

Писанец А.А., инж.

ДИАТ, г. Донецк

### АНАЛИЗ СОБСТВЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ ПОРШНЕВОГО ПАЛЬЦА ПРИ НЕСТАЦИОНАРНОМ ДИНАМИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

*В статье рассматриваются результаты решения задачи измерения собственных колебаний поршневого пальца на основе виброакустического метода, выявление влияния дефекта на характеристики собственных колебаний. Экспериментально и численно изучена эволюция нестационарного сигнала, который распространяется при ударе. Сравнительный анализ характеристик, полученных при помощи вейвлет - фильтра Добеши - 4, позволяет сделать вывод о качестве боковой поверхности детали.*

#### ***Постановка проблемы и анализ последних публикаций***

В настоящее время области применения структурно-неоднородных деталей в машиностроении существенно расширились. Дефектоскопия таких деталей обычно проводится акустическими методами, что связано с такими характеристиками акустических систем, как чувствительность, дистанционно воспроизводимые частоты и неравномерность амплитудно-частотной (АЧХ) и амплитудно-временной характеристик (АВХ) в этом диапазоне. В связи с этим проблемы правильного снятия виброакустических характеристик с целью диагностики качества таких деталей выходят на передний план, поскольку крайне трудно из множества виброакустических параметров выбрать наиболее информативные, чтобы по их изменению судить о наличии дефекта. В работах [1, 2] приведены результаты применения метода собственных частот для акустической диагностики структурно-неоднородных материалов. Из них, в частности, следует, что диагностика наличия дефекта возможна только в области сверхвысоких частот, достичь которых при поточном экспресс-анализе деталей достаточно сложно. Один из основных подходов к решению этой проблемы связан с масштабным физическим моделированием сложных виброактивных систем в натуральных условиях и их адекватном численном моделировании с использованием конечно-элементных схем [3]. В данной работе приведены результаты анализа кинематических характеристик поршневого пальца (ПП) после динамического возмущения и показаны преимущества данного подхода.

#### ***Цель исследований***

Установление влияния дефекта ПП в форме продольной трещины на характеристики собственных колебаний ПП.

#### ***Методика исследований***

1. Измерения собственных колебаний (рис. 1) ПП производились виброакустическим методом при жёстком фиксировании (рис. 2) ПП 2 в специальном приспособлении 1. Три опорные точки 2 (рис. 3) располагались в плоскости симметрии ПП, проходящей через его центр массы.

2. Собственные колебания ПП генерировались (см. рис. 3) внезапным приложением силы – ударом стального шарика диаметром  $d$ , подвешенным на гибкой нити длиной  $L$ . Энергия удара задавалась величиной отклонения  $A$  центра шарика 3 от положения покоя. Точка нанесения удара 3 (см. рис. 2) располагалась на боковой поверхности пальца в одной вертикальной плоскости с точкой размещения датчика 4, измеряющего горизонтальные поперечные колебания поверхности ПП.

3. Горизонтальные поперечные колебания в виде ускорения точки 4 (см. рис. 2) поверхности ПП измерялись магнито-динамическим датчиком ГЗМ 105 и после преобразования аналоговым корректором DUAL TVV 46 подавались для фиксации на линейный вход платы Intel D845GLAD персонального компьютера и записывались в файл при следующих параметрах: частота опроса  $SR = 44100$  Гц, разрешение сигнала  $-16$  бит.

4. Выявление влияния дефекта на характеристики собственных колебаний осуществлялось сравнительными испытаниями исправного ПП и ПП, имеющего дефект в форме продольной трещины.

#### Результаты исследования

1. В результате каждого измерения получены цифровые файлы изменения продольного ускорения точки поверхности пальца после динамического возмущения в масштабе  $mV$  при испытаниях в следующих условиях: диаметр шарика, масса шарика  $m = 36,67$  г, длина подвеса  $L = 370$  мм, отклонение центра шарика  $A = 100$  мм (представлены на рис. 4).

Из графиков следует, что временные диаграммы ускорений исправного и дефектного ПП весьма близки по следующим параметрам: 1) значениям максимумов – порядка  $130$   $mV$ ; 2) характеру и времени затухания колебаний – порядка  $0,5$  с; 3) достаточно широкому частотному спектру колебаний.

2. Проявление особенностей модальных колебаний в частотных областях исследовалось методом построения амплитудно-частотной характеристики (АЧХ). При этом для каждого из сигналов, алгоритмом быстрого Фурье-преобразования [4] из векторной формы  $S = \{s_i\}$  длиной  $N = 2^n$ , выполнялся его перевод в комплексную форму представления половинной длины ( $N/2$ )

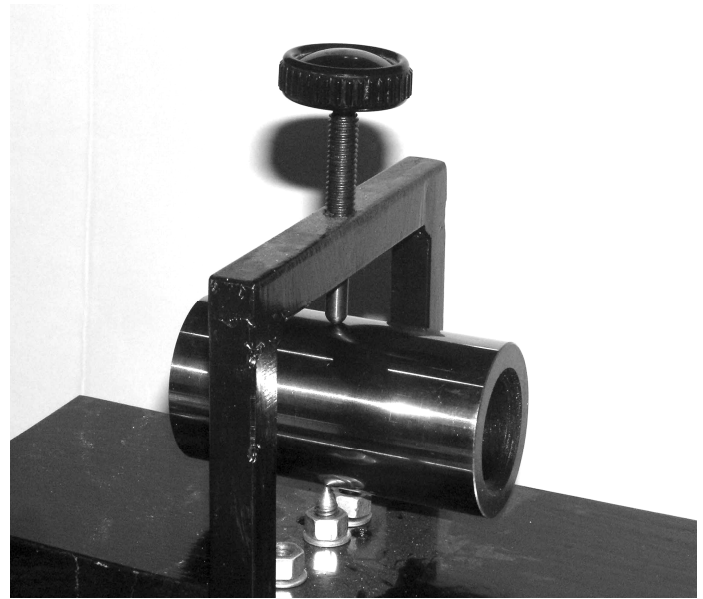


Рис. 1. Крепление ПП в измерительном приспособлении

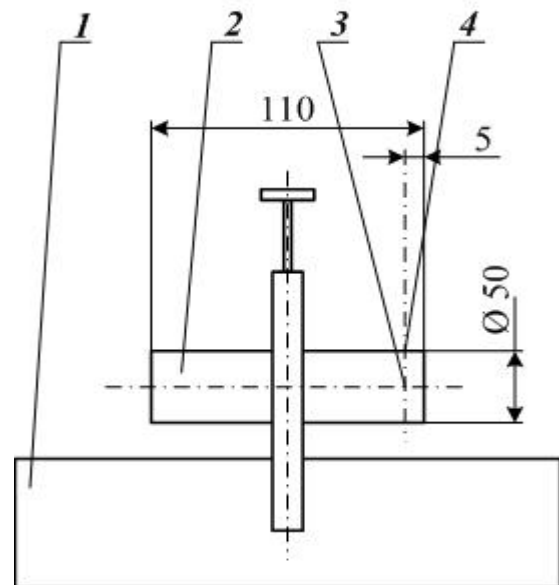


Рис. 2. Схема приложения внезапной силы:

- 1 – приспособление;
- 2 – поршневой палец; 3 – точка нанесения удара;
- 4 – точка расположения измерительного датчика

$$C_k = A_k + jB_k, \quad (1)$$

где  $(k = 0, 1, 2, \dots, N-1)$ ;

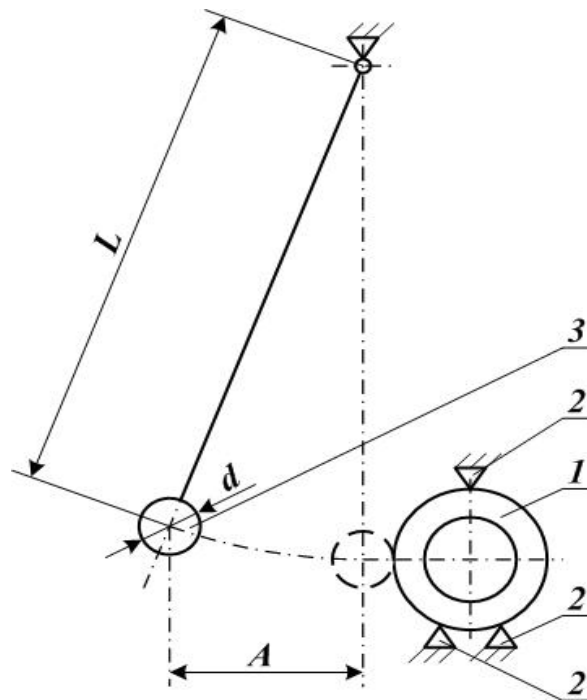


Рис. 3. Расчётная схема генерирующего удара: 1 – поршневой палец; 2 – точки крепления; 3 – стальной шарик

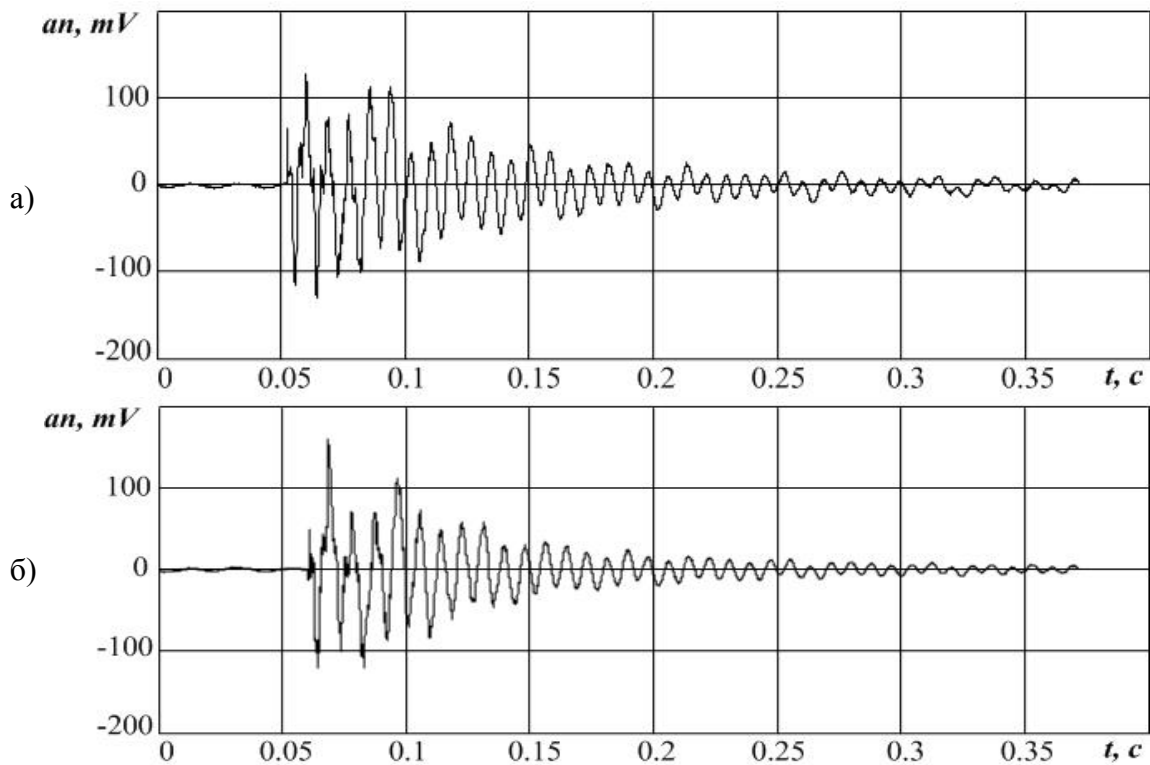


Рис. 4. Временные диаграммы продольного ускорения точки поверхности ПП после динамического возмущения:  
а) исправный ПП; б) дефектный ПП

$$A_k = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} s_i \cos \frac{2\pi}{N} ki; \quad (2)$$

$$B_k = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} s_i \sin \frac{2\pi}{N} ki, \quad (i = 0, 1, 2, \dots, N-1). \quad (3)$$

Тогда, в соответствии с [3], амплитудно-частотная характеристика сигнала строилась как зависимость мощности амплитуд сигнала от спектральной частоты  $P(\nu_k)$ , где мощность амплитуд сигнала

$$P_k = |C_k| = \left\{ \sqrt{A_k^2 + B_k^2} \right\}, \quad (4)$$

а спектральная частота

$$\nu_k = \frac{k}{SR \cdot N}. \quad (5)$$

Графическое изображение АЧХ исходных после динамического возмущения для исправного и дефектного ПП (см. рис. 4) представлены на рис. 5. Для наглядного сравнения диаграммы АЧХ построены на общей частотной оси, но с расположением диаграммы дефектного ПП 2 в 4-й четверти диаграммы. На диаграммах видно, что измеренные значения частот модальных колебаний исправного и дефектного ПП совпадают или близки для максимумов 3, 4, 5 и 6, 7 и 8 при отсутствии максимума в АЧХ исправного ПП в области частот 1200 Гц.

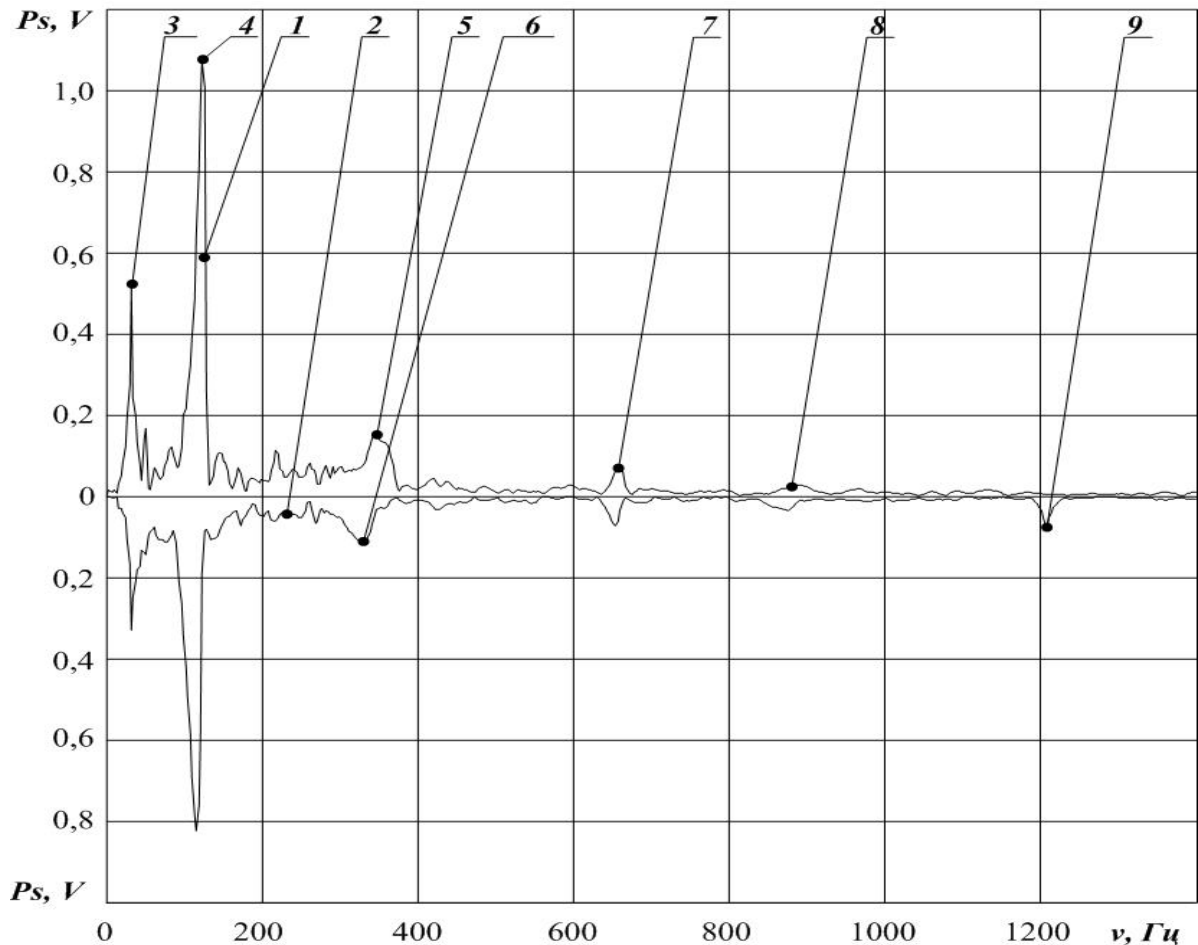


Рис. 5. АЧХ ускорения точки поверхности ПП после динамического возмущения:  
1 – исправный ПП; 2 – дефектный ПП

В табл. 1 приведены абсолютные и относительные значения максимумов значений мощности амплитуд сигналов ускорения точки поверхности ПП для выделенных на рис. 5 частотных областей. Соотношение относительных значений максимумов мощности амплитуд сигналов ускорения в области собственных частот, превышающих 300 Гц, показывает, что их различие составляет не более 2,2 %, в то время как в области частот 1200 Гц это различие составляет 6,5 %. При этом относительное значение указанного максимума составляет 9,3 %.

Таблица 1

Мощность амплитуд сигналов ускорения точки поверхности поршневых пальцев

Частота, Гц	Исправный палец		Дефектный палец	
	абсолютная, В	относительная	абсолютная, В	относительная
1	2	3	4	5
32,29	511,8	0,478	342,8,0	0,40
115,7	–	–	857,0	1,0
123,8	1070,4	1,0	–	–
331,0	–	–	121,8	0,142
347,2	154,5	0,144	–	–
654,1	–	–	75,1	0,088
659,5	71,0	0,066	–	–
874,8	–	–	35,6	0,042
888,2	27,6	0,026	–	–
1205,9	6,7	0,0028	79,8	0,093

Таким образом, принципиальное отличие АЧХ сигналов ускорения точки поверхности дефектного ПП в форме продольной трещины состоит в появлении дополнительных собственных колебаний с частотой порядка 1200 Гц.

3. Для более детального анализа особенностей изменения каждой из частотной составляющей к виброакустическим сигналам ускорения применена процедура многоступенчатого разложения вейвлет-фильтром Добеши-4 [5] по схеме, представленной на рис. 6.

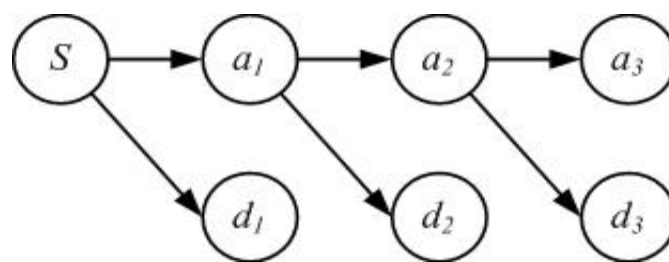


Рис. 6. Схема разложения сигналов вейвлет-фильтром Добеши-4

При этом, исходный сигнал  $S$  для каждого измерения представлен в виде суммы аппроксимирующей компоненты  $a_3$  и трёх детализирующих компонент  $d_i$

$$S = a_3 + d_1 + d_2 + d_3, \quad (6)$$

так, что каждая из них занимает 1/4 частотной области сигнала.

Для сопоставления вклада каждой из выделенных компонент исходных сигналов был выполнен расчёт сумм их абсолютных значений как векторов

$$Sk_i = \sum_{i=0}^N |k_i|, \quad (7)$$

где  $k_i - d_1, d_2, d_3, a_3$ .

Приведенные в табл. 2 результаты расчётов показывают, что в зафиксированных сигналах порядка 95 % энергии колебаний сосредоточено в аппроксимирующей компоненте  $a_3$ . На долю компонент  $d_1$  и  $d_2$  приходится не более 2 % энергии собственных колебаний ПП. При этом разница сумм абсолютных значений как для компоненты  $d_1$ , так и для  $d_2$  исправного и дефектного ПП составляет 0,1 %. Проявление влияния исследуемого дефекта ПП сосредоточено в изменениях колебательного процесса в компоненте  $d_3$ , заключающихся как в смене характера колебаний (см. рис. 7, 8), так и в увеличении вклада данной частотной составляющей в колебательный процесс с 2,9 % до 4,1 %, то есть в 1,86 раза (см. табл. 2).

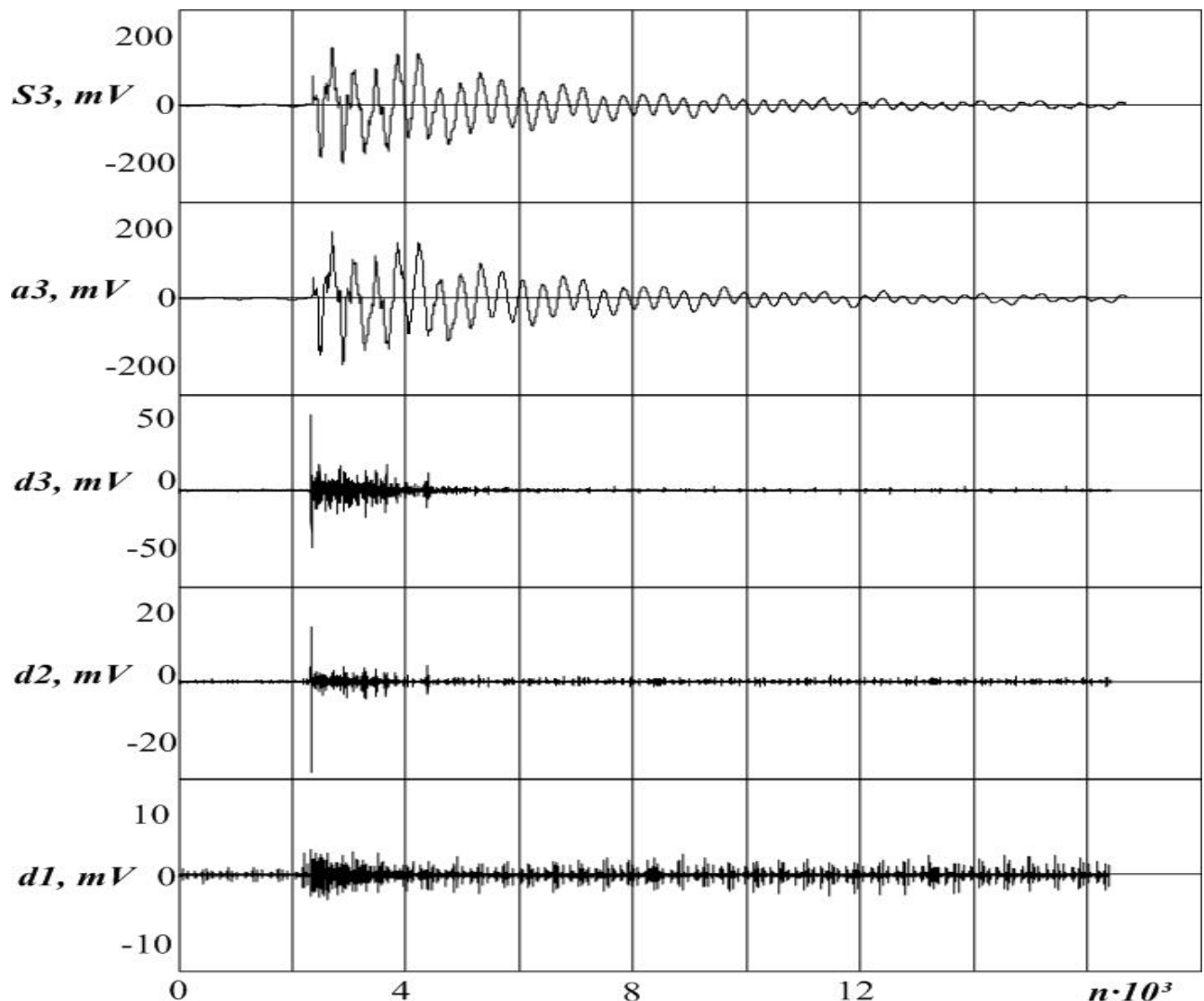


Рис. 7. Разложение исходных сигналов ускорений вейвлет-фильтром Добеши-4 на частотные компоненты (исправный поршневой палец)

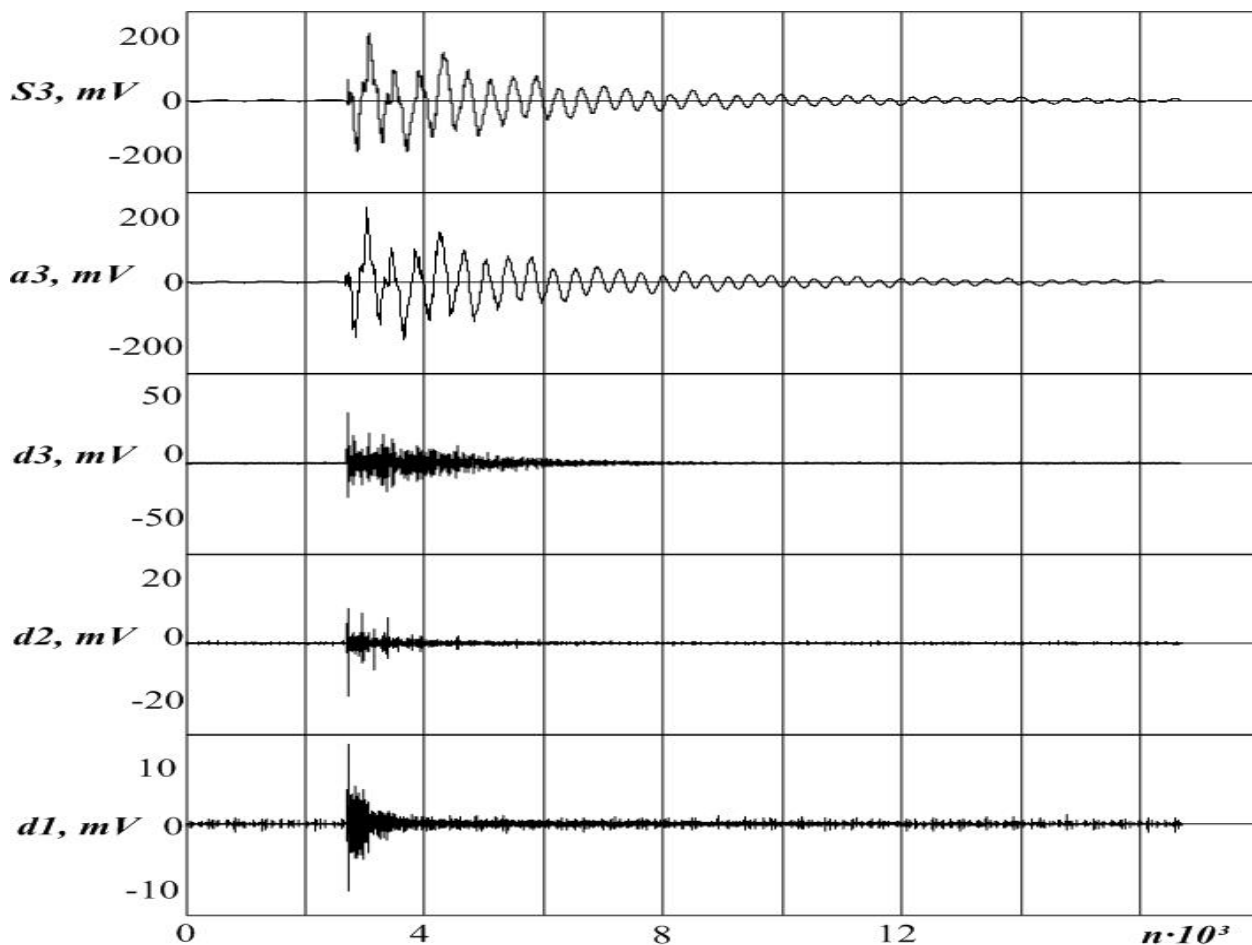


Рис. 8. Разложение исходных сигналов ускорений вейвлет-фильтром Добеши-4 на частотные компоненты (дефектный поршневой палец)

Таблица 2

Вклад компонент сигналов ускорения точки поверхности поршневых пальцев в колебательный процесс

Компона- нента	Исправный палец		Дефектный палец	
	абсолютная, $B$	относительная	абсолютная, $B$	относительная
$d_1$	3,332	0,012	2,671	0,011
$d_2$	2,154	0,008	1,710	0,007
$d_3$	8,120	0,029	10,175	0,041
$a_3$	269,22	0,952	228,09	0,940

### Выводы

1. Установлено, что влияние дефектов поршневого пальца в форме продольной трещины на характеристику собственных колебаний состоит в появлении дополнительных колебаний в области частот порядка  $1200 \text{ Гц}$  так, что при этом относительное значение максимума мощности амплитуд сигналов ускорения точки поверхности поршневых пальцев в указанной области возрастает до  $9,3 \%$ .

2. Выявлено, что исследуемый дефект поршневых пальцев при выполнении временно-амплитудно-частотного анализа собственных колебаний поршневых пальцев четырёхступенчатым разложением вейвлет-фильтром Добеши-4 оказывает влияние на возрастание вклада частотной составляющей  $d_3$  в колебательный процесс в 1,8 раза.

### *Список литературы*

1. Вовк Л.П. Применение акустического метода свободных колебаний к диагностике технологически неоднородных деталей // Известия вузов. Северо-Кавк. регион. Технические науки. – 2004. – №3. – С. 55-58.
2. Вовк Л.П. Застосування акустичного методу вільних коливань до аналізу якості поршневих пальців // Вісник Технологічного університету Поділля. Технічні науки. – 2004. – № 5. – С. 85-89.
3. Бурау Н.И. О новых направлениях в развитии виброакустических методов диагностики прочностных дефектов в лопатках газотурбинных двигателей // Вибр. в техн. и технол. – 2001. – №4(20). – С. 45-48.
4. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов. – Санкт-Петербург: Питер, 2002. – 608 с .
5. Марпл-мл. С.Л. Цифровой спектральный анализ и его приложения / Пер. с англ. – Москва: Мир, 1990. – 387 с.
6. Смоленцев Н.К. Основы теории вейвлетов. – М.: ДМК Пресс, 2005. – 304 с.

Стаття надійшла до редакції 30.01.07

© Писанець О.О., 2007