

УДК 629.12.05.594:647

## АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ СПЕКТРА МАКСИМУМОВ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВЫДЕЛЕНИЯ МОДУЛЯЦИОННЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ ВИБРАЦИИ ГТД

©2009 А. Е. Сундуков<sup>1</sup>, Е. В. Сундуков<sup>2</sup>, В. А. Николаев<sup>2</sup><sup>1</sup> Самарский государственный университет путей сообщения<sup>2</sup> ОАО «Моторостроитель»

На основе моделирования модулированных колебаний показано влияние ширины "окна" и выбранного частотного диапазона на эффективность выделения модулирующей составляющей спектром максимумов. Проведен сравнительный анализ спектра огибающей и спектра максимумов.

*Спектр огибающей, спектр максимумов, тестирование, модуляционные составляющие, ширина "окна"*

Спектр огибающей получил широкое распространение в виброакустической диагностике дефектов роторных машин [1,2]. Наряду с известными достоинствами метод обладает рядом недостатков, сужающих область его применения. Наиболее существенным для высокооборотных машин, к которым относятся ГТД, является ограниченность информативного частотного диапазона, связанная с необходимостью выделения узкополосного процесса. При использовании спектра максимумов такого ограничения нет [3]. Рассмотрим некоторые особенности анализа данных при его применении.

Представим широкополосный вибрационный процесс как сумму гармонических колебаний:

$$A(t) = \sum_{j=1}^L A_j \cos(\omega_j t + \varphi_j),$$

где  $A_j$ ,  $\omega_j$ ,  $\varphi_j$  - соответственно амплитуда, частота и начальная фаза  $j$ -й составляющей. Будем считать, что модулирующее колебание тоже содержит ряд гармоник

$$S(t) = \sum_{k=1}^n S_k \cos(\Omega_k t + \Phi_k),$$

где  $S_k$ ,  $\Omega_k$ ,  $\Phi_k$  - соответственно амплитуда, частота и начальная фаза  $k$ -й модулирующей составляющей.

Тогда суммарное колебание определится в виде

$$a(t) = \sum_{j=1}^L A_{cpj} \left[ 1 + \sum_{k=1}^n M_k \cos(\Omega_k t + \Phi_k) \right] \cos(\omega_j t + \varphi_j),$$

где  $A_{cpj}$  - среднее значение  $j$ -ой составляющей,  $M_k$  - парциальный индекс модуляции.

Выделив максимумы такого процесса можно получить функцию, содержащую информацию о модулирующих составляющих (рис. 1). На рисунке представлен спектр максимумов процесса в виде модуляции широкополосного шума суммой двух модулированных колебаний: 100 Гц, модулированное гармоникой на частоте 40 Гц, и 500 Гц, модулированное двумя гармониками на частотах 60 и 70 Гц. В отличие от огибающей узкополосного процесса здесь отсутствует ограничение на частотный диапазон, в котором они представлены.

Предлагаемый алгоритм обработки данных выглядит следующим образом. Исходный центрированный широкополосный процесс квантуется достаточно высокой частотой и производится поиск максимумов путем сравнения последовательных значений отсчетов. Методом «скользящего окна» (ширина окна 1, 3, 5, 7 и т.д. максимумов) выбираются новые значения максимумов (в каждом окне выбирается один максимум с наибольшим значением).

Проведем тестирование предложенного алгоритма с целью исследования его особенностей и сопоставления со спектром огибающей узкополосного процесса. При выделении узкополосной составляющей для спектра огибающей рекомендуется использовать зону с достаточно интенсивным шу-

мом. Тогда для тестирования предложенного алгоритма выберем широкополосный шум, модулированный гармонической составляющей с последовательно меняющейся частотой и постоянной величиной среднеквадратического значения (СКЗ). Для получения такого процесса был использован пакет обработки сигналов WinPOC expert

фирмы НПП «Мера». На рис. 2 приведены результаты обработки смоделированных процессов с использованием программы расчёта спектра максимумов. Ширина спектра шумовой составляющей  $0 \div 28800$  Гц.

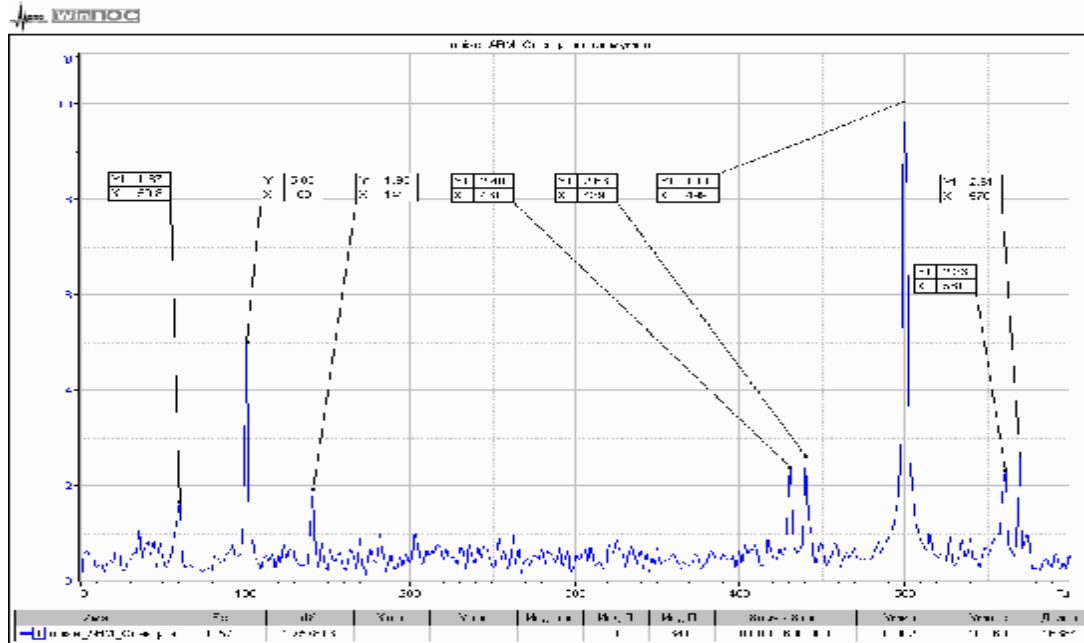


Рис. 1. Спектр максимумов широкоформатного шума модулированного сложным колебательным процессом

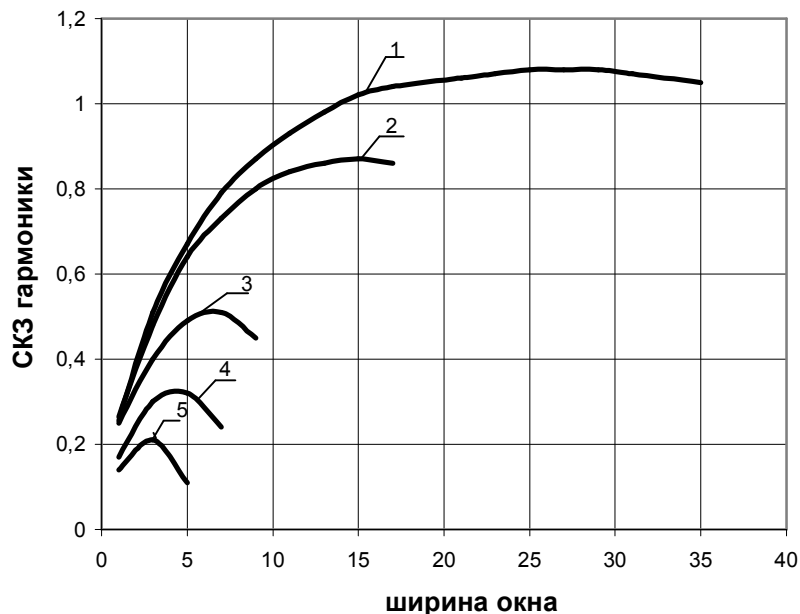


Рис. 2 Зависимость интенсивности модулирующей гармоники от ширины "окна" при нескольких значениях частоты: 1-500 Гц; 2-1000 Гц; 3-3000 Гц; 4-5000 Гц; 5-10000 Гц

Как видно из представленных данных уровень выделенной гармоники существенно зависит от её частоты и величины ширины "окна". Для каждой частоты имеется своё

максимальное значение. Такой вид зависимостей объясняется двумя противоположными тенденциями:

– с одной стороны расширение «окна» приводит к увеличению измеренного уровня;  
 – с другой - это расширение можно рассматривать как использование фильтра нижних частот с уменьшающейся частотой среза.  
 Наличие максимумов в представленных зависимостях позволяет выбрать опти-

мальное значение ширины "окна" в функции частоты (рис. 3):

- в диапазоне до 1000 Гц ширина "окна" - 15;
- в диапазоне от 1000 до 5000 Гц - 5;
- свыше 5000 Гц - 3.

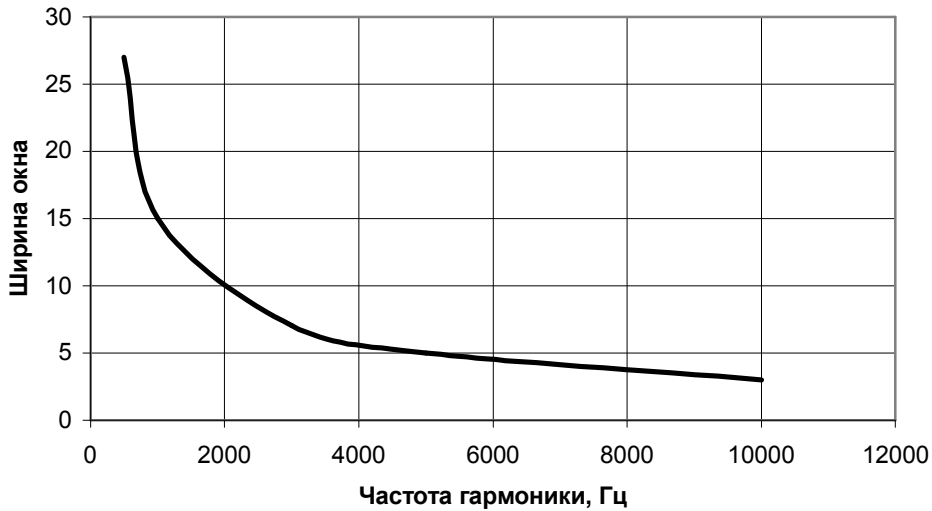


Рис. 3. Зависимость ширины "окна" от частоты модулирующей гармоники при максимальном значении её интенсивности

Было оценено влияние ширины исследуемого частотного диапазона на уровень выделенной гармоники. Оценка производилась для следующих значений ширины диапазона: 0-1000 Гц; 0-3000 Гц; 0-5000 Гц; 0-10000 Гц;

0-28800 Гц (рис. 4). Как видно из представленных данных, расширение частотного диапазона приводит практически к линейному увеличению интенсивности выделенной гармоники.

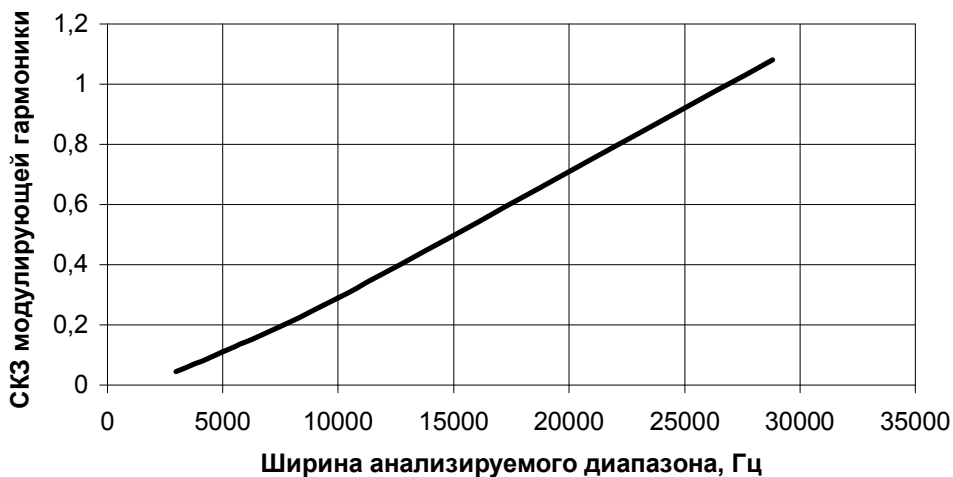


Рис. 4. Зависимость интенсивности модулирующей гармоники от ширины анализируемого частотного диапазона

Для сопоставления результатов получения модулирующей гармоники с использованием спектра максимумов и спектра

оггибающей узкополосного процесса последний выделялся 1/3 октавным фильтром с центральной частотой 20000 Гц (рис. 5).

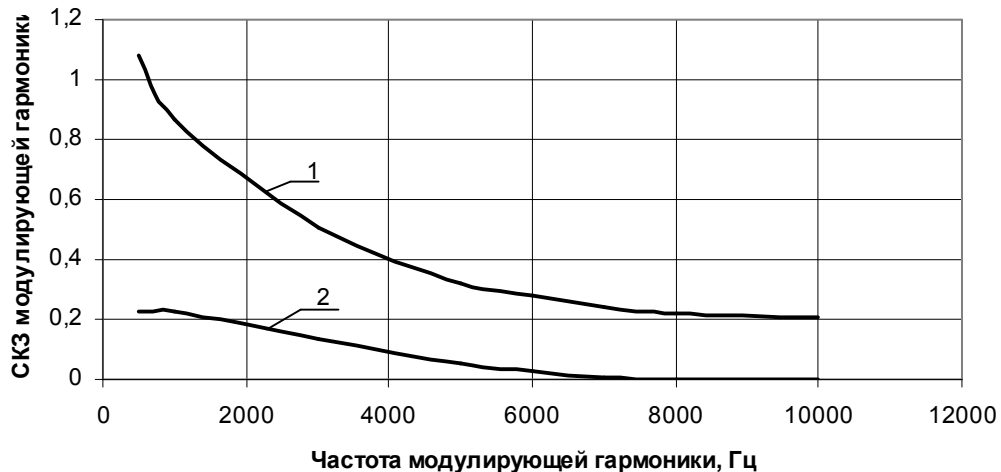


Рис. 5 Интенсивность модулирующей гармоники, выделенная спектром максимумов (1) и спектром огибающей (2)

Представленные данные показывают, что в диапазоне частот до 6000 Гц спектр максимумов существенно эффективнее спектра огибающей. Выше 6000 Гц спектр огибающей не позволяет идентифицировать модулирующую составляющую. Следует отметить, что во всех рассмотренных случаях автоспектр не обеспечивал выделение гармоники.

#### Библиографический список

1. Барков, А.В. Мониторинг и диагностика роторных машин по вибрации: учебное пособие/ А.В. Барков, Н. А. Баркова, А. Ю. Азовцев - СПб.: Изд. центр СПбГМУ, 2000. - 159с.
2. Генкин, М.Д. Виброакустическая диагностика машин и механизмов/ М.Д. Генкин, А. Г. Соколова - М.: Машиностроение, 1987. - 288с.

3. Сундуков, А.Е. Исследования вибрационного состояния подшипников качения в процессе их износа. Анализ экспериментальных данных на базе спектра максимумов/ А.Е. Сундуков, Е. В. Сундуков // Вест. Самар. гос. аэрокосм. ун-та. - 2006. - №2(10). - Ч.1. - С.90 - 93.

#### References

1. Barkov A.V., Barkova N.A., Azovtsev A.Yu Monitoring and diagnostics of machines for vibration / manual. Sb.: Izd. Central SPbSMTU, 2000, p. 159
2. Genkin M. D, Sokolova A. G. Vibroakustichesky diagnostics of cars and mechanisms. - M: MechanicalEngineering, 1987. – p. 288
3. Sundukov A.E., Sundukov E.V. Studies of vibration condition of bearings in the process of wear. Analysis of experimental data on the basis of the spectrum maxima // Herald-SGAU Samara: SGAU, 2006, №2 (10), Part 1st, p.90-93.

### THE ANALYSIS OF INFLUENCE OF PARAMETERS OF THE SPECTRUM OF MAXIMA ON EFFICIENCY OF ALLOCATION MODULATING COMPONENTS OF VIBRATION OF GAS TURBINE ENGINE

©2009 A. E. Sundukov<sup>1</sup>, E. V. Sundukov<sup>2</sup>, V. A. Nikolaev<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Samara State University of Railway Transport

<sup>2</sup>JSC «Motorstroitel»

On the basis of modelling of the modulated fluctuations influence of width of "window" and the chosen frequency range on efficiency of allocation of a modulating component is shown by a spectrum of maxima. The comparative analysis of a spectrum bending around and a spectrum of maxima is carried out.

*Spectrum bending around, a spectrum of maxima, testing, modulating components, width of "window"*

### **Информация об авторах**

**Сундуков Александр Евгеньевич**, аспирант Самарского государственного университета путей сообщения. Тел. (846) 997-37-42; 997-37-45. E-mail: [Sundukov@dnmk.ru](mailto:Sundukov@dnmk.ru). Область научных интересов: вибрационная диагностика.

**Сундуков Евгений Васильевич**, кандидат технических наук, начальник отдела динамических процессов ОАО «Моторостроитель». Тел. (846) 952-50-62. Область научных интересов: вибрационная диагностика.

**Николаев Виталий Анатольевич**, ведущий инженер-программист ОАО «Моторостроитель». Тел. (846) 925-61-33. Область научных интересов: цифровая обработка виброакустических процессов.

**Sundukov Alexander Evgenievich**, graduate student of Samara State University of Railway Transport. Phone. (846) 997-37-42, 997-37-45. E-mail: [Sundukov@dnmk.ru](mailto:Sundukov@dnmk.ru). Area of research: processing of vibro-acoustic.

**Sundukov Eugeny Vasiljevich**, Candidate of Engineering Science, Head of the dynamic processes of JSC «Motorostroitel». Phone. (846) 952-50-62. Area of research: processing of vibro-acoustic.

**Nikolaev Vitaly Anatolievich**, a leading engineer-programmer of JSC «Motorostroitel». Phone. (846) 925-61-33. Area of research: Digital processing of vibro-acoustic.