуном автомобілів не виявлено.

3. Представлено аналіз особливостей конструкції електронної системи управління двигуном автомобілів «Kia Cee'd», як об'єкта діагностування.

4. В якості об'єкта діагностування електронну систему управління двигуном автомобілів «Kia Cee'd» представлено у вигляді «чорного ящика», вхідні і вихідні параметри якого мають кінцеву множину значень.

5. Для електронної системи управління двигуном автомобілів «Kia Cee'd» складена матриця діагностування, яка включає перелік несправностей та ознак несправностей. Матриця діагностування, як модель об'єкта діагностування, показує, що вона є табличною формою запису математичної моделі об'єкта діагностування.

6. При синтезі матриці діагностування виявлено, що в системі (9) є такі рівні функції як:

$$B_5 = B_6 = C_3; B_9 = B_{10} = B_{11} = B_{12} = C_4; B_{14} = B_{15} = B_{16} = C_6.$$

Отже, перелік діагностичних параметрів електронної системи управління двигуном автомобілів «Kia Cee'd» необхідно доповнити новими параметрами, які увійшли би в якості додаткових аргументів тільки в одну з розглянутих рівних функцій.

7. Розроблена математична модель автоматизації процесу діагностування електронної системи управління двигуном автомобілів «Kia Cee'd» вимагає введення нових додаткових діагностичних параметрів, що є предметом подальших наукових досліджень цього напрямку.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Основи діагностики автомобіля / [Люлька В. С., Коньок М. М., Перинський Ю. Є., Клімов О. М.]. – Чернігів: ЧНПУ імені Т.Г. Шевченка, 2013. – 188 с.
2. Автоматизація діагностування електронних систем запалювання бензинових двигунів автомобілів / Р. М. Модла, А. Г. Павельчак, О. С. Вітер [та ін.] // Комп'ютерні технології друкарства. – 2017. – № 2 (38). – С. 50 – 56.
3. Канарчук В. Є. Виробничі системи на транспорті / В. Є. Канарчук, І. П. Курніков. – Київ : Вища школа, 1997. – 359 с.
4. Zhang J. Fault diagnosis for electric drive systems of electrified vehicles based on structural analysis / J. Zhang, H. Yao, G. Rizzoni // IEEE Trans. Veh. Technol. – 2017. – № 66. – P. 1027 – 1039.
5. Ignition Diagnostics based on Spark-Induced Breakdown Spectroscopy for Gas-Engine Applications / L. Merotto, T. Kammermann, D. Bleiner [et al.] // Ignition Systems for Gasoline Engines. 4th International Conference, December 6-7, 2018, Berlin, Germany. – P. 192 – 208.
6. Komorska Iwona Monika. Diagnosis of sensor faults in a combustion engine control system with the artificial neural network / Iwona Monika Komorska, Zbigniew Wołczyński, Artur Damian Borczuch // Diagnostyka. – 2019. – № 20 (4). – P. 19 – 25.
7. Канарчук В. Є. Основи технічного обслуговування і ремонту автомобілів. В 3 кн. Кн. 3. Ремонт автотранспортних засобів / В. Є. Канарчук, О. А. Лудченко, А. Д. Чигринець. – Київ : Вища школа, 1994. – 495 с.
8. Кукурудзяк Ю. Ю. Технічна експлуатація автомобілів. Організація технологічних процесів ТО і ПР / Ю. Ю. Кукурудзяк, В. В. Біліченко. – Вінниця : ВНТУ, 2010. – 198 с.
9. Лудченко О. А. Технічна експлуатація і обслуговування автомобілів: технологія / О. А. Лудченко. – Київ : Вища школа, 2007. – 527 с.
10. Чабанний В. Я. Ремонт автомобілів / В. Я. Чабанний. – Кіровоград : Кіровоградська районна друкарня, 2007. – 720 с.
11. Борисюк Д. В. Методи та засоби діагностування тракторів / Д. В. Борисюк, В. І. Яцковський // Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. Серія: Технічні науки. – 2015. – № 1 (89). т. 2. – С. 16 – 20.
12. Анісімов В. Ф. Системи діагностування сільськогосподарських тракторів / В. Ф. Анісімов, Д. В. Борисюк, О. В. Черкевич // Техніка, енергетика, транспорт АПК. – 2016. – № 2 (94). – С. 34 – 36.
13. Коваленко В. М. Діагностика і технологія ремонту автомобілів / В. М. Коваленко, В. К. Щуріхін. – Київ : Літера ЛТД, 2017. – 224 с.
14. Борисюк Д. В. Формування словника діагностичних ознак при віброакустичному діагностуванні тракторів і автомобілів / Д. В. Борисюк // Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту : VI-а Міжн. наук.-практ. інтернет-конф., м. Вінниця, 12-13 квітня 2018 р.: тези доповіді. – Вінниця, 2018. – С. 28 – 30.
15. Кисликов В. Ф. Будова й експлуатація автомобілів / В. Ф. Кисликов, В. В. Лушик. – К. : Либідь, 2018. – 400 с.
16. Технічне обслуговування та ремонт вантажних і легкових автомобілів, автобусів. Основи будови та Наукові праці ВНТУ, 2023, № 4

експлуатації автопоїздів / [Строков О. П., Макаренко М. Г., Орлов В. Ф., Павленко В. О.]. – Київ : Грамота, 2005. – 352 с.

17. Electronic Systems Diagnosis Fault in Gasoline Engines Based on Multi-Information Fusion [Electronic resource] / Hu Jie, Huang Tengfei, Zhou Jiaopeng, Zeng Jiawei // Sensors. – 2018. – Vol. 18, № 2917. – Access mode : <https://www.mdpi.com/1424-8220/18/9/2917>.

18. Mathematical model of a wheeled tractor steering axle as an object of diagnostics / D. Borysiuk, A. Spirin, O. Trukhanska [et al.] // ТЕКА. Commission of motorization and energetics in agriculture. – 2017. – Vol. 17, № 1. – P. 41 – 47.

19. Математична модель діагностування системи уприскування палива «Mono-Jetronic» / В. М. Барановський, А. В. Спирін, В. Й. Зелінський [та ін.] // Вісник машинобудування та транспорту. – 2018. – Вип. 1 (7). – С. 10 – 17.

20. Борисюк Д. В. Математична модель ударно-спускового механізму автомата Калашникова як об'єкта діагностування / Д. В. Борисюк, В. В. Біліченко, В. Й. Зелінський // Вісник машинобудування та транспорту. – 2018. – Вип. 2 (8). – С. 4 – 14.

21. Борисюк Д. В. Математична модель ударно-спускового механізму пістолета Макарова як об'єкта діагностування / Д. В. Борисюк, В. В. Біліченко, В. Й. Зелінський // Вісник машинобудування та транспорту. – 2019. – Вип. 1 (9). – С. 15 – 26.

22. Борисюк Д. В. Вибір та обґрунтування параметрів вібродіагностування керованих мостів колісних тракторів : автореф. дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.22.20 «Експлуатація та ремонт засобів транспорту» / Д. В. Борисюк. – Житомир, 2020. – 21 с.

23. Борисюк Д. В. Математична модель зчеплення автомобіля Volkswagen Polo Sedan як об'єкта діагностування / Д. В. Борисюк // Вісник машинобудування та транспорту. – 2021. – Вип. 1 (13). – С. 23 – 32.

24. Борисюк Д. В. Математична модель коробки перемикач передаточного типу ЯМЗ-239 як об'єкта діагностування / Д. В. Борисюк // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2021. – Вип. 3 (156). – С. 93 – 104.

25. Математична модель процесу діагностування турбокомпресора ЯМЗ-650.1118011 [Електронний ресурс] / Д. В. Борисюк // Наукові праці Вінницького національного технічного університету. – 2021. – Вип. 2 (13). – Режим доступу до журн.: <https://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/634/596>.

26. Математична модель автоматизації процесу діагностування двигунів внутрішнього згорання сімейства ЯМЗ-238 / Д. В. Борисюк, В. Й. Зелінський, І. В. Твердохліб [та ін.] // Техніка, енергетика, транспорт АПК. – 2021. – № 4 (115). – С. 12 – 23.

27. Математична модель автоматизації процесу діагностування ведучих мостів автомобілів «КамАЗ» / Д. В. Борисюк, В. Й. Зелінський, І. В. Твердохліб [та ін.] // Техніка, енергетика, транспорт АПК. – 2022 – № 2 (117). – С. 15 – 24.

Стаття надійшла до редакції 15.12.2023.

Стаття пройшла рецензування 27.12.2023.

Борисюк Дмитро Вікторович – к. т. н., старший викладач кафедри автомобілів та транспортного менеджменту.

Вінницький національний технічний університет.

Спирін Анатолій Володимирович – к. т. н., доцент, завідувач кафедри інженерії та електротехнічних систем в АПК.

Відокремлений структурний підрозділ «Ладизинський фаховий коледж Вінницького національного аграрного університету».

Зелінський Вячеслав Йосипович – асистент кафедри автомобілів та транспортного менеджменту.

Вінницький національний технічний університет.