

УДК 629.083:621.431

## ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАКОНУ РОЗПОДІЛУ ВИПАДКОВОЇ ВЕЛИЧИНИ КОМПРЕСІЇ

І.Ю. Сараєва, доцент, к.т.н, ХНАДУ

*Анотація.* При дослідженні процесу діагностування сучасних автомобільних двигунів за допомогою методів математичної статистики проаналізовані експериментальні дані випадкової величини компресії і доведено, що випадкова величина компресії має вигляд нормального закону розподілу.

*Ключові слова:* автомобіль, двигун, циліндропоршнева група, діагностика, вимір, компресія, статистика, розподіл, закон.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СЛУЧАЙНОЙ ВЕЛИЧИНЫ КОМПРЕССИИ

И.Ю. Сараева, доцент, к.т.н, ХНАДУ

*Аннотация.* При исследовании процесса диагностирования современных автомобильных двигателей с помощью методов математической статистики проанализированы экспериментальные данные случайной величины компрессии и доказано, что случайная величина компрессии имеет вид нормального закона распределения.

*Ключевые слова:* автомобиль, двигатель, цилиндропоршневая группа, диагностика, измерение, компрессия, статистика, распределение, закон.

## RESEARCH OF THE LAW OF DISTRIBUTION OF THE RANDOM VARIABLE OF THE COMPRESSION

I. Sarayeva, Associate Professor, Candidate of Technical Science, KhNAHU

*Abstract.* At research of diagnosing the process of modern automobile engines by means of methods of mathematical statistics the experimental data of the random variable of compression are analysed and it is proved that the random variable of compression has the form of the normal law of distribution.

*Key words:* vehicle, engine, piston-cylinder group, diagnostics, measurement, compression, statistics, distribution, law.

### Вступ

Діагностичний комп'ютер дозволяє контролювати всі електронні системи автомобіля, включаючи комплексну систему керування двигуном. Проте, існуючі діагностичні комп'ютери, що випускаються різними фірмами такими як BOSCH, MATCO, ZECA, RIMBEX.INT тощо, не дозволяють повною мірою продіагностувати механізми двигуна, зокрема, підвладну зносу і несправностям циліндропоршкову групу (ЦПГ) двигуна.

Проблематика питання діагностики циліндропоршнєвої групи та герметичності клапанів бензинових двигунів виникла давно і пов'язана вона, перш за все, з труднощами при постановці технічного діагнозу. У літературних джерелах, де досліджується ця проблема, вказується на такий факт: відомі методи і засоби діагностики не дають повної інформації щодо технічного стану ЦПГ та герметичності клапанів бензинових двигунів, внаслідок неточності і суперечності результатів діагностування, що і є підставою для проведення наукових досліджень.

### Аналіз публікацій

Проаналізована можливість реалізації діагностичної моделі на сучасному рівні із застосуванням аналого-цифрової техніки [1]. На основі аналізу характеристик вітчизняних і закордонних датчиків, обраний датчик російського виробництва МД10-В повною мірою задовольняє умовам діагностування ЦПГ. На базі персонального комп'ютера з використанням 16-канального аналого-цифрового перетворювача (АЦП) розроблений діагностичний стенд [2]. Програма для обробки цифрової інформації забезпечує відтворення функції тиску в циліндрі двигуна й одночасно розраховує частоту обертання колінчатого вала виходячи з того, що інтервалу часу між двома екстремумами функції відповідає два оберти колінчатого вала. Наприклад, у випадку діагностування двигуна з несправною ЦПГ система після виміру тиску у циліндрах та картері відображає такі результати (рис. 1).

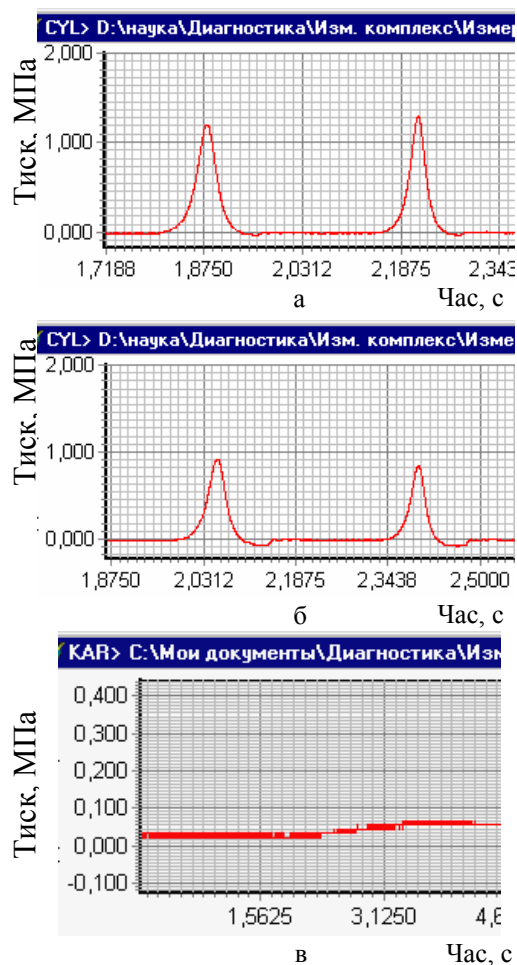


Рис. 1. Результати діагностики двигуна з несправною ЦПГ: тиск у справному циліндрі (а); тиск у несправному циліндрі (б); тиск картерних газів (в)

Розроблений діагностичний стенд дозволяє проводити вимір тиску в циліндрі двигуна із частотою 3200 Гц при кожному градусі повороту колінчатого вала з похибкою, що не перевищує 1,67 %.

### Мета та постановка задачі

Мета роботи – удосконалити процес діагностування циліндропоршневої групи і герметичності клапанів сучасного автомобільного двигуна, зробивши цей процес більш інформативним і поглибленим.

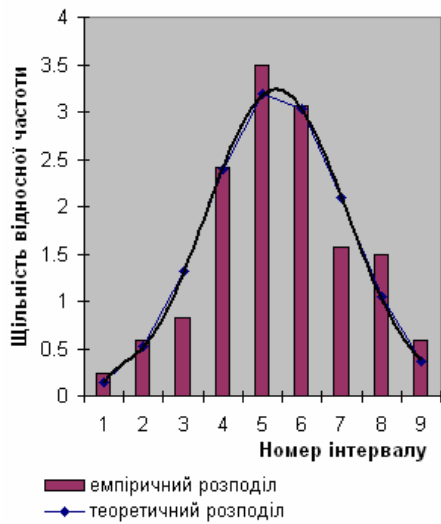
Відповідно до поставленої мети, в роботі необхідно вирішити такі основні задачі:

- за допомогою тензометричного методу вимірювання з подальшим аналогово-цифровим перетворенням сигналу виконати вимірювання діагностичних параметрів ЦПГ та проаналізувати статистичні дані;
- розробити та дослідити математичні моделі, що дозволяють провести поглиблену діагностику циліндропоршневої групи і герметичності клапанів двигуна.

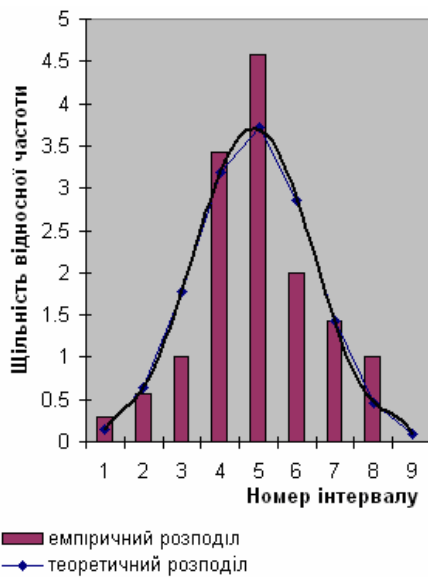
### Статистичний аналіз експериментальних даних

Статистична (нульова) гіпотеза дослідження полягає в такому – випадкова величина компресії підкоряється нормальному закону розподілу. У процесі дослідження висунутої гіпотези був проведений попередній пошуковий експеримент із використанням розробленого діагностичного стенда. Діагностувалися двигуни автомобілів ВАЗ, Opel, Audi, Ford, Skoda, ZAZ-Daewoo, BMW, Mazda, Mitsubishi, Honda зі ступенем стиску 9,5–10,5 одиниць, з робочим об'ємом 1,2–2,8 л, із двома, чотирма й п'ятьма клапанами на циліндр. Протягом п'яти років у рамках експерименту було продіагностовано 75 двигунів.

Експериментальні дані були оброблені з використанням методів математичної статистики [3]. З метою підвищення об'єктивності досліджень розглядалися 2 статистичних ряди: 1 ряд – містить у собі випадкову величину компресії різних моделей двигунів; 2 ряд – обмежений двигунами однієї моделі ВАЗ-21083, найпоширенішої на території України. Аналіз експериментальних даних показав – щільність випадкової величини компресії обох статистичних рядів має вигляд нормального закону розподілу (рис. 2).



а



б

Рис. 2. Апроксимація емпіричного розподілу випадкової величини компресії теоретичним розподілом: для двигунів різних моделей (а); для двигунів моделі VAZ-21083 (б)

Отримано статистики випадкової величини компресії для 1-го й 2-го варіаційних рядків відповідно: середньостатистичне значення  $\bar{x}=1,29$  МПа,  $\bar{x}=1,256$  МПа; мода  $M_0=1,265$  МПа; розмах розсіювання 0,561 МПа, 0,539 МПа; середньоквадратичне відхилення  $\sigma=0,123$  МПа,  $\sigma=0,107$  МПа; дисперсія  $\sigma^2=0,015$ ,  $\sigma^2=0,0115$ ; коефіцієнт варіації  $V=9,5\%$ ,  $V=8,5\%$ .

На підставі експериментальних даних отримано теоретичний закон щільності розподілу випадкової величини компресії:

– для двигунів різних моделей

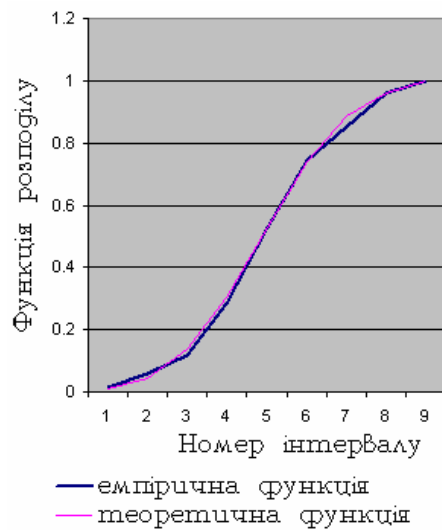
$$f(x) = 3,25e^{-\frac{(x-1,29)^2}{0,03}}; \quad (1)$$

– для двигунів моделі VAZ-21083

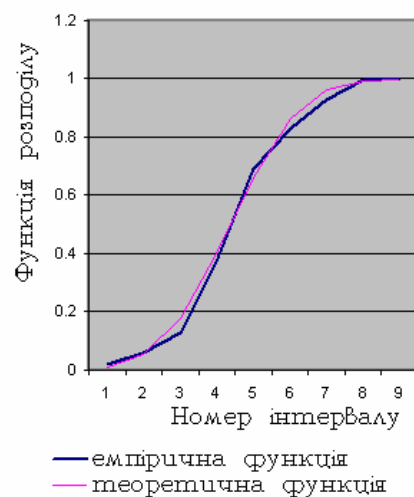
$$f(x) = 3,74e^{-\frac{(x-1,256)^2}{0,023}}; \quad (2)$$

де  $x$  – середина заданого інтервалу випадкової величини компресії, МПа.

Із використанням виконаних розрахунків побудовано графіки емпіричних і теоретичних функцій розподілу випадкової величини компресії (рис. 3).



а



б

Рис. 3. Функції розподілу випадкової величини компресії: для двигунів різних моделей (а); для двигунів моделі VAZ-21083 (б)

Погодженість емпіричного й теоретичного розподілів перевірена за критерієм згоди Колмогорова і становить 0,96. Однак, цей критерій може давати завищені показники ймовірності, тому погодженість емпіричного й теоретичного розподілів додатково перевірена за критерієм  $\chi^2$  Пірсона, відповідно до якого ймовірність становить 0,8.

Відповідно до технічних вимог з експлуатації й ремонту закордонних автомобілів, деякі фірми рекомендують враховувати під час діагностування мінімальну величину компресії й темп наростання компресії, однак, характеристики цих параметрів однозначно не визначені. Тому, у роботі мінімально припустиме значення величини компресії визначено на основі виділення толерантних меж нормального розподілу [4]

$$P_{\min} = \bar{P} - K(P, j, n)\sqrt{D}, \quad (3)$$

де  $\bar{P}$  – вибіркове середнє;  $D$  – дисперсія;  $K$  – коефіцієнт, що залежить від заданих ймовірностей;  $K = 2,696$ ;  $n$  – розмір вибірки,  $n = 172$ .

З використанням отриманих статистик мінімально припустиме значення величини компресії становить 0,958 МПа.

Таким чином, уперше відповідно до нових моделей бензинових двигунів із двома, чотирма й п'ятьма клапанами на циліндр було отримано: універсальний теоретичний закон щільності розподілу випадкової величини компресії; регресійні моделі, що описують зв'язок між частотою обертання колінчатого вала й випадковою величиною компресії, що не суперечить фізичній сутності стохастичного об'єкта діагностування, на відміну від раніше прийнятого опису величини компресії за допомогою детермінованої функції, і дозволяє більш поглиблено продіагностувати циліндропоршкову групу й герметичність клапанів не тільки для окремо взятої моделі двигуна, а для широкого спектра бензинових двигунів сучасних легкових автомобілів.

### Висновки

1. Існуючі засоби і методи діагностування, ймовірність яких не перевищує 50 %, не дозволяють швидко, точно й однозначно розрізнити характерні несправності циліндро-

поршневої групи та порушення герметичності клапанів бензинового двигуна автомобіля.

2. Розроблено систему діагностування циліндропоршневої групи та герметичності клапанів двигуна, що, на відміну від існуючих вітчизняних і закордонних аналогів, дозволяє: фіксувати й відтворювати діагностичну інформацію в цифровому, графічному та текстовому вигляді; довгостроково зберігати діагностичну інформацію й передавати її по каналу Internet; фіксувати зміну тиску в циліндрі при кожному градусі повороту колінчатого вала.

3. Отримано теоретичний закон розподілу випадкової величини компресії для сучасних бензинових двигунів, що дозволяє довести гіпотезу щодо нормального розподілу випадкової величини компресії з ймовірністю 0,8.

3. Методом толерантних меж встановлено мінімально припустиме значення величини компресії – 0,958 МПа.

### Література

1. Кошевой Н.Д. Компьютерная диагностика двигателя / Н.Д. Кошевой, И.Ю. Сараева, А.В. Сараев // Автомобильный транспорт: сб. научн. тр. – Харьков: ХГАДТУ. – 2000. – Вып. 4. – С. 26–28.
2. Кошевой Н.Д. Компьютерная система контроля и диагностики автомобильных двигателей / Н.Д. Кошевой, И.Ю. Сараева, А.В. Сараев // Приборостроение-2000: сб. научн. тр. по материалам международного научн.-тех. конференции. – Калуга. – 2000. – С. 317–321.
3. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика: учебн. пособие для вузов / В.Е. Гмурман. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1977. – 479 с.
4. Методика определения предельных и допустимых диагностических параметров агрегатов машин. – Всесоюзный научно-исследовательский институт по нормализации в машиностроении (ВНИИНМАШ). – Горький, 1980. – 34 с.

Рецензент: Ф.І. Абрамчук, професор, д.т.н., ХНАДУ.

Стаття надійшла до редакції 19 вересня 2011 р.