

Д. В. Борисюк, к. т. н.; В. О. Огневий, к. е. н., доц.;
Є. В. Смирнов, к. т. н.; В. Й. Зелінський

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ ДІАГНОСТУВАННЯ РУЛЬОВОГО УПРАВЛІННЯ АВТОМОБІЛІВ «КРАЗ»

Сучасні автомобілі є динамічною системою з великою кількістю деталей, вузлів, систем і агрегатів. Одним з агрегатів, що відповідає за безпеку руху автомобіля є рульове управління. Наявні методи та засоби діагностування рульового управління характеризуються низькою ефективністю. З різних причин як декларативні, так і наявні (підтримувані обладнанням) методи, зазвичай, мають низьку точність і нездатність локалізувати несправності. Наразі в більшості випадків несправності системи рульового управління виявляються за зовнішніми ознаками. Підвищити якість процесу діагностування рульового управління можна, в тому числі, і створенням нових математичних моделей їх функціонування.

Проаналізовано наявні методи та засоби діагностування рульового управління, як складового елемента автомобільного транспорту. Встановлено, що наявні методи і засоби діагностування рульового управління не в повній мірі дозволяють визначати їх поточний технічний стан, що вимагає розробки математичних моделей їх вузлів та деталей як об'єкта діагностування.

Як об'єкт діагностування обрано рульове управління автомобілів «КРАЗ». Представлено аналіз особливостей конструкції рульового управління автомобілів «КРАЗ», 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 рульового управління автомобілів «КРАЗ» складена матриця діагностування, яка включає перелік несправностей та ознак несправностей. За допомогою розробленої математичної моделі можна ефективно проводити діагностування рульового управління автомобілів «КРАЗ». При розробці математичної моделі враховано, що зворотне перетворення кількості ознак несправностей у кількість структурних параметрів (несправностей) об'єкта було однозначним.

Дослідження запропонованої математичної моделі діагностування рульового управління автомобілів «КРАЗ» дозволить виявити несправності його вузлів та деталей в залежності від їх ознак, що значно підвищить термін безвідмовної роботи як самого рульового управління, так і транспортного засобу.

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

Вступ

Рульове управління автомобіля забезпечує зміну напрямку руху згідно з керуючим впливом водія, а також підтримку заданого напрямку руху, незважаючи на наявність зовнішніх збурень (поперечний ухил дороги, бічний вітер, нерівномірність дотичних реакцій в контактах коліс з дорогою та ін.). Для оцінки виконання цих функцій використовуються відповідно дві експлуатаційні характеристики – керованість та стійкість. Додатково до автомобіля, у частині рульового управління, пред'являються вимоги маневреності, легкості управління [1]. Реалізація всіх цих вимог в умовах експлуатації здійснюється через досконалість конструкції та необхідний рівень технічного стану, що забезпечується технічною службою підприємства. Важливу роль в забезпеченні підтримки надійності рульового управління автомобілів, серед інших технологічних операцій, відіграє діагностування.

Постановка проблеми

Складність діагностування рульового управління автомобілів визначається багатьма причинами. По-перше, показники ефективності функціонування рульового управління в експлуатації залежать від технічних і режимних характеристик. По-друге, на сьогодні фактично відсутні надійні інструментальні засоби контролю технічного стану рульового управління в експлуатації. Люфт у рульового управління найчастіше вказує на наявність несправностей.

Статистика виходу з ладу окремих вузлів і агрегатів автомобілів «КрАЗ» показує, що 30 % від всіх відмов становлять відмови рульового управління [2]. Отже, дослідження, спрямовані на вдосконалення методів і засобів діагностування рульового управління автомобілів «КрАЗ» є актуальною науково-технічною задачею.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Огляд теоретичних і експериментальних досліджень в області експлуатації та визначення технічного стану рульового управління автомобілів [3 – 9] показав, що на сьогодні створені певні науково-методичні і технічні основи технічного сервісу систем управління автомобілями. Разом з тим, наявні технології і методи діагностування, контролю і оцінки технічного стану окремих елементів рульового управління не враховують повною мірою особливостей їх функціонування.

Проблема вдосконалення засобів та методів визначення технічного стану рульового управління автомобілів розглянута в роботах [10 – 13]. Під час аналізу яких встановлено, що більшість методів діагностування рульового управління не достатньо враховують повною мірою особливостей їх функціонування, відрізняються високою вартістю і складністю застосовуваного обладнання.

В ході аналізу останніх досліджень і публікацій встановлено, що конкретних математичних залежностей визначення технічного стану рульового управління автомобілів не виявлено.

Мета дослідження

Надійність автомобілів «КрАЗ» залежить від надійності їх вузлів та агрегатів, і одним з таких агрегатів є рульове управління.

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

Метою дослідження є збільшення терміну експлуатації рульового управління автомобілів «КрАЗ», за рахунок дослідження його робочих параметрів на основі розробленої математичної моделі діагностування його вузлів та деталей, в якій враховуються як несправності, так і ознаки несправностей.

Аналіз конструкції рульового управління автомобілів «КрАЗ»

Рульове керування призначається для зміни напрямку руху автомобіля повертанням передніх керованих коліс і складається з рульового механізму та рульового привода. На автомобілях в рульовому керуванні застосовують підсилювач, який полегшує керування автомобілем, зменшує поштовхи на рульове колесо й підвищує безпеку руху.

Рульове управління автомобілів «КрАЗ» (рис. 1) складається з рульового механізму із вбудованим розподільником, вала рульового управління із колонкою та рульовим колесом, карданного вала, рульових тяг – поздовжньої і рульової трапеції, гідравлічного циліндра, масляного насоса, бачка, трубопроводів та шлангів [11]. Масляний насос розміщується на

двигуні, а тяга рульової трапеції на передній осі.

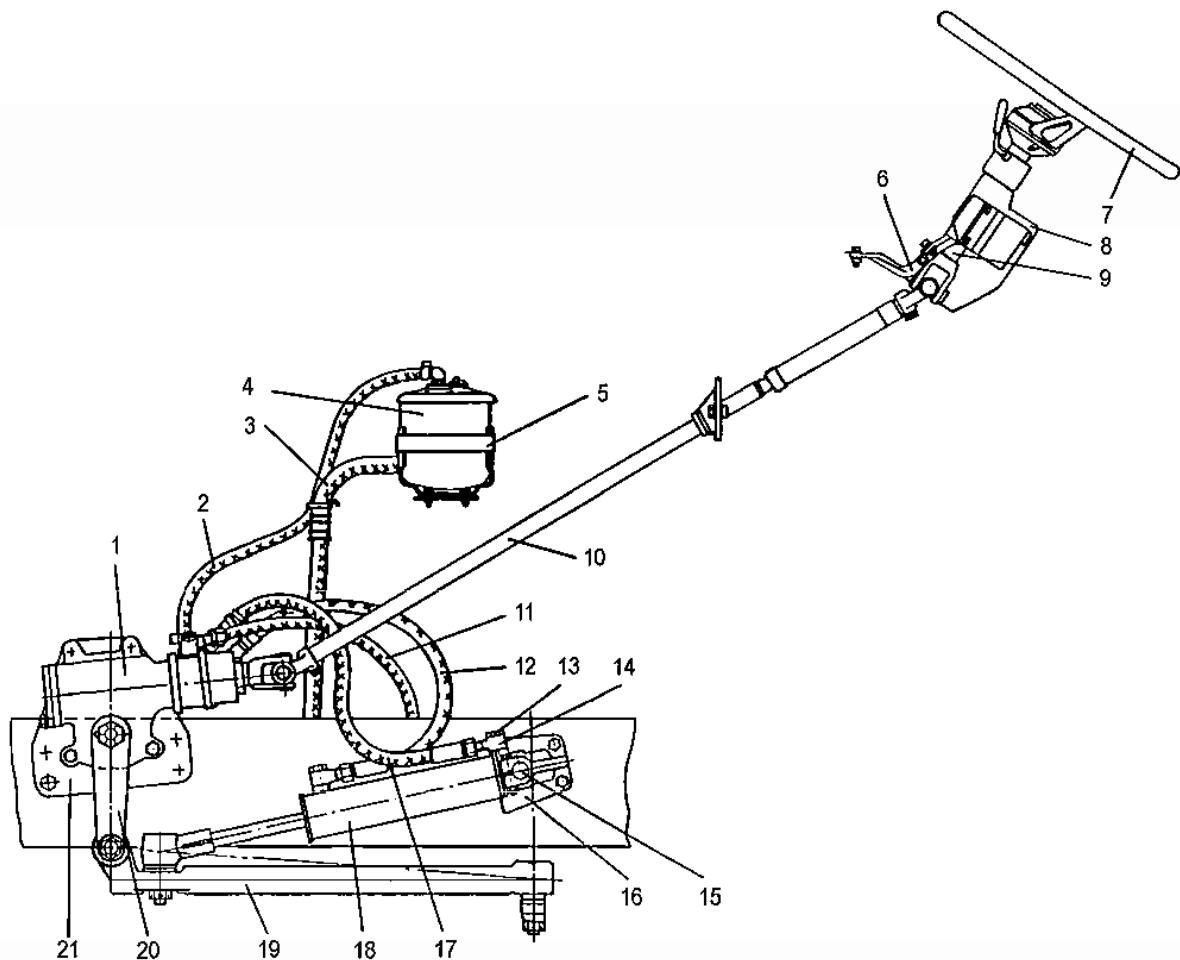


Рис. 1. Рульове управління автомобілів «КрАЗ»:

1 – механізм рульовий з розподільчим пристроєм; 2 – шланг зливний; 3 – шланг подачі масла до насоса; 4 – бачок масляний; 5 – кронштейн масляного бачка; 6 – кронштейн рульової колонки; 7 – рульове колесо; 8 – блок перемикачів показників повороту; 9 – вал рульового управління з колонкою; 10 – карданний вал рульового управління; 11 – шланг подачі масла від насоса; 12, 17 – шланги силового циліндра; 13 – болт приводний; 14 – наконечник; 15 – палець; 16 – кронштейн кріплення силового циліндра; 18 – циліндр силовий; 19 – тяга поздовжня рульова; 20 – сошка; 21 – кронштейн кріплення рульового механізму

Рульовий механізм автомобілів «КрАЗ» складається з гвинта та кулькової гайки-рейки, що знаходиться в зачепленні із зубчастим сектором.

Насос гідропідсилювача лопатевого типу (за один оберт валу насоса відбувається два повних цикли всмоктування та два нагнітання). Насос гідропідсилювача кріпиться до кришки розподільних шестерень з лівого боку двигуна, а масляний бачок – на лівому крилі. Насос і бачок з'єднані між собою шлангом.

Привод рульового управління автомобілів «КрАЗ» складається з поздовжньої та поперечної рульових тяг із шаровими шарнірами.

Поздовжня рульова тяга трубчаста, з двома шаровими шарнірами, з'єднує силовий циліндр з верхнім важелем поворотного кулака переднього лівого колеса.

Поперечна рульова тяга представляє собою штангу з розміщеними на її кінці наконечниками, в яких закріплені шарові пальці. Поперечна тяга рульової трапеції з'єднує нижні важелі поворотних кулаків передніх коліс. За допомогою наконечників можна змінювати довжину тяги та регулювати сходження коліс.

Основний матеріал

Рульове управління – складний та збалансований комплекс взаємопов'язаних агрегатів та вузлів. Якщо в рульовому управлінні автомобіля щось вийшло з ладу або працює некоректно, водієві складніше керувати транспортним засобом та зростає ризик потрапити до дорожньо-транспортної пригоди.

Рульовий механізм є цілісним вузлом, порушувати комплектність його деталей забороняється.

Шуми, зміна у відчуттях при маніпуляціях з рульовим колесом та стукіт – основні ознаки несправності в системі рульового управління. Загальне правило у будь-якому з цих випадків полягає у необхідності огляду автомобіля фахівцем, оскільки рульова система та її компоненти через свою складність, як правило, підлягають не ремонту, а заміні.

Усі основні несправності рульового управління повинні усуватись у найкоротший термін. В іншому випадку водій наражає на небезпеку як себе, так і своїх пасажирів.

У конструкції рульового управління автомобілів «КрАЗ» використовується рейковий рульовий механізм, що дозволяє значно скоротити кількість несправностей. Проте все ще залишаються кілька поширених несправностей, які поділяються на:

- несправності безпосередньо рульового управління;
- несправності підсилювача рульового управління.

За рахунок автоматизації логічного процесу постановки діагнозу можна попередити вищевказані несправності рульового управління.

Вирішення задачі автоматизації логічного процесу постановки діагнозу вимагає розробки моделей елементів рульового управління 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 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 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) [3].

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 S ;
- кількість всіх несправностей об'єкта діагностування X ;
- оператор A , який перетворює кількості X та Y в кількість S :

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

Враховуючи, що під час діагностування 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 цьому 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 $\{X_i\}$.

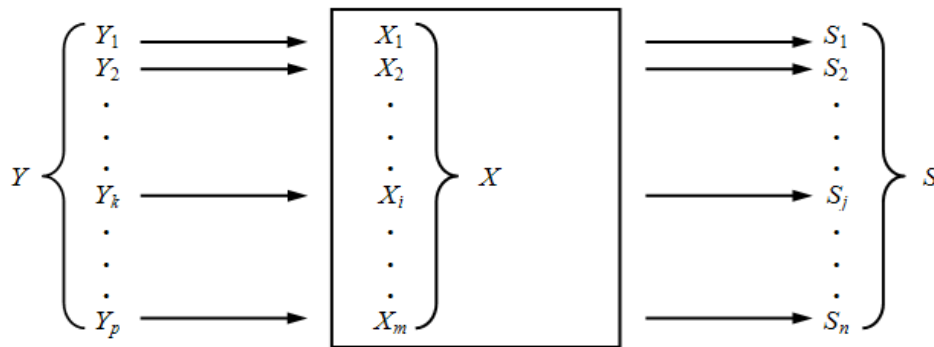


Рис. 2. Представлення об'єкта діагностування у вигляді «чорного ящика»

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

Нижче описується ряд моделей об'єктів діагностування, 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 визначити технічний стан об'єкта не тільки в момент діагностування, але і, накопичуючи інформацію, отриману за кілька діагностичних обстежень об'єкта, аналізувати зміну структурних параметрів з метою прогнозування його технічного стану.

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

- вид функцій φ_j для більшості вузлів і механізмів поки не встановлений;
- якщо функція φ_j не задовольняє умовам безперервності і диференціювання по кожному з своїх аргументів, що зазвичай має місце в реальних моделях, то рішення системи рівнянь (3)

пов'язано з великими математичними труднощами;

– більшість діагностичних параметрів, в принципі не можуть бути виражені у вигляді аналітичних функцій структурних параметрів.

У ряді робіт з технічного діагностування машин і механізмів, можливі технічні стани (несправності) агрегатів і систем та ознаками цих несправностей описуються у вигляді так званих діагностичних матриць [9, 14 – 23].

З досвіду багаторічної експлуатації автомобілів «КрАЗ» в таблиці 1 наведена матриця діагностування рульового управління, яким вони оснащуються [11].

Таблиця 1

Матриця діагностування рульового управління автомобілів «КрАЗ»

Несправність рульового управління	Ознака несправності рульового управління									
	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	S ₅	S ₆	S ₇	S ₈	S ₉	S ₁₀
x ₁	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
x ₂	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
x ₃	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
x ₄	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
x ₅	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
x ₆	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
x ₇	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
x ₈	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-
x ₉	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-
x ₁₀	-	+	-	+	+	-	-	-	-	-
x ₁₁	-	+	-	-	+	-	-	-	-	-
x ₁₂	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-
x ₁₃	-	+	-	+	-	-	-	-	-	-
x ₁₄	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-
x ₁₅	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-
x ₁₆	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-
x ₁₇	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-
x ₁₈	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-
x ₁₉	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-
x ₂₀	-	-	-	-	+	+	-	-	-	-
x ₂₁	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-
x ₂₂	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-
x ₂₃	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-
x ₂₄	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-
x ₂₅	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-
x ₂₆	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-
x ₂₇	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-
x ₂₈	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-
x ₂₉	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+
x ₃₀	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+

В матриці діагностування позначимо наступні несправності рульового управління автомобілів «КрАЗ»:

x₁ – ослаблене кріплення драбин ресор;

x₂ – ослаблене кріплення кришок подушок ресор;

x₃ – руйнування подушок ресор;

x₄ – порушене регулювання сходження керованих коліс;

x₅ – ослаблене кріплення керованих коліс;

x₆ – збільшений вільний хід рульового колеса;

x₇ – заїдання золотника або реактивних плунжерів у корпусі розподільника;

x₈ – втрата продуктивності насоса гідропідсилювача рульового управління (недостатній

натяг ременя приводу насоса);

x_9 – підвищений попередній натяг сферичних підшипників рульового механізму;

x_{10} – низький рівень масла у бачку підсилювача насоса;

x_{11} – наявність у гідравлічній системі рульового управління повітря;

x_{12} – наявність у гідравлічній системі рульового управління води;

x_{13} – періодичне зависання (заїдання) перепускного клапана насоса через забруднення;

x_{14} – втрата пружності пружини запобіжного клапана або порушене регулювання клапана;

x_{15} – обрив пасу приводу насоса гідропідсилювача;

x_{16} – ослаблене затягування сідла запобіжного клапана;

x_{17} – злам пружини запобіжного клапана;

x_{18} – порушення герметичності перепускного клапана внаслідок потрапляння сторонніх частинок під кульку запобіжного клапана;

x_{19} – ослаблення натягу паса приводу насоса гідропідсилювача;

x_{20} – засмічення чи пошкодження фільтра насоса;

x_{21} – високий рівень масла у бачку;

x_{22} – ослаблене затягування гайок кріплення кришки насоса;

x_{23} – зношена або пошкоджена манжета валика насоса;

x_{24} – поява зазору в зубчастому зачепленні рульового механізму;

x_{25} – наявність забруднення під робочою кромкою манжети;

x_{26} – пошкодження робочої кромки манжети;

x_{27} – недостатній натяг манжети по зовнішньому діаметру;

x_{28} – сліди корозії на входному валу сектора у місці контакту з манжетою;

x_{29} – зношування штока по зовнішньому діаметру;

x_{30} – зношена або пошкоджена манжета гідравлічного циліндра.

Також в матриці діагностування вводимо ознаки вище зазначених несправностей рульового управління автомобілів «КрАЗ»:

S_1 – автомобіль «не тримає дорогу»;

S_2 – збільшене зусилля та ривки на рульовому колесі (особливо при повороті коліс на місці);

S_3 – повна відсутність зусилля на рульовому колесі при різній частоті обертання колінчастого валу двигуна;

S_4 – різке збільшення зусилля на рульовому колесі при повороті керованих коліс на місці та під час руху;

S_5 – підвищений шум під час роботи насоса;

S_6 – порушене регулювання насоса;

S_7 – постійне падіння рівня масла у бачку насоса;

S_8 – стук в рульовому механізмі;

S_9 – підтікання масла з-під манжет входного вала та вала сектора рульового механізму;

S_{10} – підтікання масла з-під ущільнення штока гідравлічного циліндра рульового управління.

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

На перетині i -го рядка і j -го стовпця ставиться «+», якщо при наявності i -ї несправності спостерігається вихід j -ї 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).

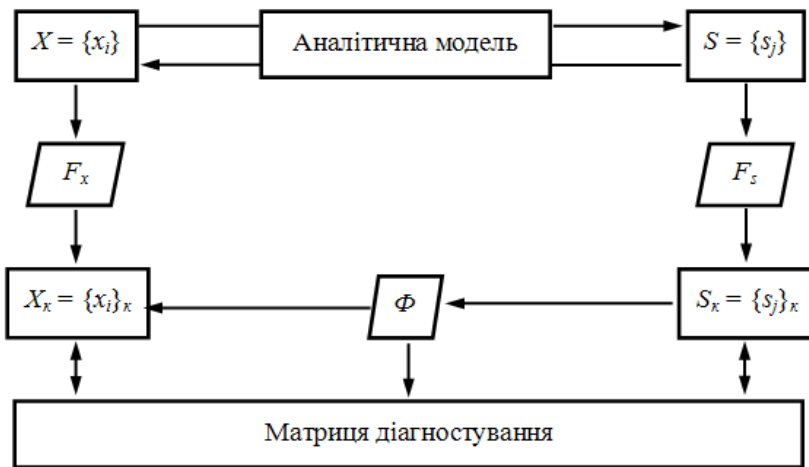


Рис. 3. Блок-схема синтезу матриці діагностування рульового управління автомобілів «КрАЗ»:

$X = \{x_i\}$ – нескінченна кількість технічних станів об’єкта;

$X_k = \{x_i\}_k$ – кінцева кількість технічних станів;

$S = \{s_j\}$ – нескінченна множина ознак технічних станів об’єкта;

$S_k = \{s_j\}_k$ – кінцева множина ознак технічних станів об’єкта

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

F_s – оператор, що перетворює кількість $\{s_j\}$ в кількість $\{s_j\}_k$;

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

Таке перетворення може бути записано у вигляді

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

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

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

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

$$\{s_j\}_k = \Phi \{x_i\}_k, \tag{6}$$

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

Перетворення (6) відображає функціонування будь-якого технічного об’єкта як перетворювача кількості структурних параметрів у кількість діагностичних параметрів і є

модифікацією моделі (1).

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

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

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

Параметр S_1 в матриці діагностування можна розглядати як двозначну булеву функцію, яка залежить від аргумента x_1 . 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 таблиці 1, S_1 істотно залежить лише від x_1, x_2, x_3, x_5, x_6 та x_7 .

Залежність $S_1 = \varphi_1(x_1, x_2, x_3, x_5, x_6, x_7)$ виражається в цьому випадку в вигляді функції логічного додавання (диз'юнкції):

$$S_1 = x_1 + x_2 + x_3 + x_5 + x_6 + x_7.$$

Відповідний аналіз інших ознак несправностей дозволяє записати систему рівнянь (3) для цієї матриці діагностування рульового управління автомобілів «КрАЗ» у вигляді:

$$\begin{cases} S_1 = x_1 + x_2 + x_3 + x_5 + x_6 + x_7; & S_6 = x_{20} + x_{21} + x_{22}; \\ S_2 = x_8 + x_9 + x_{10} + x_{11} + x_{12} + x_{13} + x_{14}; & S_7 = x_{23}; \\ S_3 = x_{15} + x_{16}; & S_8 = x_{24}; \\ S_4 = x_{10} + x_{13} + x_{17} + x_{18}; & S_9 = x_{25} + x_{26} + x_{27} + x_{28}; \\ S_5 = x_{10} + x_{11} + x_{19} + x_{20}; & S_{10} = x_{29} + x_{30}. \end{cases} \quad (7)$$

Всі послідовні перетворення, що приводять до синтезу моделі об'єкта діагностування у вигляді діагностичної матриці, наочно представлені на блок-схемі (див. рис. 3). У тому випадку, коли модель об'єкта діагностування наведена у вигляді діагностичної матриці, діагностична задача формулюється наступним чином. За 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

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

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 наступних міркувань.

У діагностичній матриці розглянемо окремо один із рядків, наприклад, десятий. З матриці

видно, що наявність несправності x_{10} викликає одночасно вихід ознак S_2 , S_4 та S_5 з області їх допустимих значень. Значення інших діагностичних параметрів при наявності тільки несправності x_{10} залишаються в межах норми. Таким чином x_{10} є булевою функцією, у цьому випадку кон'юнкцією (або функцією логічного множення):

$$x_{10} = S_2 \cdot S_4 \cdot S_5.$$

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

$$\left\{ \begin{array}{lll} x_1 = S_1; & x_{11} = S_2 \cdot S_5; & x_{21} = S_6; \\ x_2 = S_1; & x_{12} = S_2; & x_{22} = S_6; \\ x_3 = S_1; & x_{13} = S_2 \cdot S_4; & x_{23} = S_7; \\ x_4 = S_1; & x_{14} = S_2; & x_{24} = S_8; \\ x_5 = S_1; & x_{15} = S_3; & x_{25} = S_9; \\ x_6 = S_1; & x_{16} = S_3; & x_{26} = S_9; \\ x_7 = S_1; & x_{17} = S_4; & x_{27} = S_9; \\ x_8 = S_2; & x_{18} = S_4; & x_{28} = S_9; \\ x_9 = S_2; & x_{19} = S_5; & x_{29} = S_{10}; \\ x_{10} = S_2 \cdot S_4 \cdot S_5; & x_{20} = S_5 \cdot S_6; & x_{30} = S_{10}. \end{array} \right. \quad (9)$$

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.

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

$$F_p = x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_{30}. \quad (10)$$

Повертаючись до блок-схеми синтезу матриці діагностування (рис. 3), 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.

Висновки

1. В ході аналізу останніх досліджень і публікацій з розглянутої теми встановлено, що конкретних математичних залежностей визначення технічного стану рульового управління автомобілів не виявлено.

2. Представлено аналіз особливостей конструкції рульового управління автомобілів «КрАЗ», як об'єкта діагностування.

3. Систему рульового управління автомобілів «КрАЗ», в якості об'єкта діагностування, представлено у вигляді «чорного ящика», вхідні і вихідні параметри якого мають кінцеву

множину значень.

4. Для рульового управління автомобілів «КрАЗ» 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.

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

$$x_1 = x_2 = x_3 = x_4 = x_5 = x_6 = x_7 = S_1; x_8 = x_9 = x_{12} = x_{14} = S_2; x_{15} = x_{16} = S_3; x_{17} = x_{18} = S_4; x_{21} = x_{22} = S_6; x_{25} = x_{26} = x_{27} = x_{28} = S_9; x_{29} = x_{30} = S_{10}.$$

Отже, перелік діагностичних параметрів рульового управління автомобілів «КрАЗ» необхідно доповнити новими параметрами, які увійшли би в якості додаткових аргументів тільки в одну з розглянутих рівних функцій.

6. Розроблена математична модель автоматизації процесу діагностування рульового управління автомобілів «КрАЗ» вимагає введення нових додаткових діагностичних параметрів, що є предметом подальших наукових досліджень цього напрямку.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Колісні транспортні засоби. Вимоги щодо безпечності технічного стану та методи контролювання : ДСТУ 3649:2010. – [Чинний від 2011-07-01]. – К. : Держспоживстандарт України, 2011. – 30 с.
2. За 2 роки війни Міноборони закупило у КрАЗу всього 641 вантажівку (опубліковано 2016-05-04) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://autoconsulting.ua/article.php?sid=36027#:~:text=%D0%9F%D0%BE%20%D0%B4%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%8B%D0%BC%20%D0%9C%D0%B8%D0%BD%D0%BE%D0%B1%D0%BE%D1%80%D0%BE%D0%BD%D1%8B%2C%20%D0%B7%D0%B0%20%D0%B2%D1%80%D0%B5%D0%BC%D1%8F,%D0%BF%D0%BE%D0%B4%D1%82%D0%B2%D0%B5%D1%80%D0%B6%D0%B4%D0%B0%D1%8E%D1%82%20%D0%B8%20%D0%BF%D1%80%D0%B8%D0%B2%D0%BE%D0%B4%D1%8F%D1%82%20%D1%81%D0%B2%D0%BE%D0%B8%20%D0%B0%D1%80%D0%B3%D1%83%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D1%82%D1%8B>.
3. Канарчук В. Є. Виробничі системи на транспорті / В. Є. Канарчук, І. П. Курніков. – Київ : Вища школа, 1997. – 359 с.
4. Канарчук В. Є. Основи технічного обслуговування і ремонту автомобілів. В 3 кн. Кн. 1. Теоретичні основи. Технологія / В. Є. Канарчук, О. А. Лудченко, А. Д. Чигринець. – Київ : Вища школа, 1994. – 384 с.
5. Канарчук В. Є. Основи технічного обслуговування і ремонту автомобілів. В 3 кн. Кн. 2. Організація, планування і управління / В. Є. Канарчук, О. А. Лудченко, А. Д. Чигринець. – Київ : Вища школа, 1994. – 383 с.
6. 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.
7. Кукурудзяк Ю. Ю. Технічна експлуатація автомобілів. Організація технологічних процесів ТО і ПР / Ю. Ю. Кукурудзяк, В. В. Біліченко. – Вінниця : ВНТУ, 2010. – 198 с.
8. Лудченко О. А. Технічна експлуатація і обслуговування автомобілів: технологія / О. А. Лудченко. – Київ : Вища школа, 2007. – 527 с.
9. Коваленко В. М. Діагностика і технологія ремонту автомобілів / В. М. Коваленко, В. К. Щуріхін. – Київ : Літера ЛТД, 2017. – 224 с.
10. 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.
11. Кисликов В. Ф. Будова й експлуатація автомобілів / В. Ф. Кисликов, В. В. Лущик. – К. : Либідь, 2018. – 400 с.
12. Технічне обслуговування та ремонт вантажних і легкових автомобілів, автобусів. Основи будови та експлуатації автопоїздів / [О. П. Строков, М. Г. Макаренко, В. Ф. Орлов та ін.]. – Київ : Грамота, 2005. – 352 с.
13. Дитятьєв О. В. Особливості діагностування рульового керування автомобілів / О. В. Дитятьєв // Вісник машинобудування та транспорту. – 2021. – Вип. 2 (14). – С. 18 – 25.
14. 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.
15. 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.

16. 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.
17. 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.
18. 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.
19. 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.
20. 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.
21. Математична модель процесу діагностування турбокомпресора ЯМЗ-650.1118011 [Електронний ресурс] / Д. В. Борисюк // Наукові праці Вінницького національного технічного університету. – 2021. – № 2. – Режим доступу до журн.: <https://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/634/596>.
22. 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.
23. 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 11.02.2023

Стаття пройшла рецензування 21.02.2023.

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

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

Смирнов Євгеній Валерійович – к. т. н., доцент кафедри автомобілів та транспортного менеджменту.

Зелінський Вячеслав Йосипович – асистент кафедри автомобілів та транспортного менеджменту. Вінницький національний технічний університет.