

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ КОРОБКИ ПЕРЕМИКАННЯ ПЕРЕДАЧ ТИПУ ЯМЗ-239 ЯК ОБ'ЄКТА ДІАГНОСТУВАННЯ

¹Вінницький національний технічний університет

Особливості експлуатації автомобільного транспорту передбачають часті зупинки і подальші розгони, гальмування, перемикання передач тощо. Це призводить до зростання динамічного навантаження агрегатів автомобілів і, як наслідок, до інтенсифікації процесів зношування фрикційних поверхонь дисків зчеплення, зубчастих і карданних передач тощо. Дефекти складових частин коробки перемикання передач виникають також через порушення правил експлуатації. Вчасне та якісне діагностування коробки передач автомобіля дозволить підвищити термін безвідмовної роботи автомобіля та покращити його техніко-економічні показники.

Значне зростання кількості транспортних засобів, збільшення марок і моделей вимагають розробки сучасних засобів та методів діагностування. Значення загальних принципів функціонування коробок передач дозволяють локалізувати область несправностей, мінімізувати процес спроб і помилок.

Наразі в більшості випадків несправності коробки передач типу ЯМЗ-239 виявляються за зовнішніми ознаками. Підвищити якість процесу діагностування коробок передач можна зокрема і створенням нових математичних моделей їх функціонування.

Аналізуючи літературні джерела, встановлено, що існуючі методи та засоби діагностування коробок передач автомобільного транспорту не повною мірою дозволяють визначати їх поточний технічний стан, що вимагає розроблення математичних моделей їх вузлів та деталей як об'єкта діагностування.

Як об'єкт діагностування вибрано коробку перемикання передач типу ЯМЗ-239, яка входить до складу силового агрегату вантажних автомобілів.

В статті подано огляд конструкцій модельного ряду коробок перемикання передач типу ЯМЗ-239, як об'єктів діагностування.

Заміна реальних технічних пристроїв їх ідеалізованими моделями дозволяє широко застосовувати різні математичні методи. В цьому випадку коробка передач, як об'єкт діагностування, представлена у вигляді «чорної скриньки», вхідні і вихідні параметри якої мають кінцеву множину значень. Для представлення об'єкта діагностування у вигляді «чорної скриньки» задаються: кількість всіх вхідних дій Y ; кількість всіх вихідних ознак несправності S ; кількість всіх несправностей об'єкта діагностування X ; оператор A , який перетворює кількості X та Y в кількість S .

В загальному вигляді математична модель є системою функціональних залежностей між кожним діагностичним сигналом і структурними параметрами.

Для коробки передач ЯМЗ-239 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 є однозначним.

Запропонована математична модель діагностування коробки перемикання передач типу ЯМЗ-239 дозволить виявити несправності її вузлів та деталей в залежності від їх ознак, що значно підвищить термін безвідмовної роботи як самої коробки передач, так і всього транспортного засобу.

Ключові слова: математична модель, діагностування, автомобіль, коробка перемикання передач, матриця діагностування, блок-схема, несправність, ознака несправності, булева функція.

Вступ

Значне зростання кількості транспортних засобів, збільшення марок і моделей, найчастіше іноземного виробництва, ускладнення їх конструкцій і адаптація вимог нормативної документації по технічному стану транспортних засобів до світових стандартів вимагають розроблення сучасних засобів і методів діагностування не тільки систем управління, але і приводів [1].

Підтримка високого рівня надійності в умовах експлуатації вимагає своєчасного попередження, виявлення та усунення можливих несправностей, головним чином, прихованих, що не виявляються зовнішнім оглядом. Для цього необхідні методи інструментального контролю, що відрізняються від тих, які застосовуються під час часткового або повного розбирання агрегатів автомобіля. З урахуванням складності конструкції сучасних автомобілів, розбирання агрегатів для виявлення їх прихованих несправностей і пошкоджень пов'язана зі значними витратами часу і коштів, а також з порушенням сполучень деталей, що різко скорочує довговічність автомобіля і знижує його надійність.

Знати особливості конструкції всіх різновидів коробок передач неможливо, однак знання загальних принципів їх правильного функціонування, взаємозв'язків і досвід дозволяють діагносту локалізувати область несправностей, не перетворюючи діагностування в процес спроб і помилок.

Постановка проблеми

За деякими даними, частка відмов агрегатів механічних трансмісій автомобілів становить 19...23 % від всіх відмов. Відомо, що відмови трансмісії розподіляються таким чином: 70 % — відмови зчеплення, 17 % — відмови коробки передач, 10 % — відмови карданної передачі, 3 % — відмови заднього моста [1].

Елементи трансмісій, як правило, працюють в умовах високих ударних і вібраційних навантажень в широкому діапазоні температур. Залежно від конструкції машини вплив трансмісії на її надійність змінюється в широких межах. У кращому випадку частка відмов елементів трансмісії становить близько 20 % загального числа відмов машини, а в окремих випадках досягає 60 %. Багато трансмісій мають ресурс, значно менший гарантованого при проектуванні. Водночас з недовикористаним ресурсом надходить в ремонт до 60 % коробок передач. Це призводить, з одного боку, до передчасних ремонтних впливів, а з іншого — до відмов, що вимагають значних затрат на усунення їх наслідків [2].

На сьогодні несправності коробок передач типу ЯМЗ-239 в основному діагностують за зовнішніми ознаками. Разом з тим, одна зовнішня ознака може відповідати декільком несправностям коробок передач. Тому конкретні несправності коробок передач встановлюються, зазвичай, під час їхнього розбирання.

Розв'язати задачу оцінювання технічного стану коробок перемикування передач транспортних засобів можна шляхом розробки і впровадження ефективних методів і засобів контролю технічного стану (діагностування).

Отже, процес визначення технічного стану коробок перемикування передач автотранспортних засобів є актуальною науково-технічною задачею.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

На сьогодні існує небагато методів визначення технічного стану коробок передач автомобілів. Найпростішим і поширеним є органолептичний метод. Його особливості розглянуті в роботі [3]. Деякою мірою від помилок суб'єктивної оцінки позбавляє логічний метод [4]—[6], але недостатньо. Імовірність помилок першого і другого роду залишається досить значною.

В роботі [7] розглянуто метод сумарного куткового люфту між вхідним і вихідним валами, що дозволяє визначати структурний параметр — зношення профілю зуба. Автор цієї роботи стверджує, що, аналізуючи цей параметр, можна встановити несправності інших деталей коробки передач. Недолік такого методу зумовлений складністю функціональних зв'язків між структурним параметром і технічним станом інших деталей коробки передач, які очевидно не визначені.

Існує метод визначення технічного стану коробок передач автомобілів за шумом, що випромінюється [8], [9]. У цих роботах описано метод, який дозволяє визначити знос поверхонь зубів в зубчастому зчепленні коробок передач автомобілів. Але цей метод не дає інформації про технічний стан інших елементів коробок передач, і його використання унеможливується складністю обробки даних і постановки діагнозу, обмежує його застосування в умовах автотранспортних підприємств.

Таким чином, існуючі методи і засоби діагностування коробок перемикування передач автомобілів потребують вдосконалення.

Аналіз літературних і наукових джерел показав, що існуючі методи та засоби діагностування коробок передач автомобілів, не повною мірою відповідають сучасним вимогам щодо визначення їх поточного технічного стану, що вимагає розробки математичних моделей їх основних частин і

механізмів як об'єкта діагностування.

Надійність транспортного засобу залежить від надійності його вузлів та агрегатів, і одним з таких агрегатів є коробка передач.

Метою дослідження є підвищення надійності функціонування такого важливого агрегату автомобіля, як коробка передач типу ЯМЗ-239, за рахунок створення математичної моделі діагностування її вузлів та деталей, яка пов'язує несправності та ознаки несправностей.

Огляд конструкції та моделей коробок перемикач передач типу ЯМЗ-239

Розробка і виробництво на ПАТ «Автодизель» (ЯМЗ) двигунів типу ЯМЗ-7511 потужністю до 420 к.с. і підвищені вимоги до тягово-динамічних показників автомобілів потребували створення коробки передач, що забезпечить передачу крутного моменту двигуна до 1800 Н·м (183 кгс·м).

У зв'язку з цим, на ПАТ «Автодизель» (ЯМЗ) розроблено сімейство дев'ястиступінчастих коробок передач типу ЯМЗ-239, серійне виробництво яких розпочалось з 2004 року. До початку виробництва зазначених коробок передач, двигуни ЯМЗ-7511 поставлялися на ВАТ «Мінський автомобільний завод» (МАЗ) тільки зі зчепленнями ЯМЗ-184 без коробок передач, а коробки передач МАЗ-543205 (базова модель ЯМЗ-202) виготовлялися на ВАТ «Мінський автомобільний завод» (МАЗ) і на ВАТ «Мінський завод колісних тягачів» (МЗКТ) [10].

Коробка передач ЯМЗ-239 (базова модель) — механічна дев'яти ступінчаста, складається з основної п'ятиступінчастої коробки передач і дводіапазонного демультіплікатора, з'єднаних в одному агрегаті (рис. 1).

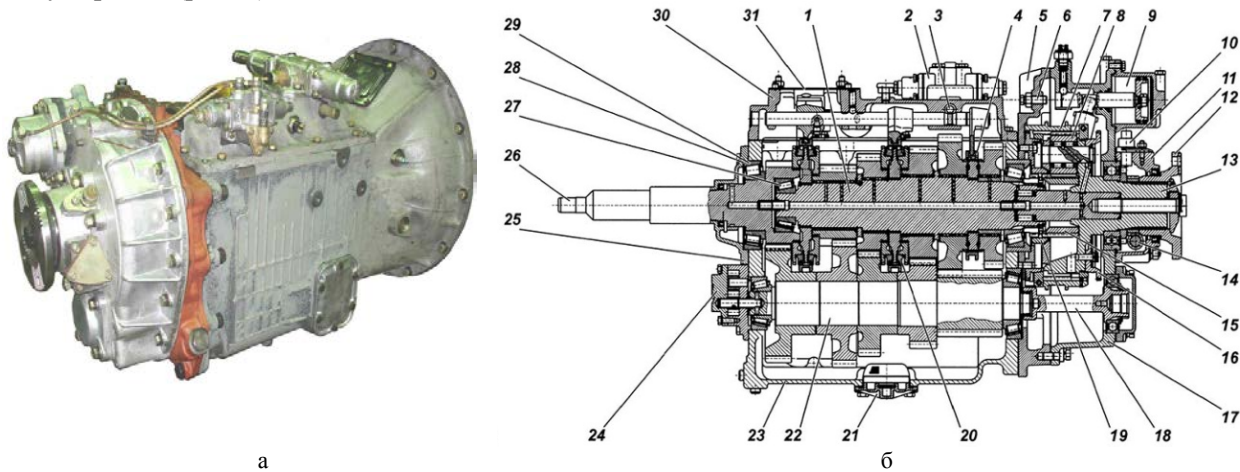


Рис. 1. Коробка передач ЯМЗ-239 [10]: а — загальний вигляд; б — поперечний переріз;

1 — вторинний вал; 2 — розподільник повітря; 3 — сухарі механізму подачі повітря в пневмоциліндр; 4 — муфта включення першої передачі і заднього ходу; 5 — проставка; 6 — регульовальний болт; 7 — коронна шестерня; 8 — сателіт; 9 — пневмоциліндр включення передач демультіплікатора; 10 — датчик швидкості; 11 — кришка заднього підшипника вихідного вала; 12 — фланець кріплення карданного вала; 13 — вихідний вал з синхронізатором; 14 — черв'як приводу спідометра; 15 — сонячна шестерня; 16 — зубчаста муфта вищого діапазону; 17 — картер демультіплікатора; 18 — вал відбору потужності; 19 — сполучна муфта сонячної шестерні; 20 — синхронізатор; 21 — забірник; 22 — проміжний вал; 23 — картер коробки передач; 24 — масляний насос; 25 — кришка підшипника; 26 — первинний вал; 27 — передній підшипник; 28 — регульовальні прокладки; 29 — задній підшипник первинного вала; 30 — верхня кришка з вилками і штоками перемикач передач; 31 — кришка-заглушка (встановлюється під час поставки коробки передач без наконечника з опорою важеля перемикач передач)

Коробка передач ЯМЗ-239 застосовується спільно з двигунами ЯМЗ-7511 на автомобілях МАЗ, а на її основі розроблені з максимальною уніфікацією додаткові моделі, призначені для транспортних засобів інших підприємств.

Базова модель коробки передач ЯМЗ-239 забезпечена: механізмом перемикач передач під дистанційне керування, яке виготовляється ВАТ «Мінський автомобільний завод»; проміжним валом із зубчастим вінцем на задньому торці вала для відбору потужності не більше 73,5 кВт і місцем на торці картера демультіплікатора під установку коробки відбору потужності (поставка силових агрегатів з названими коробками передач для автомобілів проводиться без вала відбору потужності, вал відбору потужності виготовляється на ПАТ «Гутаївський моторний завод» за спеціальними заявками); приводом спідометра у вигляді черв'ячної передачі від вихідного вала і кришкою підшипника вихідного вала, що забезпечує установку змінних шестерень на автомобільному заводі в залежності від швидкісних характеристик різних моделей і модифікацій автомобілів;

давачем і електромагнітним клапаном електронної системи блокування включення нижнього діапазону демультіплікатора; механізмом дистанційного приводу перемикачів передач і фланцем для приєднання карданного валу автомобіля.

Починаючи з 2006 року, двигуни типу ЯМЗ-7511 для автомобілів МАЗ комплектуються коробками перемикачів передач ЯМЗ-239-02, в яких у порівнянні з базовою моделлю відсутній механічний привід спідометра, так як коробка передач виконана під застосування електронного спідометра. У табл. 1 подані модифікації і комплектації коробок передач типу ЯМЗ-239.

Таблиця 1

Моделі, модифікації і комплектації коробок перемикачів передач типу ЯМЗ-239 [10]

Модель (модифікація) коробки передач	Повне позначення для постачання в запасних частинах	Маркування на картері коробки передач	Марка двигуна, з яким агрегатується коробка передач (завод-споживач)	Конструктивні відмінності від базової моделі коробки передач
ЯМЗ-239	239.170025	ЯМЗ 239	ЯМЗ-7511.10 (ВАТ «Мінський автомобільний завод»)	Базова модель
ЯМЗ-239-02	239.170025-02	ЯМЗ 239 02	ЯМЗ-7511.10 (ВАТ «Мінський автомобільний завод»)	Вилучено черв'ячну передачу приводу спідометра, вмикачі заднього ходу та переміщення штока пневмоциліндра, давач блокування, застосована уніфікована кришка підшипника вихідного вала
ЯМЗ-239-03	239.170025-03	ЯМЗ 239 03	ЯМЗ-7511.10 (ПрАТ «АвтоКрАЗ»)	Замість механізму під дистанційне керування встановлений безпосередній важіль
ЯМЗ-239-04	239.170025-04	ЯМЗ 239 04	ЯМЗ-7601.10-04 (АТ «Автомобільний завод "Урал"»)	Замість механізму під дистанційне керування коробкою передач базової моделі встановлений механізм зі збільшеною довжиною валика
ЯМЗ-2391	2391.170025	ЯМЗ 2391	ЯМЗ-7511.10-16 (ПрАТ «Авто-КрАЗ»)	Змінено передаточне число п'ятої та дев'ятої передач, відповідно 2,46 і 0,70, додатково встановлена шестерня відбору потужності для приводу коробки відбору потужності, яка встановлюється автозаводом на картер коробки передач з правого боку
ЯМЗ-2391-02	2391.170025-02	ЯМЗ 2391 02	ЯМЗ-7601.10-14 (АТ «Автомобільний завод "Урал"»)	Передаточні числа і відбір потужності аналогічні коробці передач ЯМЗ-2391, застосований механізм під дистанційне керування з подовженим валиком
ЯМЗ-2391-10	2391.170025-10	ЯМЗ 2391 10	ЯМЗ-7511.10 (ПрАТ «Авто-КрАЗ»)	Передаточні числа і відбір потужності аналогічні коробці передач ЯМЗ-2391, застосований безпосередній важіль управління
ЯМЗ-2393-01	2393.170025-01	ЯМЗ 2393 01	ЯМЗ-7511.10 (ВАТ «Брянський завод колісних тягачів»)	Вилучено черв'ячну передачу приводу спідометра
ЯМЗ-2393-03	2393.170025-03	ЯМЗ 2393 03	ЯМЗ-7511.10 (ВАТ «Брянський завод колісних тягачів»)	Вилучено черв'ячну передачу приводу спідометра, застосований фланець вихідного вала без торцевих шліців
ЯМЗ-2393-10	2393.170025-10	ЯМЗ 2393 10	ТМЗ-8424 (ВАТ «Брянський завод колісних тягачів»)	Замінений картер зчеплення 184.160115 на картер зчеплення 8531-1601015 (виробництво ПАТ «Тутаївський моторний завод») з площадками під опори силового агрегату

Коробка передач модифікації ЯМЗ-2391 і її комплектація відрізняються від базової змінним передавальним числом п'ятої і, відповідно, дев'ятої передач, за рахунок застосування шестерні п'ятої передачі на проміжному валу з великим числом зубів (45 замість 43) і шестерні п'ятої передачі на вторинному валу з меншим числом зубів (23 замість 25).

Крім того, коробки передач типу ЯМЗ-2391 оснащені шестернею для бокового відбору потужності. Шестерня відбору потужності напресовується на проточку шестерні п'ятої передачі проміжного вала. На цю коробку передач виробник або користувач транспортного засобу може встано-

влювати коробку відбору потужності на фланець люка картера коробки передач з правого боку.

Результати дослідження

Розв'язання задачі автоматизації логічного процесу постановки діагнозу вимагає розробки моделей елементів коробки передач 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, для 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 в процесі розробки 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.

Найуніверсальнішою моделлю об'єкта діагностування є представлення його у вигляді «чорної скриньки», 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 «чорною скринькою» 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) [11]–[14].

Для представлення об'єкта діагностики у вигляді «чорної скриньки» необхідно задати (рис. 2):



Рис. 2. Представлення об'єкта діагностування у вигляді «чорної скриньки»

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

Враховуючи, що при діагностуванні елементи кількості Y стабілізуються (або змінюються за заданим законом), вираз (1) набуде такого вигляду:

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

Іншими словами, будь-який вихідний параметр об'єкта діагностування є функцією його технічного стану за певного стану 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 описуються моделі об'єктів діагностування, які відрізняються один від одного різними формами опису зазначених зв'язків.

За 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:

- S_1 — за працюючого і непрацюючого двигуна ускладнене увімкнення четвертої та п'ятої передач;
 S_2 — у разі працюючого і непрацюючого двигуна ускладнене увімкнення першої передачі і передачі заднього ходу на транспортних засобах з дистанційним приводом управління;
 S_3 — у разі працюючого двигуна ускладнене перемикання однієї синхронізованої передачі;
 S_4 — передача вмикається зі специфічним шумом (тріском);
 S_5 — під час руху автомобіля відбувається неконтрольоване (самовільне) вимикання однієї з передач, особливо під час зміни швидкісного режиму двигуна;
 S_6 — у разі працюючого двигуна при нейтральному положенні передач прослуховується шум різної тональності (стук, гул, виття), який посилюється з підвищенням частоти обертання колінчастого вала двигуна;
 S_7 — у разі від'єданого карданного вала шум з'являється тільки при вмиканні певної передачі;
 S_8 — на автомобілі під час руху або на стоянці з працюючим двигуном і від'єданим карданним валом від силового агрегату спостерігається неувімкнення або уповільнене увімкнення діапазонів демультіплікатора; при цьому лампа сигналізатора довго не гасне, і повітря виходить через сапун розподільника повітря;
 S_9 — на автомобілі під час руху або на стоянці з працюючим двигуном і від'єданим карданним валом від силового агрегату спостерігається неувімкнення або уповільнене увімкнення діапазонів демультіплікатора, при цьому лампа сигналізатора довго не гасне, і повітря виходить через сапун корпусу (верхньої кришки) механізму перемикання передач;
 S_{10} — на автомобілі під час руху або на стоянці з працюючим двигуном і від'єданим карданним валом від силового агрегату спостерігається неувімкнення або уповільнене увімкнення діапазонів демультіплікатора, при цьому лампа сигналізатора довго не гасне, і повітря не виходить з сапунів розподільника повітря і верхньої кришки основної коробки передач;
 S_{11} — перша передача або задній хід не вмикаються при непрацюючому і працюючому двигуні;
 S_{12} — протікання мастила крізь манжету первинного або вихідного вала;
 S_{13} — протікання мастила в зоні стику картера зчеплення і картера коробки передач;
 S_{14} — підвищена вібрація картера коробки передач.
- Як видно з табл. 2, кожна несправність характеризується певною комбінацією значень її ознак, які можуть набувати два умовних значення: «-» або «+».

Таблиця 2

Матриця діагностування коробки перемикання передач ЯМЗ-239

Несправність коробки перемикання передач ЯМЗ-239	Ознака несправності коробки перемикання передач ЯМЗ-239													
	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	S_6	S_7	S_8	S_9	S_{10}	S_{11}	S_{12}	S_{13}	S_{14}
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}	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+

На перетині i -го рядка і j -го стовпця ставиться «+», якщо за 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'язаний з певною несправністю (або їх комбінацією) або з працездатним станом (рис. 3).

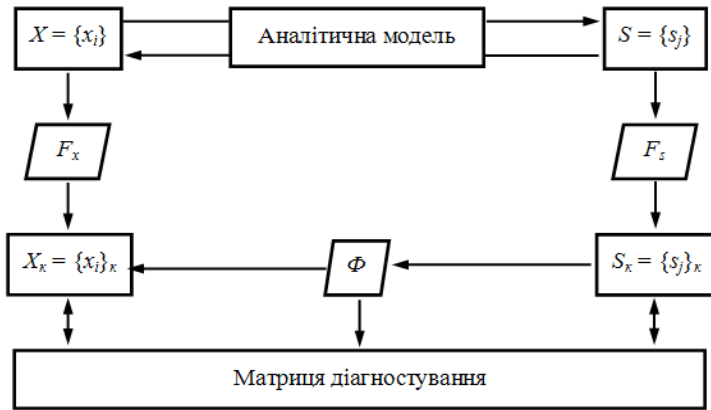


Рис. 3. Блок-схема синтезу матриці діагностування коробки перемикання передач ЯМЗ-239:

$X = \{x_i\}$ — 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 $\{s_j\}_k$; Φ — оператор, що перетворює кількість технічних станів об'єкта в кількість діагностичних параметрів

Таке перетворення може бути записано у вигляді

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

де $\{x_i\}$ — множина ознак технічних станів об'єкта діагностування, кожна з яких може набувати в загальному випадку нескінченну кількість значень; $\{x_i\}_k$ — кінцева множина ознак технічних станів об'єкта діагностування, кожна з яких може набувати лише два умовних значення «−» і «+», 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: будь-якому i -му 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 набувати 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: «−» або «+»; $j = 1, 2, \dots, n$; 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 «−», 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 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 табличною формою запису системи рівнянь (1).

Параметр S_1 в матриці діагностування можна розглядати як двозначну булеву функцію, яка залежить від аргументу x_1 . Булева функція залежить від аргументу x_1 , якщо має місце співвідношення

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

Як впливає з цього визначення та табл. 2, S_1 істотно залежить тільки від x_1 .

Залежність $S_1 = \phi_1(x_1)$ виражається в цьому випадку у вигляді функції логічного додавання (диз'юнкція):

$$S_1 = x_1.$$

Відповідний аналіз інших ознак несправностей дозволяє записати систему рівнянь (3) для цієї матриці діагностування коробки перемикач ЯМЗ-239 у вигляді:

$$\begin{cases} S_1 = x_1, \\ S_2 = x_1, \\ S_3 = x_2, \\ S_4 = x_2, \\ S_5 = x_3 + x_4 + x_5, \\ S_6 = x_6 + x_7, \\ S_7 = x_8, \\ S_8 = x_9, \\ S_9 = x_{10}, \\ S_{10} = x_{11}, \\ S_{11} = x_{12}, \\ S_{12} = x_{13}, \\ S_{13} = x_{14}, \\ S_{14} = x_3 + x_4 + x_7 + x_8 + x_{12} + x_{13} + x_{14}. \end{cases} \quad (7)$$

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

За ознаками несправностей S_1, S_2, \dots, S_n , отриманими під час діагностичного обстеження, потрібно визначити несправності x_1, x_2, \dots, x_m при перевірці, якщо відомі функціональні залежності між діагностичними параметрами і всіма структурними параметрами, що задані у вигляді діагностичної матриці або системи рівнянь типу (7). Кожний структурний параметр і кожний діагностичний параметр набувають тільки два значення: «-» або «+».

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

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

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 таких міркувань.

У діагностичній матриці (див. табл. 2) розглянемо окремо один зі стовбців, наприклад, перший. З матриці видно, що наявність несправності x_1 викликає одночасно вихід ознак S_1 та S_2 з області їх допустимих значень. Значення інших діагностичних параметрів за наявності тільки несправності x_1 залишаються в межах норми. Значить x_1 є булевою функцією, в цьому випадку кон'юнкція (або функцією логічного множення):

$$x_1 = S_1 S_2.$$

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

$$\left\{ \begin{array}{l} x_1 = S_1 S_2, \\ x_2 = S_3 S_4, \\ x_3 = S_5 S_{14}, \\ x_4 = S_5 S_{12} S_{14}, \\ x_5 = S_5, \\ x_6 = S_6 S_{12}, \\ x_7 = S_6 S_{14}, \\ x_8 = S_7 S_{14}, \\ x_9 = S_8, \\ x_{10} = S_9, \\ x_{11} = S_{10}, \\ x_{12} = S_{11} S_{14}, \\ x_{13} = S_{12} S_{14}, \\ x_{14} = S_{13} S_{14}. \end{array} \right. \quad (9)$$

Як випливає з цього прикладу, процес постановки діагнозу на основі моделі об'єкта діагностування, поданої 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. 3), 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 рівні функції або більше, то перелік діагностичних параметрів необхідно доповнити новим параметром, який увійшов би як додатковий аргумент тільки в одну з розглянутих рівних функцій.

Висновок

Розроблена математична модель коробки перемикачів передач типу ЯМЗ-239 як об'єкта діагностування дозволить виявити несправності її вузлів та деталей в залежності від їх ознак, що значно підвищить термін безвідмовної роботи як коробки перемикачів передач, так і самого транспортного засобу, який вона комплектує.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Е. Л. Савич, *Инструментальный контроль автотранспортных средств*. Минск, Беларусь: Новое знание, 2008.
- [2] Е. С. Кузнецова, *Техническая эксплуатация автомобилей*. Москва: Транспорт, 1991.
- [3] А. Д. Кустиков, Н. А. Кузьмин, и М. Г. Корчажкин, «Проблемы надежности трансмиссий городских автобусов», Труды Нижегород. гос. техн. ун-та им. Р. Е. Алексеева, № 4 (101), с. 18-26, 2013.
- [4] И. А. Биргер, *Техническая диагностика*. Москва: Машиностроение, 1978.
- [5] Б. В. Павлов, *Акустическая диагностика механизмов*. Москва: Машиностроение, 1971.
- [6] В. В. Лянденбургский, А. А. Карташов, и А. С. Иванов, *Техническая эксплуатация автомобилей. Диагностирование автомобилей*. Пенза, Россия: ПГУАС, 2011.
- [7] А. Ю. Гладцын, «Определение технического состояния коробок переключения передач грузовых автомобилей», Вестник НГИЭИ, № 10 (41), с. 50-53, 2014.
- [8] А. А. Долотов, А. В. Победин, Н. С. Соколов-Добрев, и К. О. Долгов, «Математическая модель расчета звукоизлучения коробки переключения передач автомобилей семейства ГАЗ-3110, -31105», Известия ВолгГТУ, № 3, с. 29-33, 2010.

- [9] К. Лелиовский, «Разработка методики виброакустической оценки нагруженности и дефектов коробки передач колесных машин.»: дис. канд. техн. наук., фак-т информ., Нижегородский государственный технический университет им. Р. Е. Алексеева, Нижний Новгород, РФ, 2008.
- [10] В. А. Малинин, Н. Н. Оплошкин, Р. М. Корольков, Н. П. Волков, и Д. В. Кольцов, *Справочное пособие по ТО и ремонту коробок передач типа ЯМЗ-239*. Ярославль, Россия: ОАО «Автодизель» (ЯМЗ), 2007.
- [11] А. Д. Ананьин, В. М. Михлин, и И. И. Габитов, *Диагностика и техническое обслуживание машин*. Москва, Россия: Издательский центр «Академия», 2008.
- [12] А. П. Сырбаков, и М. А. Корчуганова, *Диагностика и техническое обслуживание*. Томск, Россия: изд-во Томского политехнического университета, 2009.
- [13] Н. Я. Яхьяев, и А. В. Кораблин, *Основы теории надежности и диагностика*. Москва, Россия: Издательский центр «Академия», 2009.
- [14] В. И. Бельских, *Диагностика технического состояния и регулировка тракторов*. Москва: «Колос», 1973.
- [15] Л. В. Мирошников, А. П. Болдин, и В. И. Пал, *Диагностирование технического состояния автомобилей на автотранспортных предприятиях*. Москва: Транспорт, 1977.
- [16] В. С. Малкин, *Техническая диагностика*. Санкт-Петербург, Россия: Издательство «Лань», 2013.
- [17] D. Borysiuk, A. Spirin, O. Trukhanska, L. Shvets, and V. Zelinsky, «Mathematical model of a wheeled tractor steering axle as an object of diagnostics,» *ТЕКА. Commission of motorization and energetics in agriculture*, vol. 17, no.1, pp. 41-47, 2017.
- [18] В. М. Барановський, А. В. Спирін, В. Й. Зелінський, і В. С. Наляжний, «Математична модель діагностування системи уприскування палива «Mono-Jetronic»,» *Вісник машинобудування та транспорту*, вип. 1 (7), с. 10-17, 2018.
- [19] Д. В. Борисюк, В. В. Біліченко, і В. Й. Зелінський, «Математична модель ударно-спускового механізму автомата Калашникова як об'єкта діагностування,» *Вісник машинобудування та транспорту*, вип. 2 (8), с. 4-14, 2018.
- [20] Д. В. Борисюк, В. В. Біліченко, і В. Й. Зелінський, «Математична модель ударно-спускового механізму пістолета Макарова як об'єкта діагностування,» *Вісник машинобудування та транспорту*, вип. 1 (9), с. 15-26, 2019.
- [21] Д. Борисюк, «Вибір та обґрунтування параметрів вібродіагностування керованих мостів колісних тракторів.» дис. канд. техн. наук., фак-т информ., Державний університет «Житомирська політехніка», Житомир, 2020.

Рекомендована кафедрою автомобілів та транспортного менеджменту ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 10.06.2021

Борисюк Дмитро Вікторович — канд. техн. наук, асистент кафедри автомобілів та транспортного менеджменту, e-mail: bddv@ukr.net.

Вінницький національний технічний університет, Вінниця

D. V. Borysiuk¹

Mathematical Model of the YaMZ-239 Gear Box as an Object of Diagnosis

¹Vinnitsia National Technical University

Features of the operation of road transport provide for frequent stops and further acceleration, braking, gear changes, and the like. This leads to an increase in the dynamic load of vehicle units, and, as a consequence, to an intensification of the processes of wear of the friction surfaces of clutch discs, gear and cardan gears, and the like. Defects of the components of the gear box also arise due to improper use. Timely and high-quality diagnostics of the car's gear box will increase the uptime of the car and improve its technical and economic indicators.

A significant increase in the number of vehicles, an increase in brands and models require the development of modern diagnostic tools and methods. The value of the general principles of operation of gear boxes allows you to localize the area of malfunctions, minimize the process of trial and error.

Now, in most cases, malfunctions of the YaMZ-239 type gear box are detected by external signs. It is possible to improve the quality of the process of diagnosing gear boxes, among other things, by creating new mathematical models of their functioning.

That the existing methods and means of diagnosing gear boxes of motor vehicles do not fully allow determining their current technical condition, which requires the development of mathematical models of their units and parts as an object of diagnostics it was found when analyzing the literary sources.

The YMZ-239 type gear box, which is part of the power unit of trucks, was selected as the object of diagnostics.

An overview of the designs of the model range of gear boxes of the YaMZ-239 type, as objects of diagnostics are presents in the article.

Replacing real technical devices with their idealized models makes it possible to widely apply various mathematical methods. In this case, the gear box, as an object of diagnostics, is presented in the form of a "black box", the input and output parameters of which have a finite set of values. To represent this diagnostic object in the form of a "black box", the following are set: the number of all incoming actions Y; the number of all output signs of malfunction S; the number of all faults of the diagnostic object X; operator A, which converts the quantities X and Y into the number S.

In general, the mathematical model is a system of functional dependencies between each diagnostic signal and structural parameters.

For the YaMZ-239 gear box, a diagnosis matrix has been compiled, which includes a list of faults and symptoms of faults.

That the process of making a diagnosis based on the model of the object being diagnosed is possible if the reverse transformation of the number of signs of malfunctions into the number of structural parameters (malfunctions) of the object was unambiguous it has been determined.

The proposed mathematical model for diagnosing a gear box of the YaMZ-239 type will make it possible to identify malfunctions of its assemblies and parts, depending on their signs, which will significantly increase the uptime of both the gear box itself and the entire vehicle.

Keywords: mathematical model, diagnosing, car, gear box, diagnosing matrix, block diagram, malfunction, fault sign, Boolean function.

Borysiuk Dmytro V. — Cand. Sc. (Eng.), Assistant of the Chair of Automobiles and Transport Management, e-mail: bddv@ukr.net

Д. В. Борисюк¹

Математическая модель коробки переключения передач типа ЯМЗ-239 как объекта диагностирования

¹Вінницький національний технічний університет

Особенности эксплуатации автомобильного транспорта предусматривают частые остановки и дальнейшие разгоны, торможения, переключения передач и тому подобное. Это приводит к росту динамической нагрузки агрегатов автомобилей, и как следствие, к интенсификации процессов износа фрикционных поверхностей дисков сцепления, зубчатых и карданных передач и тому подобное. Дефекты составных частей коробки передач возникают также из-за нарушения правил эксплуатации. Своевременное и качественное диагностирование коробки передач автомобиля позволит повысить срок безотказной работы автомобиля и улучшить его технико-экономические показатели.

Значительный рост количества транспортных средств, увеличение марок и моделей требуют разработки современных средств и методов диагностирования. Значение общих принципов функционирования коробок передач позволяют локализовать область неисправностей, минимизировать процесс проб и ошибок.

Сейчас в большинстве случаев неисправности коробки передач типа ЯМЗ-239 обнаруживаются по внешним признакам. Повысить качество процесса диагностирования коробок передач можно, в том числе, и созданием новых математических моделей их функционирования.

Анализируя литературные источники, установлено, что существующие методы и средства диагностирования коробок передач автомобильного транспорта не в полной мере позволяют определять их текущее техническое состояние, что требует разработки математических моделей их узлов и деталей как объекта диагностирования.

В качестве объекта диагностирования выбрана коробка переключения передач типа ЯМЗ-239, которая входит в состав силового агрегата грузовых автомобилей.

В статье представлен обзор конструкций модельного ряда коробок переключения передач типа ЯМЗ-239, как объектов диагностирования.

Замена реальных технических устройств их идеализированными моделями позволяет широко применять различные математические методы. В этом случае коробка передач, как объект диагностирования, представлена в виде «черного ящика», входные и выходные параметры которого имеют конечное множество значений. Для представления объекта диагностирования в виде «черного ящика» задаются: количество всех входящих действий Y ; количество всех выходных признаков неисправности S ; количество всех неисправностей объекта диагностирования X ; оператор A , который превращает количество X и Y в число S .

В общем виде математическая модель представляет собой систему функциональных зависимостей между каждым диагностическим сигналом и структурными параметрами.

Для коробки передач ЯМЗ-239 составлена матрица диагностирования, которая включает перечень неисправностей и признаков неисправностей.

Определено, что процесс постановки диагноза на основе модели объекта диагностирования возможен, если обратное преобразование количества признаков неисправностей в количество структурных параметров (неисправностей) объекта было однозначным.

Предложенная математическая модель диагностирования коробки переключения передач типа ЯМЗ-239 позволит выявить неисправности ее узлов и деталей в зависимости от их признаков, что значительно повысит срок безотказной работы как самой коробки передач, так и всего транспортного средства.

Ключевые слова: математическая модель, диагностирование, автомобиль, коробка переключения передач, матрица диагностирования, блок-схема, неисправность, признак неисправности, булева функция.

Борисюк Дмитрий Викторович — канд. техн. наук, ассистент кафедры автомобилей и транспортного менеджмента, e-mail: bddv@ukr.net