

*А.Н. БОРИСЕНКО*, д-р техн. наук, НТУ «ХПИ»,  
*Б.И. КУБРИК*, канд. техн. наук, доцент НТУ «ХПИ»,  
*О.В. ЛАВРИНЕНКО*, стажер-препод. НТУ «ХПИ»,  
*Е.В. СОСИНА*, ассистент НТУ «ХПИ»

## **ОБОСНОВАНИЕ И ВЫБОР ИНФОРМАЦИОННЫХ СИГНАЛОВ ДЛЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРОВ**

Ідентифікація дефектів, побудова вирішальних правил і формування сукупностей, що навчають, для систем управління і діагностики дизель-генераторів на базі теорії ЛПВП.

Идентификация дефектов, построение решающих правил и формирование обучающей совокупности, для систем управления и диагностики дизель-генераторов на базе теории ЛПВП.

Defect identification, building of resolving rules and generation of training sequences for control and diagnostics systems LPRP

**Постановка проблемы.** Обеспечение приемлемых технико-экономических и экологических показателей дизель-генераторов тесно связано с поддержанием на должном уровне технического состояния агрегатов и качества работы систем регулирования, которые в процессе эксплуатации изменяются. В связи с этим возникает необходимость непрерывного контроля технического состояния силовой установки в процессе эксплуатации по соответствующим информативным параметрам и диагностическим признакам, которые необходимо выбрать с учетом экспериментальных данных.

**Анализ литературы** показывает, что диагностирование дизелей производят либо по сигналам множества датчиков режимных параметров агрегата [1, 2], либо по сигналу одного датчика неравномерности вращения вала [3-6], что удобнее в плане привязки к объекту, но усложняет процесс обработки информации. Глубина диагностирования при этом существенно зависит от выбора математической модели диагностического сигнала. Например, в работах [5, 6] в качестве таковой был использован линейный периодический случайный процесс (ЛПСП), низшие моменты которого (дисперсия и корреляционная функция) используются в качестве диагностических признаков, и позволяют обнаружить неисправный цилиндр.

**Цель работы** – на базе математической модели ЛПСП, описывающей процесс неравномерности вращения вала дизеля с учетом случайного его характера и физической природы явлений, происходящих в тепловом двигателе.

ле, теоретически обосновать, а затем экспериментально проверить новые информативные параметры, характеризующие техническое состояние дизелей, на основании предложенных параметров построить обучающие совокупности (образы) и разработать решающие правила, которые с большей точностью позволяют выявить дефекты в дизеле.

По своей физической природе дизель-генератор (ДГ) является объектом циклического действия и угловая скорость его коленчатого вала содержит три составляющие: постоянную (среднее значение), переменную (отклонение мгновенной скорости от среднего значения, что может охарактеризовано дисперсией) и импульсную составляющую, имеющую место при резких изменениях тока генератора. Поскольку указанная угловая скорость подвержена влиянию множества случайных факторов (подача топлива, воздухообеспечение, изменение нагрузки и т.д.), ее можно рассматривать как случайный процесс  $\{\xi(t) \ t \in (-\infty, \infty)\}$ , к которому в качестве математической модели в полной мере подходит ЛПСР [5, ... ,8].

Определения и основные характеристики ЛПСР. Согласно [5, ... ,8], 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:

$$F(x; t) = F(x; t + T)$$

$$F(x_1; x_2; t_1, t_2) = F(x_1, x_2; t_1 + T, t_2 + T),$$

$$t_1, t_2 \in (-\infty, \infty)$$

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

С целью получения сигнала угловой скорости коленчатого вала ДГ была проведена серия экспериментальных работ на агрегатах типов 10Д100 и Д70, в ходе которых упомянутый сигнал снимался либо с индуктивного датчика, установленного вблизи венца валоповоротной шестерни или специальной измерительной шестерни, либо с оптоэлектронного датчика типа ПДФ-3, который устанавливался на свободном конце вала дизеля. Для определения типа распределения процесса изменения скорости вала (рис.1), реализации были обработаны с использованием гистограммного анализа с последующим сглаживанием полученных гистограмм по методу наименьших квадратов [9]. Отметим, что тахограммы на рис. 1–4, 6, 7 были записаны на шлейфовый осциллограф в установившемся режиме работы ДГ, причем для синхрониза-

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

На рис. 1 приведена осциллограмма девиации угловой скорости вала ДГ типа 10Д100 без дефектов, работающего в номинальном режиме, гистограмма распределения угловой скорости и сглаживающая кривая, построенная по методу наименьших квадратов. Общий объем выборки данных за один оборот вала составляет 1500 точек.

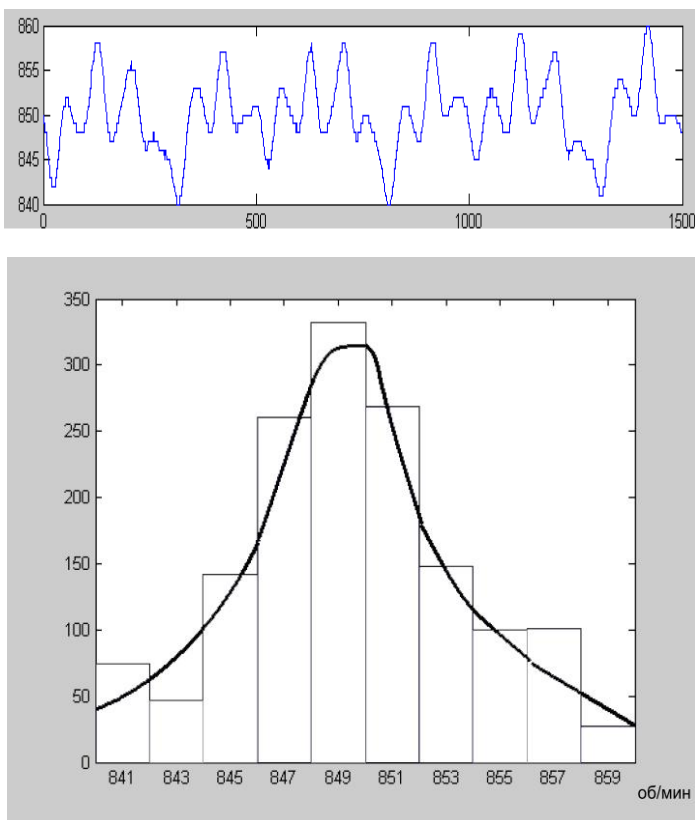


Рис. 1. Осциллограмма девиации угловой скорости вала ДГ типа 10Д100 без дефектов

На рис. 2 приведены тахограмма, гистограмма и сглаживающая кривая для агрегата 10Д100, имеющего дефекты в цилиндро-поршневой группе, в частности, задиры. За один оборот вала при этом было снято 3000 точек.

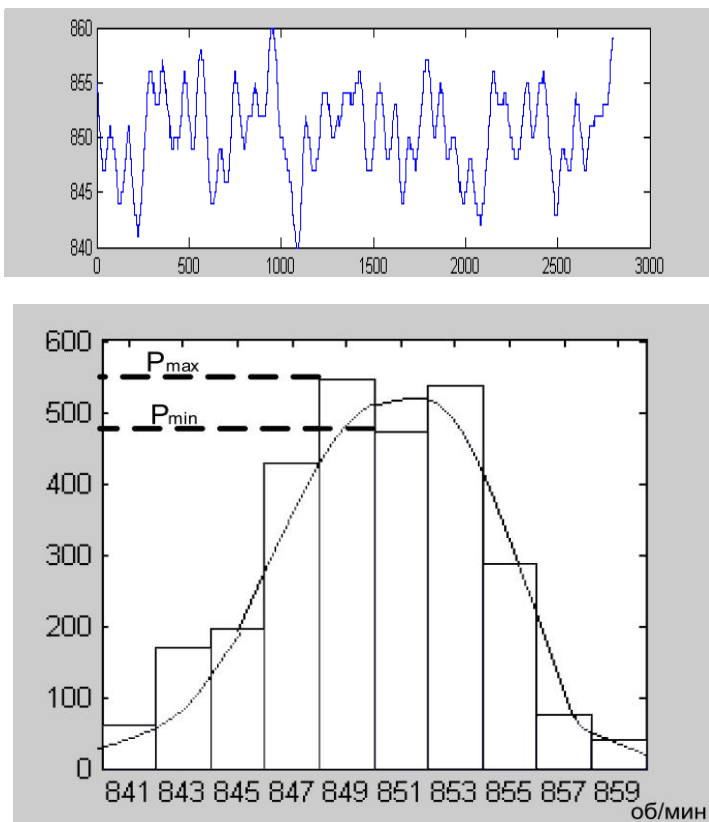


Рис. 2. Тахограмма, гистограмма и сглаживающая кривая для агрегата 10Д100, имеющего дефекты

На рис. 3, 4 приведены графические иллюстрации для дизельной установки того же типа с дефектами в топливоподающей аппаратуре. Рис. 3 соответствует случаю пониженной цикловой подачи топлива, а рис. 4 – позднему впрыскиванию топлива. За оборот вала регистрировалось 2500 точек.

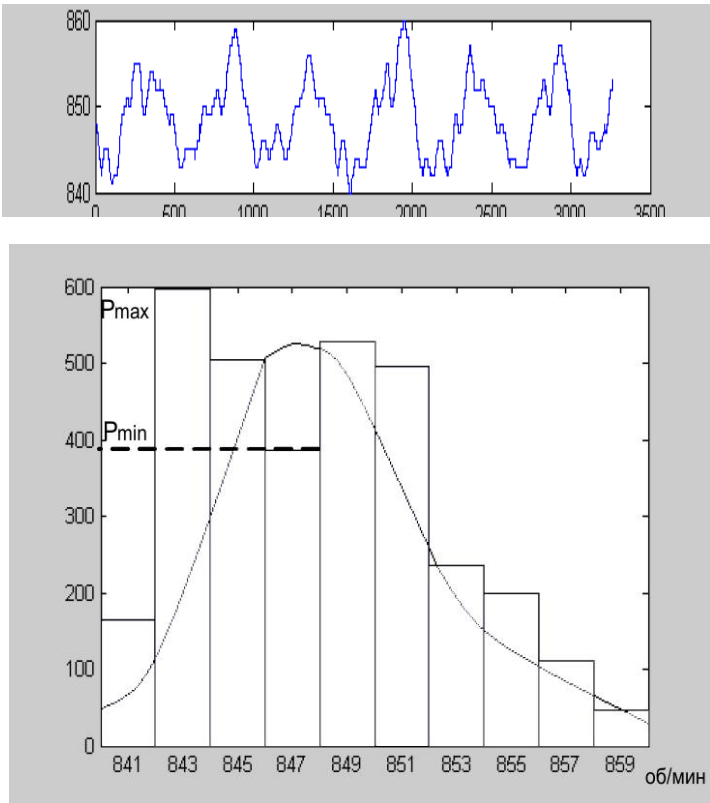


Рис. 3. Тахограмма, гистограмма и сглаживающая кривая для агрегата 10Д100, имеющего дефекты в топливopодающей аппаратуре с пониженной цикловой подачей топлива

Для этих кривых найдены асимметрия и эксцесс [7], которые были приняты в качестве диагностических признаков.

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

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

где  $n$  - число измерений;

$x_i$  -  $i$ -я измеренная величина;

$m_x$  - математическое ожидание измеренной величины;

$G_x$  - среднеквадратическое отклонение измеренной величины.

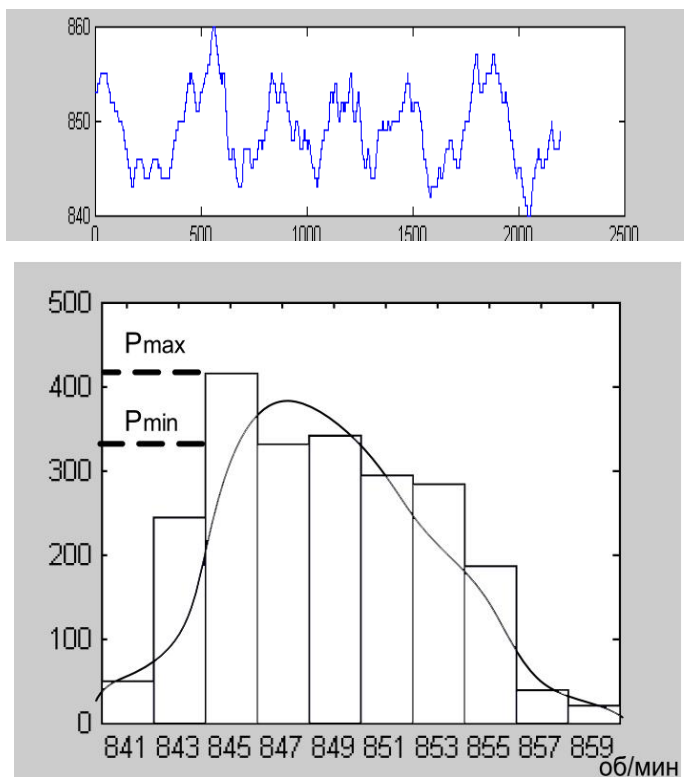


Рис. 4. Тахограмма, гистограмма и сглаживающая кривая для агрегата 10Д100, имеющего дефекты в топливоподающей аппаратуре с поздним впрыскиванием топлива

Именно эти параметры были выбраны в качестве координат диагностического пространства, в котором по количественным оценкам  $k$  и  $j$  были построены обучающие совокупности. После обработки 387 гистограмм со сглаживающими кривыми были сформированы обучающие совокупности, соответствующие различным техническим состояниям ДГ. Это иллюстрируется рис. 5.

В частности, область I соответствует дизель-генератору без дефектов; области II – агрегату с дефектами цилиндрично-поршневой группы, причем в случае  $k > 0$  имеют место неплотности, а в случае  $k < 0$  – задиры; область IV соответствует отклонению цикловой подачи топлива от требуемого значения, причем в случае  $k > 0, j < 0$  – цикловая подача топлива ниже нормы, а при  $k < 0, j > 0$  – выше нормы; область IV означает отклонение фазы топливоподачи от нормы: при  $k > 0$  - ниже нормы, при  $k < 0$  - выше нормы.

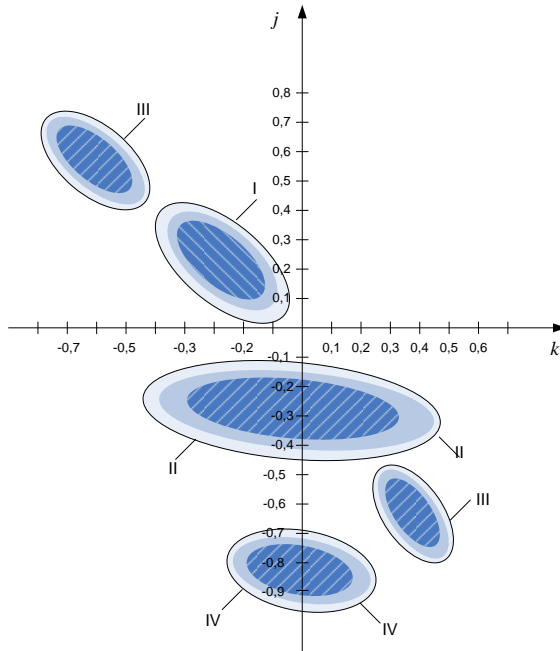


Рис. 5. Обучающие совокупности, соответствующие различным техническим состояниям ДГ

Автором была выполнена статистическая обработка осциллограмм мгновенной угловой скорости коленчатого вала ДГ 10Д100, в котором поочередно отключался тот или иной цилиндр путем установки в нулевое положение соответствующей рейки топливного насоса. В качестве примера на рис. 6 приведены гистограмма и сглаживающая кривая при отключенном первом цилиндре, а на рис.7 – при отключенном втором цилиндре. Анализируя полученные гистограммы, можно отметить следующее.

При отсутствии дефектов у ДГ гистограмма и сглаживающая кривая имеют единственный экстремум (максимум) в точке, соответствующей настройке регулятора скорости (на рис.1 – это 850 об/мин). При наличии дефектов, как видно из рис. 2, 3, 4, на гистограмме между двух максимумов (большой из которых обозначен  $P_{max}$ ), имеется минимум (обозначенный  $P_{min}$ ) вблизи точки, соответствующей настройке регулятора скорости. У дизеля с дефектами, но всеми работающими цилиндрами, коэффициент работоспособности  $K_{pc} = \frac{P_{min}}{P_{max}}$  составляет не менее 0,5. Если же у дизеля отключен хотя

бы один цилиндр, то  $K_{pc} < 0,5$ . Например, рис.6 соответствует  $K_{pc} = 0,43$ , а рис.7 соответствует  $K_{pc} = 0,27$ . Такое расхождение значений  $K_{pc}$  объясняется, по-видимому, неполной идентичностью отключаемых (первого и второго) цилиндров. По величине коэффициента  $K_{pc}$  можно судить о техническом состоянии ДГ, то есть его можно использовать как дополнительный диагностический признак.

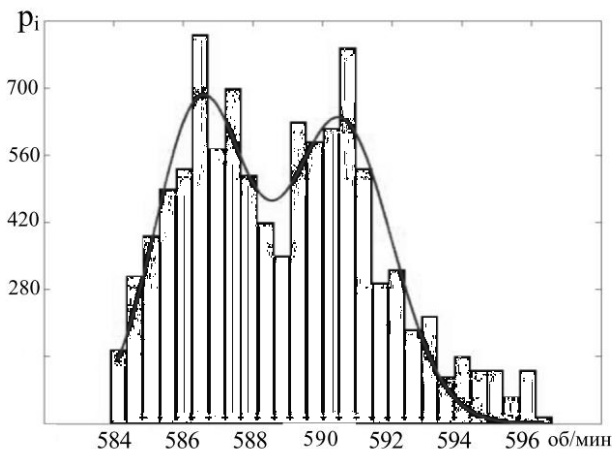


Рис. 6. Гистограмма и сглаживающая кривая при отключенном первом цилиндре

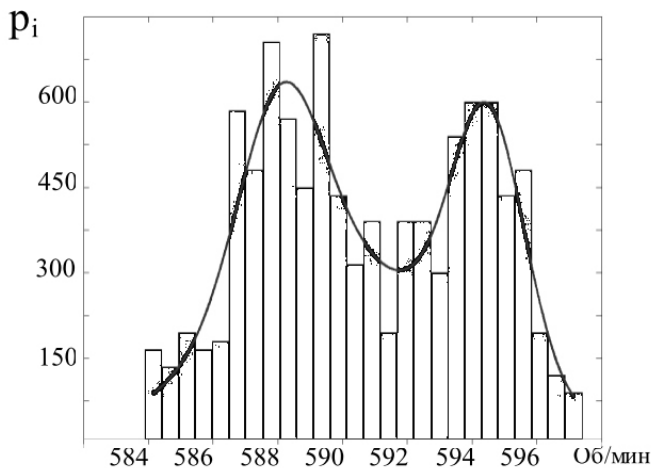


Рис. 7. Гистограмма и сглаживающая кривая при отключенном первом цилиндре



**Выводы.** Проведенные теоретические и экспериментальные исследования показали:

1. В качестве диагностических признаков технического состояния ЦПГ дизеля эффективно можно использовать коэффициенты асимметрии и эксцесса, а также коэффициент работоспособности  $K_{рс}$ .

2. В качестве диагностического пространства для формирования обучающих совокупностей предложено использовать плоскость, осями координат в которой используются коэффициенты асимметрии и эксцесса.

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

- условно исправны;
- наличие задиоров;
- наличие неплотностей.

4. Предложен способ выявления разрегулировки цикловой подачи и фазы впрыска топлива.

**Список литературы:** 1. *Станиславский Л.В.* Техническое диагностирование дизелей.- Киев, Донецк // Вища школа. Главное издательство, 1983. – 135с. 2. *Ле Ван Дием.* Модели и алгоритмы технического диагностирования силовых дизельных установок в процессе эксплуатации.- Автореф. дисс. на соискание ученой степени кандидата технических наук.- Санкт-Петербург, 2006 г. - 24 стр. 3. *Марченко Б.Г., Мыслович М.В.* Теория диагностики энергоагрегатов по девиации вращающихся узлов и ее практическая реализация на дизель-электрических генераторах. Часть 1. модели динамики цилиндрических мощностей на валу дизель-электрического генератора. // Техн. электродинамика. – 1998. – № 5 – с. 36-40. 4. *Марченко Б.Г., Мыслович М.В.* Теория диагностики энергоагрегатов по девиации вращающихся узлов и ее практическая реализация на дизель-электрических генераторах. Часть 2. Построение оценок линейных ПКСП, описывающих динамику цилиндрических мощностей на валу дизель-электрического генератора. // Техн. электродинамика. –1998. –№ 6. – с. 39-42. 5. *Марченко Б.Г., Мыслович М.В.* Теория диагностики энергоагрегатов по девиации вращающихся узлов и ее практическая реализация на дизель-электрических генераторах. Часть 3. Физическая конкретизация параметров модели и имитационное моделирование динамики цилиндрических мощностей на валу дизель-электрического генератора. // Техн. электродинамика. – 1999. – №1. – с. 59-63б. 6. *Марченко Б.Г., Мыслович М.В.* Теория диагностики энергоагрегатов по девиации вращающихся узлов и ее практическая реализация на дизель-электрических генераторах. Часть 4. Экспериментальная проверка методики диагностики цилиндрической группы дизель-электрического генератора. // Техн. электродинамика. – 1999. – № 4. – с. 40-45. 7. Вопросы статистической теории радиолокации / П.А. Бакут, И.А. Большаков и др.: под ред. Г.П. Татаковского. – т.1. – М.: Сов. Радио, 1963. – 424 с. 8. *Борисенко А.Н., Литвиненко С.А.* Вопросы выбора информативных параметров и диагностических признаков для систем управления и диагностики дизель-генераторов. - Харьков //Вестник НТУ ХПИ, 2008. 9. *Дьяконов В.П., Круглов В.* Математические пакеты расширения MATLAB: специальный справочник. СПб.: Питер,2001.

*Поступила в редакцию 27.09.2011*