

ВЫДЕЛЕНИЕ ВИБРАЦИЙ ПОДШИПНИКОВ ПРИ ИХ СТЕНДОВЫХ ИСПЫТАНИЯХ МЕТОДОМ ФУНКЦИЙ КОГЕРЕНТНОСТИ

А.А. Дульцев, Б.И. Зубренков, В.В. Сенькина
(ФГУП «НПП ВНИИЭМ»)

Предложен метод получения информации при виброконтроле подшипников, который может быть использован для любых стенов с электроприводом. Метод заключается в разделении вибраций, возбуждаемых подшипником и приводом стенов, при помощи функции когерентности.

Ключевые слова: вибрации, подшипники качения, когерентность.

Ряд изделий, проходящих те или иные контрольные испытания, могут функционировать при подобных процедурах только на специальных стенов, неизбежно вносящих в получаемую информацию свой вклад, который может существенно влиять на оценки контролируемых параметров.

К изделиям такого рода относятся подшипники качения, вибрации которых подлежат оценкам и нормированию.

Подшипники качения являются весьма интенсивными источниками вибровозбуждений во всем звуковом диапазоне частот. В связи с этим разработчики малозумной продукции предъявляют весьма жесткие требования к виброхарактеристикам подшипников для проектируемых конструкций.

Существует несколько типов стенов для виброконтроля, которые включают в себя электропривод со шпинделем для установки испытуемого подшипника, систему нагружения и средства измерения.

Конструктивно стенов отличаются по способам нагружения подшипников, мощности, скоростным режимам и пр.

Наибольшее распространение получили стенов с электроприводом от малозумного двигателя, который через упругую муфту вращает шпиндель, подшипник нагружается пневмоприводом по наружному кольцу.

На рис. 1, 2 в качестве типичных конструкций представлены стенов для измерения подшипниковых вибраций с осевым нагружением и скоростью вращения 1500 об/мин.

Вибрации обычно измеряются на наружном кольце контактными или бесконтактными способами.

Параметры измеряемых вибраций могут представляться в виде спектров вибраций, общих уровней виброскоростей и виброускорений, а также другими величинами.

Вибрации, измеряемые на наружном кольце, возбуждаются двумя источниками: испытуемым подшипником и приводом стенов. Структурная схема получения полезной информации (виброактивности испытуемого подшипника) показана на рис. 3.



Рис. 1. Стенд МБ-184К: 1 – приводной двигатель; 2 – шпиндель с подшипником; 3 – нагружающее устройство



Рис. 2. Стенд ВНИИП 550: 1 – приводной двигатель; 2 – нагружающее устройство; 3 – шпиндель

Вибрации $x(t)$, измеряемые на наружном кольце подшипника, можно представить в виде:

$$x(t) = x_1(t) + x_2(t) + N(t),$$

где $x_1(t)$ – вибрации, возбуждаемые испытуемым подшипником; $x_2(t)$ – вибрации, возбуждаемые приводом стенов (двигатель, шпиндель и пр.); $N(t)$ – вибрационные помехи от внешних источников, которые проявляются при неработающем приводе.

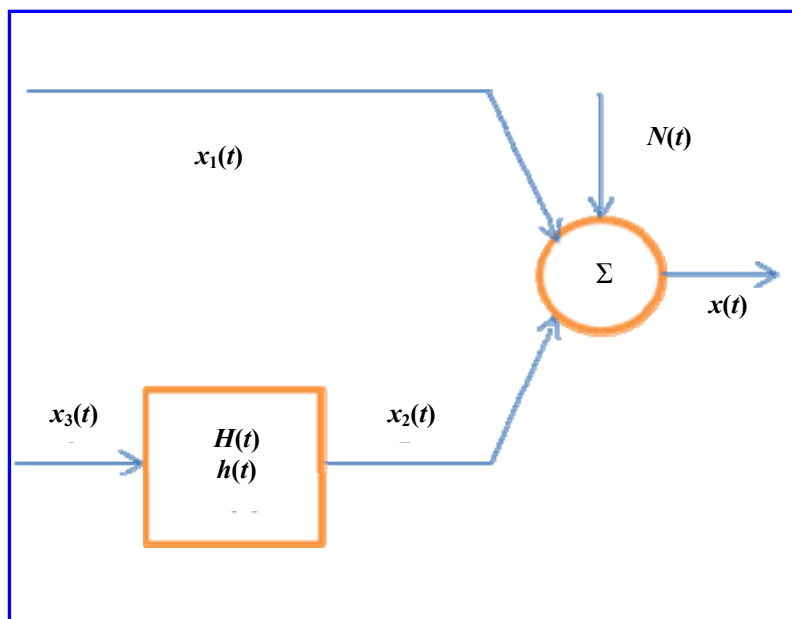


Рис. 3. Структурная схема получения полезной информации на стенде

Таким образом, полезная информация $x_1(t)$, которая и является целью измерений, оказывается скрытой в суммарном измеряемом сигнале $x(t)$.

Нам надо, используя некоторую дополнительную информацию о $x_2(t)$ и $N(t)$, выделить полезный сигнал $x_1(t)$.

Вибрационные помехи $N(t)$ могут быть учтены путем прямых измерений, сопоставляя вибрации при работающем и неработающем приводе. Как правило, испытательные стенды монтируются на массивных фундаментах в помещениях с низкими вибрациями от внешних источников (транспорт, цеховое оборудование и пр.), поэтому в подавляющем большинстве случаев ими можно пренебречь в частотном диапазоне до измеряемых вибраций.

С учетом того, что $N(t) = 0$, то необходимо выделить в $x(t)$ составляющие $x_1(t)$ и $x_2(t)$.

Разделить эти сигналы было бы возможным, если бы была известна статистическая связь $x(t)$ с обоими составляющими. Корреляционные методы для систем с неравномерными частотными характеристиками в данном случае неприменимы, так как возможно явление «потери корреляции». Методы подробно проанализированы в [1].

Поэтому воспользуемся методом функции когерентности.

Количественно когерентность оценивается коэффициентом когерентности на той или иной частотной составляющей спектра. Его значения могут варьироваться от 0 до 1. При коэффици-

енте когерентности равном 1 связь функциональная, при 0 – связь отсутствует. Промежуточные значения дают количественную связь между частными составляющими двух процессов.

Современная цифровая измерительная техника позволяет измерять не только функцию когерентности, но и когерентные и некогерентные спектры.

Многоканальная цифровая аппаратура позволяет помимо спектров исследуемых процессов измерять функции когерентности, а также когерентные и некогерентные компоненты спектра [2].

Когерентная компонента между сигналами $x(t)$ и $x_2(t)$ позволила бы определить вклад сигнала $x_2(t)$ в суммарный сигнал, однако такая возможность исключена в виду недоступности прямого измерения $x_2(t)$.

Поэтому используем связи между $x_2(t)$ и $x_3(t)$ – вибрацией, непосредственно измеряемой на источнике вибраций от привода двигателя стенда.

Поскольку $x_2(t)$ и $x_3(t)$ – полностью коррелированные сигналы, связанные частотной характеристикой $H(t)$ в частотной области и передаточной функцией $h(t)$ во временной области в предположении, что колебательная система «двигатель – подшипник» линейная, то связь между $x_2(t)$ и $x_3(t)$ – функциональная.

Это предположение дает основание рассматривать когерентную компоненту между $x(t)$ и $x_3(t)$ как долю вибраций в измеряемом на стенде спектра вибраций подшипника, возбуждаемого исключительно приводом, а некогерентную – самим испытуемым подшипником.

На двигателе привода в информационной точке (на подшипниковом щите) устанавливается акселерометр, сигнал с которого подается на один из входов двухканального анализатора.

Вибрационный сигнал с акселерометра, установленного на наружном кольце испытуемого подшипника, подается на второй вход.

Измеряется некогерентная компонента спектра $x(t)$ и его автоспектр. Некогерентная компонента может быть преобразована в необходимый формат для виброконтроля – третьоктавного или октавного спектра.

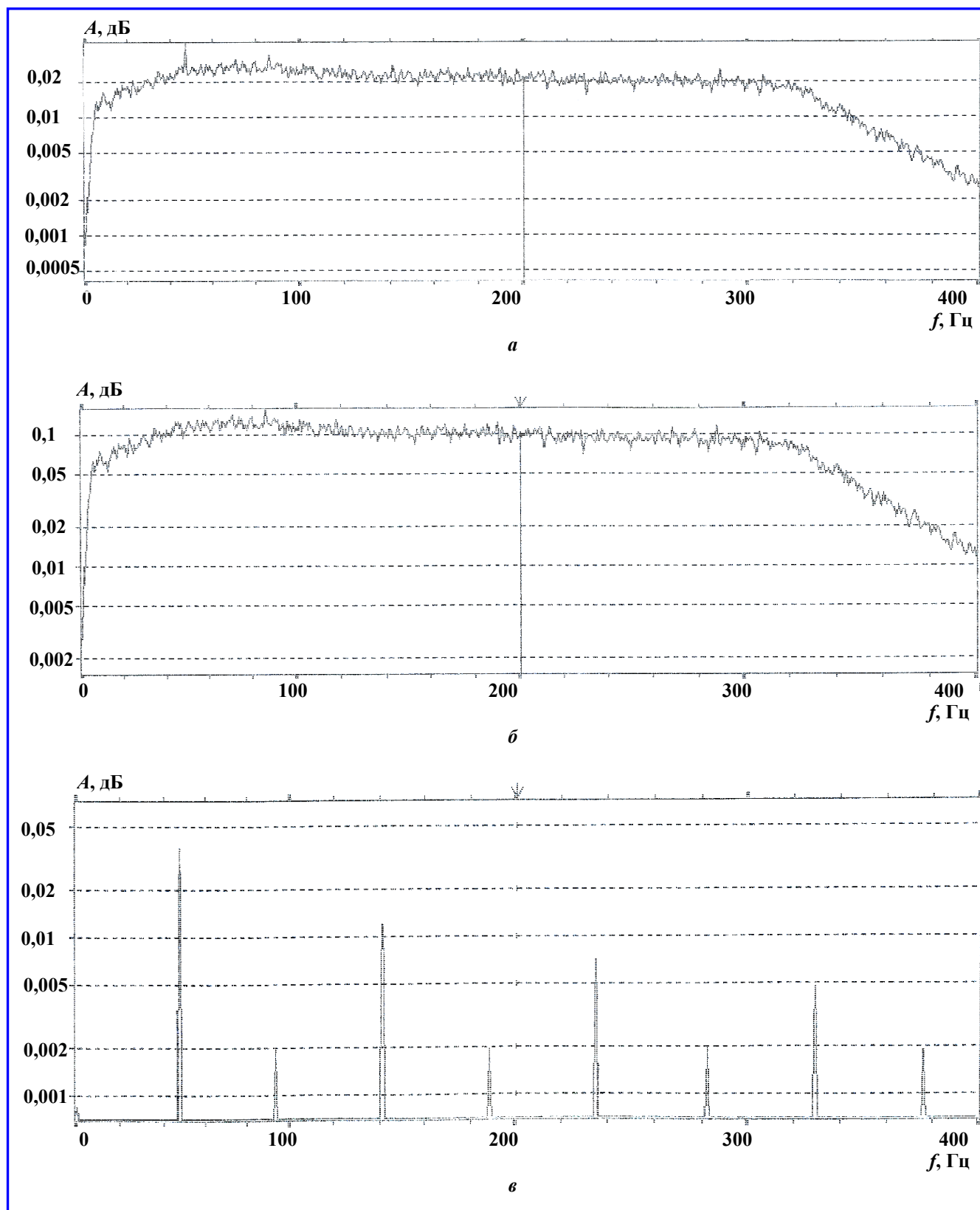


Рис. 4. Пример выделения полезного сигнала из суммы сигналов: a – сумма сигналов случайного процесса с равномерной спектральной плотностью и периодического сигнала прямоугольной формы; $б$ – спектр случайного сигнала; $в$ – некогерентная часть спектра, представляющая собой сигнал, скрытый в спектре a

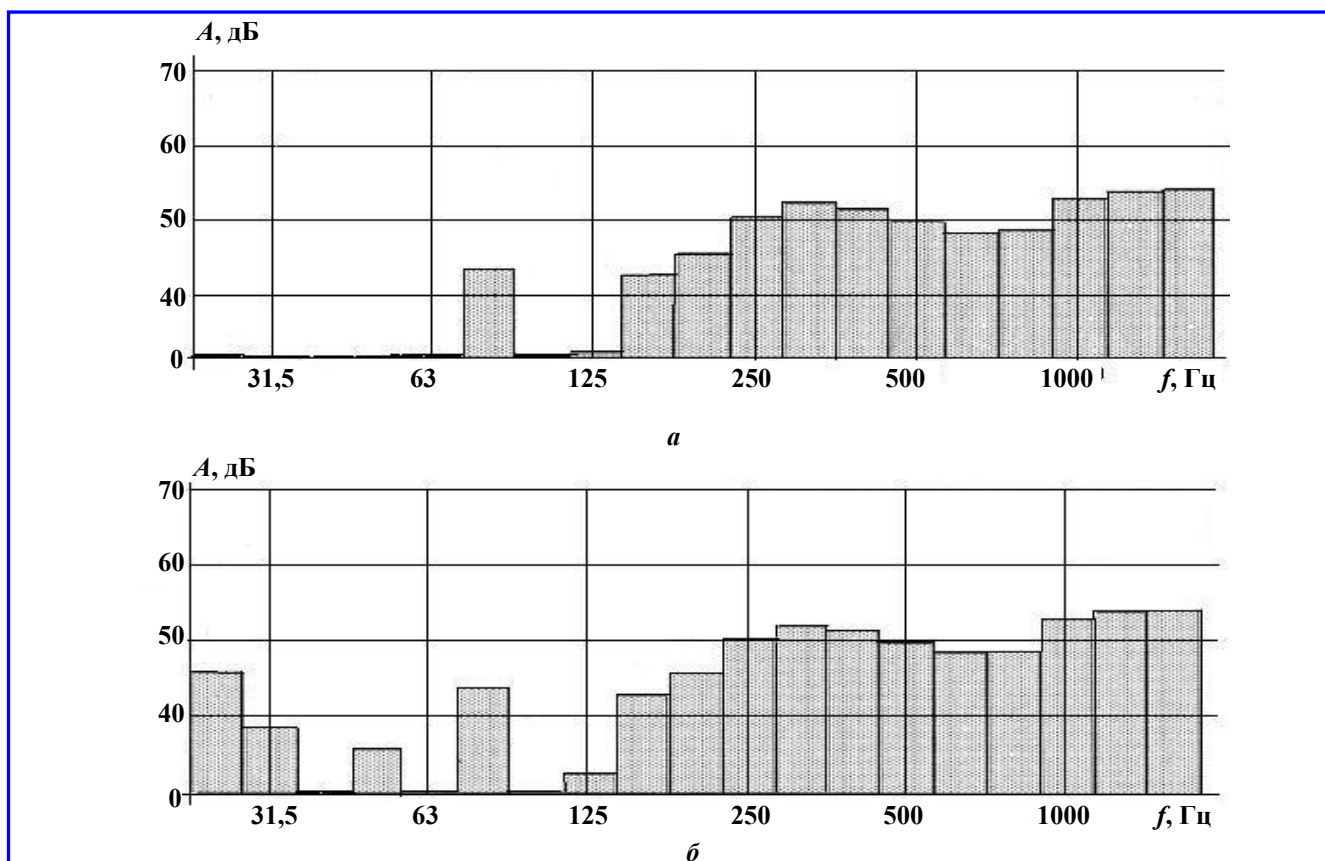


Рис. 5. Вибрации свободного подшипника 311 на стенде ВНИПП 551, частота вращения шпинделя 1500 об/мин: *a* – измеренный спектр; *б* – некогерентный спектр

Эффективность предлагаемого метода покажем на простом примере.

На вход анализатора подается сумма сигналов случайного процесса с равномерной спектральной плотностью и периодического сигнала прямоугольной формы частотой 47 Гц, имеющего дискретный спектр, но существенно низкий по уровню (рис. 4, *a*). Дискретный спектр в смеси сигнала не проявляется. На другой вход подается тот же случайный сигнал, спектр которого представлен на рис. 4, *б*.

Некогерентная часть спектра (рис. 4, *в*) представляет собой сигнал, скрытый в спектре, указанном на рис. 4, *a*.

Выделение некогерентной компоненты при измерении вибраций подшипника 311 было выполнено на стенде ВНИПП 551. Результаты после об-

работки в формате третьоктавных среднеквадратичных спектров представлены на рис. 5.

Спектры были получены при частоте вращения 1500 об/мин. Результаты показывают, что до третьоктавной полосы 80 Гц вибрации определяются приводом, а выше – свойствами подшипника.

Представляется, что предложенный метод получения информации при виброконтроле подшипников может быть использован для любых стендов с электроприводом для унификации получаемых результатов независимо от типа стенда.

Литература

1. Артоболевский И.Н. Введение в акустическую динамику машин / И.Н. Артоболевский, Ю.Н. Бобровницкий, М.Д. Генкин. – М.: Наука, 1979. – 295 с.
2. Бендат Д. Прикладной анализ случайных данных: пер. с англ. / Д. Бендат, А. Пирсол. – М.: Мир, 1989. – 540 с.

Поступила в редакцию 14.10.2010

Александр Александрович Дульцев, начальник лаборатории, т. 8(495) 366-28-22.

Борис Иванович Зубренков, канд. техн. наук, начальник сектора, т. 8(495) 366-21-01.

Валентина Владимировна Сенькина, мл. научн. сотрудник, т. 8(495) 366-21-01, e-mail: well-ka85@mail.ru.