

І. Ю. Сараєва
О. Е. Хрулев
О. М. Воробйов

ЕКСПЕРТНА ОЦІНКА ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ЦИЛІНДРО-ПОРШНЕВОЇ ГРУПИ ДВИГУНА АВТОМОБІЛЯ

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Існуючі засоби і методи діагностування не дозволяють швидко, точно й однозначно розрізнити характерні несправності циліндро-поршневої групи та порушення герметичності клапанів бензинового двигуна автомобіля, при цьому результат діагностичного висновку багато в чому визначається досвідом оператора та має суб'єктивний характер внаслідок неточності і суперечливості одержуваних відомостей. У ході дослідження об'єкт діагностування розглядався у вигляді «чорного ящика» з невідомими структурними параметрами, вихідними діагностичними параметрами і параметрами, що впливають. Номенклатура структурних параметрів, які перевіряють, визначена відповідно до існуючих стандартів. На основі вдосконаленого методу діагностування, що оцінює технічний стан циліндро-поршневої групи та герметичність клапанів двигуна за трьома діагностичними параметрами: різниця компресії між циліндрами, темп наростання компресії, тиск картерних газів, - розроблена статистична модель, що дозволяє на відміну від існуючих детермінованих моделей, по-перше, локалізувати несправність циліндро-поршневої групи та герметичності клапанів двигуна, по-друге, формалізувати процес автоматизованої постановки технічного діагнозу; по-третє, забезпечити високий коефіцієнт безрозбірного діагностування. Для оцінки чутливості діагностичного параметра, як випадкової величини, пропонується оцінювати не відносну зміну граничного й номінального значень параметра, а відносну зміну середньостатистичного значення випадкової величини в межах її допустимих значень. Діагностичний параметр вважати стабільним, якщо виконується умова, при якій абсолютна величина допустимого відхилення від середньостатистичного значення не перевершує «трьох сигм». Інформативним вважати той діагностичний параметр, у якого відношення різниці середньостатистичного значення випадкової величини параметра при справному й несправному стані об'єкта до різниці середньоквадратичних відхилень перевищує одиницю. Експертна оцінка технічного стану дорожнього транспортного засобу пов'язана з визначенням діагностичних параметрів, структурних параметрів, а також причин, які викликали зміну цих параметрів.

Ключові слова: автомобільний транспорт, двигун внутрішнього згоряння, діагностика, модель, параметр, циліндр, поршень, кільце, клапан, якість, інформативність

Вступ

Технічна діагностика вузлів та агрегатів дорожніх транспортних засобів (ДТЗ) одержала свій розвиток у вигляді автоматизованих систем контролю. Діагностичні комп'ютери LAUNCH, BOSCH, MATCO, ZESA та інші дозволяють контролювати всі електронні системи ДТЗ, включаючи комплексну систему управління двигуном [1, 2, 3]. Проте, вони не дозволяють повною мірою продіагностувати механізми двигуна, зокрема, саму підвладну зносу і несправностям циліндро-поршкову групу (ЦПГ) двигуна та клапана групу, які забезпечують герметичність камери згоряння.

Проблема покращення точності діагностування ЦПГ та герметичності клапанів бензинових двигунів існує постійно. В літературних джерелах вказується на те, що відомі методи і засоби діагностики не дають повної інформації про технічний стан ЦПГ та герметичність клапанів бензинових двигунів, внаслідок неточності і суперечності результатів діагностування [4–10].

Мета роботи – покращити точність діагностування ЦПГ і герметичності клапанів, зробивши його більш достовірним та інформативним. Як показує практика технічного обслуговування й ремонту автомобільних двигунів найбільш поширеними, доступними і достовірними залишаються методи технічної діагностики ЦПГ, що дають загальну оцінку герметичності надпоршневого простору з вірогідністю, яка не перевищує 50 %. Основні засоби діагностування: компресометр, компресограф, прилад типу К-69М, мотортестер, ендоскоп [11–19].

Відповідно до поставленої мети в роботі необхідно вирішити такі основні задачі: дослідити математичні моделі, що дозволяють провести поглиблену діагностику ЦПГ і герметичності клапанів двигуна; оцінити математичні критерії якості діагностування; провести експериментальні дослідження з оцінки технічного стану ЦПГ двигунів автомобілів.

Відповідно об'єктом дослідження є процес діагностування технічного стану ЦПГ і герметичності клапанів двигуна автомобіля. Предметом дослідження є експертний метод діагностування ЦПГ і герметичності клапанів бензинового двигуна автомобіля.

Моделювання встановлення діагнозу

При математичному моделюванні процесу встановлення діагнозу зроблені такі допущення:

- у двигуні одночасно може виникнути тільки одна несправність;
- для визначення несправності, пов'язаної із прогаром прокладки головки циліндрів, не потрібно розробляти складну діагностичну систему;
- збільшення зазору між циліндром і поршнем супроводжується збільшенням зазору в стиках поршневих кілець.

Основний недолік існуючих математичних моделей полягає в тому, що складний стохастичний об'єкт діагностування, яким є ЦПГ, намагаються описати за допомогою детермінованих виразів. Як наслідок такого принципу моделювання – неоднозначність діагнозу, недостатня глибина пошуку дефекту.

У ході дослідження об'єкт діагностування розглядався у вигляді «чорного ящика» з невідомими структурними параметрами (логічними функціями Y), вихідними діагностичними параметрами (логічними змінними X) і параметрами, що впливають [20, 21]. Номенклатура структурних параметрів, які перевіряють, визначена відповідно до стандартів: зазор між циліндром і поршнем, зазор у стиках поршневих кілець, зазор між поршнем і кільцем по висоті канавки, герметичність клапана. Кінцева множина діагностичних параметрів, яка встановлена в ході попереднього експерименту, містить у собі тиск картерних газів, темп наростання компресії й різницю компресії між циліндрами (рис. 1) [22, 23].

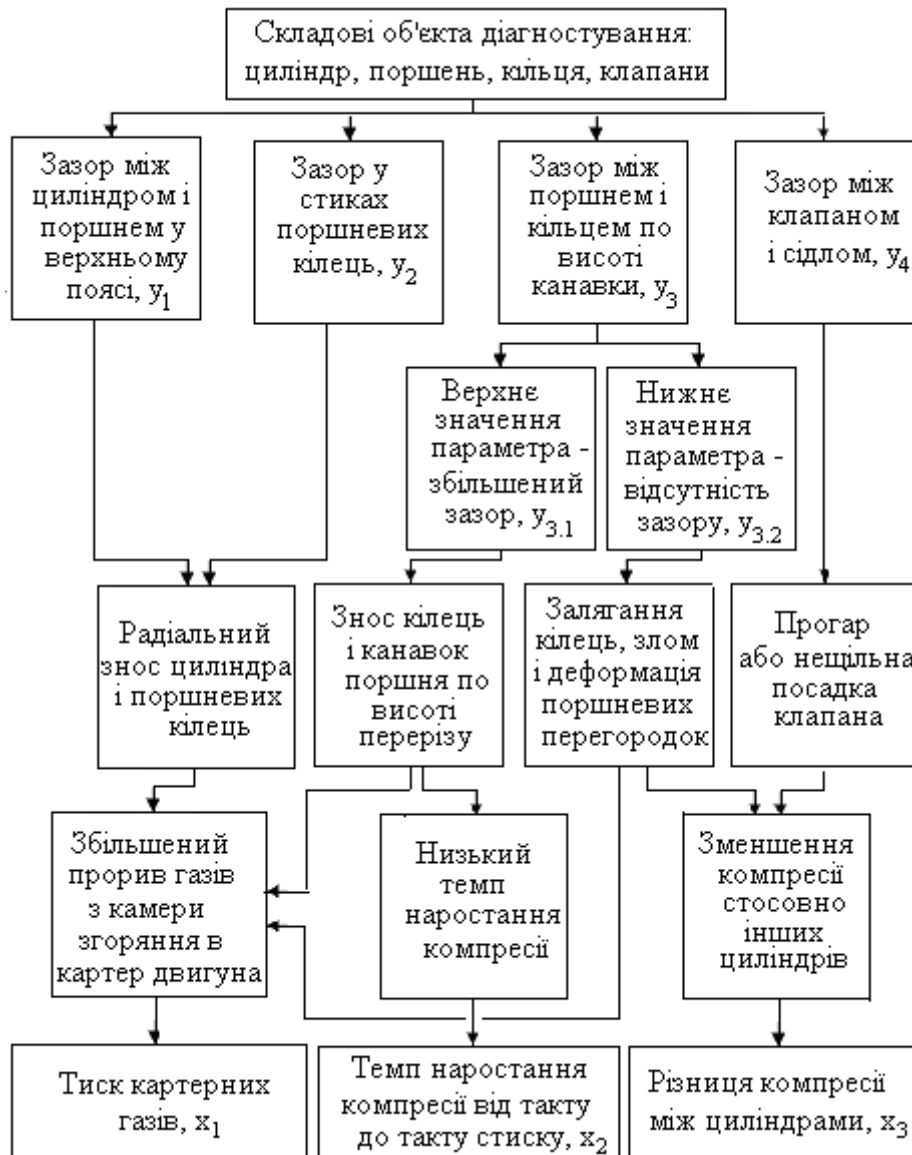


Рис. 1. Схема причинно-наслідкових зв'язків об'єкта діагностування

Кінцевою множиною параметрів, що впливають, є: температура рідини для охолодження, кут відкриття дросельної заслінки й частота обертання колінчатого валу. Передбачається, що кінцеву множину параметрів, що впливають, у процесі діагностування можна стабілізувати.

Відповідно до встановлених діапазонів діагностичних параметрів логічним змінним X присвоєні значення 0, якщо діагностичний параметр не виходить за межі припустимого значення, та - 1, якщо він перевищує це значення (табл. 1).

Таблиця 1

Діагностична матриця

	x_1	x_2	x_3
y_{1-2}	1	0	0
$y_{3.1}$	1	1	0
$y_{3.2}$	1	0	1
y_4	0	0	1

Діагностичну матрицю можна представити у вигляді системи булевих функцій диз'юнкцій:

$$\begin{cases} x_1 = y_{1-2} + y_{3.1} + y_{3.2}; \\ x_2 = y_{3.1}; \\ x_3 = y_{3.2} + y_4, \end{cases} \quad (1)$$

де y_{1-2} – зазор у стиках поршневих кілець; $y_{3.1}$ – зазор між поршнем і кільцем по висоті канавці (верхнє значення параметра); $y_{3.2}$ – зазор між поршнем і кільцем по висоті канавки (нижнє значення параметра); y_4 – зазор між клапаном і сідлом (герметичність клапана).

Для вирішення завдання діагностики необхідно зворотнє перетворення виразу (7), тобто визначення характеристики структурних параметрів за діагностичними з використанням логічної операції кон'юнкції:

$$\begin{cases} y_{1-2} = x_1; \\ y_{3.1} = x_1 x_2; \\ y_{3.2} = x_1 x_3; \\ y_4 = x_3, \end{cases} \quad (2)$$

де x_1 – тиск картерних газів, МПа; x_2 – темп наростання компресії від такту до такту стиску, МПа; x_3 – різниця компресії між циліндрами, МПа.

З урахуванням присвоєних логічним змінним значень вираз (8) набуває вигляду:

$$\begin{cases} y_{1-2} = x_1 \begin{cases} 0, \text{ якщо } x_1 < 0,045 \text{ МПа} \\ 1, \text{ якщо } x_1 \geq 0,045 \text{ МПа}; \end{cases} \\ y_{3.1} = x_1 x_2 \begin{cases} 0, \text{ якщо } x_1 < 0,045 \text{ МПа і } x_2 < 0,25 \text{ МПа} \\ 1, \text{ якщо } x_1 \geq 0,045 \text{ МПа і } x_2 \geq 0,25 \text{ МПа}; \end{cases} \\ y_{3.2} = x_1 x_3 \begin{cases} 0, \text{ якщо } x_1 < 0,045 \text{ МПа і } x_3 < 0,25 \text{ МПа} \\ 1, \text{ якщо } x_1 \geq 0,045 \text{ МПа і } x_3 \geq 0,25 \text{ МПа}; \end{cases} \\ y_4 = x_3 \begin{cases} 0, \text{ якщо } x_3 < 0,25 \text{ МПа} \\ 1, \text{ якщо } x_3 \geq 0,25 \text{ МПа}. \end{cases} \end{cases} \quad (3)$$

Можливість розв'язання математичної моделі в рамках прийнятих допущень полягає в одержанні однозначної відповіді про технічний стан об'єкта, що діагностується. Це означає, що в системі булевих функцій (3) немає жодного збігу в наборі логічних змінних. За умови нульового набору логічних змінних 0-0-0, коли всі змінні з множини X приймають значення 0, одержимо математичну модель справного технічного стану об'єкта діагностування.

Експериментальні дослідження та експертна оцінка технічного стану циліндро-поршневої групи двигуна

Експертна оцінка технічного стану ДТЗ пов'язана з визначенням діагностичних параметрів, структурних параметрів, а також причин, які викликали зміну цих параметрів. До основних причин зміни технічного стану ДТЗ треба віднести порушення умов експлуатації, неякісний ремонт та обслуговування, дефекти деталей ДТЗ тощо. Експертні завдання, які пов'язані з оцінкою технічного стану ДВЗ, є найскладнішими і потребують спеціального обладнання, сучасної методики і певного досвіду експерта при роботі з різними конструкціями двигунів. У певних випадках експертну оцінку технічного стану ДВЗ експерт мусить робити вже на розібраному двигуні без попередньої діагностики, що може вплинути на точність та об'єктивність дослідження.

У роботі застосована методика діагностування герметичності ЦПГ та клапанів бензинового двигуна ДТЗ на цифровому стенді [24]. Умовно можна виділити кілька основних етапів процесу діагностування та експертної оцінки технічного стану ЦПГ і герметичності клапанів двигуна – це монтажні роботи, які пов'язані з установкою датчиків, пристроїв тощо; вимірювання діагностичних параметрів; постановка діагнозу; розборка двигуна, вимірювання структурних параметрів (рис. 2).



Рис. 2. Процес експертного дослідження ЦПГ і герметичності клапанів двигуна: а – підключення датчика до вентиляції картера; б – підключення датчика до циліндра; в – результати діагностування; г – стан тарілок клапанів; д – сліди зносу на поршні; е – сліди зносу на циліндрі

Для оцінки якості виконаної роботи на етапі діагностування були застосовані спеціальні критерії – чутливість, стабільність та інформативність щодо діагностичних параметрів (табл. 2).

Таблиця 2

Критерії якості діагностичного параметра

Найменування критерію	Формула критерію	Значення критерію для випадкової величини компресії
Чутливість	$\Delta(\bar{x}) = \frac{ \bar{x}_d - x_{pd} }{\bar{x}_d}$	$\Delta(x) = \frac{ 1,29 - 0,958 }{1,29} \approx 0,26$
Стабільність	$\bar{x}_d - x_{pd} < 3\sigma$	$1,29 - 0,958 < 0,369$
Інформативність	$\frac{ \bar{x}_d - \bar{x}_{pn} }{(\sigma_d + \sigma_{pn})} > 1$	$\frac{1,29 - 0,647}{0,123 + 0,26} > 1$

При оцінці чутливості діагностичного параметра визначалась відносна зміна середньостатистичного значення випадкової величини \bar{x}_d в межах її допустимих значень x_{pd} . Визначений діагностичний параметр можна вважати стабільним, якщо виконується умова, при якій абсолютна величина відхилення від середньостатистичного значення не перевершує потроєного середньоквадратичного відхилення. Інформативним можна вважати діагностичний параметр у якого відношення різниці середньостатистичного значення випадкової величини параметра при справному \bar{x}_d й несправному \bar{x}_{pn} стані об'єкта до різниці середньоквадратичних відхилень σ_d і σ_{pn} перевищує 1.

Результати експериментальних досліджень класифіковані таким чином: справні двигуни, двигуни з несправною ЦПГ, двигуни з порушенням герметичності клапанів. При виявленні несправності здійснювалося розбирання двигунів і мікрообмірювання деталей.

Відповідно до існуючих стандартів коефіцієнт безрозбірного діагностування визначався відношенням числа контрольованих параметрів об'єкта, для яких не потрібно проводити демонтажні роботи, до їх загального числа:

$$K_{б.д} = \frac{P_k}{P_n}, \quad (4)$$

де P_k – число контрольованих параметрів даного виду діагностування; P_n – загальне число контрольованих параметрів.

Коефіцієнт безрозбірного діагностування для розробленої методики становить 0,5–0,75.

Висновки

1. Існуючі засоби і методи діагностування не дозволяють швидко, точно й однозначно розрізнити характерні несправності циліндро-поршневої групи та порушення герметичності клапанів бензинового двигуна автомобіля, при цьому результат діагностичного висновку багато в чому визначається досвідом оператора та має суб'єктивний характер внаслідок неточності і суперечливості одержуваних відомостей, вірогідність яких не перевищує 50 %.

2. На основі вдосконаленого методу діагностування, що оцінює технічний стан циліндро-поршневої групи та герметичність клапанів двигуна за трьома діагностичними параметрами: різниця компресії між циліндрами, темп наростання компресії, тиск картерних газів, розроблено статистичну модель, що дозволяє на відміну від існуючих детермінованих моделей, по-перше, локалізувати несправність циліндро-поршневої групи та герметичності клапанів двигуна; по-друге, формалізувати процес автоматизованої постановки технічного діагнозу; по-третє, забезпечити коефіцієнт безрозбірного діагностування 0,5–0,75.

3. Для оцінки якості діагностичного параметра, як випадкової величини стохастичного об'єкта, а не детермінованої функції, пропонуються такі критерії: при оцінці чутливості діагностичного параметра оцінювати не відносну зміну граничного й номінального значень параметра, а відносну зміну

середньостатистичного значення випадкової величини в межах її допустимих значень; діагностичний параметр вважати стабільним, якщо виконується умова, при якій абсолютна величина допустимого відхилення від середньостатистичного значення не перевершує „трьох сигм”; інформативним вважати той діагностичний параметр, у якого відношення різниці середньостатистичного значення випадкової величини параметра при справному й несправному стані об'єкта до різниці середньоквадратичних відхилень перевищує 1.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] A. Golovan, S. Rudenko, I. Gritsuk, A. Shakhov, et al., "Improving the Process of Vehicle Units Diagnosis by Applying Harmonic Analysis to the Processing of Discrete Signals," *SAE Technical Paper 2018-01-1774*, 2018, doi:10.4271/2018-01-1774.
- [2] I. Gritsuk, V. Volkov, V. Mateichyk, Y. Grytsuk, et al., "Information Model of V2I System of the Vehicle Technical Condition Remote Monitoring and Control in Operation Conditions," *SAE Technical Paper 2018-01-0024*, 2018, doi:10.4271/2018-01-0024.
- [3] I. Gritsuk, E. Zenkin, N. Bulgakov, A. Golovan, et al., "The Complex Application of Monitoring and Express Diagnosing for Searching Failures on Common Rail System Units," *SAE Technical Paper 2018-01-1773*, 2018, <https://doi.org/10.4271/2018-01-1773>.
- [4] Cars Volkswagen "Passat". Repair manual. - M.: Association of Independent Publishers, 1997. - 254 p.
- [5] S.V. Afonina, Eds. *AUDI 100/A6. All gasoline and diesel engines of automobiles manufactured since 1990. Repair and maintenance manual*. Rostov-on-Don, 1996, 316 p.
- [6] *Device, service and car repair VW Passat*. Kaunas: Arinas, 1996, 161 p.
- [7] *Arrangement, maintenance, repair and operation of Audi A4/S4 vehicles*. 2001, 236 p.
- [8] *The manual for the repair and maintenance of Opel Omega, gasoline*. - M.: Petit, 2000, 288 p.
- [9] *Manual for the repair and maintenance of Opel Vectra, gasoline*. M.: Petit, 2000, 256 p.
- [10] *Manual for the repair and maintenance of cars Daewoo Nexia since 1994 release*. 2001, 272 p.
- [11] *Repair and maintenance manual Ford Mondeo*, - M.: Petit, 2001. - 296 p.
- [12] A. G. Zarubin, *Device, service, repair and maintenance of cars BMW 5 Series*. Vilnius: Arus Publishing House, 1996, 210 p.
- [13] *Manual for the repair and maintenance of BMW 5, gasoline* - M.: Petit, 2000, 224 p.
- [14] *Manual for the repair and maintenance of Skoda Felicia, gasoline* M.: Petit, 2000, 252 p.
- [15] *Manual for the repair and maintenance of Nissan Bluebird, gasoline / diesel, 84-91 years of production*. M.: Petit, 2000, 272 p.
- [16] *Repair and maintenance manual for Mercedes 190, 190E & 190D*. M.: Petit, 2000, 272 p.
- [17] *Mercedes-Benz Repair, Operation, and Maintenance Manual / Engines - 200, 200D, 230, 250, 250D, 260, 280, 300, 300D, 320*. 2001, 336 p.
- [18] *Manual for the repair and maintenance of Renault 19 gasoline / diesel*. M.: Petit, 2000, 272 p.
- [19] *The device, maintenance, repair and operation of cars Honda Civic and Acura Integra*. 2000, 370 p.
- [20] И. Ю. Сараева, «Регрессионный анализ случайной величины компрессии» в *Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: сб. науч. тр.* Харьков: Нац. аэрокосм. ун-т «ХАИ», 2011, вып. 51, с. 105-110.
- [21] И. Ю. Сараева, В. К. Дибров, «Закономерность распределения случайной величины компрессии в двигателях внутреннего сгорания», *Scientific discussion*, №38, с. 48-52, 2019.
- [22] I. Saraeva, «Метод диагностики герметичности камеры сгорания бензинового двигателя автомобиля», Kazimierz Lejd, Ed. Rzeszow, Poland, 2017, pp. 85-93.
- [23] И. Ю. Сараева, С. С. Цапко, «Определение предельно-допустимых значений технического состояния цилиндра и поршня эмпирическим способом на автомобиле» *Slovak international scientific journal*, № 36, с. 36-43, 2019.
- [24] O. Saraiev, I. Saraieva, I. Gritsuk, V. Volkov, et al., "Automated Diagnostic System for Engine Cylinder-Piston Group," *SAE Technical Paper 2020-01-2022*, 2020. <https://doi.org/10.4271/2020-01-2022>.

Сараева Ирина Юрьевна – канд. техн. наук, доцент кафедры технічної експлуатації та сервісу автомобілів, e-mail: sarayeva9@gmail.com.

Хрулев Олександр Едуардович – канд. техн. наук, докторант кафедри автомобілів, e-mail: alo.engine@gmail.com.

Воробйов Олександр Миколайович – аспірант кафедри технічної експлуатації та сервісу автомобілів, e-mail: sanechek007@icloud.com

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, м. Харків

**I. Saraieva
O. Khrulev
O. Vorobiov**

Expert assessment of the technical condition of the cylinder-piston group of the car engine

Kharkiv National Automobile and Road University

Informative dampers and installation methods do not dose the speed, accurately distinguish the nature of the injustice of the cylinder-piston group and check the tightness of the valves of the single-stage model of the engine, which allows a preliminary

quality assessment in the production assessment. During the inspection, the activity of the "black box" is checked for unknown structural elements, the initial diagnostic obligations that affect. The nomenclature of structural parameters that are checked is determined in accordance with existing standards. Based on the advanced model development method produced by the technical condition of the cylinder-piston group and the sealed valve of the engine, model, detailed dosing, statistical information, machines, machines, machines, machines, machines, machines, machines and equipment. first, to localize the unevenness of the cylinder-piston group and the tightness of the engine valve, and secondly, to formally process the process of automated technical diagnosis; thirdly, it will provide a high rate of indiscriminate diagnosis. To assess the sensitivity of the diagnostic value as a random variable, it is proposed to evaluate not the relative change in the limit and nominal value of the controller, the relative change in the average value of the random variable within the allowable value. The diagnostic parameter is considered stable if the condition under which the absolute maximum value from the average value does not exceed "three sigma" is fulfilled. Informative in consideration is the diagnostic parameter in which the ratio of the difference between the average significant value of the random control in good and faulty state of the object to the difference of standard deviations exceeds one. Expert assessment of the technical condition of the road vehicle is associated with the determination of diagnostic parameters, structural parameters, as well as the reasons that caused the change of these parameters.

Key words: automobile transport, internal combustion engine, diagnostics, model, parameter, cylinder, piston, ring, valve, quality, informativeness.

Sarayeva Iryna – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Department of Technical Operation and Service of Automobiles e-mail: sarayeva9@gmail.com.

Khrulev Alexander – Ph. D. (Eng), doctoral student of Automobile Department, e-mail: alo.engine@gmail.com.

Vorobiov Oleksandr – postgraduate of Technical Operation and Service of Automobiles Department, e-mail: sanechek007@icloud.com.

**И. Ю. Сараева
А. Э. Хрулев
А. Н. Воробьев**

Экспертная оценка технического состояния цилиндро-поршневой группы двигателя автомобиля

Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

Существующие средства и методы диагностирования не позволяют быстро, точно и однозначно различить характерные неисправности цилиндро-поршневой группы и нарушение герметичности клапанов бензинового двигателя автомобиля, при этом результат диагностического заключения во многом определяется опытом оператора и имеет субъективный характер вследствие неточности и противоречивости получаемых сведений. В ходе исследования объект диагностирования рассматривался в виде «черного ящика» с неизвестными структурными параметрами, выходными диагностическими параметрами. Номенклатура проверяемых структурных параметров определена в соответствии с существующими стандартами. На основе усовершенствованного метода диагностирования, оценивающего техническое состояние цилиндро-поршневой группы и герметичность клапанов двигателя по трем диагностическим параметрам: разница компрессии между цилиндрами, темп нарастания компрессии, давление картерных газов, разработана статистическая модель, позволяющая в отличие от существующих детерминированных моделей, во-первых, локализовать неисправность цилиндро-поршневой группы и герметичности клапанов двигателя; во-вторых, формализовать процесс автоматизированной постановки технического диагноза; в-третьих, обеспечить высокий коэффициент безразборной диагностики. Для оценки чувствительности диагностического параметра, как случайной величины, предлагается оценивать не относительное изменение предельного и номинального значений параметра, а относительное изменение среднестатистического значения случайной величины в пределах ее допустимых значений. Диагностический параметр считать стабильным, если выполняется условие, при котором абсолютная величина допустимого отклонения от среднестатистического значения не превосходит "трех сигм". Информативным считать тот диагностический параметр, у которого отношение разницы среднестатистического значения случайной величины параметра при исправном и неисправном состоянии объекта к разнице среднеквадратических отклонений превышает единицу. Экспертная оценка технического состояния дорожного транспортного средства связана с определением диагностических параметров, структурных параметров, а также причин, вызвавших изменение этих параметров.

Ключевые слова: автомобильный транспорт, двигатель внутреннего сгорания, диагностика, модель, параметр, цилиндр, поршень, кольцо, клапан, качество, информативность.

Сараева Ирина Юрьевна – канд. техн. наук, доцент кафедры технической эксплуатации и сервиса автомобилей, e-mail: sarayeva9@gmail.com.

Хрулев Александр Эдуардович – канд. техн. наук, докторант кафедры автомобилей, e-mail: alo.engine@gmail.com.

Воробьев Александр Николаевич – аспирант кафедры технической эксплуатации и сервиса автомобилей, e-mail: sanechek007@icloud.com.