

УДК 62-26

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЕКТОРНЫХ ВИБРОАКСЕЛЕРОМЕТРОВ В ЭНЕРГЕТИКЕ

И.Б.Кобяков

Аннотация

Описан векторный (трехкомпонентный с одним чувствительным элементом) виброакселерометр. Приведены результаты испытаний датчика на промышленных объектах: на вертолетных двигателях гражданской авиации, а также при балансировке ротора газотурбинной энергетической установки ГТ-100-3 мощностью 100 МВт (ГРЭС-3 Мосэнерго).

Для определения режимов вибрации различных машин и механизмов в настоящее время используют пьезоэлектрические однокомпонентные виброакселерометры (рис. 1).

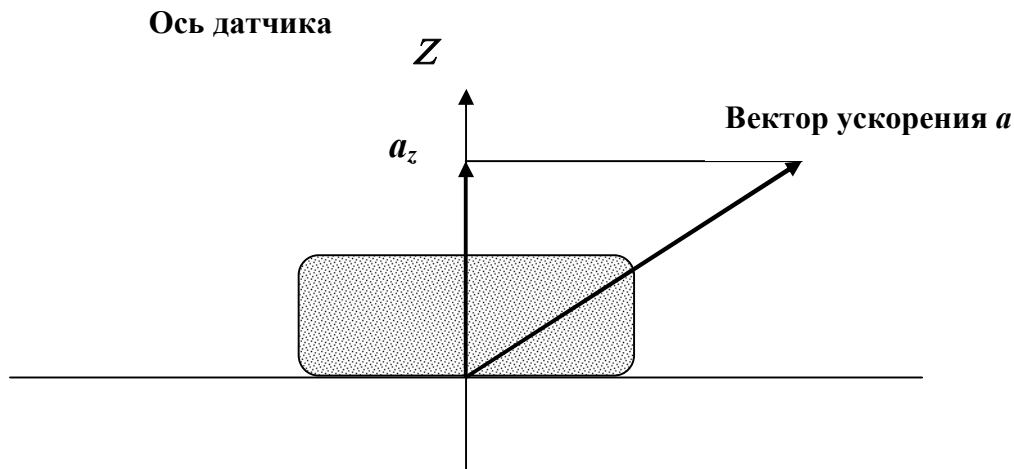


Рис. 1

С помощью этих датчиков можно измерить лишь проекцию вектора виброускорения на ось датчика. Но одна эта проекция не позволяет определить ни величину, ни направление вектора виброускорения  $a$ . Для решения этой проблемы требуется не однокомпонентный, а трехкомпонентный датчик. И тогда по трем проекциям вектора  $a$  можно получить его величину и направление в заданной системе координат. Однако все известные трехкомпонентные виброакселерометры представляют собой сочетание трех однокомпонентных датчиков в одном корпусе. Так как при этом чувствительные элементы датчиков неизбежно располагаются в трех различных точках пространства, т.е. имеются три измерительные точки с несовпадающими координатами, законы физики запрещают рассматривать их показания в качестве проекций вектора виброускорения. К тому же, при этом значительно снижается верхний предел частотного диапазона (до 2-4 кГц). Тем не менее, это обстоятельство игнорируется, что, естественно, занижает достоверность информации об уровне вибрации самолетов, вертолетов, турбин электростанций и т.д. в точках контроля, в 3-5 раз.

Принципиальное отличие предлагаемого датчика (Патенты РФ №2061242 и №2229136, *Трехкомпонентный пьезоэлектрический виброакселерометр с одним чувствительным элементом*) заключается в том, что в нем используется лишь один чувствительный элемент (т.е. имеется лишь одна измерительная точка) в виде прямоугольного параллелепипеда, изготовленного из пьезокристалла определенной симметрии и ориентации, а так же определенного способа крепления [1.2].

Принцип работы датчика показан на рис.2.

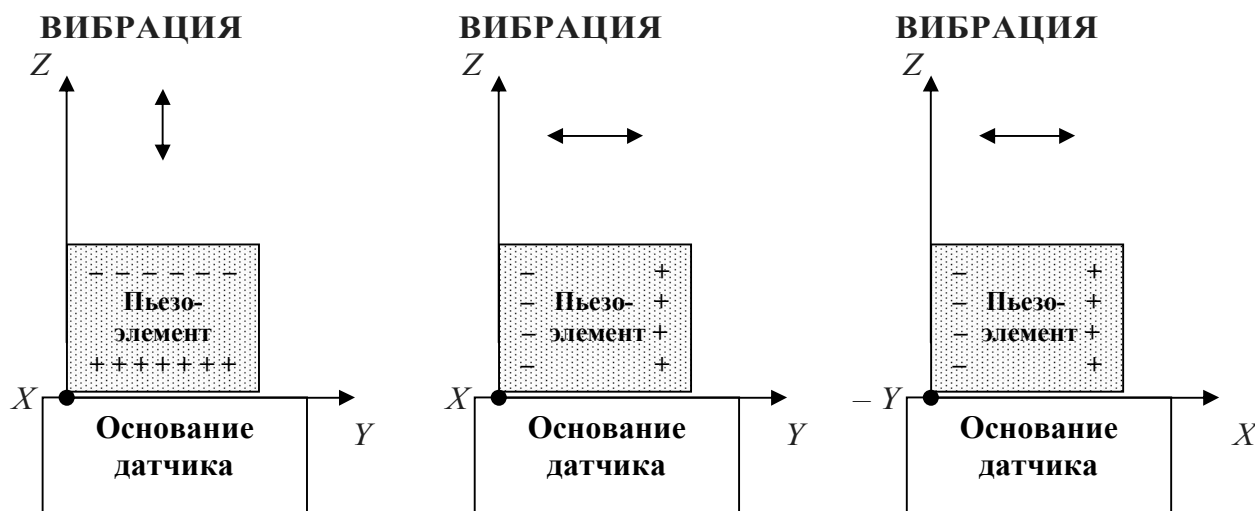


Рис. 2

Если вектор виброускорения  $a$  направлен вдоль оси  $Z$ , то заряды возникают лишь на гранях, перпендикулярных оси  $Z$ ; если вектор  $a$  направлен вдоль оси  $Y$ , то заряды возникают лишь на гранях, перпендикулярных оси  $Y$ . И, наконец, если вектор  $a$  направлен вдоль оси  $X$ , то заряды возникают лишь на гранях, перпендикулярных оси  $X$ . В каждом из этих трех случаев на остальных четырех гранях заряды вообще отсутствуют, что следует из теории симметрии и тензорного анализа. Таким образом, теоретически поперечная чувствительность датчика должна быть равна нулю, что можно представить в виде матрицы:

		ВИБРАЦИЯ			
		$X$	$Y$	$Z$	
ВЫХОДНОЙ СИГНАЛ	$X$	100	0	0	%
	$Y$	0	100	0	
	$Z$	0	0	100	

Практически это укладывается в общие требования (<5%). Качество предлагаемых датчиков зависит от качества пьезоэлемента, кабеля, клея, разъемов и конструкции. Но даже при использовании отечественных комплектующих получены

характеристики, превосходящие аналогичные у датчиков фирмы «Брюль и Кьер», тип 4506 и фирмы «Эндевко», тип 2228С (см. таблицу).

Технические характеристики	Векторный акселерометр тип ВТК3	«Брюль и Кьер» тип 4506	«Эндевко» тип 2228С
Количество измеряемых осей	3	3	3
Количество пьезоэлементов	1	1	3
Основная чувствительность (датчик+усилитель), мВ/g	10...100	100	–
Максимальная поперечная чувствительность, %	5	5	5
Частота резонанса вдоль оси Z, кГц	58	10	21
Частотный диапазон (5%), Гц	5...15000		
Частотный диапазон ( $\pm 5\%$ ), Гц			20...4000
Частотный диапазон ( $\pm 10\%$ ), Гц		1...2000	
Температурный диапазон, °С	-60...+250	-54...+121	-55...+175
Температурный коэффициент чувствительности	0,1%/°С	1м·с <sup>-2</sup> /°С	0,2%/°С
Размеры, мм	Ø22x26	17x17x14,5	–
Масса без кабеля, г	27	15	15

Но главное отличие векторного датчика от известных аналогов заключается не в том, что одни параметры лучше, а другие хуже, а в том, что только он имеет единую измерительную точку, что позволяет по трем проекциям получить величину и направление вектора виброускорения в этой точке. Следовательно, только датчик нового поколения позволяет получить **достоверную** информацию о режимах вибрации различных машин и механизмов. При использовании любых других датчиков связь между параметрами механических вибраций и электрическими сигналами виброизмерительной системы весьма сомнительна.

Датчик работает в комплекте с трехканальным усилителем заряда, имеющим симметричный (дифференциальный) высокоомный вход и несимметричный низкоомный выход.

При испытании вибрационных режимов вертолетных двигателей было обнаружено следующее [3]: колебания вдоль оси Z представлены на рис. 3.

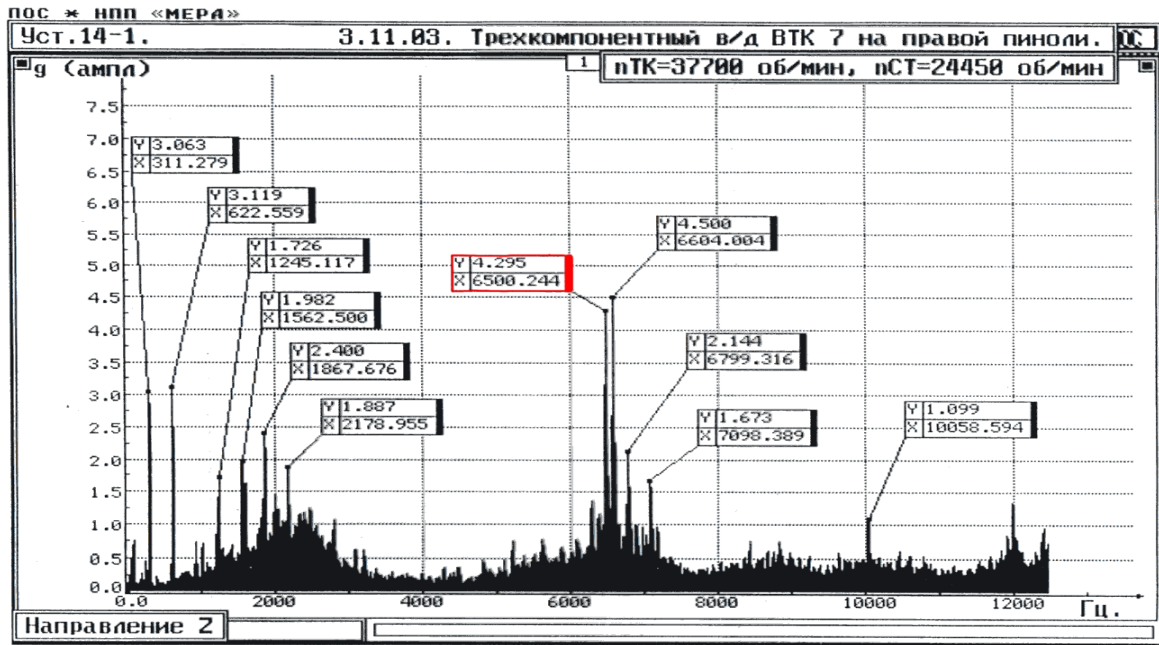


Рис.3

Вдоль оси Y – на рис. 4

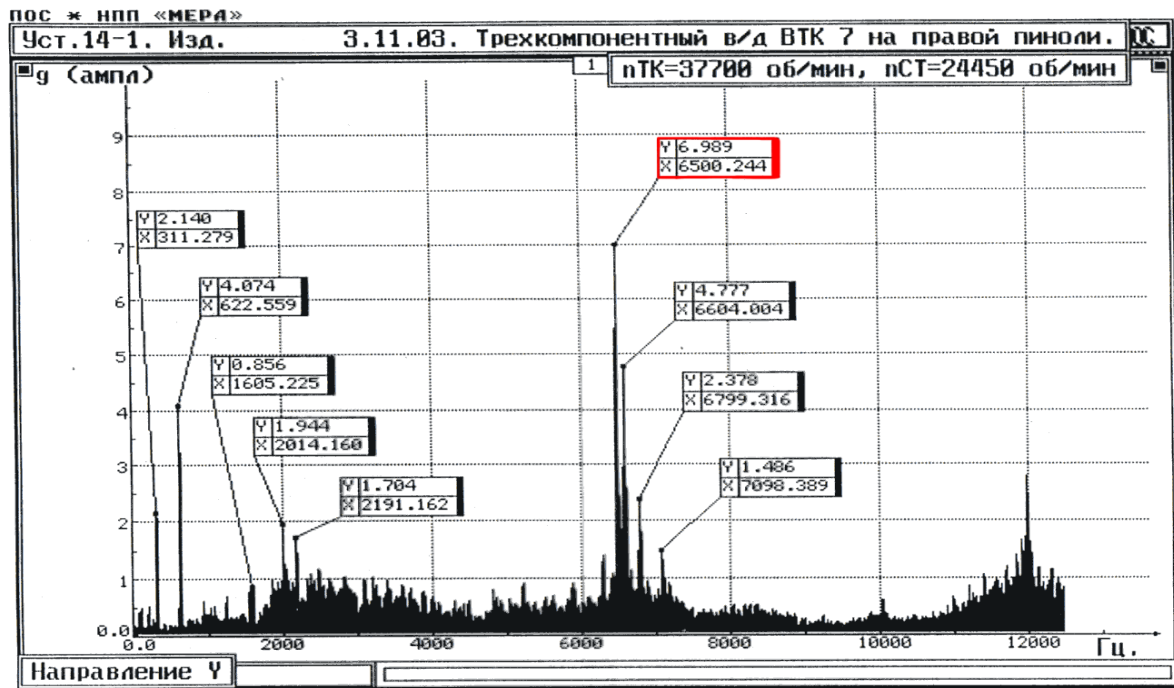


Рис. 4

Вдоль оси X – рис. 5.

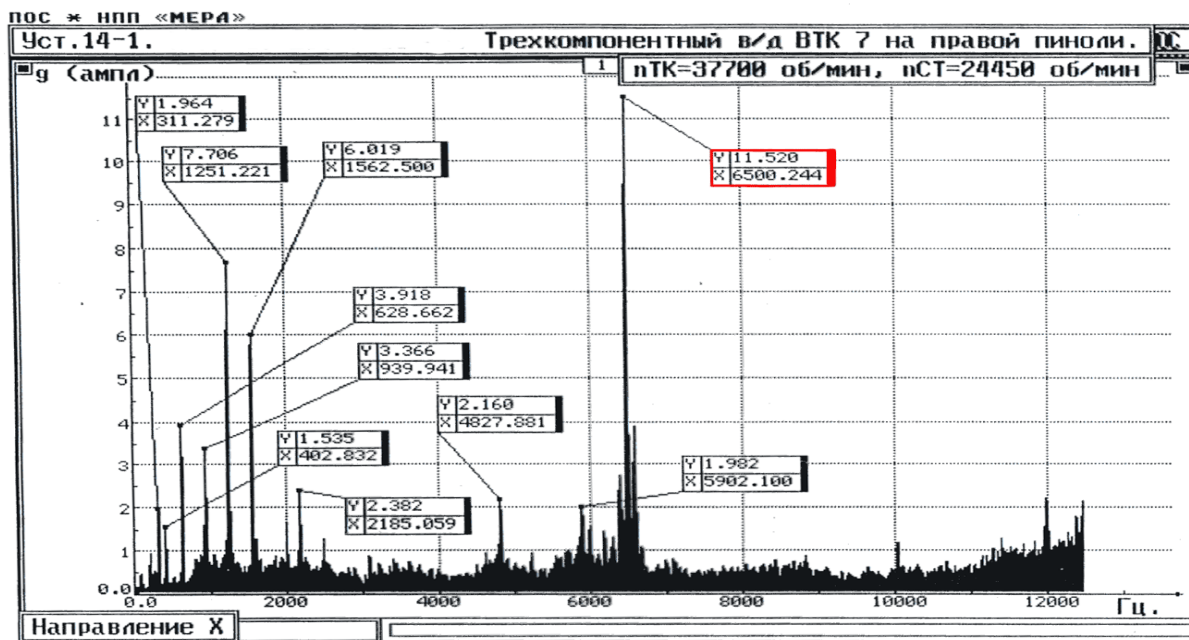


Рис. 5

Возьмем произвольную частоту 6500 Гц, тогда ускорение вдоль оси Z равно 4,3g, вдоль оси Y – 7,0g и вдоль оси X – 11,52g. Тогда величина вектора ускорения равна 14,1g, что больше показаний однокомпонентного датчика (вдоль Z) в 3,3 раза.

Испытание газотурбинной энергетической установки ГТ-100-3 на ГРЭС-3 показала [4], что после использования векторного датчика по всем трем направлениям её контроля вибрация всех опор оказалась существенно меньше нормативного значения (4,0 мм/с), что гарантирует длительную безаварийную эксплуатацию агрегата. Полученный результат может быть оценен как очень хороший – вибрация опор снижена в 2-2,5 раза без корректировки груза.

#### РЕЗЮМЕ:

- Использование однокомпонентных вибродатчиков дает занижение в 3-5 раз против истинного значения параметров вибрации.
- Использование трехкомпонентных датчиков значительно сужает диапазон рабочих частот (не выше 2-4 кГц).
- Лишь использование векторных датчиков приводит к возможности получения точного значения величины и направления вектора виброускорения.
- Только использование векторных датчиков может приводить к обоснованному продлению сроков безаварийной эксплуатации энергетического оборудования в различных областях промышленности.
- Только использование векторных датчиков может приводить к своевременному предотвращению техногенных катастроф.

### Литература:

1. [1] – №2061242 трехкомпонентный пьезоэлектрический виброакселерометр с одним чувствительным элементом от 27 мая 1996 г.;
2. [2] - №2229136 трехкомпонентный пьезоэлектрический виброакселерометр с одним чувствительным элементом от 20 мая 2004 г.
3. [3] – Заключение НПО «Сатурн» «О проверке работоспособности датчика ВТК 7 на вертолетных двигателях гражданской авиации», г. Рыбинск 2004 г.
4. [4] – Отчет всероссийского теплотехнического научно-исследовательского института (ВТИ) «Оценка эффективности применения трехкомпонентных датчиков абсолютной вибрации опор при балансировке валопроводов турбоагрегатов», г. Москва 2002 г.

*Поступила: 26.01.08.*