

$D_{ТЭ}$ . Он будет зависеть от размеров ячейки  $D_{я}$  и  $h_{я}$ , ширины кольца  $m$ , размера изолирующего промежутка  $n$ . При оптимальном выборе величины  $D_{ТЭ}$  можно существенно уменьшить и даже полностью устранить погрешность от влияния боковых зазоров.

Полученные результаты могут быть использованы при разработке новых средств измерений диэлектрических характеристик исследуемых образцов твердых материалов, изготовленных в виде цилиндров, в том числе и в петрофизических лабораториях.

1. Балабуха Л.И. Математический расчет некоторых полей электростатики // Теоретическая и экспериментальная электротехника. — 1932. — № 1—2. — С. 4—20.

2. Гриневич Ф.Б., Новик А.И. Измерительные компенсационно-мостовые устройства с емкостными датчиками. — Киев: Наук. думка, 1987. — 112с.

3. Иосель Ю.Я., Кочанов Э.С., Струнский М.Г. Расчет электрической емкости. — Л.: Энергоиздат. Ленингр. отделение, 1981. — 288с.

4. Кобранова В.Н., Извеков Б.И., Пацевич С.Л., Шварцман М.Д. Определение петрофизических характеристик по образцам. — М.: Недра, 1977. — 432с.

5. Матисс И.Г. Электроемкостные преобразователи для неразрушающего контроля. — Рига: Зинатне, 1977. — 255с.

6. Миролюбов Н.Н., Костенко М.В., Левинштейн М.Л., Тиходеев Н.Н. Методы расчета электростатических полей. — М.: Высшая школа, 1963. — 415с.

7. Петрофизика: Справочник. В трех книгах. Книга первая. Горные породы и полезные ископаемые / Под ред. Дортман Н.Б. — М.: Недра, 1992. — 391с.

8. Эме Ф. Диэлектрические измерения. Пер. с немецкого. — М.: Химия, 1967. — 224с.

Надійшла 18.06.2008

УДК 621.314-621.391

А.Н.БОРИСЕНКО, канд.техн.наук (Нац.техн.ун-т "ХПИ", Харьков)

## Вопросы выбора диагностических признаков для систем управления и диагностики дизель-генераторов

*Проводится идентификация дефектов, построение решающих правил и формирование обучающих совокупностей для систем управления и диагностики дизель-генераторов на базе теории ЛПСП.*

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

**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 [3,4], либо по сигналу одного датчика неравномерности вращения вала [5—8], 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—8] 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, характеризую-

щие техническое состояние дизелей. На основании предложенных параметров построить обучающие совокупности (образы) и разработать решающие правила, которые с большей точностью позволяют выявлять 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 ЛПСП [5–8].

**Определения и основные характеристики ЛПСП.** 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:

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

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

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

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 вероятностного распределения процесса изменения скорости вала (рис. 1), реализации были обработаны на ЭВМ с использованием программы гистограммного анализа с последующим сглаживанием полученных гистограмм по методу наименьших квадратов [3].

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 показана 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.

На рис. 2 показаны тахограмма, гистограмма и сглаживающая кривая для агрегата 10Д100, име-

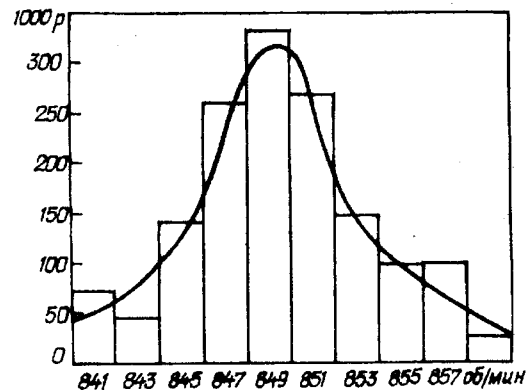
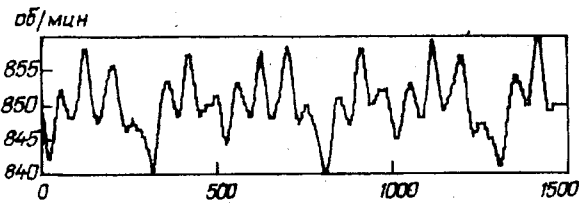


Рис. 1

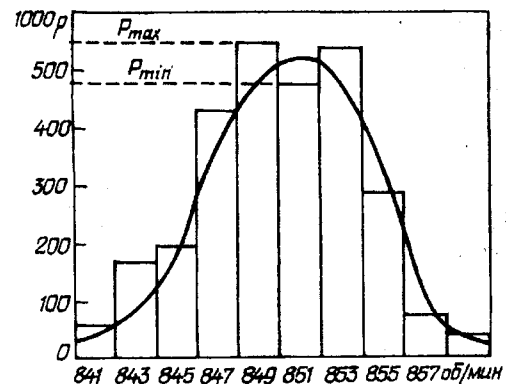
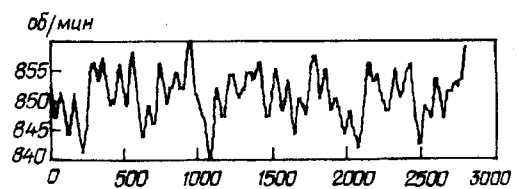


Рис. 2

ющего дефекты в цилиндро-поршневой группе (ЦПГ), в частности, задиры. За один оборот вала при этом было снято 3000 точек.

На рис. 3,4 показаны 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.

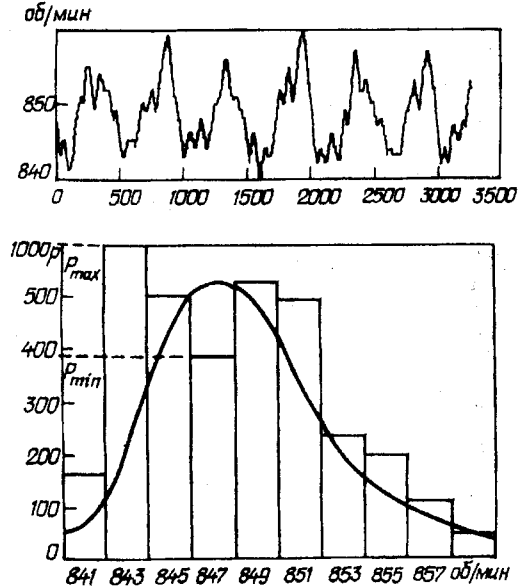


Рис. 3

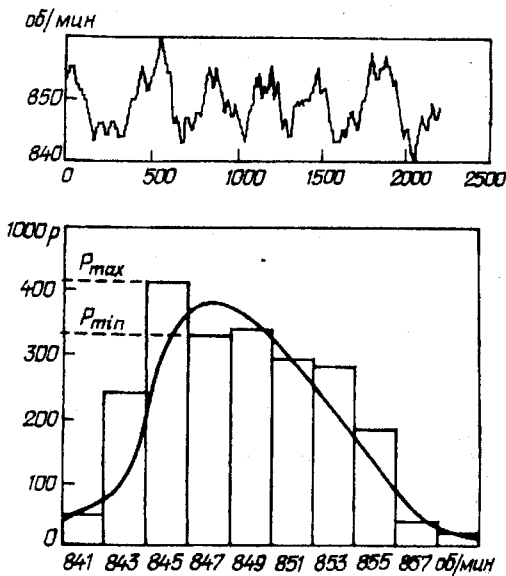


Рис. 4

Для этих кривых найдены асимметрия и эксцесс [1], которые были приняты в качестве диагностических признаков

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

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

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

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 (рис. 5).

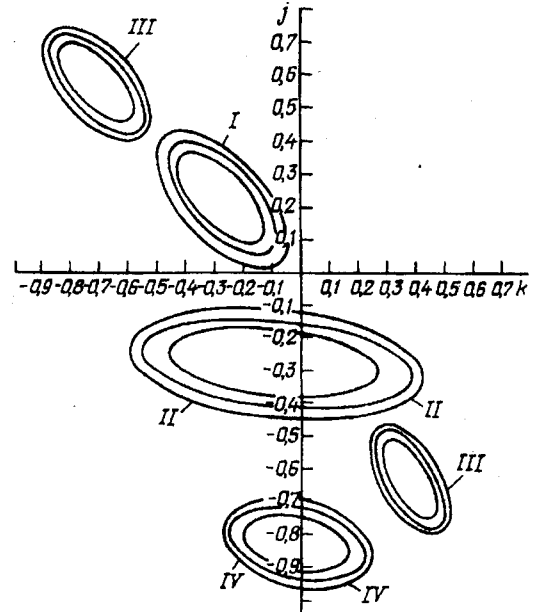


Рис. 5

Здесь область I соответствует дизель-генератору без дефектов; области II, III — агрегату с дефектами ЦПГ, 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 настройке регулятора скорости (на рис. 1 — это 850 об/мин). При наличии дефектов,

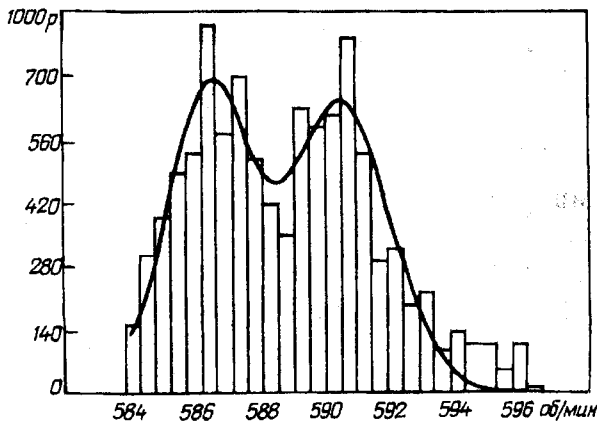


Рис. 6

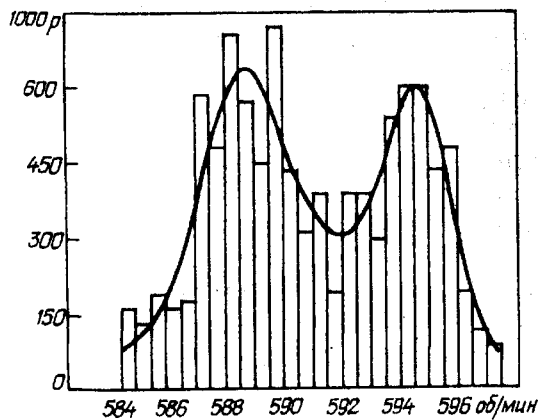


Рис. 7

как видно из рис. 2,3,4, на гистограмме между двумя максимумами (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

$$K_{pc} = P_{\min} / P_{\max} \geq 0,5.$$

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 —  $K_{pc} = 0,27$ . 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.

**Выводы.** По результатам проведенных теоретических и экспериментальных исследований

можно сделать следующие выводы.

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 которой являются коэффициенты асимметрии и эксцесса.
3. В выбранном диагностическом пространстве предложен способ построения образов, соответствующих следующим техническим состояниям узлов ЦПГ: условно исправны; наличие задиров; наличие неплотностей.
4. Разработан способ выявления разрегулировки цикловой подачи и фазы впрыска топлива.

1. Бакут П.А., Большаков И.А. и др. Вопросы статистической теории радиолокации. Под ред. Г.П. Татаковского. — Т.1. — М.: Сов. Радио, 1963. — 424 с.

2. 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.

3. Дьяконов В.П., Круглов В. Математические пакеты расширения MATLAB: специальный справочник. СПб.: Питер, 2001.

4. Ле Ван Дием. Модели и алгоритмы технического диагностирования силовых дизельных установок в процессе эксплуатации. / Автореф. дисс. на соискание ученой степени канд. техн. наук. — Санкт-Петербург, 2006. — 24 с.

5. Марченко Б.Г., Мысливич М.В. Теория диагностики энергоагрегатов по девиации вращающихся узлов и ее практическая реализация на дизель-электрических генераторах. Ч.1 // Техн. электродинамика. — 1998. — № 5. — С. 36—40.

6. Марченко Б.Г., Мысливич М.В. Теория диагностики энергоагрегатов по девиации вращающихся узлов и ее практическая реализация на дизель-электрических генераторах. Ч.2. // Техн. электродинамика. — 1998. — № 6. — С. 39—42.

7. Марченко Б.Г., Мысливич М.В. Теория диагностики энергоагрегатов по девиации вращающихся узлов и ее практическая реализация на дизель-электрических генераторах. Ч.3. // Техн. электродинамика. — 1999. — №1. — С. 59—63.

8. Марченко Б.Г., Мысливич М.В. Теория диагностики энергоагрегатов по девиации вращающихся узлов и ее практическая реализация на дизель-электрических генераторах. Ч.4. // Техн. электродинамика. — 1999. — № 4. — С. 40—45.

9. Станиславский Л.В. Техническое диагностирование дизелей. — Киев: Вища школа. — 1983. — 135 с.

Надійшла 20.11.2008