

# Вісник

машинобудування та  
транспорт

№1(7)  
2018





У «Віснику машинобудування та транспорту» публікуються наукові статті за такими науковими напрямками:

- Транспорт та транспортні технології
- Сучасні технології в машинобудуванні, зварювання та споріднені процеси і технології, нанотехнології
- Механотроніка. Гідравлічні та пневматичні приводи різного технологічного призначення, вібраційні та віброударні машини та технології
- Надійність і довговічність механізмів і машин, деталі та міцність утримуючих металоконструкцій підйомних транспортних машин
- Безпека експлуатації машин та механізмів
- Розвиток та сучасні вимоги до зразків озброєння та військової техніки
- Сучасне обладнання і прогресивні технології виробництва озброєння та військової техніки
- Експлуатація, технічне обслуговування та поточний ремонт озброєння та військової техніки
- Актуальні питання психологічної підтримки військовослужбовців

Журнал «Вісник машинобудування та транспорту» є науковим виданням, публікації в якому визнаються при захисті дисертаційних робіт у галузях технічних наук (наказ Міністерства освіти і науки України 21.06.2016 р., №1081).

Журнал «Вісник машинобудування та транспорту» входить до міжнародної наукометричної бази Index Copernicus

За достовірність фактів, цифр, точність імен та прізвищ несуть відповідальність автори статей

До журналу увійшли статті співробітників, аспірантів та докторантів Вінницького національного технічного університету та інших навчальних та наукових закладів

Матеріали номера друкуються мовою оригіналу

Адреса сайту журналу: [vmt.vntu.edu.ua](http://vmt.vntu.edu.ua)

**Редакційна колегія:**

**Головний редактор**

*Поляков А.П., д.т.н., професор*

**Заступник головного редактора**

*Біліченко В.В., д.т.н., професор*

**Члени редколегії:**

*Алієв І.С., д.т.н., професор*

*Баглюк Г.А., д.т.н., професор*

*Веселовська Н.Р., д.т.н., професор*

*Голубець В.М., д.т.н., професор*

*Граматику Михаїл, доктор інженерії,  
професор*

*Губарєв О.П., д.т.н., професор*

*Гутаревич Ю.Ф., д.т.н., професор*

*Іскович-Лотоцький Р.Д., д.т.н., професор*

*Крайник Л.В., д.т.н., професор*

*Луговський О.Ф., д.т.н., професор*

*Матвійчук В.А., д.т.н., професор*

*Михалевич В.М., д.т.н., професор*

*Огородніков В.А., д.т.н., професор*

*Русу Іоанн, доктор інженерії, професор*

*Савуляк В.І., д.т.н., професор*

*Сахно В.П., д.т.н., професор*

*Струтинський В.Б., д.т.н., професор*

*Стухляк П.Д., д.т.н., професор*

*Тітов В.А., д.т.н., професор*

*Уманський О.П., д.т.н., професор*

*Фомічов С.К., д.т.н., професор*

*Форнальчик Є.Ю., д.т.н., професор*

*Чигарьов В.В., д.т.н., професор*

**Відповідальний секретар**

*Каишканов В.А., к.т.н., доцент*

## Вісник машинобудування та транспорту

Науковий журнал

Засновник і видавець: Вінницький національний технічний університет

Виходить 2 рази на рік Заснований у січні 2015 року

**№1(7) 2018**

### ЗМІСТ

<i>Аулін В. В., Голуб Д. В., Біліченко В. В.</i> Методологічний підхід до визначення рівня якості функціонування транспортних систем .....	4
<i>Барановський В. М., Спірін А. В., Зелінський В. Й., Наляжний В. С.</i> Математична модель діагностування системи вприскування палива «Mono-Jetronic» .....	10
<i>Біліченко В. В., Цимбал С. В., Коробов С. С.</i> Підвищення ефективності системи міських пасажирських перевезень .....	18
<i>Буда А. Г., Кужель В. П., Юров А. Р.</i> Моделювання зовнішніх поверхонь легкового автомобіля в тривимірному просторі за допомогою сплайнів .....	26
<i>Віштак І. В.</i> Огляд наноматеріалів та нанотехнологій та перспективи їх використання в газових опорах шпindelних вузлів .....	35
<i>Дусанюк Ж. П., Дерібо О. В., Репінський С. В., Плис М. С.</i> Оцінювання ефективності способів виготовлення заготовки за техніко-економічними показниками .....	44
<i>Зінько Р. В., Крайник Л. В., Горбай О. З., Поляков А. П.</i> Роботизовані мобільні платформи для вибухонебезпечних предметів .....	52
<i>Кравчук А. В., Кондряков Є. О., Панасенко О. В., Харченко В. В.</i> Дослідження впливу орієнтації концентратора відносно осі трубопроводу на складові енергії руйнування та температуру в'язко-крихкого переходу зразків Шарпі зі сталі 22К .....	63
<i>Павленко В. М., Кужель В. П.</i> Визначення можливості використання мультиагентного підходу при виконанні технічного обслуговування і ремонту автомобіля .....	72
<i>Поляков А. П., Галушак О. О., Галушак Д. О.</i> Перевірка адекватності математичної моделі системи «Двигун – система живлення сумішшю дизельного та біодизельного палива» .....	81
<i>Савін Ю. Х., Митко М. В., Романюк С. О.</i> Рекомендації щодо доцільності створення виробничих підрозділів з обслуговування та ремонту автомобілів .....	92
<i>Сахно В. П., Біліченко В. В., Поляков В. М., Разбойніков О. О., Шарай С. М., Новицький М. А.</i> Експериментальне дослідження опору кочення колеса, встановленого під кутом до напрямку руху .....	102
<i>Севостьянов І. В.</i> Автоматизація проектування технологічних процесів механічної обробки та складання .....	112
<i>Швець В. В., Кашканов В. А., Галіброда В. В.</i> Оцінка функціонування вулично-дорожньої мережі м. Вінниці .....	120



**МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ДІАГНОСТУВАННЯ СИСТЕМИ ВПРИСКУВАННЯ ПАЛИВА «MONO-JETRONIC»**<sup>1</sup>Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя<sup>2</sup>Вінницький національний аграрний університет<sup>3</sup>Вінницький національний технічний університет

*У статті представлено математичну модель діагностування системи впрыскування палива «Mono-Jetronic». Побудовано матрицю діагностування та блок-схему її синтезу.*

**ВСТУП**

Досить часто водієві автомобіля, особливо ненового, доводиться стикатися з несправностями системи впрыскування палива – від банального засмічення форсунок до серйозних неполадок в електроніці.

Несправності в системі впрыскування палива з'являються в силу різних причин. Разом з тим, можна виділити такі основні причини несправностей:

- граничний термін служби конструктивних елементів системи;
- технічні дефекти конструктивних елементів;
- порушення правил експлуатації (застосування неякісного бензину, забруднення в системі тощо);
- зовнішні впливи на конструктивні елементи (окислення контактів, механічні пошкодження, попадання вологи в електронні компоненти тощо).

Найбільш надійним способом встановлення несправностей системи впрыскування палива є комп'ютерна діагностика. Цей вид діагностики заснований на автоматичному фіксуванні відхилень параметрів системи від стандартних значень (режим самодіагностування). Виявлені невідповідності запам'ятовуються і зберігаються в пам'яті електронного блока управління у вигляді певних кодів несправностей. При проведенні діагностики до діагностичного роз'єму під'єднується спеціальне обладнання (сканер або персональний комп'ютер з програмним забезпеченням), який зчитує коди несправностей. Крім спеціального обладнання, проведення комп'ютерної діагностики передбачає наявність знань і навичок.

Діагностика несправностей системи впрыскування може проводитися за зовнішніми ознаками. Цей вид діагностики використовується в тих випадках, коли комп'ютерна діагностика недоступна, а також для проведення попередньої діагностики несправностей.

Метою дослідження є підвищення надійності функціонування такого важливого функціонального блока автомобіля, яким є система впрыскування палива «Mono-Jetronic», за рахунок створення математичної моделі діагностування його вузлів, яка пов'яже несправності та ознаки несправностей.

**ОСНОВНА ЧАСТИНА**

Розв'язання задачі автоматизації логічного процесу постановки діагнозу вимагає розробки моделей агрегатів і систем 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).

Для представлення об'єкта діагностики у вигляді «чорного ящика» необхідно задати (рис. 1) [1-6]:

- 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  $S$ ,

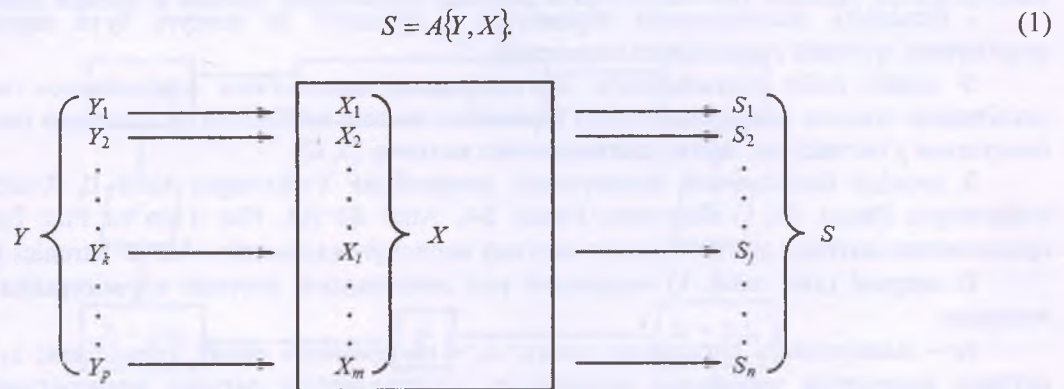


Рисунок 1 – Представлення об'єкта діагностування у вигляді «чорного ящика»

Враховуючи, що при діагностуванні елементи кількості  $Y$  стабілізуються (або змінюються за заданим законом), вираз (1) перетвориться у вид

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

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 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 (агрегатів і систем автомобіля), 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  $S_1, S_2, \dots, S_n$ , отриманих 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:

$$\begin{cases} S_1 = \varphi_1(x_1, x_2, \dots, x_m); \\ S_2 = \varphi_2(x_1, x_2, \dots, x_m); \\ \dots \dots \dots \\ S_j = \varphi_j(x_1, x_2, \dots, x_m); \\ \dots \dots \dots \\ S_n = \varphi_n(x_1, x_2, \dots, x_m) \end{cases} \quad (3)$$



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 визначати 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 практичніше використання такої аналітичної моделі поки обмежено в через такі обставини:

- вид функцій  $\varphi_j$  для більшості агрегатів і вузлів автомобіля поки не встановлений;
- якщо функція  $\varphi_j$  не задовольняє умови безперервності і диференціювання по кожному зі 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 низці робіт з технічного діагностування автомобілів взаємозв'язок між можливими технічними станами (несправностями) агрегатів і систем автомобіля та ознаками цих несправностей описується у вигляді так званих діагностичних матриць [5, 6].

З досвіду багаторічної експлуатації автомобілів Volkswagen Golf II, Volkswagen Jetta II, Volkswagen Passat B3, Volkswagen Passat B4, Audi 80 B3, Fiat Tipo та Fiat Tempra в табл. 1 представлена матриця діагностування системи вприскування палива «Mono-Jetronic» [7].

В матриці (див. табл. 1) позначимо такі несправності системи вприскування палива «Mono-Jetronic»:

$x_1$  – несправність регулятора тиску;  $x_2$  – несправність блоку управління;  $x_3$  – несправність датчика положення дросельної заслінки;  $x_4$  – несправність датчика температури охолоджуючої рідини;  $x_5$  – підсмоктування повітря в системі;  $x_6$  – несправності паливної системи;  $x_7$  – негерметичність центральної форсунки вприскування;  $x_8$  – несправність електросервопривода дросельної заслінки;  $x_9$  – несправність кисневого датчика;  $x_{10}$  – несправність дросельної заслінки.

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

$S_1$  – холодний двигун не запускається або важко запускається;  $S_2$  – прогрітий двигун не запускається або важко запускається;  $S_3$  – двигун запускається і глухне;  $S_4$  – нестійка робота двигуна на холостому ходу;  $S_5$  – двигун працює з перебоями при розгоні;  $S_6$  – двигун працює з перебоями при постійній частоті обертання;  $S_7$  – двигун не розвиває номінальної потужності;  $S_8$  – зворотні спалахи в випускному колекторі;  $S_9$  – підвищена витрата палива.

Таблиця 1 – Матриця діагностування системи вприскування палива «Mono-Jetronic»

Несправність	Ознака несправності								
	$S_1$	$S_2$	$S_3$	$S_4$	$S_5$	$S_6$	$S_7$	$S_8$	$S_9$
$x_1$	1	1	0	0	0	0	0	1	0
$x_2$	1	1	0	0	0	0	0	0	0
$x_3$	1	1	1	0	0	1	1	0	0
$x_4$	1	1	0	1	1	0	0	0	1
$x_5$	1	1	0	0	0	0	1	0	0
$x_6$	1	1	0	0	1	0	1	0	0
$x_7$	0	1	0	0	1	0	0	0	0
$x_8$	0	0	1	1	0	0	0	0	0
$x_9$	0	0	1	0	1	0	1	1	1
$x_{10}$	0	0	0	0	0	0	1	0	0

Як видно з табл. 1, кожна несправність характеризується певною комбінацією значень її ознак, які можуть приймати два умовних значення «0» і «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, кожен з яких пов'язаний з певною несправністю (або їх комбінацією) або з працездатним станом (рис. 2) [3, 4].

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  $x$ , присвоюється значення «0», якщо величина лежить в області допустимих значень, в протилежному випадку присвоюється значення «1».



Рисунок 2 – Блок-схема синтезу матриці діагностування:

$X = \{x_i\}$  – 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, що перетворює кількість  $\{x_i\}$  в кількість  $\{x_i\}_k$ ;

$F_s$  – оператор, що перетворює кількість  $\{s_j\}$  в кількість  $\{s_j\}_k$ ;  $\Phi$  – оператор, що перетворює кількість технічних станів об'єкта в кількість діагностичних параметрів

Перетворення нескінченної кількості значень параметрів вихідних процесів в кінцеву кількість значень діагностичних параметрів може бути записано 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 набувати тільки два умовних значення «0» і «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  $\Phi$  – 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  $S_i$  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 табличною формою запису системи рівнянь (1).

Параметр  $S_1$  в матриці діагностування системи впорскування палива «Mono-Jetronic» можна розглядати як двозначну булеву функцію, яка залежить від аргументів  $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6$ . Булева функція залежить від аргументу  $x_1$ , якщо має місце співвідношення

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

Як впливає з цього визначення та табл. 1,  $S_1$  істотно залежить тільки від  $x_1, x_4, x_5, x_{11}, x_{12}$ .

Залежність  $S_1 = \varphi_1(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6)$  виражається в цьому випадку в вигляді функції логічного додавання (диз'юнкція):

$$S_1 = x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6.$$

Відповідний аналіз інших ознак несправностей дозволяє записати систему рівнянь (3) для цієї матриці діагностування системи впорскування палива «Mono-Jetronic» у вигляді:

$$\begin{cases} S_1 = x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6; \\ S_2 = x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7; \\ S_3 = x_3 + x_8 + x_9; \\ S_4 = x_4 + x_8; \\ S_5 = x_6 + x_7 + x_9; \\ S_6 = x_3; \\ S_7 = x_3 + x_5 + x_6 + x_9 + x_{10}; \\ S_8 = x_1 + x_9; \\ S_9 = x_3 + x_4 + x_9. \end{cases} \quad (7)$$

Всі послідовні перетворення, що приводять до синтезу моделі об'єкта діагностування у вигляді діагностичної матриці, наочно представлені на блок-схемі (див. рис. 2). 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» і «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

$$\{x_i\}_x = \Phi^{-1}\{S_j\}_x,$$

або в розгорнутому вигляді

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

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 трьох її ознак  $S_1, S_2$  та  $S_8$  з області їх 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'юнкція (або функцією логічного множення):

$$x_1 = S_1 S_2 S_8.$$



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

$$\begin{cases} x_1 = S_1 S_2 S_8; \\ x_2 = S_1 S_2; \\ x_3 = S_1 S_2 S_3 S_6 S_7 S_9; \\ x_4 = S_1 S_2 S_4 S_9; \\ x_5 = S_1 S_2 S_7; \\ x_6 = S_1 S_2 S_5 S_7; \\ x_7 = S_2 S_5; \\ x_8 = S_3 S_4; \\ x_9 = S_3 S_5 S_8 S_9; \\ x_{10} = S_7. \end{cases} \quad (9)$$

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  $S_1, S_2, \dots, S_n$ ;

- 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. 2), 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

Розроблена математична модель системи вприскування палива «Mono-Jetronic» як об'єкта діагностування дозволить виявити несправності в залежності від їх ознак, що значно підвищить термін експлуатації паливної системи і системи запалювання.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Малкин В. С. Техническая диагностика / В. С. Малкин. – СПб. : Лань, 2013. – 272 с.
2. Ананьин А. Д. Диагностика и техническое обслуживание машин / А. Д. Ананьин, В. М. Михлин, И. И. Габитов. – М. : Академия, 2008. – 432 с.
3. Сырбаков А. П. Диагностика и техническое обслуживание / А. П. Сырбаков. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 220 с.
4. Яхьяев Н. Я. Основы теории надежности и диагностика / Н. Я. Яхьяев, А. В. Кораблин. – М. : Академия, 2009. – 256 с.
5. Мирошников Л. В. Диагностирование технического состояния автомобилей на автотранспортных предприятиях / Л. В. Мирошников, А. П. Болдин, В. И. Пал. – М. : Транспорт, 1977. — 263 с.
6. Спичкин Г. В. Диагностирование технического состояния автомобилей / Г. В. Спичкин, А. М. Третьяков, Б. Л. Либин. – М. : Высшая школа, 1983. – 368 с.
7. Лудченко О. А. Технічне обслуговування і ремонт автомобілів / О. А. Лудченко. – К. : Знання, 2003. – 511 с.

#### REFERENCES

1. Malkin V. S. Tekhnicheskaya diagnostika / V. S. Malkin. - SPb.: Izdatel'stvo «Lan'», 2013. - 272 s.
2. Anan'in A. D. Diagnostika i tekhnicheskoye obsluzhivaniye mashin / A. D. Anan'in, V. M. Mikhlin, I. I. Gabbitov. — M.: Izdatel'skiy tsentr «Akademiya», 2008. — 432 s.
3. Syrbakov A. P. Diagnostika i tekhnicheskoye obsluzhivaniye / A. P. Syrbakov. - Tomsk: Izd-vo Tomskogo politekhnicheskogo universiteta, 2009. - 220 s.



4. Yakh'yayev N. YA. Osnovy teorii nadezhnosti i diagnostika / N. YA. Yakh'yayev, A. V. Korablin. - M.: Izdatel'skiy tsentr «Akademiya», 2009. - 256 s.

5. Miroshnikov L. V. Diagnostirovaniye tekhnicheskogo sostoyaniya avtomobiley na avtotransportnykh predpriyatiyakh / L. V. Miroshnikov, A. P. Boldin, V. I. Pal. - M.: Transport, 1977. - 263 s.

6. Spichkin G. V. Diagnostirovaniye tekhnicheskogo sostoyaniya avtomobiley / G. V. Spichkin, A. M. Tret'yakov, B. L. Libin. - M.: Vysshaya shkola, 1983. - 368 s.

7. Ludchenko O. A. Tekhnichne obsluhovuvannya i remont avtomobiliv / O. A. Ludchenko. - K.: Znannya, 2003. - 511 s.

**В. М. Барановський<sup>1</sup>, А. В. Спірін<sup>2</sup>, В. Й. Зелінський<sup>3</sup>, В. С. Наляжний<sup>3</sup>**

## **МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ДІАГНОСТУВАННЯ СИСТЕМИ ВПРИСКУВАННЯ ПАЛИВА «MONO-JETRONIC»**

<sup>1</sup>Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

<sup>2</sup>Вінницький національний аграрний університет

<sup>3</sup>Вінницький національний технічний університет

Система впорскування палива «Mono-Jetronic» – це система переривчастого впорскування палива з електронним блоком керування, що має одну на весь двигун магнітоелектричну форсунку. Основною функцією системи «Mono-Jetronic» є управління процесом впорскування палива.

Несправна система впорскування палива супроводжує несправності паливної системи, несправності системи запалювання. З метою попередження та виявлення несправностей систем впорскування палива розробляються різні науково-практичні заходи, що сприяють підвищенню ефективності процесу технічного діагностування.

У статті представлено математичну модель діагностування системи впорскування палива «Mono-Jetronic». Побудовано матрицю діагностування та блок-схему її синтезу.

**Ключові слова:** математична модель, матриця діагностування, аналітична модель, діагностування, несправності, ознаки несправності, технічний стан.

*Барановський Віктор Миколайович*, доктор технічних наук, професор кафедри технології і обладнання зварювального виробництва, Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

*Спірін Анатолій Володимирович*, кандидат технічних наук, доцент кафедри загальнотехнічних дисциплін та охорони праці, Вінницький національний аграрний університет

*Зелінський В'ячеслав Йосипович*, асистент кафедри автомобілів та транспортного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, e-mail: zelinskiy.slava@gmail.com

*Наляжний Володимир Сергійович*, студент факультету машинобудування і транспорту, Вінницький національний технічний університет

**V. Baranovsky<sup>1</sup>, A. Spirin<sup>2</sup>, V. Zelinsky<sup>3</sup>, V. Nalyazhny<sup>3</sup>**

## **MATHEMATICAL MODEL OF DIAGNOSTICS OF THE FUEL INJECTION SYSTEM «MONO-JETRONIC»**

<sup>1</sup>Ternopil Ivan Puluj National Technical University

<sup>2</sup>Vinnitsia National Agrarian University

<sup>3</sup>Vinnitsia National Technical University

The system of fuel injection «Mono-Jetronic» is a system of intermittent injection of fuel with an electronic control unit, which has one on the entire engine of a magnetoelectric nozzle. The main function of the «Mono-Jetronic» system is the management of the fuel injection process.