

Оценка возможности реализации вибрационных эталонов дефектов роторных механических узлов

В. Ю. ТЭТТЕР

«Резерв», Омск, Россия, e-mail: tetterv@mail.ru

Приведены схема и описание экспериментов по воспроизведению вибрационных эталонов дефектов. Выполнен расчет погрешности воспроизведения эталонных сигналов вибрации. Сделан вывод о приемлемости полунатурного моделирования для реализации вибрационных эталонов.

Ключевые слова: вибрация, подшипники, дефект, эталон, моделирование, временной сигнал, спектр, воспроизведение.

The diagram and description of experiments for reproduction of vibration standards' defects and the calculation of error of reproduction of reference vibration signals are given. The conclusion on the acceptability of laboratory simulation for realization of vibration standards is carried out.

Key words: vibration, bearings, defect, standard, simulation, time signal, spectrum, reproduction.

Вибродиагностирование роторных механических узлов позволяет обнаруживать в них дефекты на ранней стадии их развития, предупредить наступление аварийной ситуации и сократить затраты на ремонт. Производители вибродиагностического оборудования (ВДО) декларируют возможность определения отдельных видов дефектов и степени их развития. Но при поверке (калибровке) эти свойства никак не проверяются и не подтверждаются. Проверяются такие метрологические характеристики, как динамический диапазон, полоса пропускания частот, разрешение по частоте при спектральном анализе, минимальный уровень входного сигнала и др.

Для потребителей подтверждение только метрологических характеристик не является убедительным доказательством эффективности функционирования оборудования. Это вполне понятно, так как значения метрологических характеристик лишь косвенно характеризуют функциональные возможности ВДО. Сами по себе хорошие метрологические показатели приборов не являются гарантией того, что будут

успешно выявлены и идентифицированы дефекты в диагностируемых узлах. Это только необходимое, но не достаточное условие эффективной работы диагностического оборудования. Для объективной оценки функциональных возможностей можно использовать несколько способов, но наиболее перспективным представляется создание эталонов неисправностей, на которых можно проверять различные диагностические средства на соответствие заявляемым свойствам [1].

Вибрационный эталон дефекта (виртуальный) можно охарактеризовать как совокупность программных и аппаратных средств, в которых применяется информационное по своей природе высокостабильное представление измеряемой физической величины [2]. Сигналы, полученные при прокрутке роторных узлов с характерными дефектами и записанные в цифровой форме, могут быть приняты за прототипы виртуальных эталонов дефектов, так как являются, по сути, носителями необходимой информации о дефектах. Для воспроизведения механических колебаний, соответствующих этим сигналам, требуется дополнительное оборудование. Сама процедура воспроизведения механических колебаний может быть определена как полунатурное моделирование. Задача исследования состояла в проверке возможности и оценке корректности использования процедуры полунатурного моделирования для реализации вибрационных эталонов дефектов.

Преобразование сигналов в механические колебания можно осуществить при помощи аппаратно-программных средств, которые включают постоянное запоминающее устройство (ПЗУ) — носитель информации, и цифроаналоговый преобразователь (ЦАП) в составе персонального компьютера (ПК). В эксперименте использовали звуковую карту ноутбука, усилитель мощности, вибровозбудитель (вибростол). Функциональная схема аппаратно-программной части для проведения эксперимента представлена на рис. 1.

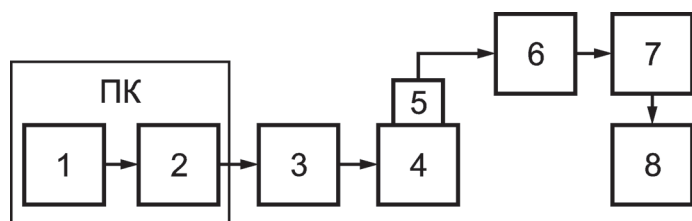


Рис. 1. Функциональная схема аппаратно-программной части воспроизведения и последующей регистрации сигнала вибрации на образцовом оборудовании:

1 — ПЗУ; 2 — звуковая карта; 3 — усилитель мощности; 4 — вибростол; 5 — акселерометр; 6 — усилитель заряда; 7 — диагностический комплекс «Эксперт-Д»; 8 — персональный компьютер ПК

Данная схема представляет собой комплекс для воспроизведения и последующей регистрации сигнала вибрации дефектного подшипника на эталонном оборудовании. Для воспроизведения сигнала служит установка, которая состоит из источника электрического сигнала напряжения (виртуальный эталон дефекта), усилителя мощности LV 103 и вибровозбудителя ESE 201. Источник сигнала — носитель информации — жесткий диск ноутбука. Предварительно записанный сигнал с подшипника с дефектом известного вида хранится в ПЗУ и воспроизводится при помощи ЦАП, затем через усилитель мощности подается на катушку вибровозбудителя, что приводит к механическим колебаниям его рабочей поверхности (вибростола). С применением описанного оборудования были проведены исследования по воспроизведению механических колебаний эталонных сигналов, оценке возникающей при этом погрешности и степени совпадения исходного и воспроизведенного сигналов.

Запись воспроизводимого сигнала осуществляли с использованием измерительной системы, для считывания в ней механических колебаний предназначен образцовый акселерометр B&K 8305. Система содержит также усилитель заряда B&K 2635 и диагностический комплекс «Эксперт—Д», в котором по программе «цифровой магнитофон» исследуемый сигнал оцифровывается и конечный результат записывается в память ПК в виде файла (массива дискретных значений сигнала).

Степень совпадения сигналов (исходного и воспроизведенного) оценивают по косвенным и обобщенным показателям во временной и частотной областях. Для сравнения сигналов во временной области были выбраны следующие параметры временного сигнала: среднее и среднеквадратическое (СКЗ) значения, пик-фактор, фактор Куртозиса. В спектральной области основным критерием правильности воспроизведения сигнала является заключение по результатам сравнения диагнозов, установленных программой Vibroinf2, исходного временного сигнала от дефектного подшипника и его гомоморфного отображения, полученного при воспроизведении вибрации дефектного подшипника с применением вибростола.

Эксперимент состоит из такой последовательности основных операций:

- выбора подшипника с известным дефектом;
- получения цифрового (dat) файла с записью временного сигнала вибрации при прокрутке подшипника;
- преобразования полученного файла из формата dat в формат wav;

воспроизведения механических колебаний путем проигрывания wav-файла через звуковую карту и подачи их через усилитель на вход вибростола;

измерения при помощи эталонного датчика механических колебаний, воспроизведенных на вибростоле, и получения dat-файла;

оценки степени совпадения исходного и воспроизведенного сигналов по косвенным критериям.

Приведем краткие технические характеристики образцового оборудования.

Персональный компьютер содержит ПЗУ, хранящее аудиофайл временного сигнала вибрации. Объем памяти для хранения аудиофайлов должен быть не менее 200 Мбайт. Файл воспроизводится через 24-разрядный ЦАП звуковой карты (преобразуется в электрический сигнал напряжения).

Усилитель мощности LV 103: максимальная мощность 100 Вт; рабочая полоса частот от 3 Гц до 80 кГц; погрешность $\pm 0,5\%$.

Вибровозбудитель ESE 201: частотный диапазон 5—9000 Гц; допустимая загрузка массы 1,5 кг; масса вибросистемы 610 г; погрешность $\pm 3\%$.

Акселерометр B&K 8305: температурный диапазон от -74 до $+200$ °С; частотный диапазон 1—14000 Гц; погрешность не более $\pm 0,6\%$.

Усилитель заряда 2635 B&K: частотный диапазон от 1 Гц до 10 кГц; температура окружающей среды от -10 до $+45$ °С; масса 1,45 кг.

В качестве исходных данных для эксперимента были взяты временные сигналы вибрации, полученные при прокрутке подшипников, имеющих следующие виды дефектов: наружного кольца — раковина, трещина, износ; сепаратора — износ, трещина; а также набор дефектных роликов.

На первом этапе были проведены работы с вибросигналами, которые соответствуют наиболее часто встречающимся на практике видам дефектов и бездефектному подшипнику: раковина, трещина и износ наружного кольца; без дефектов.

В результате эксперимента были получены временные сигналы воспроизведенных механических колебаний и косвенным путем оценена степень их соответствия исходным временным сигналам. В таблице приведены параметры временных сигналов для подшипника с трещиной наружного кольца (рис. 2).

Параметры временных сигналов для подшипника с трещиной наружного кольца

Диагностический параметр	Сигнал	
	исходный	воспроизведенный
Среднее значение, м/с^2	−0,01	0
Минимальное значение, м/с^2	−1,7	−1,35
Максимальное значение, м/с^2	2,44	1,00
СКЗ, м/с^2	0,23	0,13
Фактор Куртозиса	17,38	14,77
Пик-фактор	10,44	10,17

Для воспроизведенного сигнала подшипника с трещиной наружного кольца было получено заключение по результатам диагностирования в программной среде Vibroinf2 с указанием диагностических признаков (характерных частот) и заключительной рекомендацией «Заменить подшипник». Сравнение указанных результатов показало, что диагностические признаки имеют существенные различия только в низкочастотной области 0—10 Гц. В остальной полосе анализируемых частот наблюдается совпадение характерных

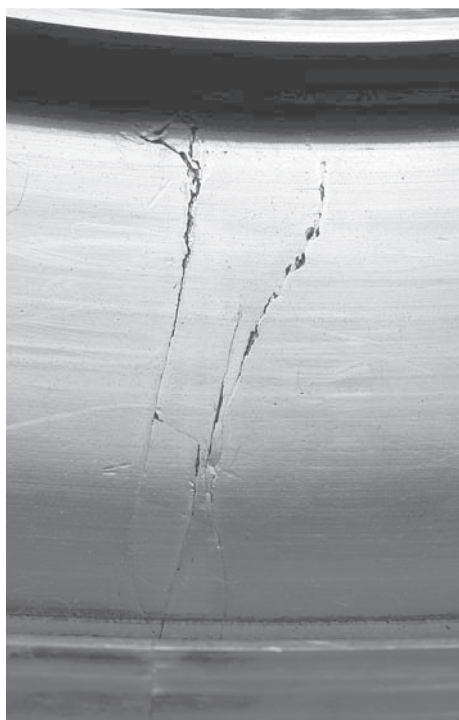


Рис. 2. Трещина наружного кольца подшипника

спектральных составляющих по частоте с допустимыми отклонениями по амплитуде. Для косвенной оценки степени соответствия записей исходного и воспроизведенного вре-

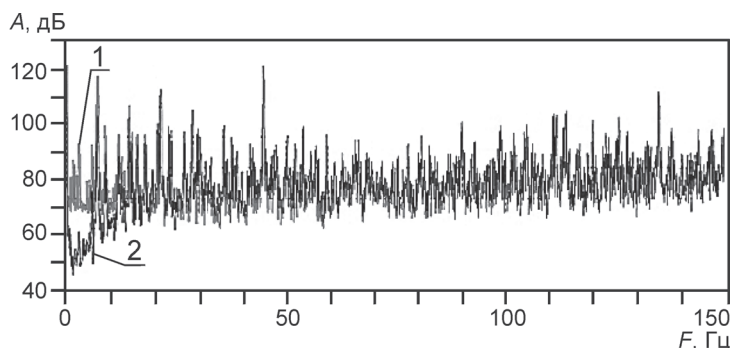


Рис. 3. Прямые спектры исходного (1) и воспроизведенного (2) сигналов

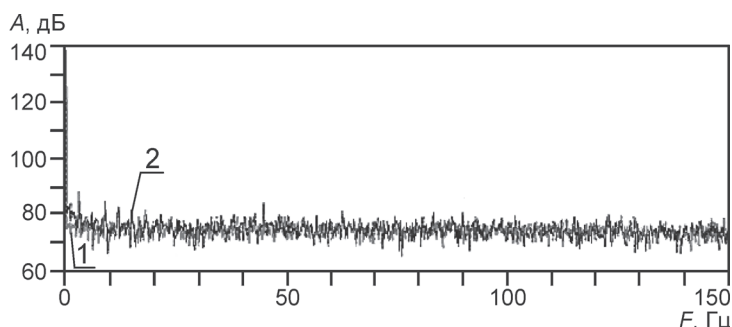


Рис. 4. Спектры огибающей исходного (1) и воспроизведенного (2) сигналов

менных сигналов было выполнено сравнение соответствующих видов спектров. Примеры такого сравнения представлены на рис. 3, 4.

Согласно предварительной оценке степень совпадения спектров исходного и воспроизведенного сигналов применительно к задаче реализации вибрационных эталонов дефектов можно считать удовлетворительной.

Ниже приведен расчет погрешности воспроизведения эталонных сигналов вибрации. Для оценки основной погрешности δ воспроизведения воспользуемся формулой из [3]:

$$\delta = \pm 1,1 \sqrt{\delta_{\text{ЦАП}}^2 + \delta_{\text{УМ}}^2 + \delta_{\text{ВВ}}^2}, \quad (1)$$

где 1,1 — коэффициент, определяемый доверительной вероятностью 0,95; $\delta_{\text{ЦАП}}$, $\delta_{\text{УМ}}$, $\delta_{\text{ВВ}}$ — погрешности соответственно ЦАП, усилителя мощности и вибровозбудителя.

Погрешностью, вносимой линиями связи, а также другими составляющими по причине их незначительности можно пренебречь.

Значения каждой составляющей погрешности взяты из технической документации, и основная погрешность

$$\delta = \pm 1,1 \sqrt{0,3^2 + 0,5^2 + 3^2} = 3,36\%.$$

В результате проведения экспериментальных исследований и расчетов можно сделать предварительное заключение: исходные временные сигналы могут быть приняты за прототипы виртуальных эталонов дефектов и полунатурное моделирование механических колебаний осуществляется с погрешностью, удовлетворяющей поставленной задаче.

Опробованная методика воспроизведения механических колебаний может быть использована при создании тестовых (эталонных) сигналов дефектов роторных механических узлов для проверки функциональных возможностей вибродиагностического оборудования.

Л и т е р а т у р а

1. Тэттэр В. Ю. «Эталон» неисправностей для диагностики роторных механических узлов // Мир измерений. 2007. № 10. С. 14—19.
2. Ермашин С. М. Возможности создания виртуальных эталонов // Измерительная техника. 2002. № 10. С. 10—13; Ermishyn S. M. Possibilities for creating virtual standards // Measurement Techniques. 2002. V. 45. N 10. P. 1007—1011.
3. Зусман Г. В. Вибродиагностика / Учеб. пособие. Под ред. Г. В. Зусмана, А. В. Баркова. М.: Диагностика безопасности, 2011.

Дата принятия 22.10.2012 г.