

А.Н. БОРИСЕНКО, канд. техн. наук, **П.С. ОБОД**, аспирант,
Е.В. ХАЛАНСКАЯ, **Н.С. БОГОМОЛОВА**

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕВИАЦИИ УГЛОВОЙ СКОРОСТИ ВАЛА ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРА И ПОЛУЧЕНИЕ ИНФОРМАТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ И ДИАГНОСТИКИ НА БАЗЕ ГИСТОГРАММНОГО АНАЛИЗА

У статті пропонується після обробки тахограми кутової швидкості валу агрегату скласти гістограми та криві, що згладжуються, 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 проблемы: Развитие железнодорожного транспорта и увеличение выполняемого им грузооборота требует неуклонного повышения технико-экономических и эксплуатационных показателей тепловозных энергетических агрегатов.

Взаимосвязь технического состояния и девиации угловой скорости вращения коленчатого вала предоставляет возможность диагностики неработоспособных цилиндров по указанному параметру.

Анализ литературы: В рассмотренных источниках литературы диагностирование дизелей производится либо по сигналам множества датчиков режимных параметров агрегата либо по сигналу датчика неравномерности вращения вала. [1-6]

Цель статьи: Разработка имитационной модели девиации угловой скорости коленчатого вала дизель-генератора, а также получение информативного параметра из реального сигнала и его модели.

В процессе анализа диаграмм неравномерностей вращения коленчатого вала с целью установить зависимости и значения величин, по которым будет возможно определять неисправности в результате исследования были проведены следующие шаги:

- построение модели сигнала неравномерностей вращения коленчатого вала, с использованием разложения в ряд Фурье имеющихся реализаций;
- анализ гистограмм по коэффициентам эксцесса и асимметрии, обработка диаграмм методом наименьших квадратов.

Для моделирования был проведен анализ в математическом пакете Matlab. Была разработана программа, в которой вводился периодический сигнал и для него были рассчитаны несколько десятков коэффициентов

Фурье.

Тригонометрический ряд Фурье для функции, интегрируемой на отрезке $(1; n)$, имеет следующий вид:

$$f(x) = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^n (a_k \cos kx + b_k \sin kx)$$

Коэффициенты тригонометрического ряда Фурье называют коэффициентами Фурье и вычисляют по формулам Эйлера-Фурье:

$$a_k = \sum_{i=0}^{n-1} f(x) \cos k \frac{i \cdot \pi}{n/2}, \quad b_k = \sum_{i=0}^{n-1} f(x) \sin k \frac{i \cdot \pi}{n/2}$$

Далее приведен код реализации нахождения коэффициентов Фурье:

```
%poboQuality – дискретность шага
%y - матрица значений
%numAB - количество коэффициентов
function R=pobo_fourier(y,numAB,poboQuality)
sizeTemp = size(y,2);
n = poboQuality;
poboStep = sizeTemp / n;
for k = 0:numAB -1

    %init of A(k+1) for further change
    %we use k+1 for avoidance from 0-element in matrix
    R(k+1,1) = 0;
    R(k+1,2) = 0;

    for i = 0:n-1
        % A
        poboCos = cos (k * (i * pi / (n / 2)));
        index = round(poboStep * i + 1);
        d = y(index) * poboCos;
        R(k+1,1) = R(k+1,1) + d;

        % B
        poboSin = sin (k * (i * pi / (n / 2)));
        d = y(index) * poboSin;
        R(k+1,2) = R(k+1,2) + d;
    end;

    R(k+1,1) = R(k+1,1) * 2 / n;
    R(k+1,2) = R(k+1,2) * 2 / n;
end;
```

На рис.1, 2 приведены осциллограммы реального сигнала девиации на дизель-генераторе 10Д100. При этом рис. 2 соответствует исправному агрегату, а рис. 1 – агрегату с отключенным вторым цилиндром.

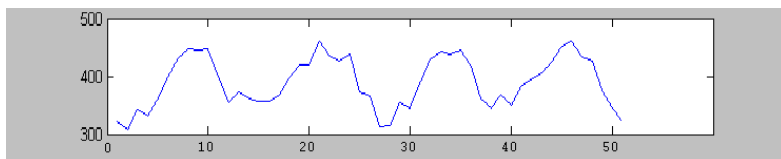


Рис. 1. Осциллограмма девиации угловой скорости при отключенном втором цилиндре

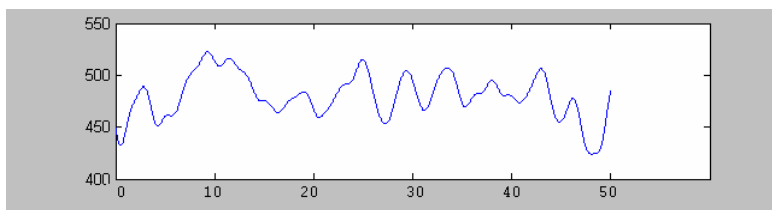


Рис. 2. Осциллограмма девиации угловой скорости на исправном агрегате

Первые двадцать коэффициентов Фурье приведены в табл. 1.

Таким образом. Реальный сигнал девиации угловой скорости вала аппроксимируется рядом Фурье с 20, 40 и 60 гармониками, что соответствует рис.3, 4 и 5.

Как показал расчет, оптимальное количество коэффициентов – 40, после этого количества коэффициенты существенно не влияют на результат функции моделирования, что видно из сравнения рис. 1-5.

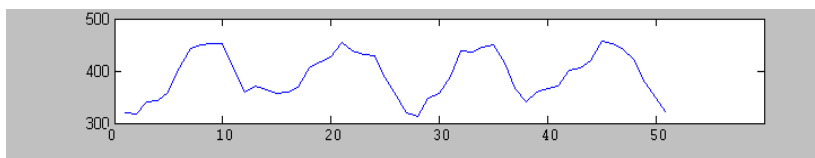


Рис. 3. Периодический сигнал с 20 коэффициентами

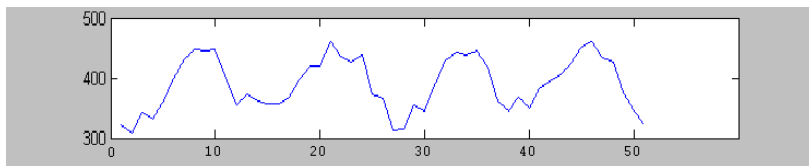


Рис. 4. Периодический сигнал с 40 коэффициентами

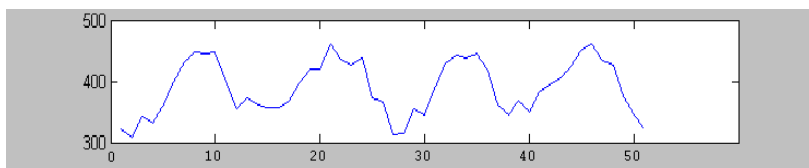


Рис. 5. Периодический сигнал с 60 коэффициентами

Таблица 1

	A		B	
	неработающий 2-й цилиндр	исправный	неработающий 2-й цилиндр	исправный
1	785,91	957,17	0,00	0,00
2	-1,67	-0,35	0,19	3,23
3	-9,90	-6,41	-7,09	2,24
4	-7,14	-2,75	3,39	1,60
5	-45,46	-9,89	-33,95	7,73
6	-3,23	-3,16	5,65	-1,22
7	2,38	-9,07	-8,37	2,77
8	-1,21	3,58	1,78	-3,27
9	-1,74	0,89	4,31	-2,66
10	0,23	4,05	6,20	-1,68
11	-0,54	-0,14	-3,35	4,60
12	-0,35	1,36	-0,61	0,19
13	-0,72	1,87	2,41	1,33
14	-1,40	-1,86	2,84	4,66
15	-5,15	2,56	-4,42	2,98
16	-1,50	-4,01	0,77	-4,66
17	2,83	-0,55	0,11	1,29
18	2,03	-0,65	-2,06	3,23
19	1,80	0,09	1,71	2,05
20	-2,73	-7,17	-4,73	0,40

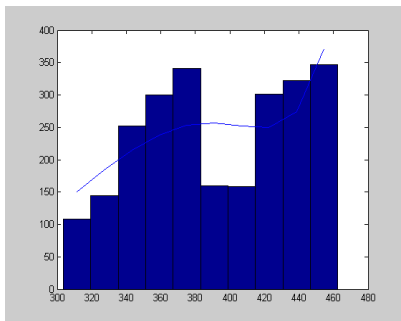
Следовательно. Математической моделью реального сигнала девиации

будем считать полигармонический периодический сигнал с 40 гармониками.

При таком количестве коэффициентов реализация цифровой модели на элементах схемотехники является нецелесообразным. Было принято решение на данном этапе ограничиться математическим моделированием на базе пакета *Matlab* (в т.ч. *Simulink*).

Следующим этапом исследования были анализ диаграмм, обработки гистограмм методом наименьших квадратов и расчет коэффициентов асимметрии и эксцесса.

Были проанализированы диаграммы неравномерностей вращения коленчатого вала дизеля для режима с одним отключенным цилиндром и полностью рабочими цилиндрами (Далее приведены гистограммы: слева для реального сигнала, а справа – для аппроксимирующего сигнала).



$$k = -0.1194 \quad j = -1.2270$$

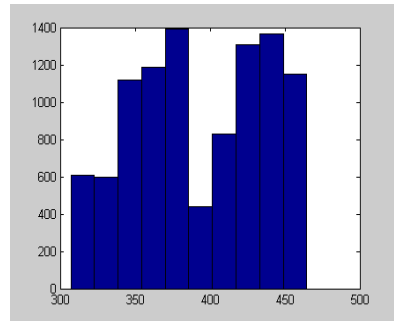
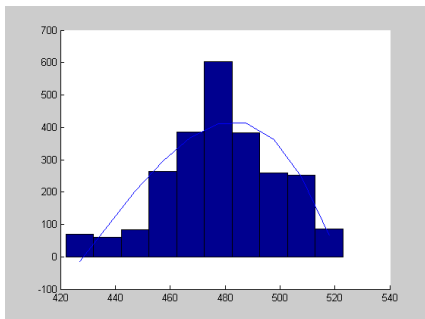


Рис. 6 (отключен второй цилиндр)



$$k = -0.2972 \quad j = -0.0216$$

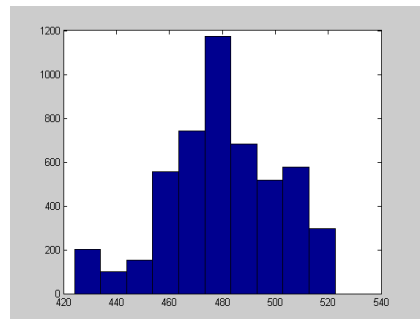


Рис. 7 (штатный режим)

На рис. 1-5 по оси абсцисс отложен номер точки отсчета, а не оси ординат – мгновенная угловая скорость коленчатого вала в об/мин. На рис. 6,

7 по оси абсцисс отложена угловая скорость вала в об/мин, а по оси ординат – количество точек. Соответствующих данной угловой скорости вала.

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

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

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

Полученные данные показали, что по коэффициентам асимметрии и эксцесса практически возможно установить неисправность. Кроме того, анализируя гистограммы, можно сделать вывод, что в случае исправного агрегата распределения унимодальные, а при наличии неисправного цилиндра – бимодальные.

Выводы. 1) разработана математическая модель реального сигнала девиации угловой скорости вала в виде периодического полигармонического сигнала; 2) установлено, что для решения задач диагностики число гармоник этого сигнала должно быть не менее 40. в этом случае гистограмма, а также коэффициенты асимметрии и эксцесса для реального и аппроксимирующего сигналов мало отличаются друг от друга.

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.-24стр. 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 цилиндро-поршневой группы дизель-электрического генератора.//Техн. электродинамика. – 1999. - №4. – с. 40-45.

Поступила в редколлегию 30.05.08