

*А.Н. БОРИСЕНКО*, канд. техн. наук, *С.А. ЛИТВИНЕНКО*

### ВОПРОСЫ ВЫБОРА ИНФОРМАТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ И ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ ДЛЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И ДИАГНОСТИКИ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРОВ

Пропонується після обробки тахограми кутової швидкості валу агрегату скласти гістограми та криві, що згладжують, за Пирсоном, а далі асиметрію та ексцес використовувати в якості діагностичних ознак.

We propose build histogram and smoothing curves by Pyrson after processing of shaft angular velocity, and use asymmetry and excess as diagnostic parameters in next.

**Постановка проблеми.** 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, которые необходимо выбрать.

**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 информативного сигнала. Например, в работах [4, 5] в качестве таковой был использован периодически коррелированный случайный процесс, низшие моменты которого (дисперсия и корреляционная функция) используются в качестве диагностических признаков, и позволяют обнаружить неисправный цилиндр.

**Цель статьи** – выбрать математическую модель неравномерности вращения вала дизеля с учетом случайного ее характера и физической природы происходящих в тепловом двигателе явлений, а затем на ее базе определить новые информативные параметры, которые бы позволили увеличить глубину диагностирования.

По своей физической природе дизель-генератор является объектом циклического действия и его угловая скорость содежит три составляющие: постоянную (среднее значение), переменную (отклонение мгновенной скорости от среднего значения, что может характеризовать дисперсию) и импульсную составляющую, имеющую место при резких изменениях тока генератора. Поскольку указанная угловая скорость подвержена влиянию множества случай-

ных факторов (подача топлива, воздухообеспечение, изменение нагрузки и т.д.), ее можно рассматривать как случайный процесс  $\xi(t)$ , к которому в качестве математической модели в полной мере подходит линейный периодический случайный процесс (ЛПСЦ).

**Определения и основные характеристики ЛПСЦ.**  $\xi(t)$ ,  $t \in (-\infty, \infty)$  - периодический в широком смысле случайный процесс, если существует такое  $T > 0$ , для которого одномерная и двумерная функции распределения удовлетворяют условиям:

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

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

Условия стохастической периодичности по Слуцкому

1)  $\varphi(\tau, t) \in L_2(-\infty, \infty)$  по  $\tau$  при всех  $t$  - однозначная непрерывная по  $t$  функция;

2)  $\eta(t)$ ,  $\eta(0) = 0$  - стохастически непрерывный гильбертов процесс с независимыми приращениями.

3) существуют действительные числа  $T > 0$ ;  $\alpha \in (-\infty, \infty)$  такие, что при всех  $\tau$  и  $t$   $\varphi(\tau, t) = \varphi(\tau + \alpha T, t + T)$ , и выполняются соотношения

$$dx_1(\tau) = dx_1(\tau + \alpha T),$$

$$dx_2(\tau) = dx_2(\tau + \alpha T),$$

$$d_x d_\tau L(x, \tau) = d_x d_\tau L(x, \tau + \alpha T),$$

где  $x_1(\tau)$  и  $x_2(\tau)$  - первые кумулянтные функции процесса  $\eta(t)$ ;  $L(x, \tau)$  - его пуассоновский спектр скачков в форме Леви.

Как пояснялось выше процесс  $\xi(t)$  можно рассмотреть как ЛПСЦ. Для определения типа распределения процесса изменения скорости вала (см. рис. 1) реализации были обработаны с использованием программы гистограммного анализа с последующим сглаживанием полученных гистограмм по системе кривых Пирсона.

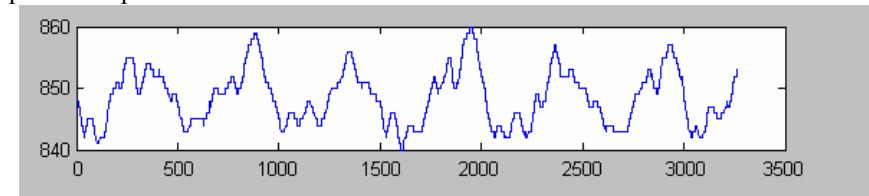


Рис. 1.

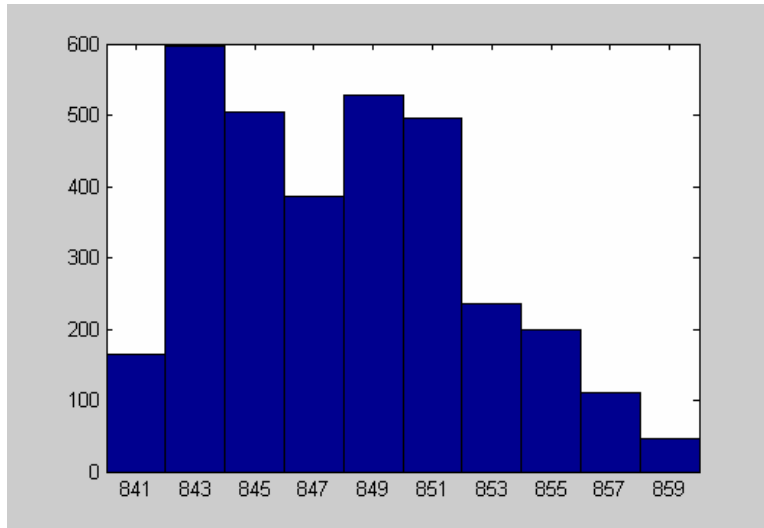


Рис. 2.

На рис. 2 представлены результаты такой обработки в виде гистограмм и сглаживающих эти гистограммы кривых. Общий объем выборки данных для обработки составил 720 элементов. Приведённые гистограммы (см. рис. 2) могут быть сглажены как 1-ым так и 9-ым типом кривых, входящих в систему кривых Пирсона. Этим типам кривых соответствуют следующие аналитические выражения [7]:

1 тип

$$p(x) = 0,75501 \cdot 10^6 \left| 1 + \frac{x}{-0,45740 \cdot 10^7} \right|^{0,40921} \cdot \left| 1 - \frac{x}{0,16101 \cdot 10^5} \right|^{1,59934},$$

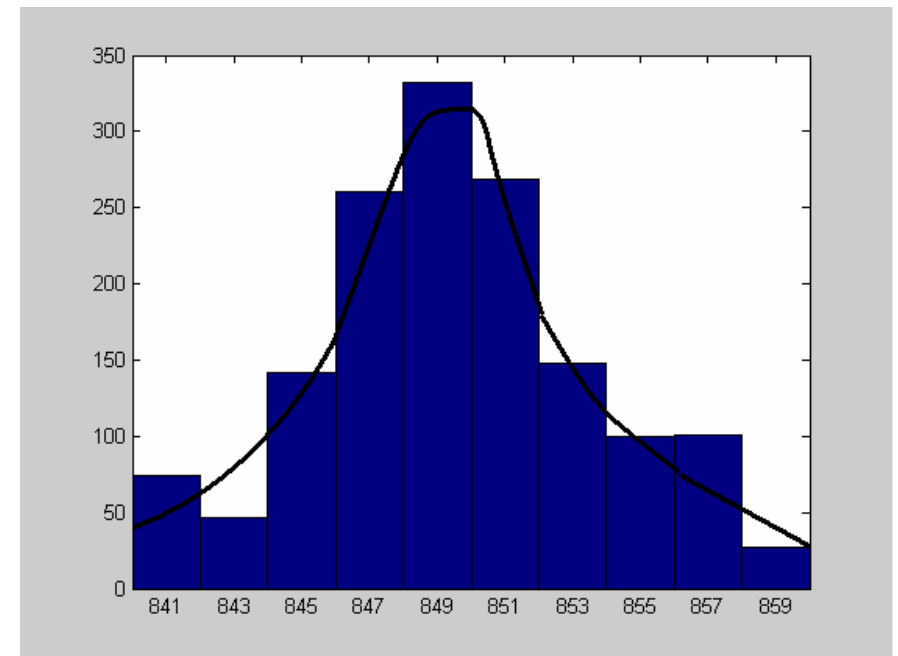
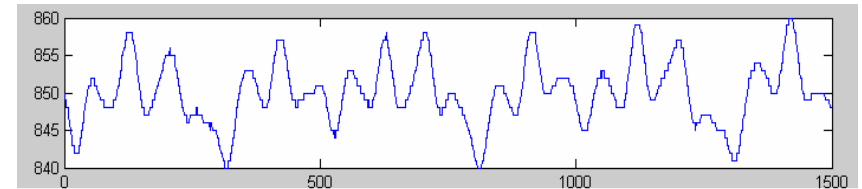
$$-a_1 < x < a_2.$$

9 тип

$$p(x) = 0,13036 \cdot 10^7 \left| 1 + \frac{x}{-0,13441 \cdot 10^{-5}} \right|.$$

Итак, выполнено теоретическое обоснование применимости математической модели ЛПСР для описания девиации угловой скорости вала дизель-генератора и выбраны диагностические признаки. На рис. 3, 4 для несколь-

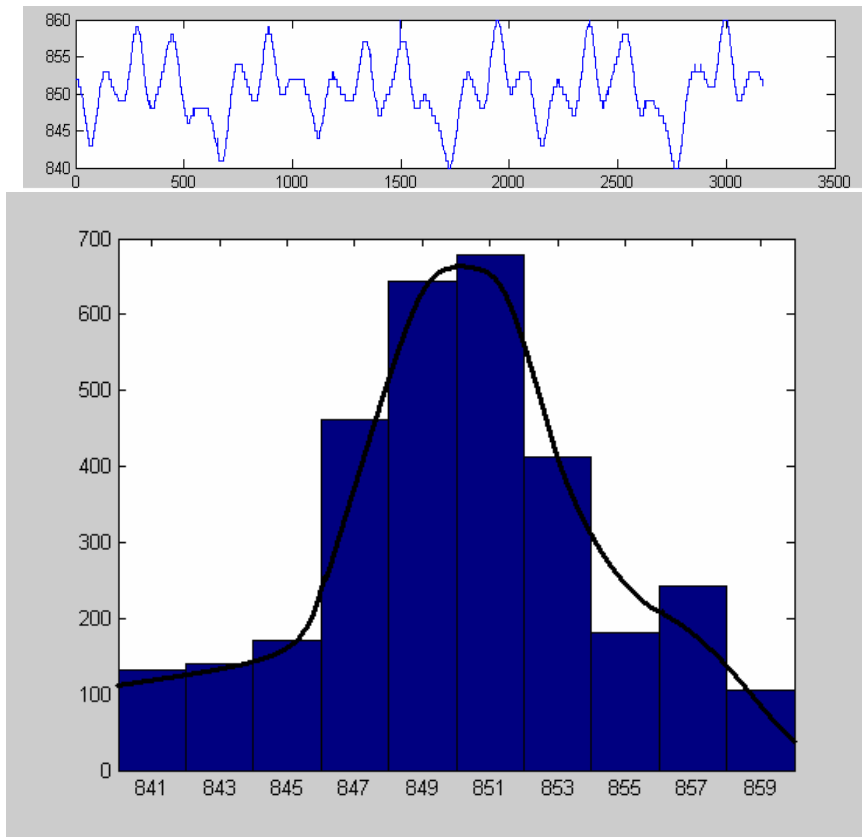
ких режимов работ тепловозного дизель-генератора 10D100 с разными дефектами приведены реализации девиации угловой скорости, гистограммы и сглаживающие кривые по Пирсону.



$$k = 0,0188;$$

$$j = -0,1294$$

Рис. 3



$$k = -0,0763; j = -0,0393$$

Рис.4

Для этих кривых найдены асимметрия и эксцесс[7]

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

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

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

Величина  $n$  составляла в среднем 1260 на один оборот вала, а число оборотов вала за время измерения составляло 50?70.

Полученные результаты показывают, что при изменении технического состояния двигателя изменяется асимметрия.

**Выводы.** Проведенные исследования показали, что ЛПСР-модель целесообразна при описании девиации угловой скорости дизель-генератора, а асимметрия и эксцесс такого случайного процесса реагируют на изменение технического состояния дизель-генератора и могут быть использованы в качестве диагностических признаков.

В дальнейшем имеет смысл установить диапазоны изменения  $k$  и  $j$  и выполнить идентификацию этих диапазонов конкретным типам дефектов или неисправностей силовой установки.

**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 ПКСР, 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. *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.

Поступила в редколлегию 22.11.07