



УДК 621.436

DOI: 10.37128/2520-6168-2022-2-2

**МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ ДІАГНОСТУВАННЯ ВЕДУЧИХ МОСТІВ АВТОМОБІЛІВ «КАМАЗ»**

**Борисюк Дмитро Вікторович**, к.т.н., старший викладач  
**Зелінський Вячеслав Йосипович**, асистент  
Вінницький національний технічний університет  
**Твердохліб Ігор Вікторович**, к.т.н., доцент  
**Полєвода Юрій Алікович**, к.т.н., доцент  
Вінницький національний аграрний університет

**Dmytro Borysiuk**, Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer  
**Viacheslav Zelinskyi**, Assistant  
Vinnitsia National Technical University  
**Igor Tverdokhlib**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor  
**Yurii Polievoda**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor  
Vinnitsia National Agrarian University

*Для забезпечення ефективності експлуатації транспортних засобів, насамперед необхідне безперервне та безпечне функціонування їх агрегатів за рахунок підвищення надійності та якості діагностування.*

*Ведучий міст автомобіля є важливим агрегатом, що призначений для передачі крутного моменту від двигуна до коліс транспортного засобу. Агрегати трансмісії повинні працювати у всіх режимах експлуатації автомобіля. Втрата працездатності ведучого мосту призводить до втрати працездатності автомобіля загалом. У зв'язку з цим до технічного стану даного агрегату необхідно пред'являти підвищені вимоги, а також необхідно вести систематичний моніторинг, що дає чітке уявлення про поточний технічний стан ведучого мосту і можливість прогнозування відмови даного агрегату трансмісії.*

*При аналізі літературних джерел було встановлено, що існуючі методи та засоби діагностування ведучих мостів вантажних автомобілів не в повній мірі дозволяють визначати їх поточний технічний стан, що вимагає розробки математичних моделей автоматизації процесу діагностування їх вузлів та деталей.*

*В статті представлено математичну модель автоматизації процесу діагностування ведучих мостів автомобілів «КамАЗ».*

*Заміна реальних технічних пристроїв їх ідеалізованими моделями дозволяє широко застосовувати різні математичні методи. В даному випадку ведучий міст автомобіля «КамАЗ», як об'єкт діагностування, представлено у вигляді «чорного ящика», вхідні і вихідні параметри якого мають кінцеву множину значень. В загальному вигляді математична модель представляє собою систему функціональних залежностей між кожним діагностичним сигналом і структурними параметрами.*

*Для ведучих мостів автомобілів «КамАЗ» складена матриця діагностування, яка включає перелік несправностей та ознак несправностей. Визначено, що процес постановки діагнозу на основі моделі об'єкта діагностування можливий, якщо зворотне перетворення кількості ознак несправностей у кількість структурних параметрів (несправностей) об'єкта було однозначним.*

*Запропонована математична модель автоматизації процесу діагностування ведучих мостів автомобілів «КамАЗ» дозволить виявити несправності вузлів та деталей в залежності від їх ознак.*

**Ключові слова:** математична модель, діагностування, ведучий міст, матриця діагностування, блок-схема, несправність, ознака несправності, булева функція.

**Ф. 10. Рис. 2. Табл. 1. Літ. 20.**

---

**1. Постановка проблеми**

Однією з найважливіших умов підтримки на високому рівні ефективності і надійності транспортних засобів є своєчасне виявлення та попередження на ранній стадії відмов і несправностей.



Ведучий міст транспортного засобу є важливим агрегатом трансмісії, що призначений для передачі крутного моменту від двигуна до коліс автомобіля. Від його надійного функціонування залежить роботоздатність транспортного засобу. У зв'язку з цим, до оцінки технічного стану даного агрегату необхідно пред'являти підвищені вимоги, що дають чітке уявлення про його поточний технічний стан і прогнозування відмов його вузлів та деталей.

## 2. Аналіз останніх досліджень і публікацій

Застосування традиційних методів діагностування є недостатнім при врахуванні динамічних взаємодій та наявності дефектів у агрегатах та вузлах транспортних засобів. У ряді робіт [1-8] показано, що основною проблемою при діагностуванні є випадковий характер процесів зносу та руйнування деталей, вузлів та агрегатів під час експлуатації. Проте, хаотичні навантаження і дефекти деталей не можуть бути ефективно ідентифіковані традиційними методами, оскільки рівень невизначеності технічного стану системи у процесі експлуатації досить високий.

Великий внесок у розвиток діагностики транспортних засобів та їх агрегатів було зроблено В.І. Яцковським, В.Ф. Анісімовим, А.В. Спіріним, Д.В. Борисюком. У своїх роботах [9-12] вони навели показники, що визначають віброакустичні ознаки транспортних засобів, було проаналізовано вплив агрегатів транспортних засобів та їх систем на утворення шуму, а також наведено результати досліджень щодо покращення віброакустичних показників.

Аналіз літературних і наукових джерел показав, що існуючі методи та засоби діагностування ведучих мостів вантажних автомобілів, не в повній мірі відповідають сучасним вимогам щодо визначення їх поточного технічного стану, що вимагає розробки математичних моделей автоматизації процесу діагностування їх основних частин.

Також варто відзначити, що ведучий міст автомобіля, як об'єкт діагностування, вивчений недостатньо, однак, існуючі базиси діагностики дозволяють розробляти методики по визначенню його технічного стану.

Отже, процес визначення технічного стану ведучих мостів автомобілів «КамАЗ» та його автоматизація є актуальною науково-технічною задачею.

## 3. Мета дослідження

Надійність транспортного засобу залежить від надійності його вузлів та агрегатів, і одними з таких агрегатів є ведучі мости автомобіля.

Метою дослідження є підвищення надійності функціонування таких важливих агрегатів автомобіля «КамАЗ», як ведучі мости, за рахунок створення математичної моделі автоматизації процесу діагностування їх вузлів та деталей.

## 4. Виклад основного матеріалу

У сімействі автомобілів «КамАЗ» використовується безліч різних ведучих мостів, які мають як суттєві, так і не суттєві конструктивні відмінності [13, 14].

Ведучі мости автомобілів «КамАЗ» поділяються на такі типи [13, 14]:

- мости повнопривідних автомобілів «xxx-23xxxxxxx» передні;
- мости повнопривідних автомобілів «xxx-25xxxxxxx» середні та «xxx-24xxxxxxx» задні;
- мости неповнопривідних автомобілів «xxx-25xxxxxxx» середні та «xxx-24xxxxxxx» задні.

Ведучі мости повнопривідних та неповнопривідних автомобілів «КамАЗ» відрізняються конструкцією картерів та головних передач. Конструкції різних моделей ведучих мостів повнопривідних автомобілів майже ідентичні і відрізняються наявністю механізму блокування міжколісного диференціалу, шестернями головних передач, маточинами та елементами гальмівного механізму. Передні ведучі мости повнопривідних автомобілів відрізняються від проміжних та задніх мостів конструкцією картерів, головних передач, наявністю елементів поворотного механізму. Конструкції різних модифікацій передніх ведучих мостів повнопривідних автомобілів «КамАЗ» майже ідентичні і відрізняються головними передачами та елементами гальмівного механізму.

Основні відмінності різних моделей неповнопривідних мостів: дискове або маточинне кріплення коліс; посилені балка картера; наявність або відсутність механізму блокування міжколісного диференціалу, посилені півосі; різні елементи гальмівних механізмів під різні гальмівні камери; різні головні передачі з різними передатними числами (7,22; 6,53; 5,94; 5,43); та інші несуттєві конструктивні відмінності [13, 14].



На автомобілях «КамАЗ» із колісною формулою 6×4 встановлюються два ведучі мости – проміжний та задній. Конструкція мостів є аналогічною. Відмінність полягає в наявності в головній передачі проміжного мосту міжосьового диференціалу, що блокується, і окремих оригінальних деталей, що сполучаються з ним.

Вирішення задачі автоматизації логічного процесу постановки діагнозу вимагає розробки моделей елементів ведучого моста 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) [15-20].

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

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

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

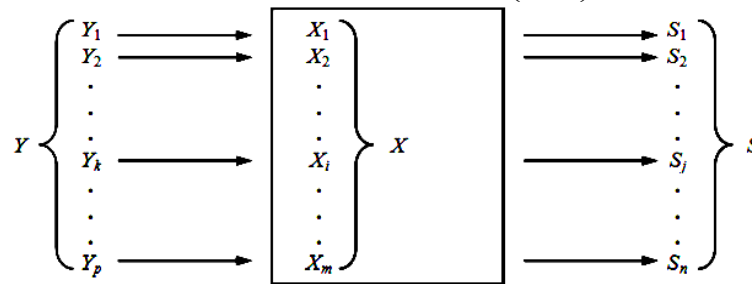


Рис. 1. Подання об'єкта діагностування у вигляді «чорного ящика»

Враховуючи, що при діагностуванні елементи кількості  $Y$  стабілізуються (або змінюються по заданому закону), вираз (1) перетворюється у вид:

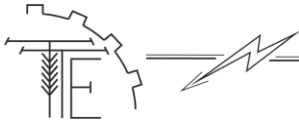
$$S = A\{X\}. \quad (2)$$

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 наступним чином: по відомим ознакам 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, 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:

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

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 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  $\varphi_j$  для більшості вузлів і механізмів поки не встановлений;
- якщо функція  $\varphi_j$  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 [15-20].

З досвіду багаторічної експлуатації автомобілів «КамАЗ» всіх модифікацій [13, 14] в табл. 1 представлена матриця діагностування їх ведучих мостів.

Таблиця 1

Матриця діагностування ведучих мостів автомобілів «КамАЗ»

Несправності ведучих мостів	Ознаки несправностей ведучих мостів				
	$S_1$	$S_2$	$S_3$	$S_4$	$S_5$
$x_1$	+	-	-	-	+
$x_2$	+	-	-	-	-
$x_3$	-	+	-	-	-
$x_4$	-	-	+	-	-
$x_5$	-	-	-	+	-
$x_6$	-	-	-	-	+
$x_7$	-	-	-	-	+
$x_8$	-	-	-	-	+
$x_9$	-	-	-	-	+
$x_{10}$	-	-	-	-	+

В матриці (див. табл. 1) позначимо наступні несправності ведучих мостів автомобілів «КамАЗ»:  $x_1$  – знос зубів конічних шестерень;  $x_2$  – знос конічних роликотідшипників (є значний осьовий зазор у зачепленні);  $x_3$  – «пляма» контакту зміщена у бік широкої частини зубів веденої шестерні;  $x_4$  – «пляма» контакту зміщена у бік вузької частини зубів веденої конічної шестерні;  $x_5$  – «пляма» контакту розташована ближче до вершин зубів;  $x_6$  – граничний знос або пошкодження шестерень;  $x_7$  – «ослаблене» кріплення підшипників;  $x_8$  – граничний знос підшипників;  $x_9$  – недостатній рівень масла у картері моста;  $x_{10}$  – підтікання масла через сальники і роз'єми кришки.



Також в матриці (див. табл. 1) вводимо ознаки вище вказаних несправностей ведучих мостів автомобілів «КамАЗ»:  $S_1$  – збільшений радіальний зазор у зачепленні конічних шестерень;  $S_2$  – підвищений шум під час руху автомобіля зі швидкістю 30...40 км/год;  $S_3$  – підвищений шум при гальмуванні автомобіля;  $S_4$  – «пульсуючий» шум при вимиканні зчеплення та перемиканні передач;  $S_5$  – «безперервне виття» під час руху автомобіля.

Як видно з табл. 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. 2).

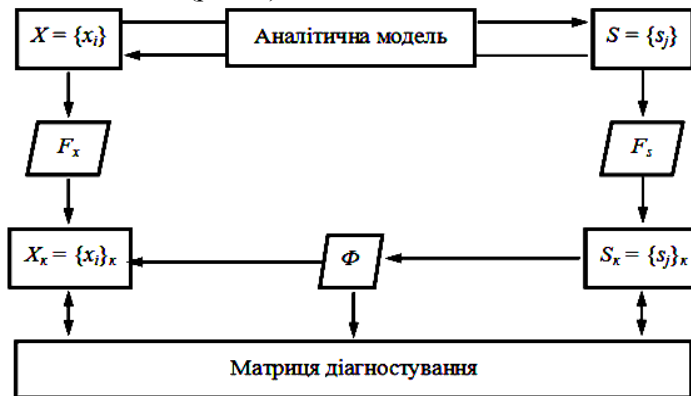


Рис. 2. Блок-схема синтезу матриці діагностування ведучих мостів автомобілів «КамАЗ»:

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

Таке перетворення може бути записано у вигляді

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

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

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

де  $\{s_j\}$  – кількість ознак вихідних процесів, кожна з яких може приймати в загальному випадку нескінченну кількість значень в певному інтервалі;  $\{s_j\}_k$  – кінцева кількість діагностичних ознак, кожна з яких може приймати тільки два умовних значення: «-» або «+»;  $j = 1, 2, \dots, n$ ;  $F_s$  – оператор, що перетворює кількість  $\{s_j\}$  в кількість  $\{s_j\}_k$  наступним чином: будь-якій  $j$ -ій ознаці  $s_j$  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  $\{x_i\}_k$  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  $S_j$  з усіма структурними параметрами об'єкта діагностування, що відображає зв'язки між структурними параметрами і діагностичними сигналами.

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

Параметр  $S_1$  в матриці діагностування можна розглядати як двозначну булеву функцію, яка залежить від аргументів  $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9, x_{10}, x_{11}$ . Булева функція залежить від аргумента  $x_1$ , 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  $x_1, x_2$ .

Залежність  $S_1 = \varphi_1(x_1, x_2)$  виражається в даному випадку в вигляді функції логічного додавання (диз'юнкція):

$$S_1 = x_1 + x_2.$$

Відповідний аналіз інших ознак несправностей дозволяє записати систему рівнянь (3) для даної матриці діагностування ведучих мостів автомобілів «КамАЗ» у вигляді:

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

Всі послідовні перетворення, що призводять до синтезу моделі об'єкта діагностування у вигляді діагностичної матриці, наочно представлені на блок-схемі (див. рис. 2). У тому випадку, коли модель об'єкта діагностування представлена у вигляді діагностичної матриці, діагностична задача формулюється наступним 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: «-» 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

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

або в розгорнутому вигляді

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

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

У діагностичній матриці (див. табл. 1) розглянемо окремо один із рядків, наприклад, перший. З матриці видно, що наявність несправності  $x_1$  викликає вихід одночасно ознак  $S_1$  та  $S_5$  з області 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):

$$x_5 = S_1 S_5.$$

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



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

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

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

$$F_p = x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_{10}. \quad (10)$$

Повертаючись до блок-схеми синтезу матриці діагностування (див. рис. 2), можна сформулювати в загальному вигляді умову здійснення діагностування наступним 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.

## 5. Висновки

1. В ході аналізу останніх досліджень і публікацій з представленої теми встановлено, що конкретних математичних залежностей визначення технічного стану ведучих мостів автомобілів «КамАЗ» не виявлено.

2. Для ведучих мостів автомобілів «КамАЗ» 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.

3. При синтезі матриці діагностування виявлено, що в системі (9) є такі рівні функції як:  $x_6 = S_5$ ;  $x_7 = S_5$ ;  $x_8 = S_5$ ;  $x_9 = S_5$ ;  $x_{10} = S_5$ . Таким чином, перелік діагностичних параметрів ведучих мостів автомобілів «КамАЗ» необхідно доповнити новими параметрами, які увійшли би в якості додаткових аргументів тільки в одну з розглянутих рівних функцій.

4. Розроблена математична модель автоматизації процесу діагностування ведучих мостів автомобілів «КамАЗ» вимагає введення нових додаткових діагностичних параметрів, що є предметом подальших наукових досліджень даного напрямку.

## Список використаних джерел

1. Канарчук В. Є., Курніков І. П. Виробничі системи на транспорті. Київ: Вища школа, 1997. 359 с.
2. Канарчук В. Є., Лудченко О. А., Чигринець А. Д. Основи технічного обслуговування і ремонту автомобілів. В 3 кн. Кн. 1. Теоретичні основи. Технологія. Київ: Вища школа, 1994. 384 с.
3. Канарчук В. Є., Лудченко О. А., Чигринець А. Д. Основи технічного обслуговування і ремонту автомобілів. В 3 кн. Кн. 2. Організація, планування і управління. Київ: Вища школа, 1994. 383 с.
4. Канарчук В. Є., Лудченко О. А., Чигринець А. Д. Основи технічного обслуговування і ремонту автомобілів. В 3 кн. Кн. 3. Ремонт автотранспортних засобів. Київ: Вища школа, 1994. 495 с.
5. Кукурудзяк Ю. Ю., Біліченко В. В. Технічна експлуатація автомобілів. Організація технологічних процесів ТО і ПР. Вінниця: ВНТУ, 2010. 198 с.
6. Лудченко О. А. Технічна експлуатація і обслуговування автомобілів: технологія: підручник. Київ: Вища школа, 2007. 527 с.
7. Чабанний В. Я. Ремонт автомобілів. Кіровоград: Кіровоградська районна друкарня, 2007. 720 с.
8. Коваленко В. М., Щуріхін В. К. Діагностика і технологія ремонту автомобілів. Київ: Літера ЛТД, 2017. 224 с.
9. Борисюк Д. В., Яцковський В. І. Методи та засоби діагностування тракторів. *Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. Серія: Технічні науки.* 2015. № 1 (89). т. 2. С. 16–20.



10. Анісімов В. Ф., Борисюк Д. В., Черкевич О. В. Системи діагностування сільськогосподарських тракторів. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2016. № 2 (94). С. 34–36.
11. Борисюк Д. В., Спірін А. В., Твердохліб І. В., Гунько І. В. Методика визначення місця встановлення акселерометрів при віброакустичному діагностуванні керованих мостів колісних сільськогосподарських тракторів. *Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка*. 2017. Вип. 27. С. 112–119.
12. Борисюк Д. В. Формування словника діагностичних ознак при віброакустичному діагностуванні тракторів і автомобілів. *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.
13. Кислик В. Ф., Лущик В. В. Будова й експлуатація автомобілів. Київ: Либідь, 2006. 400 с.
14. Строков О. П., Макаренко М. Г., Орлов В. Ф., Павленко В. О. Технічне обслуговування та ремонт вантажних і легкових автомобілів, автобусів. Основи будови та експлуатації автопоїздів. Київ : Грамота, 2005. 352 с.
15. Borysiuk D., Spirin A., Trukhanska O., Shvets L., Zelinsky V. Mathematical model of a wheeled tractor steering axle as an object of diagnostics. *TEKA. Commission of motorization and energetics in agriculture*. 2017. Vol. 17, No.1. P. 41–47.
16. Борисюк Д. В. Математична модель зчеплення автомобіля Volkswagen Polo Sedan як об'єкта діагностування. *Вісник машинобудування та транспорту*. 2021. Випуск 1 (13). С. 23–32.
17. Борисюк Д. В. Математична модель коробки перемикач передач типу ЯМЗ-239 як об'єкта діагностування. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2021. Випуск 3 (156). С. 93–104.
18. Борисюк Д. В. Вибір та обґрунтування параметрів вібродіагностування керованих мостів колісних тракторів : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: 05.22.20. Державний університет «Житомирська політехніка». Житомир, 2020. 21 с.
19. Борисюк Д. В. Математична модель процесу діагностування турбокомпресора ЯМЗ-650.1118011. *Наукові праці Вінницького національного технічного університету*. 2021. Випуск 2 (13). С. 1–13. URL: <https://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/634/596>
20. Борисюк Д. В., Зелінський В. Й., Твердохліб І. В., Полевода Ю. А. Математична модель автоматизації процесу діагностування двигунів внутрішнього згорання сімейства ЯМЗ-238. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2021. № 4 (115). С. 12–23.

#### References

- [1] Kanarchuk, V.E., & Kournikov, I.P. (1997). *Vyrobnychi systemy na transporti [Production systems for transport]*. Kyiv : Higher School [in Ukrainian].
- [2] Kanarchuk, V.Ye., Ludchenko, O.A., & Chyhrynets, A.D. (1994). *Osnovy tekhnichnoho obsluhovuvannya i remontu avtomobiliv [Basics of car maintenance and repair. Theoretical foundations. Technology]*. (Vols. 1-3). Kyiv : Higher School [in Ukrainian].
- [3] Kanarchuk, V.Ye., Ludchenko, O.A., & Chyhrynets, A.D. (1994). *Orhanizatsiya, planuvannya i upravlinnya [Organization, planning and management]*. (Vol. 1-3). Kyiv : Higher School [in Ukrainian].
- [4] Kanarchuk, V.Ye., Ludchenko, O.A., & Chyhrynets, A.D. (1994). *Remont avtotransportnykh zasobiv [Repair of vehicles]*. (Vol. 1-3). Kyiv : Higher School [in Ukrainian].
- [5] Kukurudziak, Yu.Yu., & Bilichenko, V.V. (2010). *Tekhnichna ekspluatatsiya avtomobiliv. Orhanizatsiya tekhnolohichnykh protsesiv TO i PR [Technical operation of cars. Organization of technological processes of maintenance and repair]*. Vinnytsia : VNTU [in Ukrainian].
- [6] Ludchenko, O.A. (2007). *Tekhnichna ekspluatatsiya i obsluhovuvannya avtomobiliv: tekhnolohiya [Technical operation and maintenance of cars: technology]*. Kyiv : Higher School [in Ukrainian].
- [7] Shepherd., V.Ya. (Eds.). (2007). *Remont avtomobiliv [Car repair]*. Kirovograd: Kirovohrad district printing house [in Ukrainian].
- [8] Kovalenko, V.M., & Shchurikhin, V. K. (2017). *Diahnostyka i tekhnolohiya remontu avtomobiliv [Diagnosis and technology of car repair]*. Kyiv: Litera LTD [in Ukrainian].
- [9] Borysyuk, D.V., & Yatskovsky, V.I. (2015). *Metody ta zasoby diahnostuvannya traktoriv [Methods and tools for diagnosing tractors]*. *Collection of scientific works of Vinnytsia National Agrarian University. Series: Technical Sciences, 1 (89), v. 2., 16–20* [in Ukrainian].





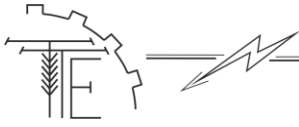
- [10] Anisimov, V.F., Borisyuk, D.V., & Cherkevich O.V. (2016). Systemy diahnostuvannya sil's'kohospodars'kykh traktoriv [Diagnostic systems for agricultural tractors]. *Engineering, energy, transport of agro-industrial complex*, 2 (94), 34–36 [in Ukrainian].
- [11] Borisyuk, D.V., Spirin, A.V., Tverdokhlib, I.V., & Gunko, I.V. (2017). Metodyka vyznachennya mistysya vstanovlennya akselerometriv pry vibroakustychnomu diahnostuvanni kerovanykh mostiv kolisnykh sil's'kohospodars'kykh traktoriv [Methods for determining the location of accelerometers in vibroacoustic diagnostics of steered axles of wheeled agricultural tractors]. *Podolsk Bulletin: agriculture, technology, economics*, v. 27, 112–119 [in Ukrainian].
- [12] Borisyuk, D.V. (2018). Formuvannya slovnyka diahnostychnykh oznak pry vibroakustychnomu diahnostuvanni traktoriv i avtomobiliv [Formation of a dictionary of diagnostic features in vibroacoustic diagnostics of tractors and cars]. Problems and prospects for the development of road transport: VI International scientific-practical Internet conference, Vinnytsia, April, 28-30. Vinnytsia [in Ukrainian].
- [13] Kislikov, V.F., & Lushchik V.V. (2006). *Budova y ekspluatatsiya avtomobiliv [Construction and operation of cars]*. Kyiv : Lybid [in Ukrainian].
- [14] Stokov, O.P., Makarenko, M.G., Orlov, V.F., & Pavlenko, V.O. (2005). *Tekhnichne obsluhovuvannya ta remont vantazhnykh i lehkovykh avtomobiliv, avtobusiv [Maintenance and repair of trucks and cars, buses. Fundamentals of construction and operation of road trains]*. Kyiv : Gramota [in Ukrainian].
- [15] Borysiuk, D., Spirin, A., Trukhanska, O., Shvets, L., & Zelinsky, V. (2017). Mathematical model of a wheeled tractor steering axle as an object of diagnostics. *TEKA. Commission of motorization and energetics in agriculture*, 17, 41–47 [in English].
- [16] Borisyuk, D.V. (2021). Matematichna model zcheplennya avtomobilya Volkswagen Polo Sedan yak ob'ekta diahnostuvannya [Mathematical model of the clutch of the Volkswagen Polo Sedan as an object of diagnosis]. *Visnyk mashynobuduvannya ta transportu – Bulletin of Mechanical Engineering and Transport*, 13, 23–32 [in Ukrainian].
- [17] Borisyuk, D.V. (2021). Matematichna model korobki peremikannya peredach tipu YAMZ-239 yak ob'ekta diahnostuvannya [Mathematical model of the gearbox type YaMZ-239 as an object of diagnosis]. *Visnyk Vinnyts'koho politekhnichnoho instytutu – Bulletin of Vinnytsia Polytechnic Institute*, 156, 93–104 [in Ukrainian].
- [18] Borisyuk, D.V. (2020). Vibir ta obgruntuvannya parametriv vibrodiahnostuvannya kerovanykh mostiv kolisnykh traktoriv [Selection and substantiation of vibration diagnostics parameters of controlled axles of wheeled tractors]. *Extended abstract of candidate's thesis*. Zhytomyr: Zhytomyr Polytechnic State University [in Ukrainian].
- [19] Borisyuk, D.V. (2021). Matematychna model' protsesu diahnostuvannya turbokompresora YAMZ-650.1118011 [Mathematical model of the process of diagnosing the turbocharger YaMZ-650.1118011]. *Naukovi pratsi Vinnyts'koho natsional'noho tekhnichnoho universytetu – Scientific works of Vinnytsia National Technical University*, 13, 1–13. Retrieved from <http://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/634/596> [in Ukrainian].
- [20] Borisyuk, D. V., Zelinsky, V. Y., Tverdokhlib, I. V., Polievoda, & Yu. A. (2021). Matematychna model' avtomatyzatsiyi protsesu diahnostuvannya dvyhuniv vnutrishnoho z-horannya simeystva YAMZ-238 [Mathematical model of automation of the process of diagnosing internal combustion engines of the YaMZ-238 family]. *Tekhnika, enerhetyka, transport APK*, 115, 12–23 [in Ukrainian].

## MATHEMATICAL MODEL OF AUTOMATION OF THE PROCESS OF DIAGNOSING DRIVING BRIDGES OF KAMAZ CARS

*To ensure the efficient operation of vehicles, first of all it is necessary to have continuous and safe operation of their units by improving the reliability and quality of diagnosis.*

*The drive axle of the car is an important unit that is designed to transmit torque from the engine to the wheels of the vehicle. Transmission units must operate in all modes of operation of the vehicle. Loss of serviceability of the drive axle leads to loss of serviceability of the car as a whole. In this regard, the technical condition of this unit must be subject to increased requirements, and it is necessary to conduct systematic monitoring, which gives a clear idea of the current technical condition of the drive axle and the ability to predict the failure of this transmission unit.*

*The existing methods and tools for diagnosing of driving truck axles do not fully determine their current technical condition, which requires the development of mathematical models to automate the process of diagnosing their components and parts was found in the analysis of literature sources.*



*Mathematical model of automation of the process of diagnosing of driving axles of KAMAZ cars is presents in the article.*

*Replacing real technical devices with their idealized models allows the widespread use of various mathematical methods. In this case, the drive axle of the KamAZ cars, as the object of diagnosis, is presented in the form of a «black box», the input and output parameters of which have a finite set of values. In general, the mathematical model is a system of functional relationships between each diagnostic signal and structural parameters.*

*For driving axles of KAMAZ cars, a diagnostic matrix has been compiled, which includes a list of faults and signs of faults.*

*It is determined that the process of diagnosis based on the model of the diagnostic object is possible if the inverse transformation of the number of signs of malfunctions into the number of structural parameters (malfunctions) of the object was unambiguous.*

*The proposed mathematical model of automation of the process of diagnosing of driving axles of KAMAZ cars will detect faults of components and parts depending on their characteristics.*

**Key words:** *mathematical model, diagnosing, driving axle, diagnosing matrix, block diagram, malfunction, fault sign, Boolean function.*

**F. 10. Fig. 2. Table. 1. Ref. 20.**

### **ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ**

**Борисюк Дмитро Вікторович** – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри автомобілів та транспортного менеджменту Вінницького національного технічного університету (21021, м. Вінниця, вул. Воїнів-Інтернаціоналістів, 7, ауд. 3222, e-mail: bddv@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0001-8572-6959>).

**Зелінський Вячеслав Йосипович** – асистент кафедри автомобілів та транспортного менеджменту Вінницького національного технічного університету (21021, м. Вінниця, вул. Воїнів-Інтернаціоналістів, 7, ауд. 3222, e-mail: zelinskiy.slava@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-7785-2629>).

**Твердохліб Ігор Вікторович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри загальнотехнічних дисциплін та охорони праці Вінницького національного аграрного університету (21008, м. Вінниця, вул. Сонячна 3, ВНАУ, 21008, e-mail: igor\_tverdokhlib@yahoo.com, <https://orcid.org/0000-0003-1350-3232>).

**Полєвода Юрій Алікович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри технологічних процесів та обладнання переробних і харчових виробництв Вінницького національного аграрного університету (21008, м. Вінниця, вул. Сонячна, 3, 21008, e-mail: vinyura36@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-2485-0611>).

**Dmytro Borysiuk** – Candidate of Technical Sciences (Ph. D in Eng.), Senior Lecturer of the department of automobiles and transport management of Vinnytsia National Technical University (21021, Vinnytsia, Voinov-Internationalistov st., 7, room 3222, e-mail: bddv@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0001-8572-6959>).

**Viacheslav Zelinskiy** – Assistant of the department of automobiles and transport management of Vinnytsia National Technical University (21021, Vinnytsia, Voinov-Internationalistov st., 7, room 3222, e-mail: zelinskiy.slava@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-7785-2629>).

**Igor Tverdokhlib** – Candidate of Technical Sciences (Ph.D. in Eng.), associate professor of the department of general technical disciplines and occupational safety, Vinnytsia National Agrarian University (21008, Vinnytsia, st. Sonyachna 3, VNAU, 21008, e-mail: igor\_tverdokhlib@yahoo.com, <https://orcid.org/0000-0003-1350-3232>).

**Yurii Polievoda** – Candidate of Technical Sciences (Ph.D. in Eng.), associate professor of the department of technological processes and equipment for processing and food production, Vinnytsia National Agrarian University (21008, Vinnytsia, st. Sonyachna, 3, 21008, e-mail: vinyura36@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-2485-0611>).