

УДК 629.083

Д. В. Борисюк, канд. техн. наук, доц.; В. Й. Зелінський; В. О. Огневий, к. е. н., доц.

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ВИЗНАЧЕННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ АВТОМОБІЛЬНИХ ГЕНЕРАТОРНИХ УСТАНОВОК

Головну роль в забезпеченні електроенергією споживачів на автомобілях виконує генератор. Відмови генераторів становлять близько 21% від усіх відмов електрообладнання автомобілів. Несправність генератора може призвести до різних наслідків: від виходу з ладу акумуляторної батареї або електронних пристроїв до виникнення дорожньо-транспортної пригоди (наприклад, відбувається відключення електронідасилувача рульового управління). У зв'язку з цим виникає необхідність отримання оперативної та достовірної інформації про поточний стан автомобільних генераторів.

У цій роботі в якості об'єкту діагностування обрано генераторну установку 1601.3701, що встановлюється на двигуни ЗМЗ-402 або УМЗ-4215. Наведено аналіз складових частин генераторної установки 1601.3701, 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 генераторної установки 1601.3701 складена матриця діагностування, яка включає перелік несправностей та ознак несправностей. За допомогою розробленої математичної моделі можна удосконалити інформаційно-вимірну частину програмного забезпечення діагностичних приладів, що дозволить ефективно проводити діагностування генераторної установки 1601.3701. Під час розробки математичної моделі враховано, що зворотне перетворення кількості ознак несправностей у кількість структурних параметрів (несправностей) об'єкта було однозначним.

Дослідження запропонованої математичної моделі діагностування генераторної установки 1601.3701 дозволить виявити несправності в залежності від їх ознак, що значно підвищить термін безвідмовної роботи як самої генераторної установки, так і транспортного засобу.

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

Вступ

Електроустаткування сучасного автомобіля є розгалуженою мережею послідовно або паралельно включених джерел і споживачів електричної енергії [1]. Незважаючи на те, що джерелами енергії є і генераторна установка і акумуляторна батарея, за основне джерело енергії приймають автомобільний генератор. Сучасна генераторна установка, що поєднує у собі генератор і регулятор напруги – це досить надійний пристрій, що майже не потребує технічного обслуговування в процесі експлуатації (за винятком заміни щіток). Раптова відмова генераторної установки не впливає на безпеку руху та роботу інших агрегатів автомобіля, оскільки живлення продовжує забезпечувати акумуляторна батарея. Однак, агрегати сучасного автомобіля мають значне електроспоживання, і відмова генератора призводить до припинення транспортного процесу, оскільки акумуляторна батарея не здатна забезпечувати живлення бортової мережу більше 30...40 хвилин. Крім того, такий режим роботи несприятливо позначається на батареї.

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 електричного та електронного обладнання, що в свою чергу призвело до ускладнення в усіх системах керування автомобіля [1].

Головну роль в забезпеченні електроенергією споживачів на автомобілях виконує генераторна установка. Звідси і виникає необхідність контролю стану генераторної установки. У посібниках з експлуатації транспортних засобів оцінку стану генераторної установки пропонується проводити за допомогою засобів панелі приладів автомобіля (амперметра, вольтметра – у застарілих моделях, чи контрольної лампи). Контрольна лампа дозволяє виявити лише одну з несправностей генераторної установки – обрив обмотки ротора, тобто несе повідомлення «Генератор несправний». Більш інформативними є амперметр і вольтметр, але той факт, що генератор працює паралельно з акумуляторною батареєю, суттєво знижує можливість своєчасного визначення ознак несправної роботи генератора.

Статистика виходу з ладу окремих складових автомобіля показує, що близько 20...25 % від всіх відмов становлять відмови його електрообладнання [2].

Отже, дослідження, спрямовані на вдосконалення методів і засобів діагностування генераторних установок автомобілів є актуальною науково-технічною задачею.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Сьогодні діагностування генераторних установок автомобілів здійснюється декількома методами із застосуванням різного устаткування. Великий внесок у розробку методів і засобів діагностування генераторних установок автомобілів внесли: Курніков І. П. [3], Кравченко О. П. [4], Титаренко В. Є. [5], Борисюк Д. В. [6], Канарчук В. Є. [7], Кукурудзяк Ю. Ю. [8], Лудченко О. А. [9], та ін. Методи технічного діагностування генераторних установок транспортних засобів, 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 проєктування систем діагностування присвячені роботи Чабанного В. Я. [10], Яцковського В. І. [11], Анісімова В. Ф. [12], Vasik U. J. [13] та ін.

Аналіз літературних і наукових джерел показав, що наявні методи та засоби діагностування генераторних установок транспортних засобів 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 генераторна установка.

Підвищення достовірності і зниження трудомісткості діагностичних робіт при технічному сервісі генераторної установки автомобіля може бути досягнуто удосконаленням засобів діагностування, що мають можливість оцифрування отриманих прямим вимірюванням даних і подальшою їх обробкою з використанням математичного апарату.

Метою дослідження є розробка математичної моделі діагностування генераторної установки автомобіля, в якій враховуються як несправності, так і ознаки несправностей.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

– розглянути будову і особливості функціонування генераторної установки 1601.3701;

– розробити математичну модель діагностування генераторної установки 1601.3701, що дозволить удосконалити інформаційно-вимірювальну частину програмного забезпечення діагностичних приладів.

Аналіз генераторної установки 1601.3701

Генераторна установка призначена для забезпечення живленням електроспоживачів, що входять до системи електрообладнання, і заряджання акумуляторної батареї при працюючому двигуні автомобіля. Вихідні параметри генератора повинні бути такими, щоб у будь-яких режимах руху автомобіля не відбувався прогресивний розряд акумуляторної батареї. Крім того, напруга в бортовій мережі автомобіля, що живиться генераторною установкою, має бути стабільно в широкому діапазоні зміни частоти обертання і навантажень. Остання вимога викликана тим, що акумуляторна батарея дуже чутлива до ступеня стабільності напруги. Занадто низька напруга викликає недостатнє заряджання батареї і, як наслідок, труднощі з пуском двигуна, а занадто висока напруга призводить до перезаряджання батареї і прискороного виходу її з ладу. Не менш чутливі до величини напруги лампи освітлення та сигналізації.

Генераторна установка – досить надійний пристрій, здатний витримати підвищені вібрації двигуна, високу підкапотну температуру, вплив вологого середовища, бруду та інших факторів. Принцип роботи електрогенератора та його конструктивне виконання однакові, незалежно від того, де вони випускаються.

Генераторна установка 1601.3701 (рис. 1) – це трифазна синхронна електрична машина з електромагнітним збудженням і вбудованим випрямлячем на кремнієвих діодах. Ротор генератора приводиться в обертання від шківів колінчастого вала двигуна клиновим ременем.

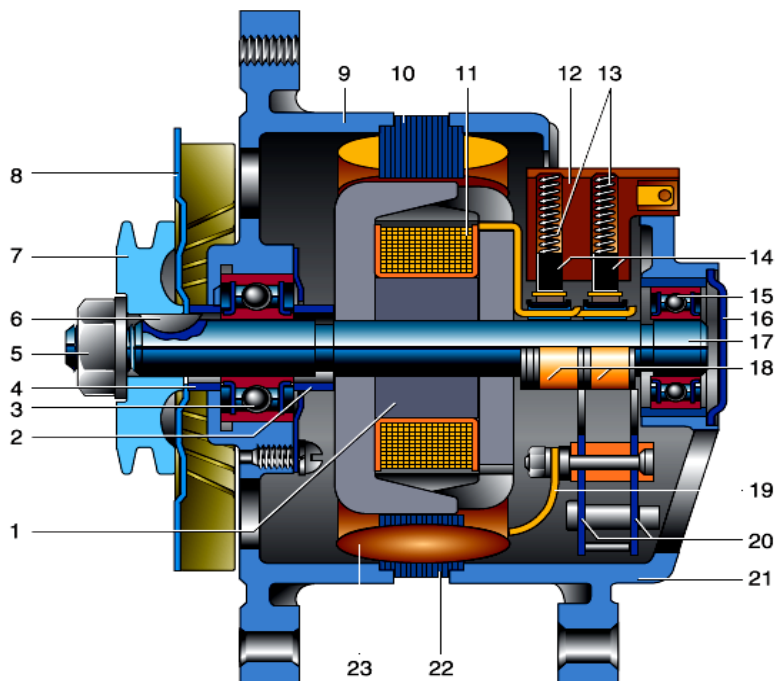


Рис. 1. Генераторна установка 1601.3701 (поперечний переріз):

- 1 – ротор; 2 – втулка; 3 – передній підшипник; 4 – втулка; 5 – гайка з шайбою; 6 – шпонка; 7 – шків;
 8 – крильчатка; 9 – передня кришка; 10 – статор; 11 – обмотка ротора; 12 – щіткотримач; 13 – пружини щіток;
 14 – щітки; 15 – задній підшипник; 16 – кришка; 17 – вал; 18 – контактні кільця; 19 – вивід обмотки статора;
 20 – пластини випрямного блоку; 21 – задня кришка; 22 – набір пластин статора; 23 – обмотка статора

Статор і кришки генератора стягнуті чотирма гвинтами. Вал ротора обертається в кулькових підшипниках, встановлених в кришках. Мاستило в підшипники закладено на весь термін служби генератора. Задній підшипник напресований на вал ротора і підтискається задньою кришкою через пластмасову втулку. Передній підшипник встановлений з внутрішньої сторони

передньої кришки і кріпиться шайбою з чотирма гвинтами.

У статорі генератора дві трифазні обмотки, виконані за схемою «зірка» і підключені паралельно одна одній. Випрямляч мостової схеми, складається з шести діодів. Вони запресовані в дві підковоподібні алюмінієві пластини-тримачі. Пластини об'єднані в випрямний блок, закріплений всередині задньої кришки генератора.

На роторі розташовані обмотки збудження генератора. Виводи обмоток припаяні до двох мідних контактних кілець на валу ротора. Живлення до них підводиться через дві вугільні щітки, що встановлені в щіткотримачі.

Генератор працює спільно з регулятором напруги, який закріплений на щитку передка в моторному відсіку. При виході регулятора з ладу, його замінюють.

Для захисту електронного обладнання автомобіля від імпульсів напруги в системі запалювання, а також для зниження радіоперешкод, між «+» і «масою» генератора встановлено конденсатор.

Внутрішні обмотки генератора і випрямний блок охолоджуються повітрям через вікна в кришках від відцентрового вентилятора, встановленого на валу ротора.

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 генераторної установки автомобіля 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. 2):

- 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:

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

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 в таблиці 1 наведена матриця діагностування генераторної установки 1601.3701, якою вони оснащуються [1, 2, 15].

Таблиця 1

Матриця діагностування генераторної установки 1601.3701

Несправність генераторної установки 1601.3701	Ознака несправності генераторної установки 1601.3701						
	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7
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}	-	-	+	-	-	-	-
B_{17}	-	-	+	-	-	-	-
B_{18}	-	-	-	+	-	-	-
B_{19}	-	-	-	+	-	-	-
B_{20}	-	-	-	+	-	-	-
B_{21}	-	-	-	-	+	-	-
B_{22}	-	-	-	-	+	-	-
B_{23}	-	-	-	-	+	-	-
B_{24}	-	-	-	-	-	-	+
B_{25}	-	-	-	-	-	-	+

В матриці діагностування позначимо наступні несправності генераторної установки 1601.3701: B_1 – проковзування ременя приводу допоміжних агрегатів (зменшення натягу ременя); B_2 – обрив в ланцюзі живлення обмотки збудження генератора; B_3 – пошкоджено регулятор напруги; B_4 – знос або зависання щіток генератора, окислювання контактних кілець; B_5 – обрив або коротке замикання на «масу» обмотки збудження генератора; B_6 – коротке замикання або обрив в одному або декількох діодах випрямного блоку; B_7 – обрив або міжвиткове замикання в обмотці статора; B_8 – обрив або коротке замикання в додаткових діодах випрямного блоку; B_9 – підвищена шумність генератора; B_{10} – ослаблений момент загвинчування гайки шківів генератора; B_{11} – пошкоджено підшипники генератора; B_{12} – міжвиткове замикання або замикання на «масу» обмотки статора («виття» генератора); B_{13} – коротке замикання в одному з вентилів генератора; B_{14} – скрип щіток; B_{15} – обрив проводів від виводів «+» або «Ш»; B_{16} – відсутній або ненадійний контакт між щітками і контактними кільцями; B_{17} – обрив ланцюга збудження; B_{18} – биття контактних кілець; B_{19} – попадання масла на контактні кільця; B_{20} – підвищений або знижений тиск щіткових пружин; B_{21} – недостатня кількість мастила в підшипниках; B_{22} – тертя ротора об полюси статора; B_{23} – спрацювання посадкового місця під підшипник; B_{24} – неправильний монтаж генератора на кронштейнах; B_{25} – збільшений дисбаланс шківів або ротора.

Також в матриці діагностування вводимо ознаки вище зазначених несправностей генераторної установки 1601.3701: C_1 – при працюючому двигуні напруга на вольтметрі нижче 13,25 В, акумуляторна батарея розряджається; C_2 – при працюючому двигуні напруга на вольтметрі вище 14,75 В, акумуляторна батарея перезаряджається; C_3 – відсутнє заряджання акумуляторної батареї; C_4 – швидкий знос щіток і контактних кілець; C_5 – підвищений шум генератора; C_6 – збільшений осьовий люфт ротора (більше 0,25 мм); C_7 – поломка кронштейна і лап кріплення генератора (ослаблене кріплення генератора).

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 за 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. 3).

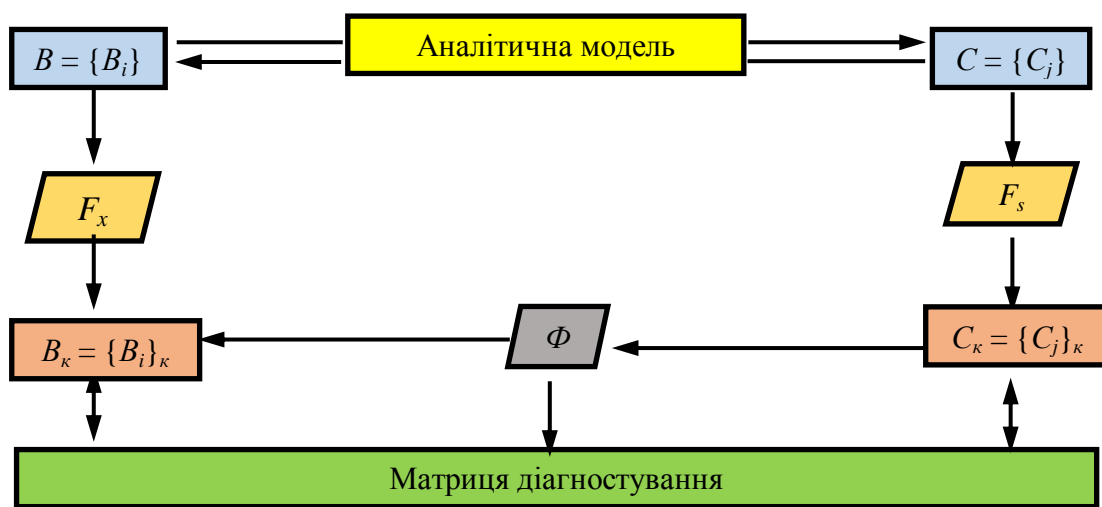


Рис. 3. Блок-схема синтезу матриці діагностування генераторної установки 1601.3701:

$B = \{B_i\}$ – 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

$$\{B_i\}_k = F_x\{B_i\}, \tag{4}$$

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

$$\{C_j\}_k = F_s\{C_j\}, \tag{5}$$

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 ознаку 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 $C_1 = \varphi_1(B_1, B_2, B_3, B_4, B_5, B_6, B_7, B_8)$ виражається в даному випадку в вигляді функції логічного додавання (диз'юнкція):

$$C_1 = B_1 + B_2 + B_3 + B_4 + B_5 + B_6 + B_7 + B_8.$$

Відповідний аналіз інших ознак несправностей дозволяє записати систему рівнянь (3) для даної матриці діагностування генераторної установки 1601.3701 у вигляді:

$$\begin{cases} C_1 = B_1 + B_2 + B_3 + B_4 + B_5 + B_6 + B_7 + B_8; & C_5 = B_{11} + B_{21} + B_{22} + B_{23}; \\ C_2 = B_3 + B_9 + B_{10} + B_{11} + B_{12} + B_{13} + B_{14}; & C_6 = B_{11}; \\ C_3 = B_1 + B_3 + B_{15} + B_{16} + B_{17}; & C_7 = B_{24} + B_{25}. \\ C_4 = B_{18} + B_{19} + B_{20}; \end{cases} \quad (7)$$

Всі послідовні перетворення, що приводять до синтезу моделі об'єкта діагностування у вигляді діагностичної матриці, наочно представлені на блок-схемі (рис. 3). 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:

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

або в розгорнутому вигляді

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

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_1 викликає одночасно вихід ознак C_1 та C_3 з області їх допустимих значень. Значення інших діагностичних параметрів за наявності тільки несправності B_1 залишаються в межах норми. Значить B_1 є булевою функцією, в даному випадку кон'юнкція (або функцією логічного множення):

$$B_4 = C_1 \cdot C_3.$$

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

$$\begin{cases} B_1 = C_1 \cdot C_3; & B_6 = C_1; & B_{11} = C_2 \cdot C_5 \cdot C_6; & B_{16} = C_3; & B_{21} = C_5; \\ B_2 = C_1; & B_7 = C_1; & B_{12} = C_2; & B_{17} = C_3; & B_{22} = C_5; \\ B_3 = C_1 \cdot C_2 \cdot C_3; & B_8 = C_1; & B_{13} = C_2; & B_{18} = C_4; & B_{23} = C_5; \\ B_4 = C_1; & B_9 = C_2; & B_{14} = C_2; & B_{19} = C_4; & B_{24} = C_7; \\ B_5 = C_1; & B_{10} = C_2; & B_{15} = C_3; & B_{20} = C_4; & B_{25} = C_7. \end{cases} \quad (9)$$

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 робоздатності F_p набуде вигляду:

$$F_p = \overline{B_1 + B_2 + B_3 + \dots + B_{25}}. \quad (10)$$

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 електричного обладнання, 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 електричного обладнання автомобілів не виявлено.

3. Представлено аналіз особливостей конструкції генераторної установки 1601.3701, як об'єкта діагностування.

4. В якості об'єкта діагностування генераторну установку 1601.3701 представлено у вигляді «чорного ящика», вхідні і вихідні параметри якого мають кінцеву множину значень.

5. Для генераторної установки 1601.3701 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:

$$B_2 = B_4 = B_5 = B_6 = B_7 = B_8 = C_1; B_9 = B_{10} = B_{12} = B_{13} = B_{14} = C_2; B_{15} = B_{16} = B_{17} = C_3;$$

$$B_{18} = B_{19} = B_{20} = C_4; B_{21} = B_{22} = B_{23} = C_5; B_{24} = B_{25} = C_7.$$

Отже, перелік діагностичних параметрів генераторної установки 1601.3701 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 генераторної установки 1601.3701 вимагає введення нових додаткових діагностичних параметрів, що є предметом подальших наукових досліджень цього напрямку.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Основи діагностики автомобіля / [В. С. Люлька, М. М. Коньок, Ю. Є. Перинський, О. М. Клімов]. – Чернівці: ЧНПУ імені Т.Г. Шевченка, 2013. – 188 с.
2. Jianda Wu. An automotive generator fault diagnosis system using discrete wavelet transform and artificial neural network / Wu Jianda, Kuo Junming // *Expert Systems with Applications: An International Journal*. – 2009. – Vol. 36, Issue 6. – P. 9776 – 9783.
3. Канарчук В. Є. Виробничі системи на транспорті / В. Є. Канарчук, І. П. Курніков. – Київ : Вища школа, 1997. – 359 с.
4. Кравченко О. П. Аналіз експлуатаційної надійності електро- та електронного обладнання автомобілів-тягачів / О. П. Кравченко // *ВІСНИК ЖДТУ*. – 2016. – № 2 (77). – С. 127 – 134.
5. Титаренко В. Є. Аналіз причин основних несправностей стартерів легкових автомобілів на СТО / В. Є. Титаренко, В. М. Лазюта // *Наукові праці Міжнародної науково-практичної конференції присвяченої 90-річчю Харківського автомобільно-дорожнього університету та 90-річчю автомобільного факультету "Сучасні тенденції розвитку автомобільного транспорту та галузевого машинобудування"*, м. Харків, 16-18 вересня 2020 р.: тези доповіді. – Харків, 2020. – С. 163 – 164.
6. Борисюк Д. В. Класифікація методів діагностування автомобільних генераторів / Д. В. Борисюк, В. О. Заїчко // *Матеріали X-ої міжнародної науково-технічної інтернет-конференції «Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту»*, м. Вінниця, 14-15 квітня 2022 р.: тези доповіді. – Вінниця, 2022. – С. 27 – 29.
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. Vasik U. J. Automotive generator diagnostic matrix / U. J. Vasik, I. T. Karimov, D. I. Otakuziyev // *Modern*

Scientific Research International Scientific Journal. – 2023. – Vol. 1, Issue 3. – P. 145 – 151.

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. Лущик. – К. : Либідь, 2018. – 400 с.
16. Технічне обслуговування та ремонт вантажних і легкових автомобілів, автобусів. Основи будови та експлуатації автопоїздів / [О. П. Строков, М. Г. Макаренко, В. Ф. Орлов, В. О. Павленко]. – Київ : Грамота, 2005. – 352 с.
17. Коваленко В. М. Діагностика і технологія ремонту автомобілів / В. М. Коваленко, В. К. Щуріхін. – Київ : Літера ЛТД, 2017. – 224 с.
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 перемикачів передач 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. – 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 26.08.2024

Стаття пройшла рецензування 09.09.2024.

Борисюк Дмитро Вікторович – канд. техн. наук, доцент, старший викладач кафедри автомобілів та транспортного менеджменту.

Зелінський Вячеслав Йосипович – асистент кафедри автомобілів та транспортного менеджменту.

Огневий Віталій Олександрович – к. е. н., доцент, доцент кафедри автомобілів та транспортного менеджменту.

Вінницький національний технічний університет.