

*А.Н. БОРИСЕНКО*, канд. техн. наук, *С.А. ЛИТВИНЕНКО*,  
*П.С. ОБОД*, *Е.В. ХАЛАНСКАЯ*, *А.В. ГУСЕЛЬНИКОВ*

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНФОРМАТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ И ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ И ФОРМИРОВАНИЕ ОБУЧАЮЩИХ СОВОКУПНОСТЕЙ ПРИ ОЦЕНКЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРОВ**

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

**Обзор 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 [ ] 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, 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  $\{\zeta(t) \ t \in (-\infty, \infty)\}$ , к которому в качестве математической модели в полной мере подходит ЛПСП [3, 6].

**Определения и основные характеристики ЛПСП.** Согласно [3,6], случайный процесс  $\{\zeta(t) \ t \in (-\infty, \infty)\}$  называется периодическим в широком смысле, если существует такое  $T > 0$ , для которого одномерная и двумерная функции распределения удовлетворяют условиям:

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

$$F(x_1; x_2; t_1, t_2) = F(x_1; x_2; t_1 + T, t_2 + T), t_1, t_2 \in (-\infty, \infty).$$

ЛПСП 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 (см. рис. 1), реализации были обработаны с использованием гистограммного анализа с последующим сглаживанием полученных гистограмм по методу наименьших квадратов [9].

На графиках с гистограммами по оси абсцисс отложена угловая скорость вала, а по оси ординат – плотность вероятности (дифференциальная функция распределения). На осциллограммах по оси абсцисс отложен номер точки отсчета, а по оси ординат – величина мгновенной угловой скорости вала в об/мин.

Отметим, что тахограммы на рис.1-4, 6, 7 были записаны на шлейфовый осциллограф в установившемся режиме работы ДГ, причем для синхронизации 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.

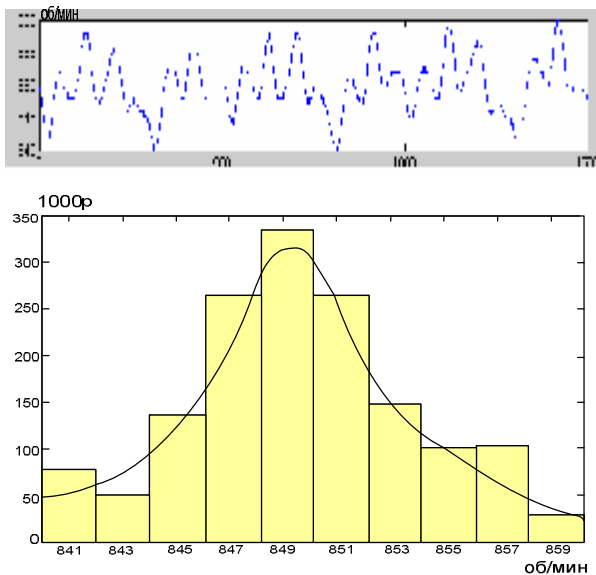


Рис. 1

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.

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.

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.

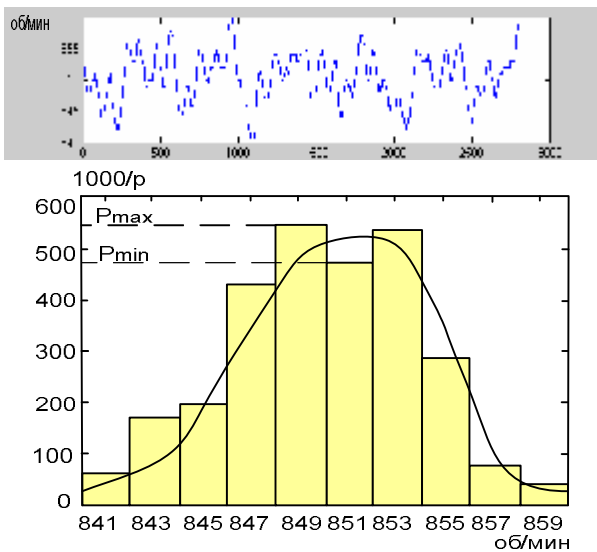


Рис. 2

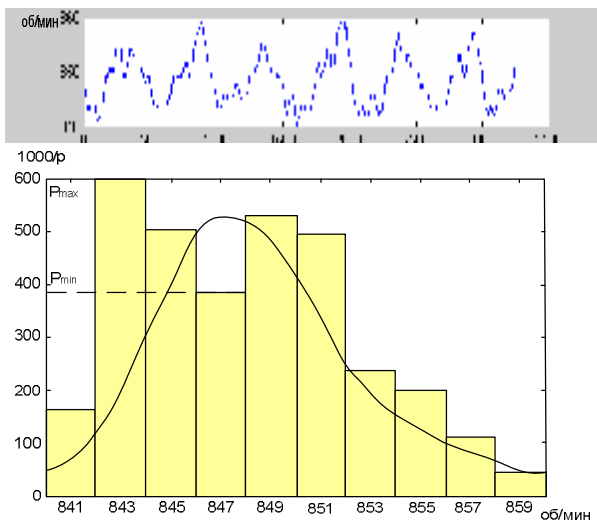


Рис. 3

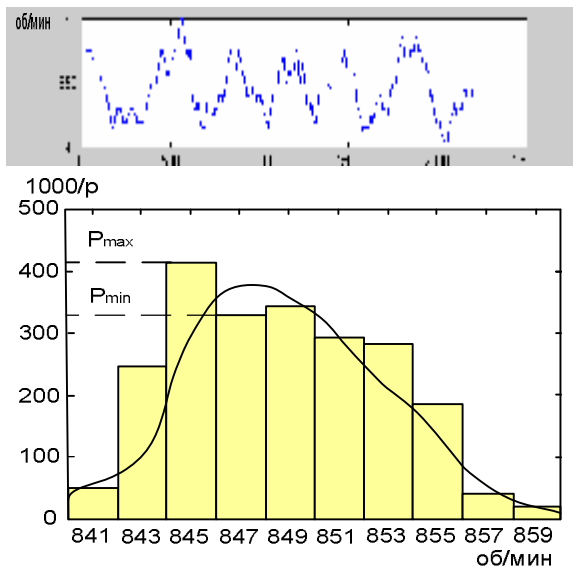


Рис. 4

Именно эти параметры были выбраны в качестве координат диагностического пространства, в котором по количественным оценкам  $\bar{k}$  и  $\bar{j}$  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.

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 на-

стройке 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  $K_{pc} < 0,5$ .

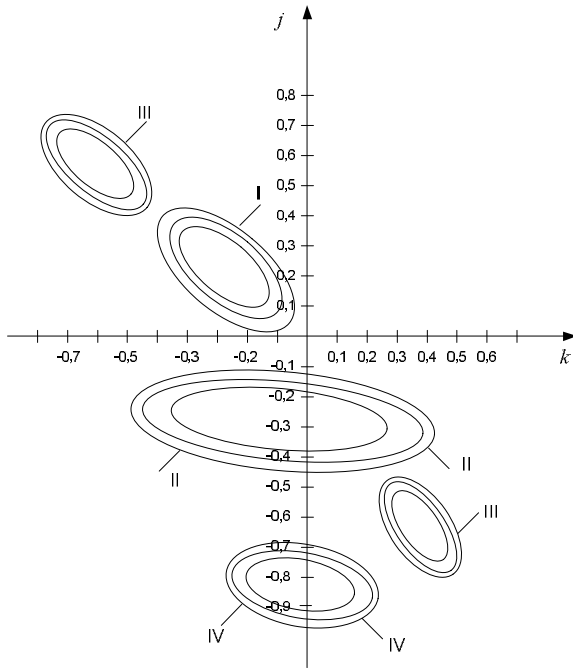


Рис. 5

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.

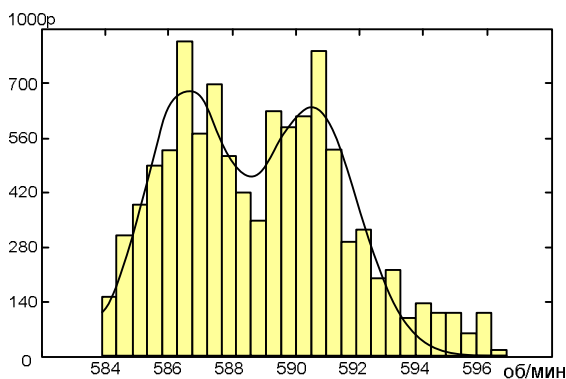


Рис. 6

По величине коэффициента  $K_{pc}$  можно судить о техническом состоянии ДГ, то есть его можно использовать как дополнительный диагностический признак.

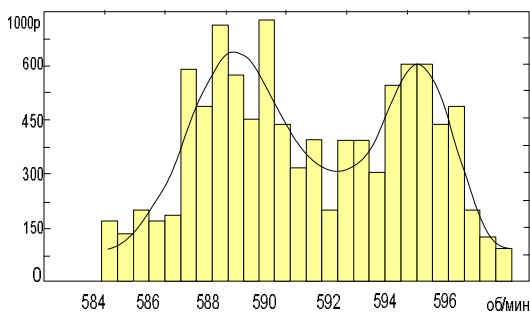


Рис. 7

**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  $K_{pc}$ .

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 задиrow;
- 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, 2006г.- 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. 59-63. 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 г. 9. Дьяконов В.П., Круглов В. Математические пакеты расширения MATLAB: специальный справочник. СПб.: Питер, 2001.

*Поступила в редколлегию 13.11. 2008 г.*