

УДК 629.07.03.843.8.018.4

**ВЛИЯНИЕ ШИРИНЫ ФИЛЬТРА НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ДИСКРЕТНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ СПЕКТРА ВИБРАЦИИ ГТД**

©2009 А. Е. Сундуков<sup>1</sup>, В. А. Николаев<sup>2</sup>, Е. В. Сундуков<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Самарский государственный университет путей сообщения

<sup>2</sup> ОАО «Моторостроитель»

Рассмотрено влияние ширины фильтра на характеристики интенсивности и вида плотности распределения мгновенных значений и огибающей узкополосных составляющих спектра вибрации ГТД. Получены экспериментальные данные ширины дискретных составляющих спектра вибрации двигателей серии НК наземного применения.

*Спектр вибрации, дискретная составляющая, ширина компоненты, ширина фильтра, интенсивность, эксцесс, мгновенные значения, амплитудные значения*

При обработке вибропроцессов выбор ширины фильтра  $\Delta f_\phi$  оказывает значимое влияние на результаты измерений. Рассмотрим это влияние, когда ширина фильтра меняется от величины меньше ширины составляющей  $\Delta f_c$  до существенно больших значений. В случае, когда ширина компоненты больше ширины фильтра происходит её рас-

текание (рис. 1). Последовательно увеличивая ширину фильтра, можно исключить это явление (рис. 1б). Тогда ширину спектральной составляющей можно найти, оценив  $\Delta f_c$  на уровне 0.7 от максимального значения интенсивности. В рассматриваемом случае  $\Delta f_c=1.3$  Гц.

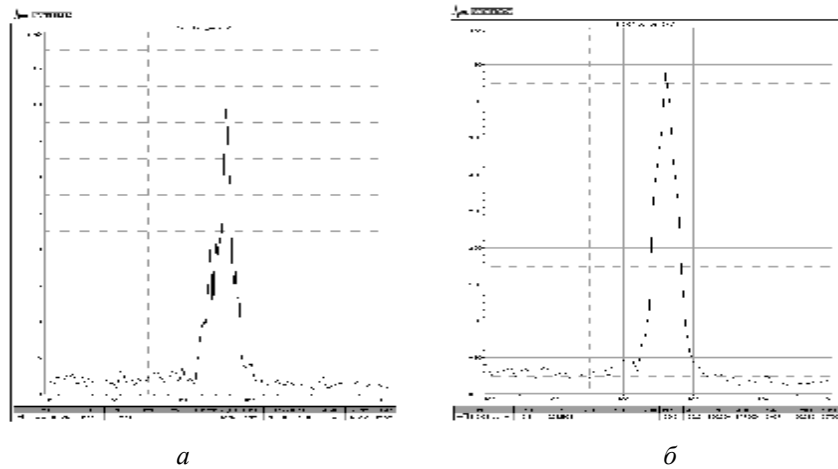


Рис. 1. Влияние ширины фильтра на вид дискретной составляющей спектра: а – составляющая с растеканием; б – без растекания

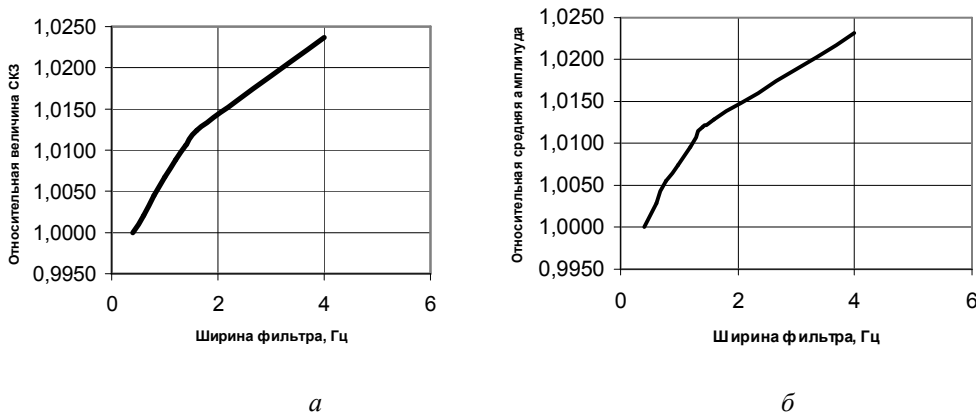


Рис. 2. Влияние ширины фильтра на величину СКЗ процесса (а) и среднюю амплитуду огибающей (б)

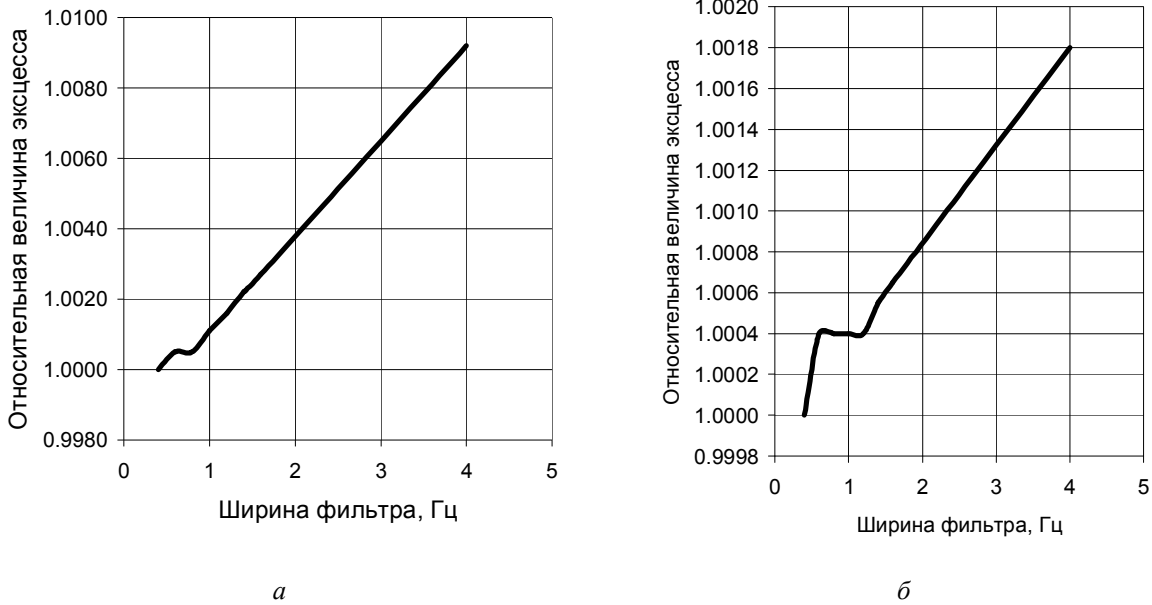


Рис. 3. Влияние ширины фильтра на величину эксцесса мгновенных значений (а) и огибающей (б)

Анализировалась гармоника с центральной частотой 963 Гц, соответствующая частоте мелькания тел качения роликового подшипника свободной турбины двигателя НК-14 СТ. Был проведён анализ некоторых характеристик данной составляющей при изменении  $\Delta f_\phi$  от 0,4 до 4,0 Гц (рис 2, 3). Полученные данные показывают:

— характер изменений среднеквадратического значения (СКЗ) процесса и средней амплитуды огибающей имеет излом при ширине фильтра 1,3÷1,5 Гц;

— изменение эксцесса показывает наличие явно выраженной полки до величины ~0,8 Гц для мгновенных значений и 1,2 Гц для огибающей. Далее происходит монотонный рост параметра с увеличением ширины фильтра.

Полученные результаты объясняются тем, что в начале производится оценка, главным образом, характеристики дискретной составляющей спектра, а далее на неё оказывает влияние вибрационный шум. Причем, эксцесс чувствует это влияние несколько раньше, чем характеристики интенсивности. Оценим влияние шумовой составляющей на результаты измерений интенсивности гармоники.

Пусть центральная частота фильтра совпадает с центральной частотой гармоники. Тогда измеренное среднеквадратическое значение определится как

$$S = [S_2^2 + \Delta f_\phi \cdot G_{uu}(f)]^{1/2}, \quad (1)$$

где  $S_2$  – среднеквадратическое значение гармонической составляющей;  $G_{uu}(f)$  – спектральная плотность шума.

Перепишем соотношение (1) в следующем виде

$$\frac{S}{S_2} = [1 + \Delta f_\phi \cdot \frac{G_{uu}(f)}{S_2^2}]^{1/2}. \quad (2)$$

Считая  $G_{uu}(f)$  постоянным в пределах ширины фильтра, можно получить зависимость отношения  $S/S_2$  от  $\Delta f_\phi$  при различных величинах  $G_{uu}(f)/S_2^2$  (рис. 4).

Как следует из рисунка, обеспечение требования нормативных документов погрешности измерения 10% выполнимо, например, при  $G_{uu}(f)/S_2^2=0,1$  только для  $\Delta f_\phi < 5$  Гц. Величина  $G_{uu}(f)$  для ГТД серии НК наземного применения составляет для автоспектра  $0,02 \div 0,5$  (м/с<sup>2</sup>)<sup>2</sup>/Гц, для спектра огибающей  $0,2 \div 1,0$  (м/с<sup>2</sup>)<sup>2</sup>/Гц.

Приняв максимальное значение  $G_{uu}(f)$ , а также  $S/S_2=1,1$ , и используя соотношение (2), можно определить интенсивность гармоники, при которой обеспечиваются точностные характеристики оценки интенсивно-

сти в соответствии с нормативными документами. Для автоспектра

$$S_i \geq (0,95\Delta f\phi)^{1/2}. \quad (3)$$

Для спектра огибающей

$$S_i \geq (4,76\Delta f\phi)^{1/2}. \quad (4)$$

Графический вид зависимостей (3), (4) в случае равенства в соотношениях представлен на рис. 5.

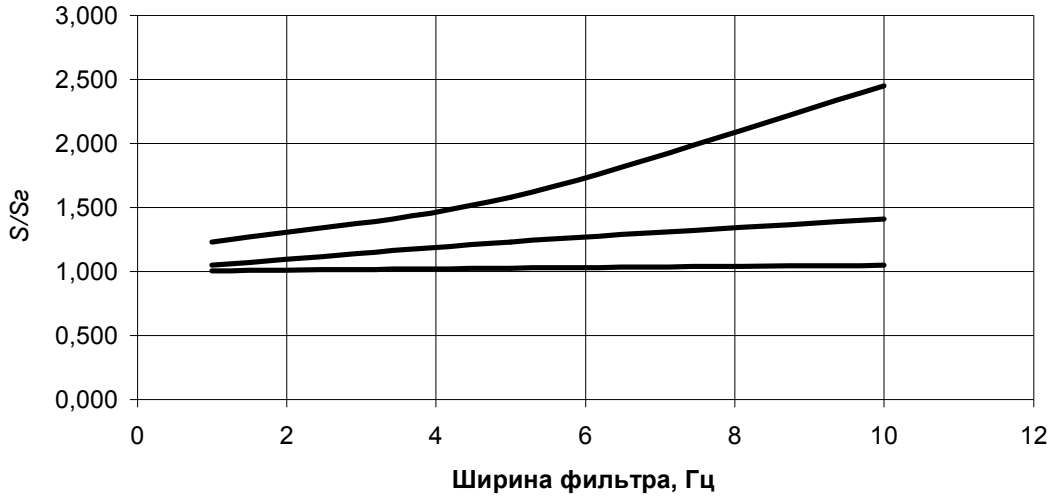
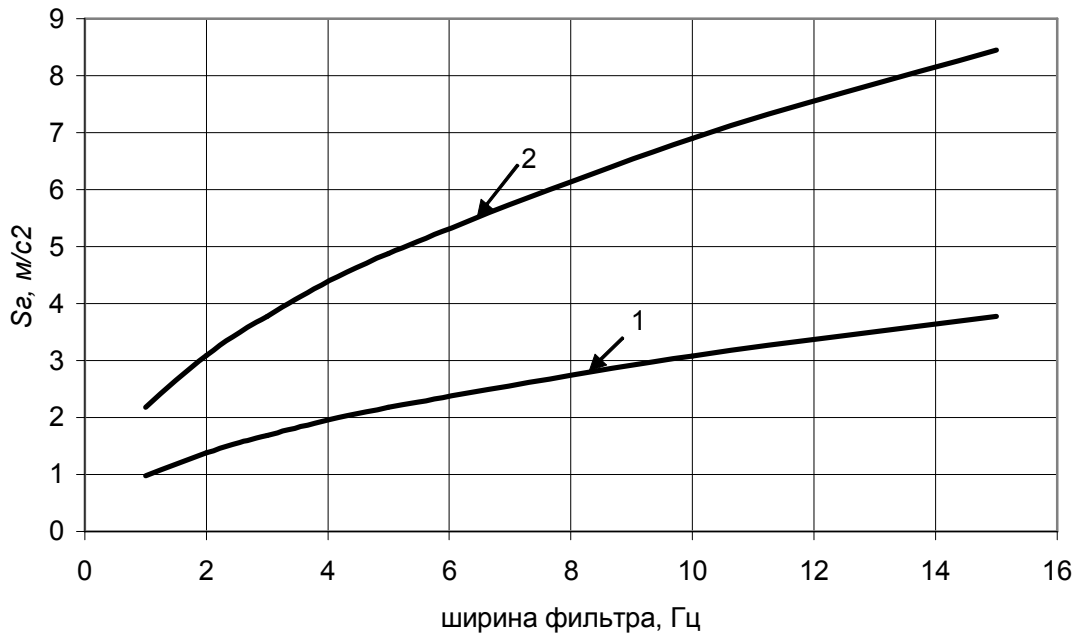


Рис. 4 Зависимость относительного замеренного уровня от ширины фильтра при нескольких значениях



$$G_{ш}(f)/S_e^2: 1-0,01; 2- 0,1; 3- 0,5$$

Рис. 5 Зависимость минимально необходимой интенсивности гармоника от ширины фильтра при обеспечении погрешности оценки интенсивности в 10%:

1- для автоспектра; 2 – для спектра огибающей

Таким образом, представленные данные показывают необходимость обоснования выбора ширины фильтра при анализе вибропроцессов в зависимости от задачи ис-

следования. Для объективной характеристики параметров составляющей спектра следует выполнить условие  $\Delta f_{\phi} = \Delta f_c$ .

Используя алгоритм, описанный выше, были получены экспериментальные данные по ширине дискретных составляющих спектра вибрации для ГТД семейства НК наземного применения со свободной турбиной в условиях испытательного стенда завода-изготовителя. Для составляющих спектра, генерируемых ротором турбокомпрессора и источниками кинематически с ним связанных  $\Delta f_c = 0,03 \div 0,07\%$  от центральной частоты. Для ротора свободной турбины -  $0,1 \div 0,4\%$ . Для более детальной оценки вели-

чины  $\Delta f_c$  целесообразно разделить её значения по природе формирования:

- составляющие, генерируемые рабочими колесами (“лопаточные” гармоники);
- составляющие механического происхождения (неуравновешенность, составляющие генерируемые зубчатыми зацеплениями и др.);
- составляющие от подшипников качения (целесообразно выделить отдельно из-за отсутствия жесткой кинематической связи частот с частотой вращения ротора).

## **INFLUENCE OF WIDTH OF THE FILTER ON CHARACTERISTICS OF DISCRETE COMPONENTS OF THE SPECTRUM OF VIBRATION OF GAS TURBINE ENGINE**

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

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

<sup>2</sup>JSC «Motorstroitel»

Influence of width of the filter on characteristics of intensity and kind of density of distribution of instant values and bending around narrow-band components of a spectrum of vibration of gas turbine engine is considered. Experimental data of width of discrete components of a spectrum of vibration of engines of series NK of land application are received.

*Vibration spectrum, discrete component, width components, width of the filter, intensity, an excess, instant values, peak values*

### **Информация об авторах**

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

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

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

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

**Nikolaev Vitaly Anatolyevich**, a leading engineer-programmer of JSC «Motorstroitel». Phone: 925-61-33. Area of research: digital processing of vibro-acoustic.

**Sundukov Eugeny Vasilyevich**, Candidate of Engineering Science, Head of the dynamic processes of JSC «Motorstroitel». Phone: 952-50-62. Area of research: processing of vibro-acoustic.