

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНФОРМАТИКИ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ
(БГУИР)

УДК 517.444::534.442:620.179.1::621.88/.83 -045.79

№ госрегистрации 20150640

Инв. №

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе
д-р техн. наук, проф.

_____ А. П. Кузнецов

«___» _____ г.

ОТЧЕТ

О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

ДИАГНОСТИКА ПРОМЫШЛЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ
ПО ВИБРАЦИОННЫМ СИГНАЛАМ НА ОСНОВЕ
ПЕРИОДИЧЕСКОГО ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ

(заключительный)

ГБЦ 15-3072

Науч. руководитель

доц. каф. РТС БГУИР, канд. техн. наук, доц.

_____ И. Г. Давыдов

Отв. исполнитель

асс. каф. РТС БГУИР

_____ А. В. Цурко

Минск 2016

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Научный руководитель темы,

доц. каф. РТС БГУИР, канд. техн. наук, доц.

(введение, заключение)

_____ И. Г. Давыдов
(18.02.2016)

Ответственный исполнитель темы

асс. каф. РТС БГУИР,

(основная часть)

_____ А. В. Цурко
(18.02.2016)

Нормоконтролер

_____ Л. А. Шичко
(18.02.2016)

РЕФЕРАТ

Отчет 13 с., 8 источников.

ВИБРАЦИОННАЯ ДИАГНОСТИКА, ПОДШИПНИКИ КАЧЕНИЯ, ЦИФРОВАЯ ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ, ПЕРИОДИЧЕСКОЕ ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЕ, ВЕЙВЛЕТ-МОДЕЛЬНОЕ РАЗЛОЖЕНИЕ

В работе предложено и проверено два метода выявления дефектов поверхности подшипников качения по записям сигналов вибрации подшипников. Эффективность новых методов в небольшой степени превосходит существующие аналоги в определённых приложениях.

СОДЕРЖАНИЕ

Обозначения и сокращения	5
Введение	6
Основная часть	7
Заключение	12
Список использованных источников	13

Библиотека БГУИР

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

АБГШ – аддитивный белый гауссовский шум

ВМР – вейвлет-модельное разложение (метод)

ПВП – периодическое вейвлет-преобразование (метод)

Библиотека БГУИР

ВВЕДЕНИЕ

Область вибрационной диагностики является сравнительно молодой и активно развивающейся. Приложения вибрационной диагностики к роторным узлам различных механизмов является актуальным и целесообразным, так как помогают экономить ресурсы при обслуживании и снизить количество аварийных ситуаций на таких объектах, как: автомобильный, железнодорожный, морской и воздушный транспорт; электростанции и генераторы; прокатные станы и конвейеры различных высоконагруженных производств, и пр.

Одним из ключевых и часто выходящих из строя узлов роторных механизмов являются подшипники качения. Вне зависимости от причины поломки (брак, износ, экстремальные ударные нагрузки) если механизм работает, он рассеивает энергию в виде механической вибрации. Чем больше рассогласованность работы узлов, тем выше уровень шума. При этом специальными методами можно без остановки оборудования, прямо в процессе эксплуатации определить диагностические признаки, отражающие рабочее состояние подшипников, наличие, выраженность и расположение возможных дефектов. Далее эти сведения используются для планирования обслуживания и замены узлов механизма.

В данной НИР предложено два новых метода, позволяющих выявлять и определять период возникновения ударных импульсов, что является опорными данными для определения дефектов подшипников по кинематическим схемам. Эти методы могут быть использованы в системах автоматизированной компьютерной диагностики.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

В результате выполнения НИР получены следующие результаты:

1. Проведен анализ информационных источников по механике эксплуатации и вибрационной диагностике подшипников качения, выделены основные типы технических состояний подшипников и их особенности.

2. Разработаны математические описания моделей сигналов вибрации подшипников качения в состояниях нормальной работы и работы с дефектами тел качения, внутреннего и внешнего колец. Математические модели сигналов вибрации подшипника качения при различных дефектах представляют собой периодические последовательности импульсов с частотой повторения равной частоте перекачивания тел качения по содержащей дефект поверхности (при дефектах колец), либо равной частоте перекачивания тела качения по поверхности обоих колец (при дефекте тела качения). Математическая модель ударного импульса, в соответствии с [1], представляет собой затухающую синусоиду, а сигналы вибрации при наличии дефектов определяются исходя из геометрии подшипников [2].

Математические модели реализованы в форме унифицированной MATLAB-функции, позволяющей получить вектор отсчетов сигнала вибрации с различными комбинациями нормального и дефектных состояний. Типы присутствующих в сигнале дефектов задаются с помощью входного векторного параметра. Функция имеет следующие скалярные входные аргументы: длительность генерируемой реализации, частота дискретизации, декремент затухания и резонансная частота ударных импульсов, частоты дефектов, отношение сигнал/шум.

3. Выполнена программная реализация разработанных моделей в виде алгоритмов вычислительной среды MATLAB, пригодных для получения модельных реализаций вибрационных сигналов подшипников качения в состоянии

нормальной работы и работы с дефектами тел качения, внутреннего и внешнего колец.

Согласно предположению о возможных абсолютных и относительных искажениях пространственных и временных метрик, учет амплитудных и фазовых искажений сигнала производится путем передачи в функцию векторов амплитудных множителей и фазовых углов соответственно, длины которых равны длине генерируемой реализации. В качестве модели шума используется аддитивный белый гауссовский шум (АБГШ). Результаты работы представлены докладом на конференции [3].

4. Проведена разработка адаптивного алгоритма диагностики технического состояния подшипника на основе периодического вейвлет-преобразования и его модификация.

В результате поиска путей модернизации разработанного алгоритма периодического вейвлет-преобразования [4] предложен метод вейвлет-модельного разложения огибающей сигнала вибрации подшипника качения [5].

Суть метода периодического вейвлет-преобразования заключается в автоматизированном анализе исходного сигнала с целью определения масштаба материнского вейвлета с наибольшим энергетическим откликом и последующем определении частоты следования выявляемых вейвлетом импульсов путем проведения вейвлет-преобразования с выбранным периодом повторения.

Суть метода вейвлет-модельного разложения заключается определении частоты следования импульсов путем корреляции огибающей исходного сигнала и огибающей сигнала с периодическим повторяющимися ударными импульсами, полученного по модели периодически следующих вейвлетов с параметрами периодического преобразования.

Разработаны математические описания адаптивных алгоритмов периодического вейвлет-преобразования и вейвлет-модельного разложения огибающей сигнала вибрации подшипника качения.

5. Выполнена программная реализация разработанных методов в виде алгоритмов вычислительной среды MATLAB, пригодных для диагностики по сигналам вибрации технического состояния подшипников качения в состоянии нормальной работы и работы с дефектами тел качения, внутреннего и внешнего колец.

6. Проведено исследование применимости вышеуказанных методов для определения технического состояния подшипников качения по сигналам вибрации.

Для постановки эксперимента использована вычислительная среда MATLAB. В качестве исходных данных использованы сигналы, сгенерированные на основе моделей сигналов подшипников с дефектами [3], а также реальные данные из открытой базы Case Western Reserve University Bearing Data Center [6]. В качестве опорных данных для диагностики использованы расчеты частот проявления дефектов исходя из геометрических и кинематических параметров эксплуатации подшипников [3].

В результате эксперимента установлено, что оба разработанных метода пригодны для решения целевых задач. При этом периодическое вейвлет-преобразование относительно вейвлет-модельного разложения оказался более эффективным при обнаружении с дефектов тел качения и менее эффективным при обнаружении дефектов внешнего кольца подшипника

6.1. Выполнена проверка работоспособности алгоритма оценки частоты повторения ударных импульсов на основе периодического вейвлет-преобразования путем его применения к разработанным моделям импульсных периодических сигналов. Показано, что результат выполнения преобразования имеет хорошо различимый отклик в области оцениваемой частоты при исследовании сигналов с дефектом внутреннего кольца и тела качения, и позволяет оценить соответствующие частоты дефектов с относительной погрешностью менее 1 % при отношении сигнал/шум -10 дБ. При применении предложенного

алгоритма к сигналу с дефектом наружного кольца выраженный отклик в области оцениваемой частоты не определяется.

6.2. Выполнена проверка работоспособности алгоритма оценки частоты повторения ударных импульсов на основе вейвлет-модельного разложения огибающей сигнала путем его применения к разработанным моделям импульсных периодических сигналов. Показано, что результат выполнения преобразования имеет хорошо различимый отклик в области оцениваемой частоты при исследовании сигналов со всеми указанными типами дефектов и позволяет оценить соответствующие им частоты с относительной погрешностью менее 1 % при отношении сигнал/шум -10 дБ.

6.3. При анализе записи реального сигнала с дефектом наружного кольца результат выполнения периодического вейвлет-преобразования не имел выраженного отклика в области оцениваемой частоты. Все остальные методы (метод спектра огибающей сигнала, метод спектра огибающей вейвлет-коэффициентов, метод вейвлет-модельного разложения огибающей сигнала) содержали выраженный отклик в области оцениваемой частоты и показали схожие результаты.

6.4. При анализе записи реального сигнала с дефектом внутреннего кольца все методы позволили получить хорошо различимый отклик в области оцениваемой частоты и выполнить ее оценку с относительной погрешностью менее 1 %. При использовании периодического вейвлет-преобразования и спектра огибающей вейвлет-коэффициентов наблюдается большее количество побочных максимумов по сравнению с методом спектра огибающей и методом вейвлет-модельного разложения огибающей сигнала.

6.5. При анализе записи реального сигнала с дефектом тела качения диаметром 0,1778 мм метод на основе периодического вейвлет-преобразования позволил обнаружить дефект тела качения на ранней стадии развития, в то время как другие методы не позволили получить выраженный отклик в области оцениваемой частоты дефекта.

6.6. При анализе записи реального сигнала с дефектом тела качения диаметром 0,3556 мм все исследуемые методы позволили получить выраженный отклик в области частоты дефекта и выполнить ее оценку с относительной погрешностью менее 1 %.

Библиотека БГУИР

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработано техническое решение, готовое к использованию в составе средств автоматизации выявления импульсных периодичностей на базе MATLAB-серверов.

Итоговый эксперимент основан на визуальной оценке выраженности различных частотных компонент на фоне шумов в областях, соответствующих искомым проявлениям дефектов. Предложенные методы ПВП [4] и ВМР [5] рассмотрены в сравнении с традиционными методами поиска импульсных периодичностей, использующими спектр огибающей сигнала и спектр огибающей вейвлет-коэффициентов.

Исследованные методы в целом продемонстрировали пригодность для решения поставленных задач и небольшую разницу в чувствительности методов (визуально – единицы дБ). Метод ПВП продемонстрировал повышенную эффективность при анализе сигналов, соответствующих слабо выраженному дефекту тела качения, и пониженную при анализе сигнала с дефектом наружного кольца. Метод ВМР продемонстрировал пониженный уровень побочных пиков в спектре сигнала при исследовании случаев дефекта внутреннего кольца подшипника качения.

В работе участвовали один аспирант и один магистрант.

Результаты работы апробированы на конференциях [3, 5, 7].

По результатам работы защищена магистерская диссертация [8].

Выполнено внедрение в учебный процесс на кафедре РТС БГУИР в рамках дисциплины «Методы и средства цифровой обработки сигналов», что подтверждено актом внедрения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- [1] Генкин М.Д. Виброакустическая диагностика машин и механизмов / М.Д. Генкин, А.Г. Соколова. — М.: Машиностроение, 1987. — 288 с.
- [2] R.B. Randall Vibration-based condition monitoring: industrial, aerospace and automotive applications, 2011.
- [3] Сеглюк, И.М. Модели сигналов вибрации подшипников качения при наличии поверхностных дефектов / И. М. Сеглюк, А. В. Цурко, // Материалы 51-ой научно-технической конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР, секция «Радиотехнические системы», 7 мая 2015 – Минск, Беларусь, 2015. – с. 62-64.
- [4] Давыдов, И.Г. Алгоритм оценки частоты повторения ударных импульсов на основе периодического вейвлет-преобразования / И.Г. Давыдов, С.Ю. Васюкевич, А.В. Цурко, И.М. Сеглюк // Доклады БГУИР №6(84) 2014 – Минск, БГУИР, 2014 – с.22-27
- [5] Давыдов, И.Г. Вейвлет-модельное разложение огибающей сигнала / И.Г. Давыдов, И.М. Сеглюк, А.В. Цурко // Материалы 20-ой международной научно-технической конференции «Современные средства связи», 14-15 октября 2015 – Минск, Беларусь, 2015.
- [6] Case Western Reserve University Bearing Data Center [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа : <http://csegroups.case.edu/bearingdatacenter/home/>.
- [7] Давыдов, И.Г. Оценка периодичностей импульсных процессов при помощи модификаций вейвлет-преобразования / И.Г. Давыдов, И.М. Сеглюк, А.В. Цурко // Материалы 11-й международной научно-технической конференции «Современные проблемы радиотехники телекоммуникаций РТ-2015», 16-20 ноября 2015 – Севастополь, Российская Федерация, 2015.
- [8] «Модифицированное вейвлет-преобразование для оценки периодичностей импульсных процессов» – Диссертация на соискание академической степени магистра технических наук – Сеглюк И.М., Минск, БГУИР, 2015.