

**УДК 681.518.4**

Герике Борис Людвигович, профессор, д.т.н.

(Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН, Кемерово)

Мокрушев Андрей Александрович, аспирант

(Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН, Кемерово)

Gerike Boris, professor, doctor of technical sciences.

(The Federal Research Center of Coal and Coal Chemistry of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Kemerovo)

Mokrushev Andrey, postgraduate

(The Federal Research Center of Coal and Coal Chemistry of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Kemerovo)

**ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ДЕФЕКТОВ  
ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ В ОПОРНЫХ УЗЛАХ ГОРНЫХ МА-  
ШИН  
SOFTWARE PACKAGE FOR DEFECT DETECTION  
ROLLING BEARINGS IN THE BEARING NODES OF MINING MA-  
CHINERY**

Аннотация. В статье рассмотрен подход к распознаванию дефектов подшипников качения, используемых в различных узлах и агрегатах горных машин и оборудования на основе вейвлет преобразования виброакустических сигналов, генерируемых различными дефектами, возникающих в опорных элементах приводных, преобразующих и исполнительных механизмов горношахтного оборудования.

Annotation. The article describes the approach to the recognition of defects in rolling bearings used in various components and assemblies of mining machines and equipment based on vibroacoustic wavelet transform signals generated by various defects that arise in the support elements of drive, conversion and executive mechanisms of mining equipment

Целью работы является разработка программного комплекса и алгоритма интерпретации случайного процесса вибрации на базе общей математической модели при диагностике состояния подшипников качения горной машины.

Высокая информативность и относительная простота измерения параметров вибрации определили широкое распространение методов вибродиагностики в машиностроении [1, 2, 3, 4].

Одной из основных характеристик технического состояния динамического оборудования и смежных конструкций является интенсивность и структура вибрационных процессов. Функциональные особенности

приводов горных машин создают условия для развития локальных дефектов, порождающие импульсные процессы во взаимодействиях кинематических пар узлов и деталей.

Практические дефекты создают серии импульсов, которые имеют малоамплитудный широкополосный спектр и зачастую принимаются за шум. Известно, что подобные дефекты развиваются лавинообразно и приводят к непредвиденным остановкам оборудования, поэтому их диагностика требует получения информации о дефекте на ранних этапах его развития [5, 6, 7]. Существующие способы диагностики состояния подшипников качения в основном базируются на анализе Фурье-спектра, такой подход достаточно эффективен, т.к. спектр, представляя усредненные за период частотные характеристики, скрывает дефекты.

Наиболее эффективен метод прямого спектра, метод базируется на анализе спектра вибрации – выявлении периодичности (частоты) появления амплитудных всплесков (рис. 1) и по частотному составу спектра можно идентифицировать возникновение и развитие дефектов подшипника. Каждому дефекту на элементах подшипника соответствуют свои частоты, которые зависят от кинематики подшипника и скорости его вращения.

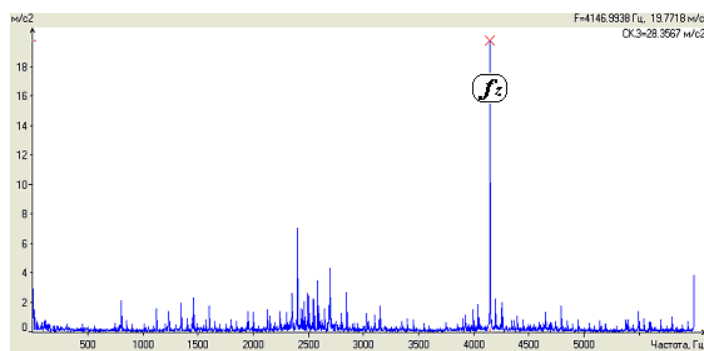


Рис.1. Спектр вибрационного сигнала

Достоинства метода:

- Высокая помехозащищённость.
- Возможна оценка состояния элементов подшипника, поскольку они генерируют разные частотные ряды в спектре.

Недостатки метода:

- Метод малочувствителен к зарождающимся и слабым.

Параметры ударных импульсов определяются степенью развития и локализации дефекта поэтому, могут служить его достоверными диагностическими признаками [6, 7].

В 70-х годах 20-го века появились, так называемые, вейвлет-методы (методы всплесков) [7-9].

На вейвлет-функцию накладываются два ограничения:

- она должна быть достаточно локализована (обращаться в ноль при удалении от начала координат);
- интеграл от функции на  $(-\infty; +\infty)$  должен быть равен нулю [8, 9, 10].

Само вейвлет-преобразование выглядит следующим образом

$$W_{\Psi} f(a, b) = \frac{1}{\sqrt{C_{\Psi}}} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{|a|}} \Psi \left( \frac{b-x}{a} \right) f(x) dx, \quad (1)$$

где  $\Psi$  – вейвлет функция,  $a$  – масштаб,  $b$  – сдвиг.

Нормирующий коэффициент равен

$$C_{\Psi} = 2\pi \int_{-\infty}^{\infty} \frac{|\Psi(\omega)|^2}{|\omega|} d\omega < \infty, \quad (2)$$

где  $\Psi(\omega)$  – Фурье образ вейвлета  $\Psi$ .

По своей сути вейвлет-преобразование является представлением сигнала в виде одинаковых по форме коротких «всплесков», которые можно сдвигать и растягивать по временной оси (рис. 2)[11].

Следовательно, задача разработки программного комплекса для оценки технического состояния подшипниковых узлов, на базе метода прямого спектра и вейвлет-преобразования является актуальной при диагностике состояния подшипников качения.

Для работы с программным комплексом необходимо ввести исходные значения, параметры подшипника (рис. 3). Далее можно производить вычисления.

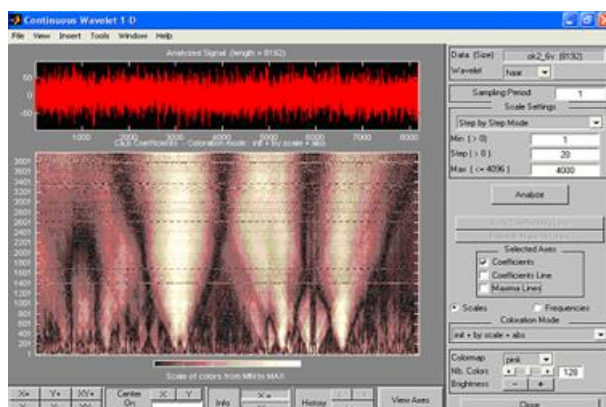


Рис. 2. Вейвлет-преобразование Хаара спектра вибросигнала, представленного на Рис. 1

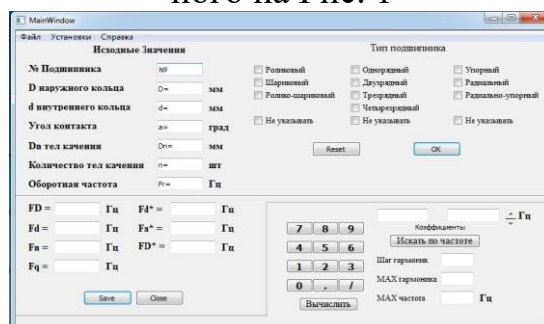


Рис. 3. Интерфейс программы

С использованием программного комплекса, появляется возможность в достаточной мере точно оценить исследуемую неисправность

подшипникового узла, прогнозировать остаточный ресурс узла или агрегата, предупреждать возникновения аварийных отказов.

#### Список литературы

1. Герике Б.Л., Хорешок А.А., Дрозденко Ю.В. Обеспечение качества выпускаемой продукции заводов горного машиностроения.// Вестник КузГТУ. № 5, 2016. – С. 33 – 40.
2. Предложения по внедрению на предприятии концепции технического обслуживания и ремонта горнотранспортной техники и оборудования./ И.М. Щадов, В.Ю. Конюхов, А.В. Чемезов, Т.С. Беляевская// ГИАБ – № 12. – 2015. – С. 134-143.
3. Диагностика неполадок подшипников./ NSK Motion & Control, 2009. – 42 р.
4. Кузин Е.Г., Герике Б.Л. Диагностика технического состояния редукторов шахтных ленточных конвейеров.// ГИАБ – № 8. – 2017. – С. 47-55.
5. Kelly, S. Graham. Advanced vibration analysis. 2013. – 637 p. — (Dekker mechanical engineering).
6. Травин А.А. Контроль вибрации машин при производстве.// ГИАБ – № 6. – 2017. – С. 172-176.
7. Wen, C.; Dong, L.; Jin, X. Feature Extraction of Bearing Vibration Signals Using Second Generation Wavelet and Spline-Based Local Mean Decomposition, Journal of Shanghai Jiaotong University (Science), vol. 20, no. 1, pp. 56-60, (2015).
8. Астафьева Н.М. Вейвлет-анализ: основы теории и примеры применения. // Успехи физических наук, 1996, т.166, № 11. – С. 1145-1170.
9. Витязев В.В. Вейвлет-анализ временных рядов: Учеб. пособие. - СПб.: Изд-во С.-Петербур. ун-та, 2001. – 58 с.
10. Герике Б.Л., Клишин В.И., Герике П.Б., Мокрушев А.А. Интеллектуальное обслуживание редукторов горных машин// Статья Journal Of Maning and Geotechnical Engineering. 2018. NO.1.
11. Б.Л. Герике, Ю.В. Дрозденко, П.Б. Герике, Е.Г. Кузин, А.А. Мокрушев. Распознавание дефектов подшипников качения в редукторах горных машин по параметрам вибрационного сигнала.// Горное оборудование и электромеханика. № 5, 2017. – С. 43 – 48.