

УДК 621.1

## СОЗДАНИЕ МЕТОДИКИ АНАЛИЗА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СПЕКТРА ВИБРОСИГНАЛА

Яценко В.А., научный сотрудник, НИИГМ им. Фёдорова,  
Федоров Е.Е., канд. техн. наук, доц., Донецкий институт  
автомобильного транспорта

*Предложена методика анализа энергетического спектра вибросигнала, основанная на методах цифровой обработки сигнала.*

*The method of analysis of power spectrum of vibrosignal, based on the methods of the digital signal processing, is offered.*

### ***Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.***

При анализе неисправностей машин и оборудования и, в частности, шахтной подъемной машины важную роль играет исследование ее подшипниковых опор, которое базируется на вибродиагностике. Точность выдаваемого прогноза может быть повышена за счет использования методов искусственного интеллекта, и в частности аппарата теории распознавания образов. Для решения этой задачи в статье предлагается методика анализа энергетического спектра вибросигнала.

***Постановка задачи.*** Целью данной работы является разработка методики анализа энергетического спектра вибросигнала, основанной на методах цифровой обработки сигнала.

***Изложение основного материала исследования с полным обоснованием полученных научных результатов.***

В качестве измерительных и регистрирующих средств использовался виброанализатор «Топаз» производства ООО «Диамех» (г. Москва, Россия) и пьезоэлектрический акселерометр типа ВИПРА 057 (рис.1).

Экспериментальные данные были получены на двухклетевой шахтной подъемной установке 2Ц 6×2,4 шахты «Краснолиманская» Измерения проводились в вертикальном направлении, клеть пустая.

### ***Техническая характеристика прибора «Топаз»***

Количество каналов 1-8

Частотный диапазон 0,3Гц-40 кГц

АЦП 12 бит

Усиление 91,6 дБ

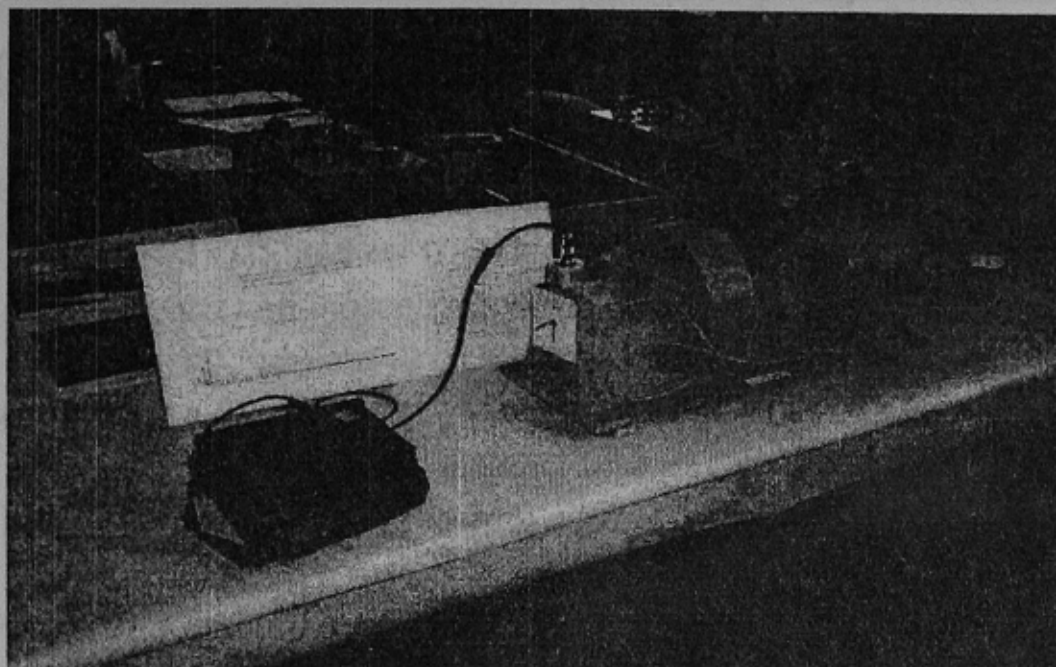


Рисунок 1 - Виброанализатор «Топаз» с акселерометром.

Объем памяти – 4 Мбт

Погрешность измерений – не более 5%.

*Методика проведения эксперимента.*

1. Измерение производилось с помощью виброанализатора «Топаз».

2. Пьезоакселерометры устанавливались на подшипниковых опорах в вертикальном направлении при движении пустой клетки вниз.

3. Запись временной характеристики вибросигнала начиналась в начальный момент движения подъемной машины и продолжалась 80 секунд.

4. Частотный диапазон измерений от 2 до 200 Гц.

В дальнейшем результаты измерений обрабатывались и выделялся энергетический спектр.

*Расчет информативных частот*

а) частота вращения ротора  $f_1$  (Гц)

$$f_1 = \frac{n_r}{60},$$

где  $n_r$  - частота вращения ротора (об/мин);

б) частота вращения сепаратора относительно наружного кольца  $f_2$  (Гц)

$$f_2 = \frac{\left(1 - \frac{D_m}{D_0} \cos \varphi\right)}{2} f_1, \quad \varphi = \alpha \frac{\pi}{180}, \quad D_0 = \frac{D_n - D_v}{2},$$

где  $\alpha$  - угол контакта тел вращения с подшипником (градус),

$D_n$  - посадочный размер наружного кольца (мм),

$D_v$  - посадочный размер внутреннего кольца (мм),

$D_m$  - диаметр тела качения (мм);

в) частота вращения сепаратора относительно внутреннего кольца  $f_3$  (Гц)

$$f_3 = \frac{\left(1 + \frac{D_m}{D_0} \cos \varphi\right)}{2} f_1, \quad \varphi = \alpha \frac{\pi}{180}, \quad D_0 = \frac{D_n - D_v}{2};$$

г) частота вращения тел качения относительно наружного кольца  $f_4$  (Гц)

$$f_4 = f_2 \cdot N_m,$$

где  $N_m$  - количество тел качения;

д) частота вращения тел качения относительно внутреннего кольца  $f_5$  (Гц)

$$f_5 = f_3 \cdot N_m;$$

е) частота вращения тел качения вокруг собственной оси  $f_6$  (Гц)

$$f_6 = \frac{D_0 \left(1 + \frac{D_m^2}{D_0^2} \cos^2 \varphi\right)}{2 D_m} f_1, \quad \varphi = \alpha \frac{\pi}{180}, \quad D_0 = \frac{D_n - D_v}{2}$$

ж) частота вращения ротора с учетом зубчатой муфты

$$f_7 = f_1 \cdot N_z$$

где  $N_z$  - количество зубьев зубчатой муфты.

*Методика анализа энергетического спектра вибросигнала*

1) Расчет информативных частот  $f_1 - f_7$ , их первых десяти гармоник и формирование из них множества  $K_{иф}$

2) Аппаратно-программное вычисление энергетического спектра посредством виброанализатора «Топаз»

Прямое дискретное преобразование Фурье сигнала  $x(n)$  длиной  $N$  представлено в виде (1)

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) e^{-j(2\pi/N)nk}, \quad k \in \overline{0, N-1} \quad (1)$$

Энергетический спектр вычисляется согласно (2)

$$W(k) = |X(k)|^2 \quad (2)$$

3) Выделение строгих максимумов из энергетического спектра

$$W_{см}(k) = \begin{cases} W(k), & W(k-1) < W(k) > W(k+1) \\ 0, & \text{иначе} \end{cases} \quad (3)$$

4) Применение порога  $P$  к полученному спектру  $W_{см}(k)$

$$W_{смп}(k) = \begin{cases} W_{см}(k), & W_{см}(k) > P \\ 0, & \text{иначе} \end{cases}, \quad (4)$$

$$P = \frac{\sum_{k=0}^N W_{см}(k)}{M}, \quad (5)$$

где  $M$  - количество частот с ненулевой амплитудой.

5) Выбор частот с ненулевой амплитудой, соответствующих информативным из спектра  $W_{см}(k)$

$$W_{смтиф}(k) = \begin{cases} W_{см}(k), & W_{см}(k) > 0 \wedge k \in K_{иф} \\ 0, & \text{иначе} \end{cases} \quad (6)$$

6) Анализ амплитуд частот спектра  $W_{смтиф}(k)$

Для проведения численного исследования методика анализа энергетического спектра вибросигнала была программно реализована.

Для подъемной установке 2Ц 6х2 были определены следующие входные переменные:  $n_b=22.6$  об/мин,  $\alpha=12^\circ$ ,  $D_n=980$  мм,  $D_b=600$  мм,  $D_m=50$  мм,  $N_m=85$ ,  $N_3=25$ .

На рис.2-6 приведены: информативные частоты в диапазоне от 0 до 200 Гц (рис.2), исходный энергетический спектр виброскорости (рис.3), с выделением строгих максимумов (рис.4), с выделением строгих максимумов превышающих порог (рис.5), с выделением строгих максимумов превышающих порог и соответствующих информативным частотам (рис.6), полученные от подшипника в вертикальном положении.

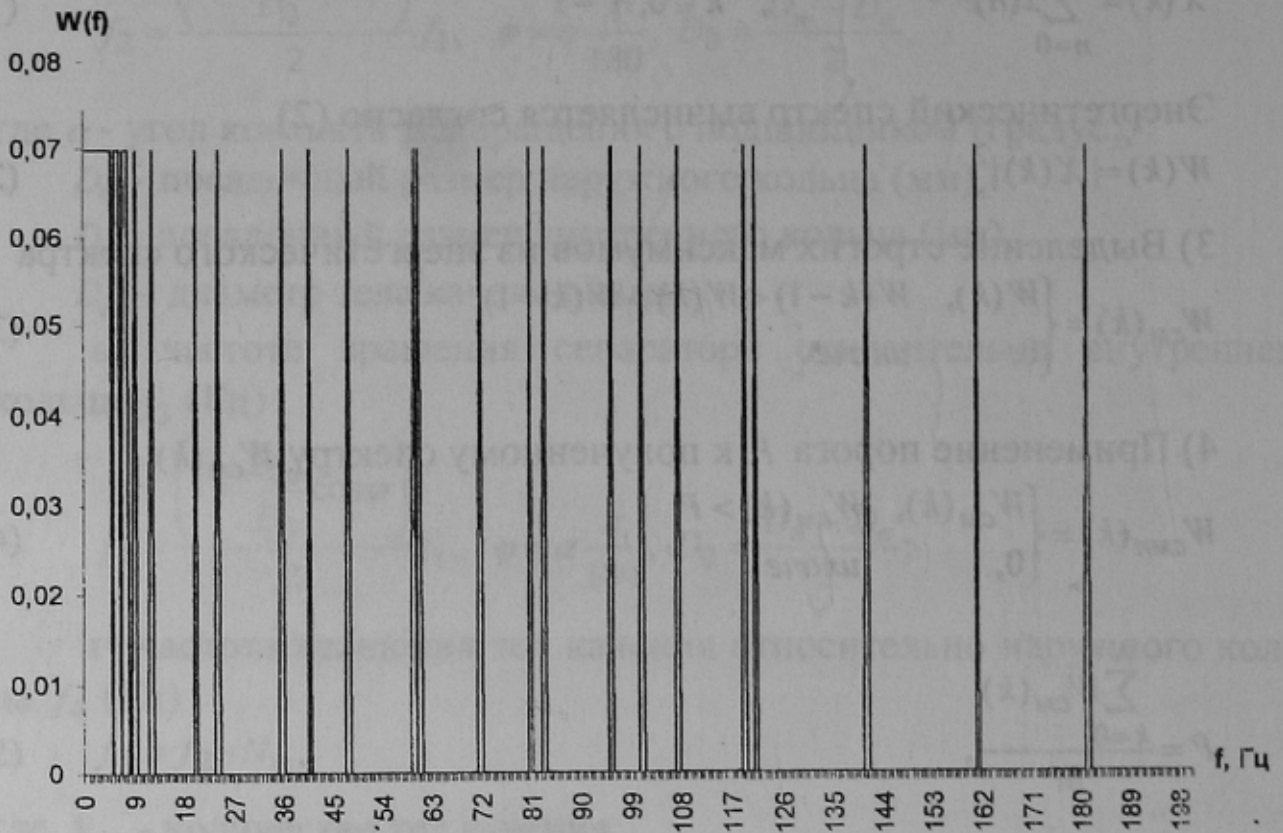


Рисунок 2 - Информативные частоты

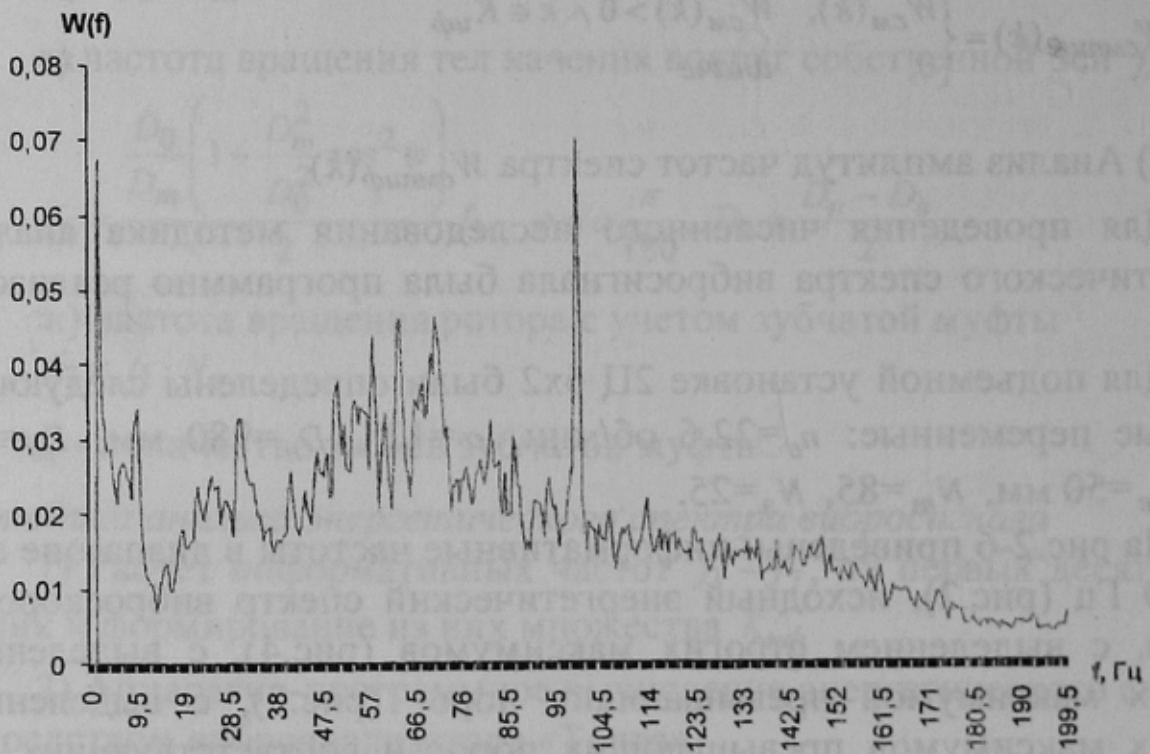


Рисунок 3 - Энергетический спектр сигнала

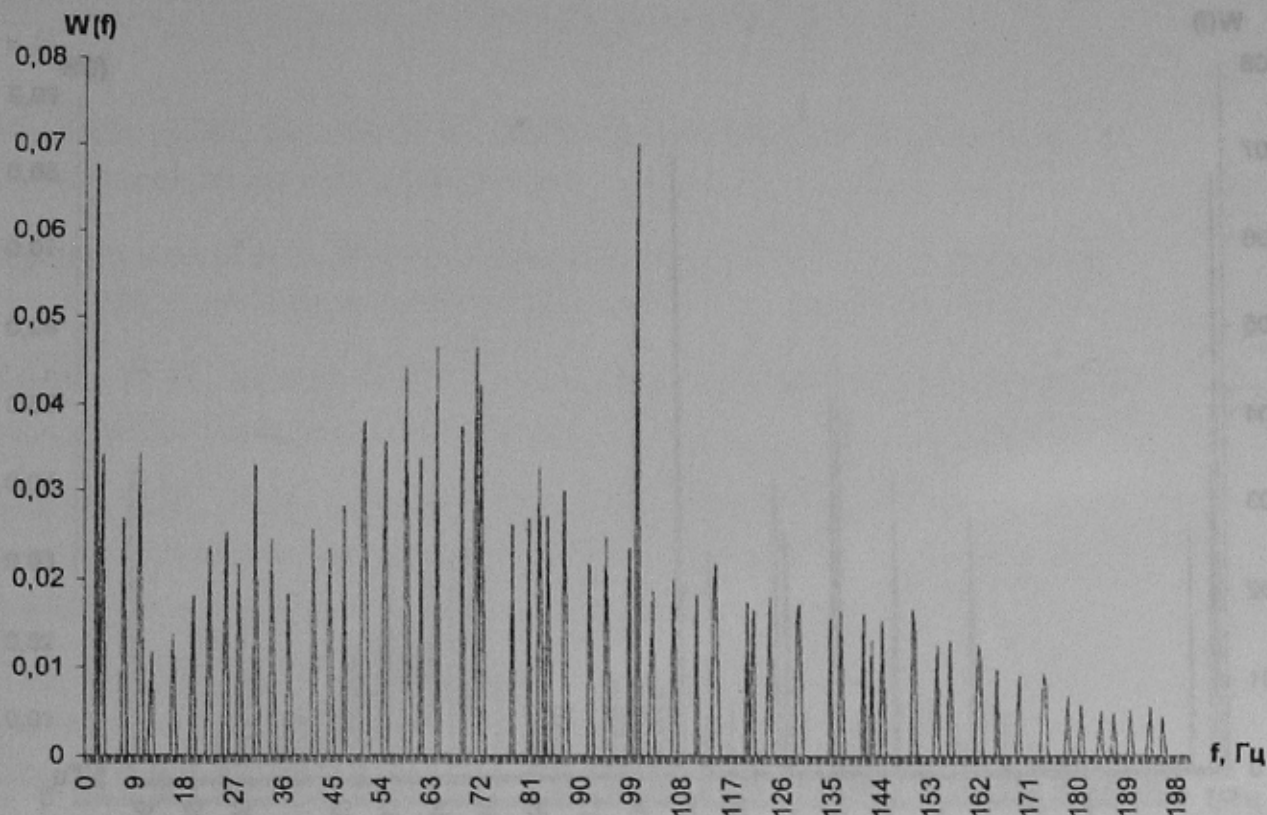


Рисунок 4 - Энергетический спектр сигнала с выделением строгих максимумов

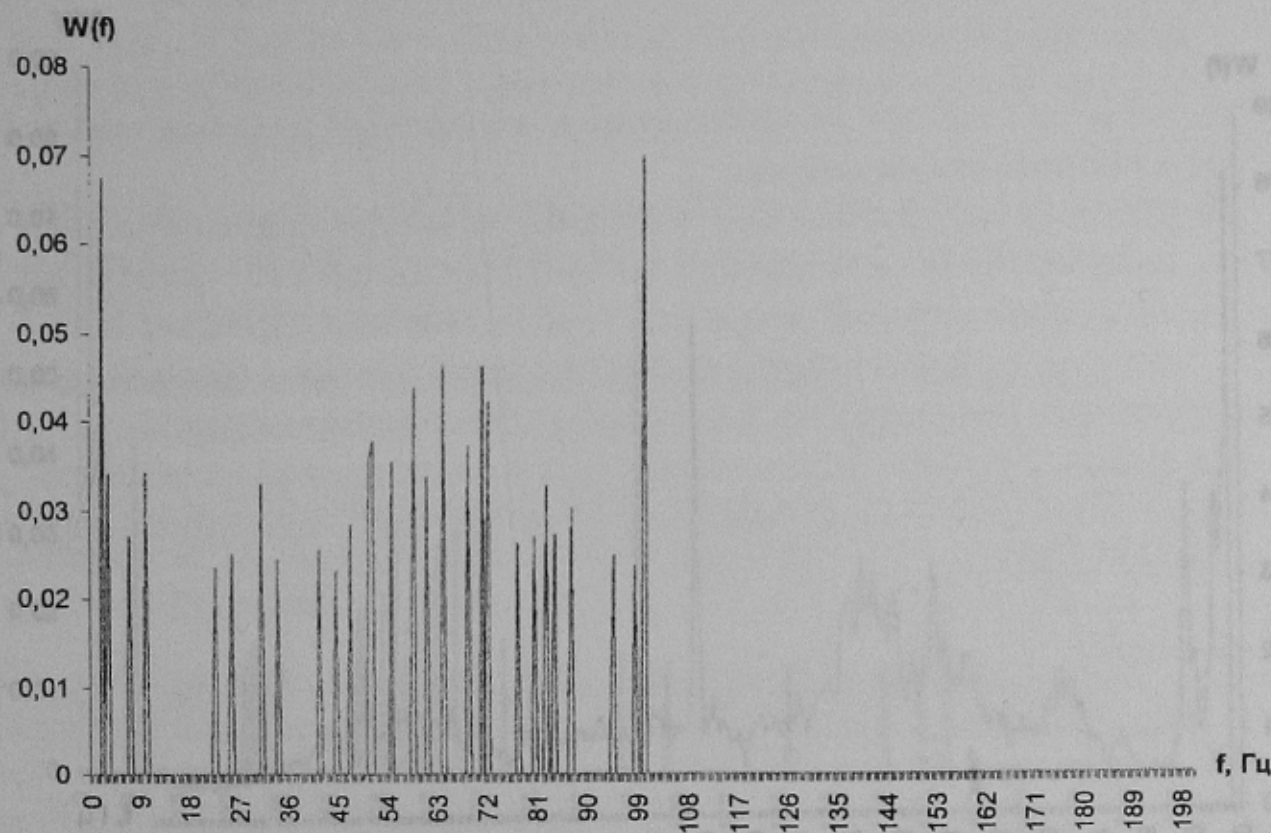


Рисунок 5 - Энергетический спектр сигнала с выделением строгих максимумов превышающих порог

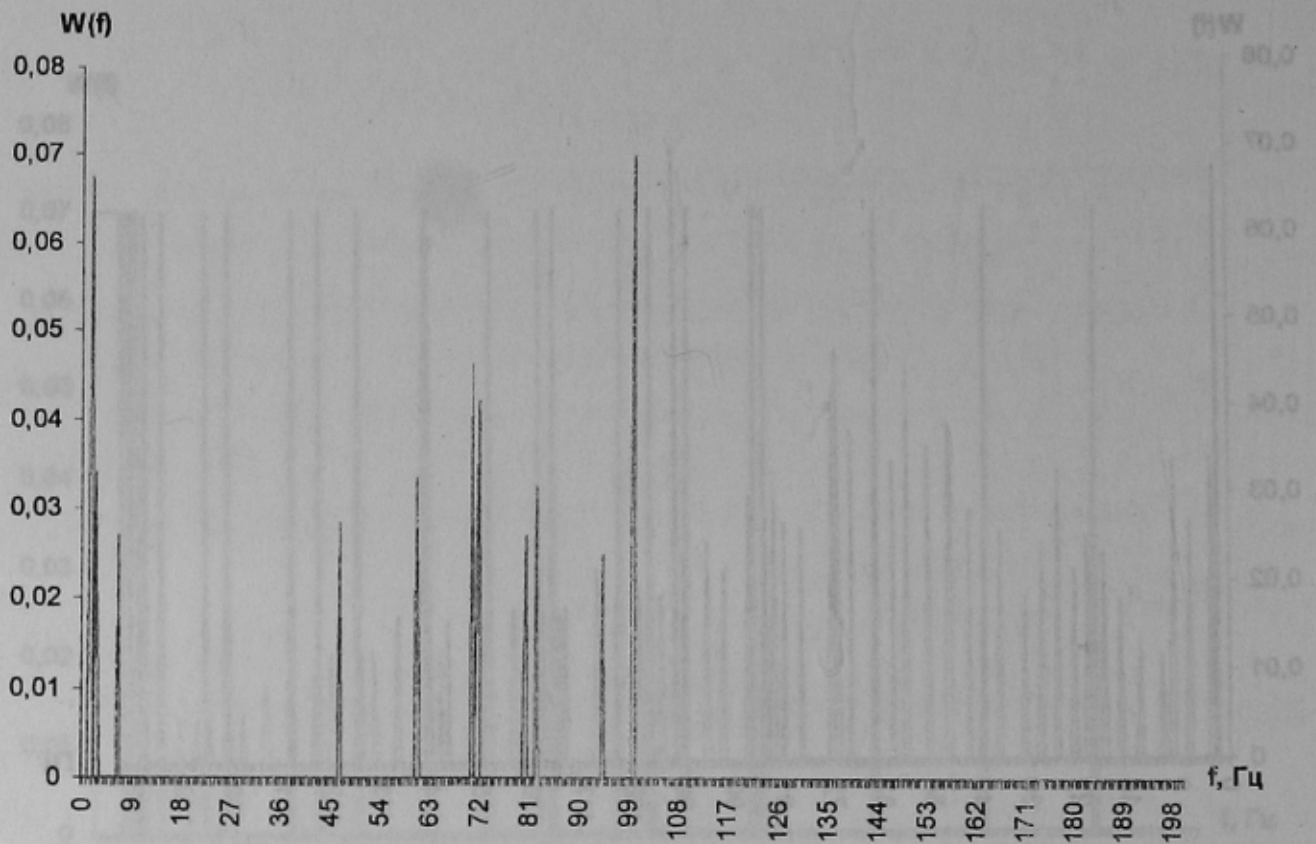


Рисунок 6 - Энергетический спектр сигнала с выделением строгих максимумов превышающих порог и соответствующих информативным частотам

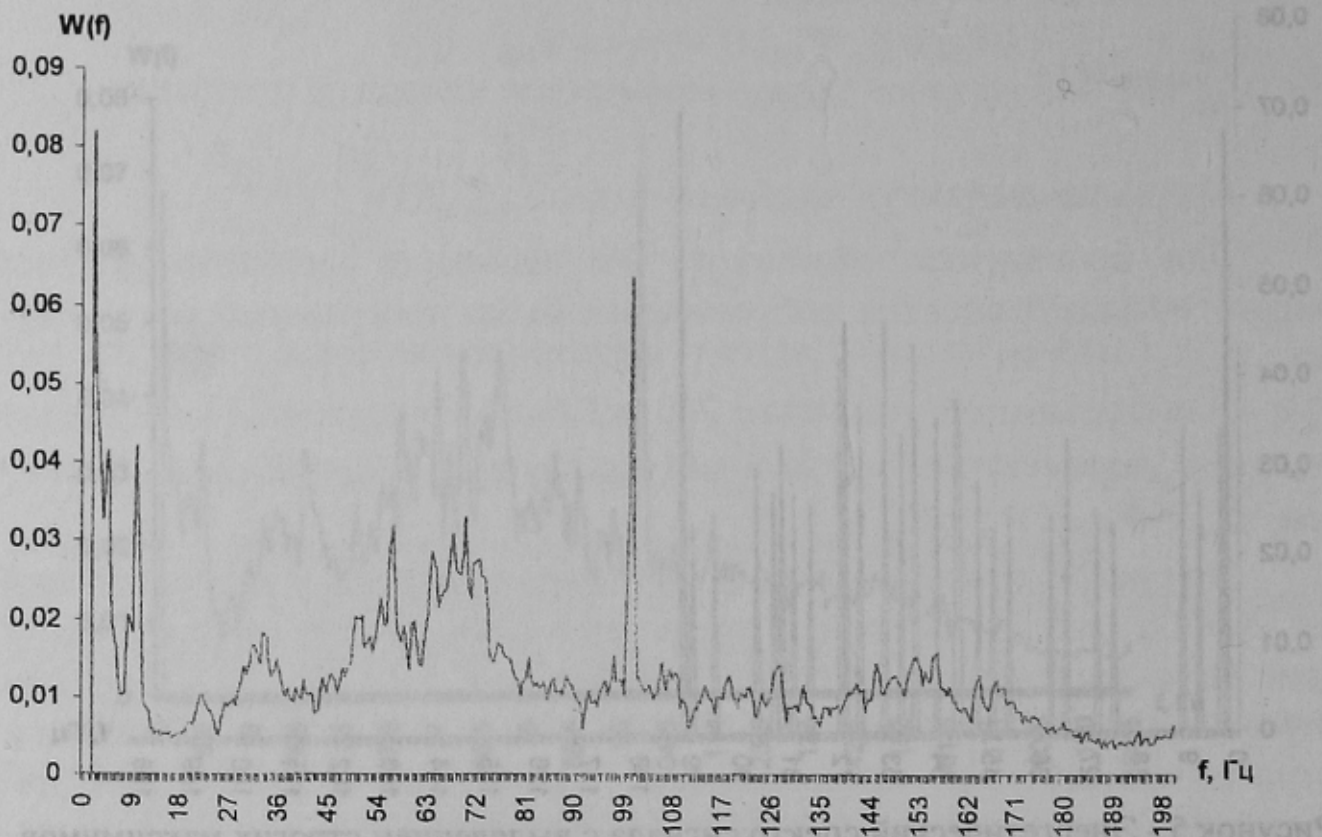


Рисунок 7 - Энергетический спектр сигнала

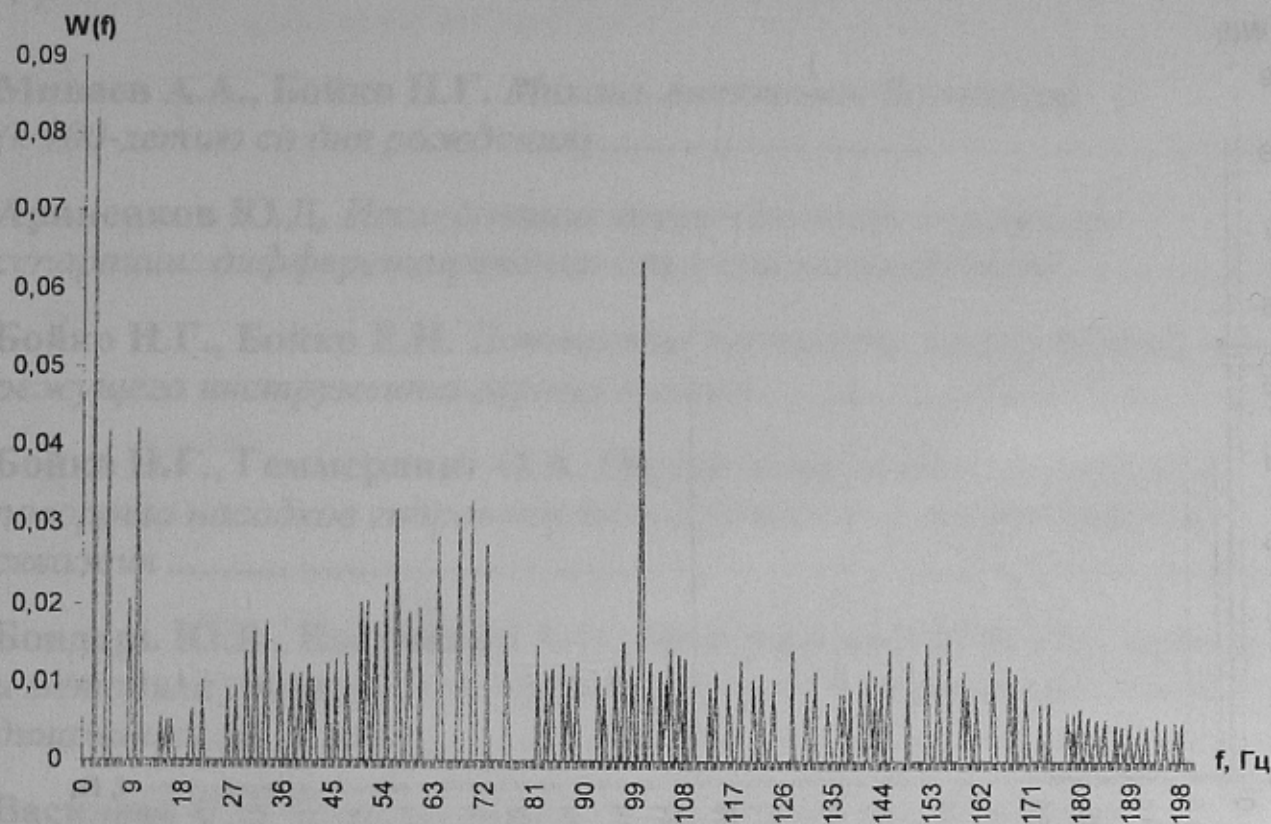


Рисунок 8 - Энергетический спектр сигнала с выделением строгих максимумов

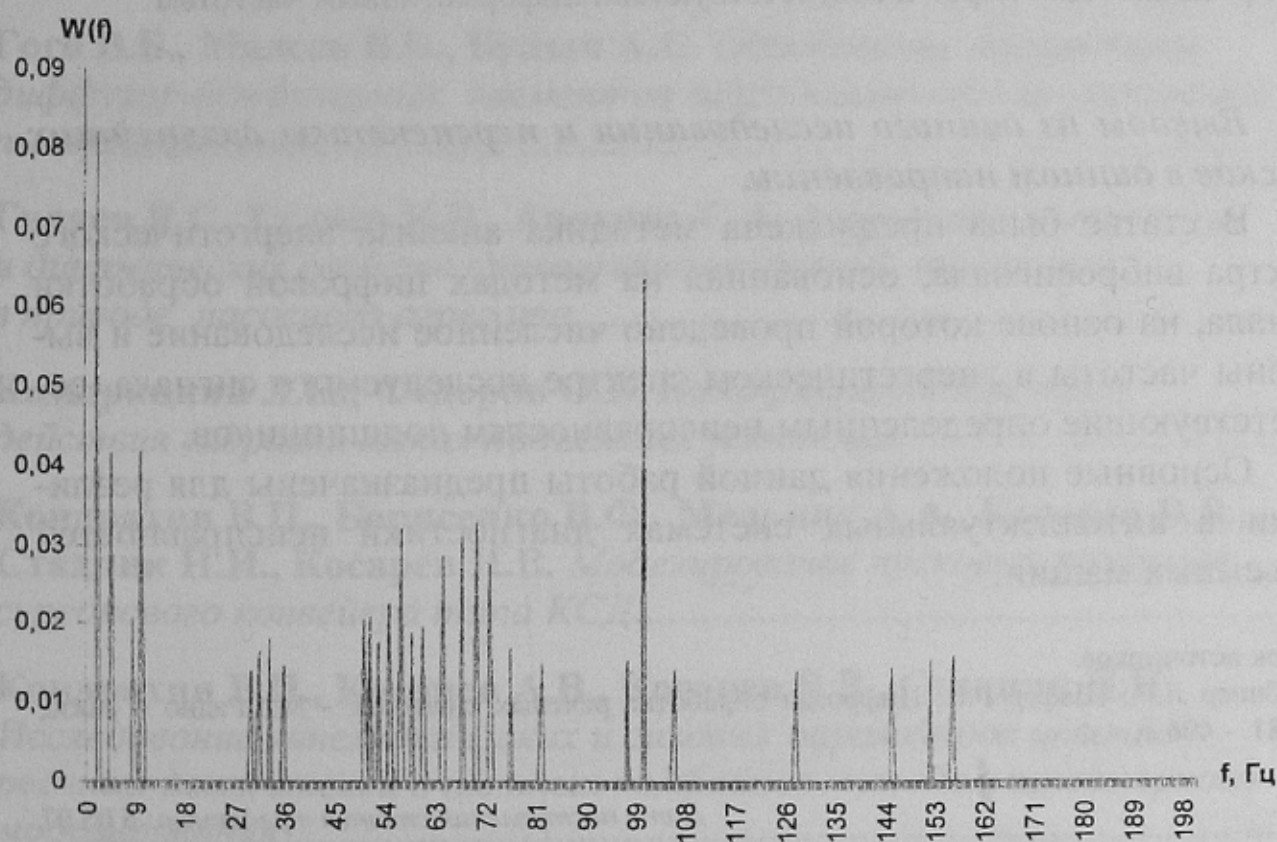


Рисунок 9 - Энергетический спектр сигнала с выделением строгих максимумов превышающих порог



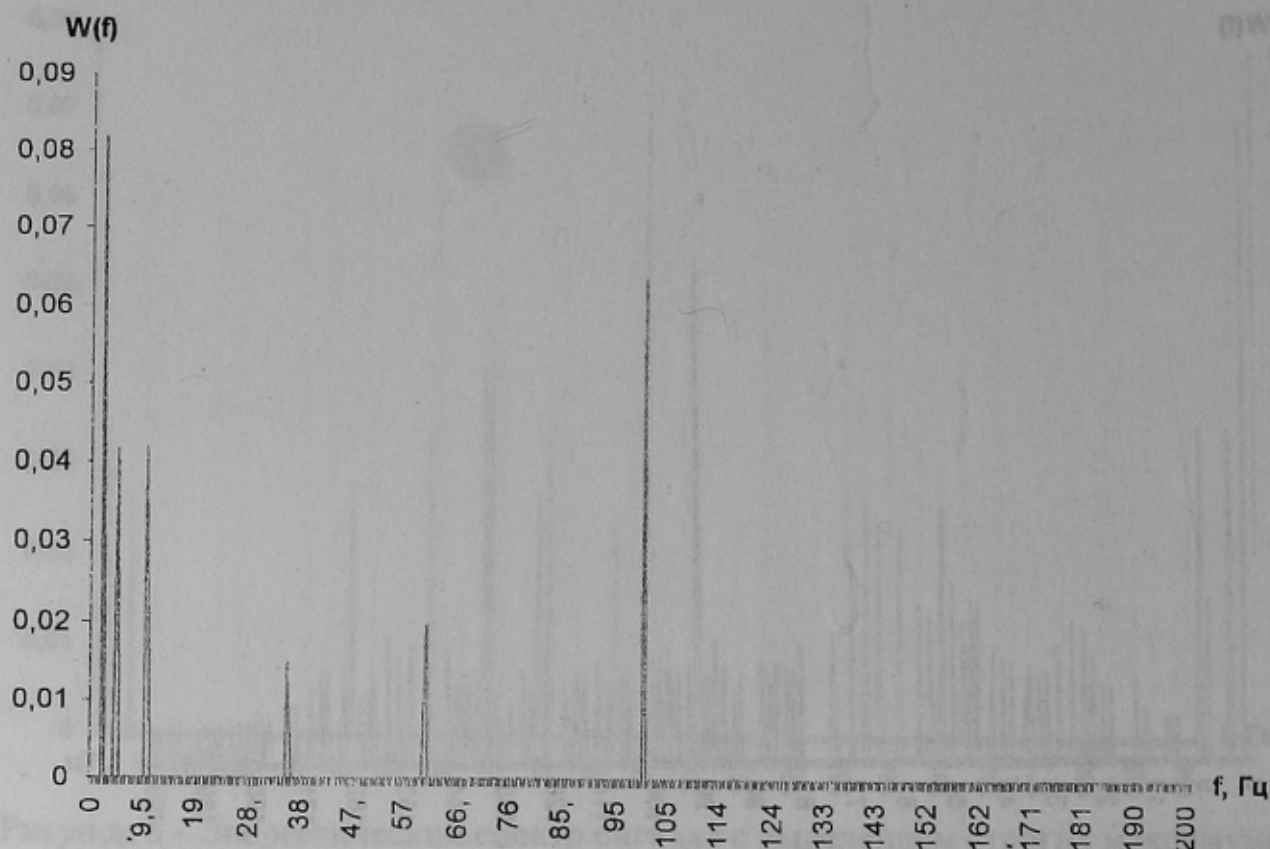


Рисунок 10 - Энергетический спектр сигнала с выделением строгих максимумов превышающих порог и соответствующих информативным частотам

### *Выводы из данного исследования и перспективы дальнейших поисков в данном направлении.*

В статье была предложена методика анализа энергетического спектра вибросигнала, основанная на методах цифровой обработки сигнала, на основе которой проведено численное исследование и выделены частоты в энергетическом спектре исследуемого сигнала, соответствующие определенным неисправностям подшипников.

Основные положения данной работы предназначены для реализации в интеллектуальных системах диагностики неисправностей подъемных машин.

#### Список источников.

1. Рабинер Л.Р., Шафер Р.В. Цифровая обработка речевых сигналов. - М.: Радио и связь, 1981. - 496 с.

Дата поступления статьи в редакцию: 5.05.07