

УДК 62 – 233.27

## ДИАГНОСТИКА ДЕФЕКТОВ ПОДШИПНИКОВ МЕТОДАМИ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

А.А. Павлова, доц., к.т.н.,  
Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

*Аннотация.* Как метод неразрушающего контроля рассмотрена вибродиагностика дефектов подшипников качения. Предложены общая упрощенная схема устройства для снятия сигналов вибродатчика и метод дальнейшей обработки спектрограммы, что позволило с минимальными затратами, но с достаточно большой вероятностью производить вибрационную оценку подшипников.

*Ключевые слова:* неразрушающий контроль, диагностика, подшипники качения, дефекты, вибродиагностика.

## ДІАГНОСТИКА ДЕФЕКТІВ ПІДШИПНИКІВ МЕТОДАМИ НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ

А.А. Павлова, к.т.н., доц.,  
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

*Анотація.* Як метод неруйнівного контролю розглянуто вибродіагностику дефектів підшипників кочення. Запропоновано загальну спрощену схему пристрою для зняття сигналів вибродатчика та метод подальшої обробки спектрограми, що дозволило з мінімальними витратами, але з достатньо великою ймовірністю проводити вібраційну оцінку підшипників.

*Ключові слова:* неруйнівний контроль, діагностика, підшипники кочення, дефекти, вібродіагностика.

## DIAGNOSIS OF BEARING DEFECTS BY NONDESTRUCTIVE CONTROL METHODS

A. Pavlova, Assoc. Prof., Cand. Sc. (Eng.),  
Kharkiv National Automobile and Highway University

*Abstract.* The vibration-based diagnostics of frictionless bearings defects has been considered as a nondestructive control method. The general simplified scheme of a device for recording the vibration detector signals and the method of further treatment of the spectrogram have been offered, which allowed to make the vibration estimation of bearings with minimum expenses but with great probability.

*Key words:* nondestructive control, diagnostics, rolling bearings, defects, vibration-based diagnostics.

### Введение

Применение методов неразрушающего контроля во всех сферах производства и эксплуатации машин как наиболее перспективных и ресурсосберегающих обусловило их использование и для таких стандартных изделий как подшипники качения. Для диагностики дефектов подшипников, ввиду специфики их

работы, чаще используется вибродиагностика. При обкатывании телами качения механических дефектов на обоймах подшипника, как и при дефектах на самих телах качения, в подшипнике возникают вибрационные процессы. Причиной возникновения вибраций является единичное импульсное возбуждение. Поскольку возбуждающее усилие носит кратковременный характер, то спектр частот

возникающих свободных колебаний очень широк и может занимать полосу частот от сотен герц до сотен килогерц. Именно этим объясняется успешное применение для диагностики подшипников качения различных методов диагностики, анализирующих вибрации как в зоне слышимых частот, так и в зоне ультразвука и выше.

### Анализ публикаций

Одной из проблем вибрационной диагностики является определение технического состояния подшипников качения, поддерживающих тихоходные валы. Такой тип оборудования, имеющий невысокую частоту вращения рабочего и промежуточных валов, встречается достаточно часто (подшипники колес механизмов передвижения кранов, механизма подъема кранов, механизма передвижения крановых тележек, полиспасты и т.д.). Во многих случаях безаварийность работы данного оборудования в большой степени зависит от состояния подшипников качения и влияет не только на технологический процесс, но и на безопасность работы установки, агрегата, цеха. Частоты вибрации от дефектов подшипников качения практически мало зависят от частот вращения самих подшипников, поскольку свободные колебания механической конструкции от импульсного возбуждения определяются только резонансными свойствами самой конструкции. С какой бы частотой не наносились удары по подшипнику, частота свободных колебаний элементов подшипника не меняется. Следствием этого заключения является то, что с изменением частоты вращения контролируемого дефектного подшипника (конструкции) частота свободных колебаний не изменяется. Происходит только некоторое смещение распределения мощности в спектре вибрации. У тихоходных подшипников большая часть мощности сосредоточена в высокочастотной зоне, у тихоходных – более значимыми являются более низкие частоты. В любом случае, частоты свободных колебаний не опускаются ниже нескольких сотен герц [1]. Частота регистрации прибором вибросигналов должна быть в диапазоне от нескольких герц до нескольких тысяч герц. Нижняя граница регистрируемых частот ограничена, примерно, значением в 100 Гц, что допускает применение практически любых вибронализаторов и датчиков (достаточно даже стандартного минимального значения частоты в

10 Гц). Верхняя граница регистрируемых сигналов должна быть не менее 2 кГц [2], хотя, чаще всего, будет хватать и 1 кГц. Никаких низкочастотных датчиков с нижней частотой в доли герц не требуется. Виброанализатор с датчиками, работающими в диапазоне частот 5–5000 Гц, идеально подходит для диагностики низкооборотных агрегатов, имеющих в своем составе подшипники качения. Вторым диагностическим параметром вибрации, возникающим от дефектов подшипника, является частота повторения ударов. Наличие стационарного дефекта предполагает следование ударов через повторяющиеся промежутки времени. Длительность этих интервалов во времени зависит от соотношения геометрических размеров подшипника со скоростью вращения вала. В среднем можно считать, что минимальное значение частоты следования ударов, возникающих при дефектах сепаратора подшипника, чуть больше 0,4 от частоты вращения вала. Максимальная частота ударов, возникающих при дефектах тел качения подшипника, редко бывает больше десятикратного значения оборотной частоты вала [3].

Для достоверного диагностирования любого стационарного дефекта необходимо подряд или с одним пропуском зарегистрировать несколько импульсов одной природы, но не менее 2–3. Это предполагает проведение непрерывной регистрации вибросигналов в течение достаточно длительного времени, за которое, теоретически, дефект должен несколько раз проявить себя. За это время контролируемый вал должен совершить несколько оборотов. Максимально это составляет  $\approx 10$  оборотов контролируемого вала. Для тихоходных подшипников это требование очень жестко задает некоторые необходимые параметры приборов регистрации вибрации [4].

Для диагностики подшипников качения с малой частотой вращения подходят только те приборы, которые могут проводить регистрацию сигналов в течение длительного интервала времени. В этом случае при обработке сигналов могут быть выявлены признаки дефекта, повторяющиеся от оборота к обороту. Единичные импульсы другой природы возникновения будут идентифицированы как случайные, не связанные с работой подшипника качения [5].

Первое и второе требования к анализаторам вибросигналов противоположны друг другу. Первое требует регистрации на максимально высокой частоте, т.к. частота свободных колебаний конструкции после единичных импульсных воздействий в момент обкатывания дефектов достаточно велика, о чем постоянно говорят специалисты по диагностике подшипников качения при помощи спектра огибающей. При фиксированной длине выборки сигнала в приборе это приводит к сокращению длительности регистрации. Чем выше частота регистрации сигнала, тем короче во времени получаемая выборка. В то же время второе выдвигает необходимость увеличения длины выборки, что, при прочих равных условиях, достигается уменьшением частоты регистрации сигналов. Особенно острой эта проблема становится при диагностике подшипников ходовых колес кранов и крановых тележек. При работе данных узлов на вибрации в подшипниках влияют не только внутренние дефекты, но и дефекты колес, рельсов, прохождение колесами стыков рельсов, контакт рейборд колес с рельсами и т. д.

### Цель и постановка задачи

Широкое использование подшипников качения и безаварийность работы оборудования, зависящая от них, определили цель и задачи работы – предложить схему устройства для снятия вибросигналов и метод дальнейшей обработки данных, которые позволили бы с минимальными затратами, но с достаточно большой вероятностью производить вибрационную оценку подшипников.

### Обработка вибрационных сигналов

Для того чтобы объединить все перечисленные требования к вибродиагностике подшипников, необходим прибор с памятью, позволяющей регистрировать длинные выборки – сигналы с высокой частотой в течение длительного времени. Возникает вопрос об использовании компьютерной техники для регистрации, анализа и обработки результатов записи сигнала. Преимущества использования компьютерной техники заключаются в относительно малых габаритах и возможности регистрации результатов эксперимента в довольно продолжительном периоде времени (время ограничено емкостью носителя и используемым программным обеспечением). При использовании, напри-

мер, файловой системы NTFS, поддерживаемой Windows XP, время записи результатов эксперимента в звуковом формате MP3 может достигать нескольких сотен часов. Однако при использовании компьютерной техники возникает вопрос об аналого-цифровом преобразователе (АЦП) и устройствах согласования сигнала.

Цена современных АЦП высока, а их возможности превышают потребности выше поставленных задач. Вследствие этого предлагается использовать АЦП звуковой платы, подавать сигнал на линейный вход. Чувствительность работы АЦП звуковой платы является достаточной для проведения преобразования аналогового сигнала вибродатчика в цифровой сигнал. С помощью современных программных средств довольно просто провести спектральный анализ сигнала и сделать выводы о возможных повреждениях в узлах подшипников. Для более качественного преобразования сигнала необходимо произвести согласование выходного сигнала вибродатчика и звуковой платы компьютера.

В процессе исследования разработан портативный преобразователь сигнала вибродатчика в звуковой формат, который приемлем для восприятия звуковой картой компьютера и имеет возможность одновременного подключения двух вибродатчиков. С помощью портативного компьютера через звуковой вход мы можем записать звуковую информацию и просмотреть её в графическом отображении. Также возможно подключение к щеточным тахометрам, тензомостам для определения динамики работы скоростей и ускорений как двигателей, так и машин в целом. Принципиальная схема подключения компьютера представлена на рис. 1.

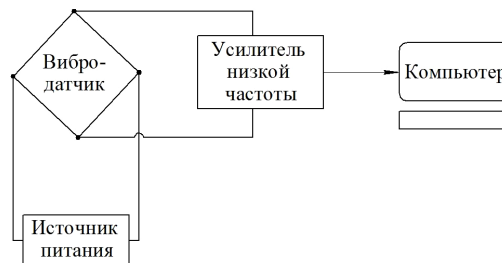


Рис. 1. Схема подключения вибродатчика к компьютеру

Запись вибраций в цифровом формате позволяет более точно и без применения специальных приборов оценить уровень вибрации и шума, построить спектрограмму и прове-

сти качественную оценку надежности механизма по степени возрастания вибраций и шумов от первоначальных или регламентированных. Анализ спектрограммы вибрации может более точно указать не только на изношенные детали без разборки механизма, но и даст возможность проанализировать причины их износа.

Предлагаемый метод обработки сигналов вибродатчика (спектрограммы) в дальнейшем позволяет получить все данные в формате линейной матрицы. Данные могут быть обработаны с помощью программы «Осциллоскоп 2,51» или с помощью других программных средств; можно четко отследить амплитуду и периодичность изменения параметров датчика, произвести запись вибраций и повысить точность исследования, используя масштабирование и изменение чувствительности. Параметры вибрации, записанные в виде линейной матрицы, позволяют провести амплитудную и спектральную оценку. Сущность метода иллюстрируется рис. 2, на котором показан спектральный анализ сигналов высокочастотной вибрации подшипника качения без дефектов и с дефектами.

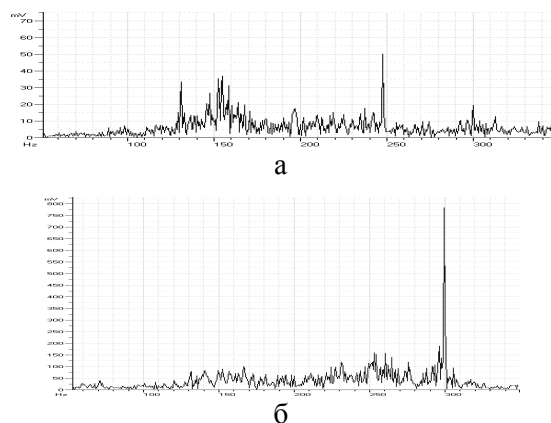


Рис. 2. Спектральный анализ сигналов высокочастотной вибрации подшипника: а – новых подшипников; б – изношенных подшипников

В бездефектном подшипнике мощность сигнала не имеет периодических низкочастотных колебаний, а в дефектном эти колебания достаточно сильны и хорошо выделяются в спектре огибающей в виде гармонических составляющих, имеющих подшипниковые частоты или их комбинации. Вид дефекта определяется частотами составляющих, величина дефекта – глубиной модуляции мощ-

ности вибрации (соотношением амплитуд гармонических и случайных составляющих).

### Выводы

Предложены общая упрощенная схема устройства для снятия сигналов вибродатчика и метод дальнейшей обработки спектрограммы, что позволило с минимальными затратами, но с достаточно большой вероятностью производить вибрационную оценку подшипников. Качество диагностики низкооборотных подшипников методом спектрального анализа растет с повышением динамического диапазона и линейности технических средств спектрального анализа сигналов вибрации.

### Литература

1. Костюков В.Н. Ранговый метод виброакустической диагностики и оценки качества машин / В.Н. Костюков // Гидропривод и системы управления строительных, тяговых и дорожных машин. – Омск: ОмПИ, 1985. – С. 113–124.
2. Вешкурцев Ю.М. Автокогерентные устройства измерения случайных процессов / Ю.М. Вешкурцев. – Омск: ОмГТУ, 1994. – 164 с.
3. Пат. № 1280961 Российская федерация. МПК H04B 51/00601M13/02 Способ виброакустической диагностики машин периодического действия и устройство для его осуществления / В.Н. Костюков; заявитель и патентообладатель Костюков В.Н. № 823505038/06; заявл. 22.10.1982 г.; опубл. 20.08.1998 г., Бюл. 16.
4. Барков А.В. Мониторинг и диагностика роторных машин по вибрации / А.В. Барков, Н.А. Баркова, А.Ю. Азовцев. – С.Пб.: АО ВАСТ, 1997. – С. 75–78.
5. Azovtsev A.Y. Improving the accuracy of Rolling Element Bearing Condition Assessment / A.Y. Azovtsev, A.V. Barkov, D.L. Carter // Proceedings of the 20th Annual Meeting of the Vibration Institute, Saint Louis, Missouri, USA. – 1996. – P. 27–30.

Рецензент: Е.С. Венцель, профессор, д.т.н., ХНАДУ.

Статья поступила в редакцию 29 апреля 2016 г.