

УДК 537.86
АНАЛИЗ СПЕКТРА ГИЛЬБЕРТА ВИБРАЦИОННЫХ СИГНАЛОВ
ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ МНОЖЕСТВЕННОЙ
ЭМПИРИЧЕСКОЙ ДЕКОМПОЗИЦИИ МОД

КАН ШОУЧЯН, ВАН ЮЙЦЗИН, *А. В. МИКУЛОВИЧ,
*В. И. МИКУЛОВИЧ
«ХАРБИНСКИЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
*«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Харбин, Китай; Минск, Беларусь

Подшипники качения являются наиболее распространенным элементом конструкции большинства роторных машин и механизмов и для повышения ресурса и надежности эксплуатируемых машин необходима совершенная система диагностирования их текущего технического состояния [1].

В последнее время для обработки сигналов сложной структуры таких, например, как вибрация машин и их отдельных узлов, все чаще начинает применяться преобразование Гильберта-Хуанга (ННТ), которое представляет собой совокупность эмпирической декомпозиции мод (EMD) и гильбертова спектрального анализа [2]. ННТ в целом представляет собой частотно-временной анализ сигналов и не требует априорного функционального базиса. Функции базиса в этом случае получаются адаптивно непосредственно из самих данных процедурами просеивания. После разложения сигнал $x(t)$ можно представить в следующем виде:

$$x(t) = \sum_{i=1}^n c_i(t) + r(t), \quad (1)$$

где $c_i(t)$ – существенные модальные функции (intrinsic mode function – IMF), или эмпирические моды; $r(t)$ – остаток, который может быть некоторым трендом или постоянной величиной.

Однако для вибрационных сигналов подшипников качения, как правило, только в некоторых компонентах IMF содержится информация, позволяющая определить изменение их технического состояния. Выбор таких компонентов большей частью является субъективным. В [3, 4] для преодоления этого предложен метод множественной эмпирической декомпозиции мод (ensemble empirical mode decomposition – EEMD), суть которого состоит в многократном добавлении к анализируемому сигналу белого шума с различной дисперсией, разложении на эмпирические моды IMFs и нахождении среднего значения каждой из них. В результате исходный сигнал $x(t)$ будет представлен таким образом:

$$x(t) = \sum_{i=1}^n y_i(t) + r(t), \quad (2)$$

где $y_i(t) = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K c_{ik}(t)$ – компоненты IMFs, полученные усреднением эмпирических мод $c_i(t)$ по K разложениям исходного сигнала $x(t)$.

После этого выбор наиболее информативных компонент IMFs предлагается осуществлять по максимальному значению коэффициента корреляции $r_{xy}^i(t)$ между каждой усредненной IMFs $y_i(t)$ и исходным сигналом $x(t)$. Коэффициент корреляции вычисляется обычным образом:

$$r_{xy}^i = \frac{\sum_{l=1}^N (x_l - \bar{x})(y_l - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{l=1}^N (x_l - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{l=1}^N (y_l - \bar{y})^2}}, \quad (3)$$

где x_l – выборки исходного сигнала $x(t)$; $y_l(t)$ – выборки соответствующей IMFs; \bar{x} и \bar{y} – их средние значения; N – объем выборок; $i = 1, 2, \dots, n$.

Были исследованы вибрационные сигналы подшипника качения модели 6205 со следующими конструктивными параметрами: число тел качения $z = 9$, их диаметр $d = 7,94$ мм; наружный диаметр $D_1 = 52$ мм, внутренний диаметр $D_2 = 25$ мм. Частота вращения f_r примерно равна 29,95 Гц, частота дискретизации – 12000 Гц.

По формуле $f_0 = \frac{1}{2} f_r \left(1 - \frac{d}{D} \cos \alpha \right) z$, где $D = \frac{1}{2} (D_1 + D_2)$ была рассчита-

тана частота дефекта внешнего кольца подшипника, численное значение которой составляет 107,3 Гц.

Вибрационный сигнал подшипника был разложен на 10 компонентов эмпирических мод. При использовании алгоритма EEMD вычисленные значения коэффициента корреляции для компонент IMFs $y_1(t)$, $y_2(t)$ и $y_3(t)$ были равны 0,6667, 0,9389, 0,3544 соответственно. Эти компоненты и были выбраны для дальнейшего анализа.

На рис. 1 представлен трехмерный спектр Гильберта. Видно, что вблизи составляющей с частотой 3000 Гц наблюдается частотная модуляция, и присутствует спектральная компонента на частоте, примерно равной 108,3 Гц и достаточно близкой к расчетной частоте дефекта внешнего кольца.

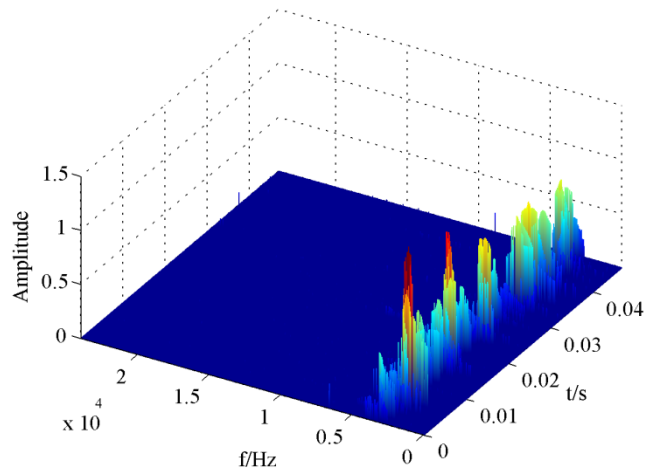


Рис. 1. Трехмерный спектр Гильберта вибрационных сигналов подшипника качения

Таким образом, в результате проведенных исследований установлено, что анализ спектра Гильберта сигналов вибрации подшипников качения с использованием метода EEMD и предложенного алгоритма выбора эффективных компонентов IMFs позволяет лучше выявлять локальные детали сигналов и идентифицировать наличие дефектов подшипников качения.

Благодарности

Project supported by National Natural Science Foundation of China (Grant No. 51305109), the Technology Foundation for Selected Overseas Chinese Scholar, the Hei Long Jiang Postdoctoral Foundation, and the Specialized Research Fund for the Doctoral Program of Higher Education (Grant No. 20122303120010).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Барков, А. В.** Мониторинг и диагностика роторных машин по вибрации / А. В. Барков, Н. А. Баркова, А. Ю. Азовцев. – СПб. – 2000. – 159 с.
2. The empirical mode decomposition method and the Hilbert spectrum for non-linear and non-stationary time series analysis / N. E. Huang [et al.] // Proc. of the Roy Soc. A: Math., Phys. a. Engineering Sciences. – 1998. – Vol. 454. – P. 903–995.
3. **Wu, Z. H.** Ensemble empirical mode decomposition: a noise assisted data analysis method / Z. H. Wu, N. E. Huang // AADA. – 2009. – P. 1–41.
4. **Peng, Z. K.** A comparison study of improved Hilbert-Huang transform and wavelet transform. Application to fault diagnosis for rolling bearing / Z. K. Peng, P. W. Tse, F. L. Chu // MSSP. – 2005. – P. 974–988.

E-mail: kangshouqiang@163.com
falcon@tut.by