

УДК 621.314: 621.391

О.В. ЛАВРИНЕНКО, стаж. преп., НТУ "ХПИ"

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНФОРМАТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИКИ ГАЗОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОГО МЕХАНИЗМА ДВС

Рассмотрена математическая модель, описывающая процесс газораспределения в двигателе внутреннего сгорания. Экспериментально проверены новые информативные параметры, характеризующие техническое состояние газораспределительного механизма (ГРМ) двигателя. Построены обучающие совокупности и разработаны решающие правила, позволяющие с большей точностью выявлять дефекты ГРМ. Ил.: 7. Библиогр.: 10 назв.

Ключевые слова: двигатель внутреннего сгорания, газораспределительный механизм, информативные параметры.

Постановка проблемы. Обеспечение приемлемых технико-экономических и экологических показателей двигателей внутреннего сгорания (ДВС) тесно связано с поддержанием на должном уровне технического состояния его основных систем. Одна из основных систем – система газораспределения, параметры которой в процессе эксплуатации изменяются. В связи с этим возникает необходимость непрерывного контроля технического состояния в процессе эксплуатации по соответствующим информативным параметрам и диагностическим признакам, которые следует выбрать с учетом экспериментальных данных.

Анализ литературы показывает, что в настоящее время ведутся интенсивные исследования, направленные на создание новых систем диагностирования ДВС [1]. В ряде работ предложены пути решения задач диагностики новейшими алгоритмами теории информации. Данные методики основаны на поисковых алгоритмах идентификации с адаптивной моделью [2], искусственных нейронных сетях [3, 4], кластерном анализе [5], нечеткой логике [6, 7]. Глубина диагностирования при этом существенно зависит от выбора математической модели диагностического сигнала. Например, в работе [8] в качестве таковой был использован линейный периодический случайный процесс (ЛПСР), низшие моменты которого (дисперсия и корреляционная функция) используются в качестве диагностических признаков, и позволяют обнаружить неисправный клапан.

По своей физической природе ДВС является объектом циклического действия и выпрямленный вибросигнал, возникающий при работе впускных и выпускных клапанов системы газораспределения, содержит

три составляющие: постоянную (среднее значение), переменную (отклонение выпрямленного вибросигнала от среднего значения, что может быть охарактеризовано дисперсией) и импульсную составляющую, имеющую место при ударах клапана о седло. Поскольку указанный вибросигнал подвержен влиянию множества случайных факторов (подача топлива, воздухоснабжение, изменение нагрузки и т.д.), его можно рассматривать как случайный процесс $\{\xi(t), t \in (-\infty, \infty)\}$, к которому в качестве математической модели в полной мере подходит ЛПСП [9, 10].

Определения и основные характеристики ЛПСП. Согласно [10] случайный процесс $\{\xi(t), t \in (-\infty, \infty)\}$ называется периодическим в широком смысле, если существует такое $T > 0$, для которого одномерная и двумерная функции распределения удовлетворяют условиям:

$$\begin{cases} F(x, t) = F(x, t + T), \\ F(x_1, x_2, t_1, t_2) = F(x_1, x_2, t_1 + T, t_2 + T), \\ t_1, t_2 \in (-\infty, \infty). \end{cases} \quad (1)$$

ЛПСП имеет моменты высшего порядка (включая и коэффициенты асимметрии и эксцесса), которые можно использовать в качестве диагностических признаков для уточнения технического состояния двигателя.

Цель статьи – на базе математической модели ЛПСП, описывающей процесс газораспределения в двигателе, экспериментально проверить новые информативные параметры, характеризующие техническое состояние ДВС. На основании предложенных параметров построить обучающие совокупности (образы) и разработать решающие правила, которые позволяют выявить дефекты в двигателе.

С целью получения вибросигнала работы механизма газораспределения проведена серия экспериментальных работ на *V*-образном четырехцилиндровом двигателе, в ходе которых упомянутый сигнал снимался с датчика детонации GT305, установленного на крышке блока клапанов. Для определения типа распределения вибросигнала (рис. 1, 2), реализации были обработаны с использованием гистограммного анализа и последующим сглаживанием полученных гистограмм по методу наименьших квадратов [10]. Отметим, что виброграммы на рис. 1, 2 были записаны на цифровой осциллограф Tektronix TBS1000B в установившемся режиме работы ДВС, причем для

синхронизации использовался сигнал отметчика верхней мертвой точки первого цилиндра (этот сигнал на графиках не показан).

На рис. 1 приведена выпрямленная и очищенная от помех на уровне 0,02 В виброграмма работы газораспределительного механизма (ГРМ) без дефектов, работающего в номинальном режиме; гистограмма и сглаживающая кривая (рис. 3), построены по методу наименьших квадратов. Общий объем выборки данных n составляет 2250 точек, что соответствует шести оборотам вала.

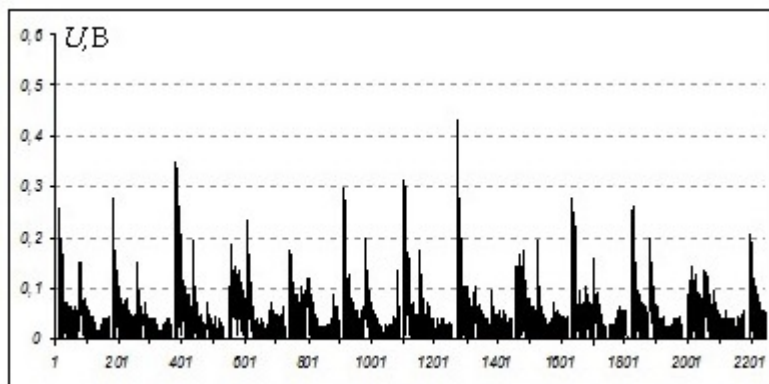


Рис. 1. Виброграмма работы ГРМ без дефектов

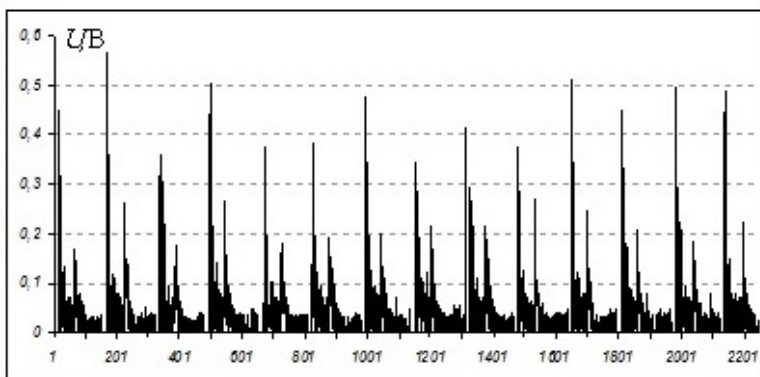


Рис. 2. Виброграмма работы ГРМ при увеличении зазора между клапаном и седлом

На рис. 2 приведена выпрямленная и очищенная от помех на уровне 0,02 В виброграмма работы ГРМ с дефектом (увеличение зазора между клапаном и седлом до 0,25 – 0,3 мм), работающего в номинальном режиме; гистограмма и сглаживающая кривая построены по методу наименьших квадратов (рис. 4). Общий объем выборки данных n составляет 2250 точек.

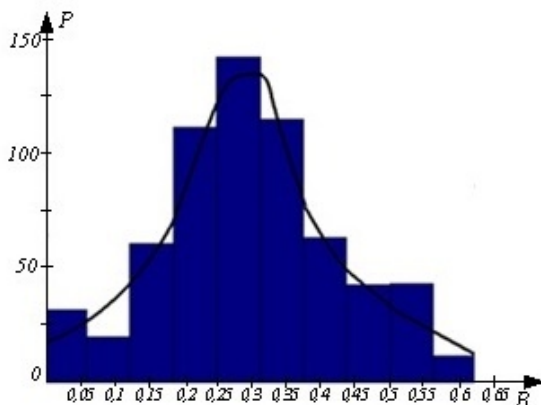


Рис. 3. Гистограмма и сглаживающая кривая работы ГРМ без дефектов

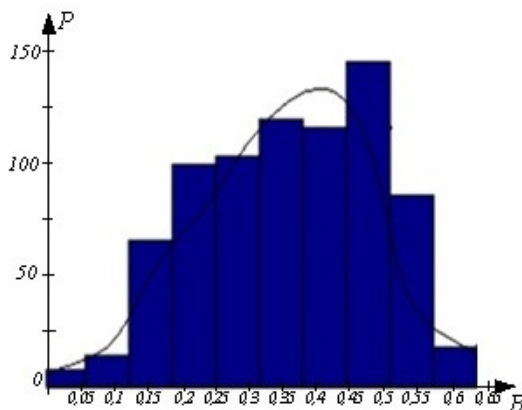


Рис. 4. Гистограмма и сглаживающая кривая работы ГРМ при увеличении зазора между клапаном и седлом

На рис. 5, 6 приведены гистограммы для двигателя внутреннего сгорания того же типа с дефектами в газораспределительном механизме. Рис. 5 соответствует случаю уменьшения зазора между клапаном и седлом до до 0,01мм), а рис. 6 – износу толкателя клапана.

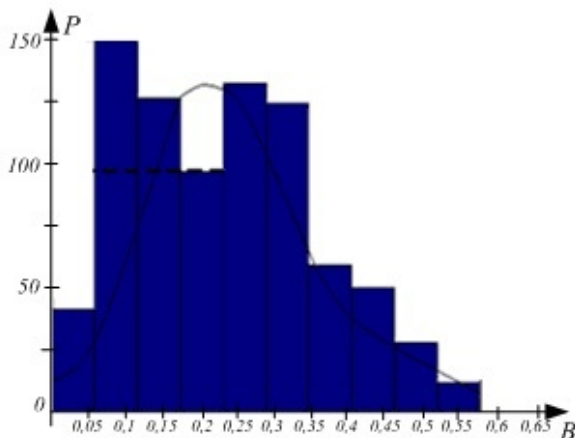


Рис. 5. Гистограмма и сглаживающая кривая работы ГРМ при уменьшении зазора между клапаном и седлом

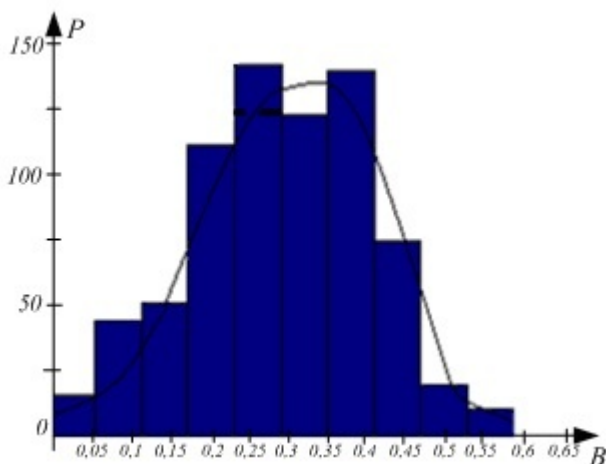


Рис. 6. Гистограмма и сглаживающая кривая работы ГРМ при износе толкателя клапана

Для приведенных кривых найдены асимметрия и эксцесс [10], которые были приняты в качестве диагностических признаков.

$$k = \frac{\sqrt{n}}{\sqrt{(n-1)^3 \cdot (G_x)^3}} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - m_x)^3, \quad (2)$$

$$j = \frac{n}{(n-1)^2 \cdot (G_x)^4} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - m_x)^4 - 3. \quad (3)$$

где n – число измерений; x_i – i -я измеренная величина; m_x – математическое ожидание измеренной величины; G_x – среднеквадратическое отклонение измеренной величины.

Именно эти параметры были выбраны в качестве координат диагностического пространства, в котором по количественным оценкам k и j были построены обучающие совокупности. После обработки 500 гистограмм со сглаживающими кривыми были сформированы обучающие совокупности, соответствующие различным техническим состояниям газораспределительного механизма. Это иллюстрируется на рис. 7.

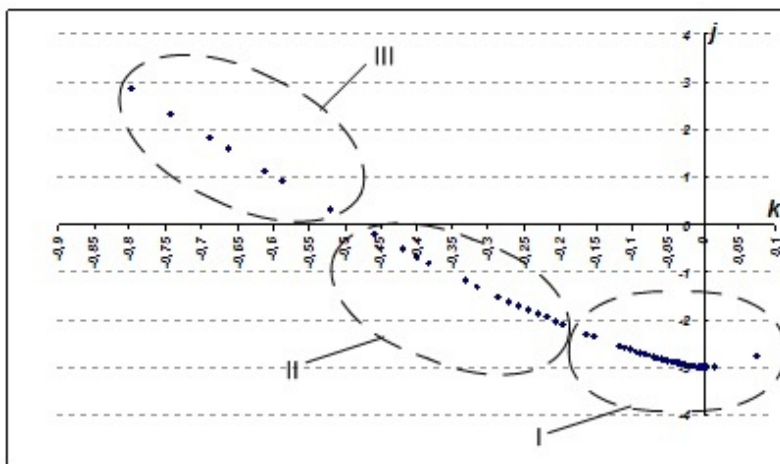


Рис. 7. Диагностическое пространство работы ГРМ

В частности, область I соответствует двигателю без дефектов в газораспределительном механизме; области II – двигателю с дефектами ГРМ в связи с увеличенным зазором в сопряжении; область III – соответствует двигателю с дефектами ГРМ в связи с наименьшими зазорами в сопряжении.

Выводы. Проведенные экспериментальные исследования показали:

1. В качестве диагностических признаков технического состояния ГРМ двигателя внутреннего сгорания эффективно можно использовать коэффициенты асимметрии и эксцесса. В качестве диагностического пространства для формирования обучающих совокупностей предложено использовать плоскость, осями координат в которой являются коэффициенты асимметрии и эксцесса.

2. В выбранном диагностическом пространстве предложен способ построения образов, соответствующих следующим техническим состояниям узлов ГРМ:

- условно исправны, зазор в сопряжении в пределах нормы, область I (рис. 7);
- зазор в сопряжении равен 0,25–0,3 мм, область II (рис. 7);
- зазор в сопряжении $\leq 0,01$ мм, область III (рис. 7).

Предложенный метод позволяет применить обобщенный диагностический подход к явлениям, которые описываются ЛПСП, в дальнейшем предполагается использовать его для диагностики энергоустановок.

Список литературы: 1. Современные информационно-измерительные системы вибродиагностики ДВС / *А.Н. Борисенко, П.С. Обод, О.В. Лавриненко* // Вестник НТУ "ХПИ". – 2010. – № 39. – С. 132-137. 2. *Коньков А.Ю.* Диагностирование технического состояния дизеля в эксплуатации на основе идентификации быстропротекающих рабочих процессов: автореф. дис. на соискание уч. степени д-ра. техн. наук: спец. 05.04.02 / *Коньков А.Ю.* – Хабаровск, 2010. – 35 с. 3. *Sangha M.S.* Neural network fault classification of transient data in an automotive engine / *M.S. Sangha, J.B. Gomm, D.Yu. J.* // Modell., Identif. Contr. 2008. – № 3 (2). – P. 148-155. 4. *Marko K.A.* Neural network application to comprehensive engine diagnostics // *K.A. Marko, B. Bryant, N. Soderborg* // In IEEE International Conference of System, Man and Cybernetics, Chicago, IL, 1992. – P. 1016-1022. 5. *Ле Ван Дием* Модели и алгоритмы технического диагностирования судовых дизельных установок в процессе эксплуатации: автореф. дис. на соискание уч. степени канд. техн. наук: спец. 05.13.06 "Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами" / *Ле Ван Дием*. – Санкт-Петербург, 2006. – 24 с. 6. *Macian V.* Fuzzy logic-based expert system for diesel engine oil analysis diagnosis / *V. Macian, B. Tormos, A. Sala, J. Ramirez.* // Insight–Non–dest. Test. Cond. Monitor. – 2006. – № 48 (8). – P. 462-469. 7. *Кузнецов А.В.* Разработка системы диагностики ДВС на основе нечеткой логики: дис. на соискание уч. степени канд. техн. наук: спец. 05.13.06 / *Кузнецов А.В.* – М.: 2007. – 147 с. 8. *Марченко Б.Г.* Теория диагностики энергоагрегатов по девиации вращающихся узлов и ее практическая реализация на дизель-электрических генераторах. Часть 4. Экспериментальная проверка методики диагностики цилиндропоршневой группы дизель-электрического генератора / *Б.Г. Марченко, М.В. Мыслович* // Техн. электродинамика. – 1999. – № 4. – С. 40-45 9. *Драган Я.П.* Структура и представление моделей стохастических сигналов / *Я.П. Драган*. – К.: Наукова думка, 1980. – 384 с. 10. *Бендат Дж.* Измерение и анализ случайных процессов / *Дж. Бендат, А. Пирсон*. – М.: Мир, 1974. – 463 с.

Bibliography (transliterated): 1. Sovremennye informacionno-izmeritel'nye sistemy vibrodiagnostiki DVS / *A.N. Borisenko, P.S. Obod, O.V. Lavrinenko* // Vestnik NTU "HPI". – 2010. – № 39. – S. 132-137. 2. *Kon'kov A.Ju.* Diagnostirovanie tehniceskogo sostojanija dizelja v jekspluataciji na osnove identifikacii bystroprotekajushihh rabochih processov: avtoref. dis. na soiskanie uch. stepeni d-ra. tehn. nauk: spec. 05.04.02 / *Kon'kov A.Ju.*. – Habarovsk, 2010. – 35 s. 3. *Sangha M.S.* Neural network fault classification of transient data in an automotive engine // *M.S. Sangha, J.B. Gomm, D.Yu. J.* // Modell., Identif. Contr. 2008. – № 3 (2). –

P. 148-155. **4. Marko K.A.** Neural network application to comprehensive engine diagnostics // *K.A. Marko, B. Bryant, N. Soderborg* // In IEEE International Conference of System, Man and Cybernetics, Chicago, IL, 1992. – P. 1016-1022. **5. Le Van Diem** Modeli i algoritmy tehničeskogo diagnostirovanija sudovych dizel'nyh ustanovok v processe jekspluataciji: avtoref. dis. na soiskanie uch. stepeni kand. tehn. nauk: spec. 05.13.06 "Avtomatizacija i upravlenie tehnologičeskimi processami i proizvodstvami" / *Le Van Diem*. – Sankt-Peterburg, 2006. – 24 s. **6. Macian V.** Fuzzy logic-based expert system for diesel engine oil analysis diagnosis / *V. Macian, B. Tormos, A. Sala, J. Ramirez* // *Insight-Non-dest. Test. Cond. Monitor.* – 2006. – № 48 (8). – P. 462-469. **7. Kuznecov A.V.** Razrabotka sistemy diagnostiki DVS na osnove nechetkoj logiki: dis. na soiskanie uch. stepeni kand. tehn. nauk: spec. 05.13.06 / *A.V. Kuznecov*. – M.: 2007. – 147 s. **8. Marchenko B.G.** Teorija diagnostiki jenergoagregatov po deviacii vrashhajushihhsja uzlov i ee praktičeskaja realizacija na dizel'-jelektričeskich generatorah. Čast' 4. Jeksperimental'naja proverka metodiki diagnostiki cilindroporshnevoj grupy dizel'-jelektričeskogo generatora / *B.G. Marchenko, M.V. Myslovich* // *Tehn. jelektrodinamika*. – 1999. – № 4. – S. 40-45 **9. Dragan Ja.P.** Struktura i predstavlenie modelej stohastičeskich signalov / *Ja.P. Dragan*. – K.: Naukova dumka, 1980. – 384 s. **10. Bendat Dzh.** Izmerenie i analiz sluchajnyh processov / *Dzh. Bendat, A. Pirson*. – M.: Mir, 1974. – 463 s.

Поступила (received) 25.12.2014

Статью представил д-р техн. наук, проф. НТУ "ХПИ" Борисенко А.Н.

Lavrinenko Olga
National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"
Str. Frunze, 21, Kharkov, Ukraine, 61002
Tel.: (057) 707-69-61, e-mail: lavrinenko_olya@mail.ru
ORCID ID: 0000-0001-5274-3955