

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники

УДК 004.02+004.93+681.3

Бондарева
Татьяна Олеговна

Алгоритмы выявления неисправностей механизма, основанные на
преобразовании вибрационного сигнала

АВТОРЕФЕРАТ

на соискание академической степени
магистра

по специальности 1–40 80 05 – Программная инженерия

Научный руководитель
Лапицкая Н.В.,
к. т.н., доцент

Минск 2023

КРАТКОЕ ВВЕДЕНИЕ

Большая доля современных промышленных производств использует агрегаты и машины с электродвигателями переменного тока. Контроль технического состояния этих механизмов является важной частью процесса технического обслуживания.

Начиная с середины XX века техническая диагностика выделяется в отдельное научное направление, изучающее и разрабатывающее методы и средства определения и прогнозирования технического состояния механизмов, машин и оборудования без их разборки.

Целью технической диагностики является объективное понимание технического состояния контролируемого объекта и определение его способности выполнять требуемую функцию в заданных условиях не только сейчас, но и в будущем. Техническая диагностика представляет собой научную отрасль, но в то же время и сферу практической деятельности, занимающуюся методами и средствами определения реального технического состояния объектов в режиме реального времени без их разборки. Существенным для этой области технической деятельности является замена интуитивных и индивидуальных подходов к определению технического состояния типовым подходом с максимальным использованием всей доступной релевантной информации о диагностируемом объекте или продукте. Проверка состояния механизмов может быть осуществлена различными методами, такими как визуальный осмотр, диагностика с помощью специального оборудования, виброанализ.

Виброанализ - это один из наиболее эффективных методов процесса технического обслуживания. Он используется для определения работоспособности оборудования на основе анализа вибрационных сигналов, полученных от датчиков вибрации, установленных на оборудовании. Задачей виброанализа является обнаружение дефекта на ранней стадии и прогнозирование его развития во времени.

В настоящее время для обработки вибрационных сигналов различного происхождения в большинстве случаев применяются классические методы спектрального анализа, основанные на дискретном преобразовании Фурье. Причиной этого является то, что технически этот метод легко реализовать на практике посредством аналогово-цифровой техники. Однако существуют некоторые значительные ограничения спектрального Фурье-анализа: вследствие потери информации о временном факторе искажается представление о динамике изменения спектрального состава сигнала. Это приводит к невозможности однозначного определения дефектов, также возникают сложности выявления скрытых дефектов. В связи с этим исследуемые сигналы должны быть

стационарными, что значительно ограничивает применения данного метода, так как значительное количество реальных сигналов являются нестационарными.

В практике обработки сложных сигналов широко применяется вейвлетный анализ, позволяющий детально анализировать их структуру в частотно-временном представлении. Данный метод преобразования является детальным и масштабированным по времени или по аргументу пространства представлением сигналов. Вейвлет преобразование одномерных сигналов обеспечивает их двухмерное представление, при этом частота и координата рассматриваются как независимые переменные, что отличает его от преобразований Фурье и позволяет проводить анализ сигналов сразу в двух измерениях. Однако применение вейвлет-преобразования требует предварительного выбора типа вейвлета и центральной характеристики.

В настоящее время проводятся значительные исследования по применению преобразования Гильберта–Хуанга для анализа нестационарных сигналов. Такое использование этого преобразование может помочь упростить и ускорить процесс анализа вибрационных сигналов, за счет отсутствия необходимости в предварительных расчетах, но в тоже время также качественно определять наличие неисправностей, как и уже широкоиспользуемы сигналы.

В рамках диссертации рассматривается возможность использования преобразования Гильберта для вибрационных сигналов с целью выявления неисправностей в механизмах.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Цель и задачи исследования

Целью диссертационной работы является разработка метода и программного обеспечения для решения задач, связанных с учётом и контролем уровня усвоения материала на базе технологии блокчейн.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Провести обзор литературы и выявить основные методы, которые используются для вибрационного анализа.
2. Разработать архитектуру программной системы вибрационного анализа.
3. Разработать методы и алгоритмы обработки виброметрических данных для систем выявления неисправностей механизма.
4. Реализовать программное обеспечение (ПО) для системы выявления неисправностей механизма.
5. Провести экспериментальные исследования разработанной системы.

Объектом исследования являются проблемно ориентированные системы контроля и поддержки принятия решений.

Предметом исследования является математическое и программное обеспечение компьютерных систем для решения задач вибрационного анализа, методы и алгоритмы анализа вибрационных данных для выявления неисправностей механизма.

Актуальность исследования обусловлена стремительном развитием промышленности, повсеместном применением агрегатов и машин с электродвигателями, что в свою очередь привело к тому, что стал острым вопрос контроля технического состояния механизмов. Виброанализ – это один из наиболее эффективных методов процесса технического обслуживания, что позволяет реализовать безопасную ресурсосберегающую эксплуатацию оборудования всех отраслей промышленности. Таким образом, выбранная диссертантом тема представляет научный и практический интерес, является своевременной и актуальной.

Основной гипотезой, положенной в основу диссертационной работы, является возможность использования алгоритма Гильберта-Хуанга как метода вибрационного анализа для выявления неисправностей в механизмах. Гипотеза выдвинута на основе существенного преимущества алгоритма Гильберта-Хуанга, состоящего в том, что для его использования не требуются дополнительные исходных данных помимо самого сигнала, в отличии от широкоиспользуемых в настоящий момент алгоритмов.

Новизна полученных результатов

Научной новизной является применение преобразования Гильберта-Хуанга в новой для него области. Его применения позволит сократить временные затраты на анализ вибрационных сигналов в связи с отсутствием необходимости в предварительных расчетах, что в свою очередь присутствует в широкоиспользуемых методах, таких как преобразование Фурье и вейвлет преобразование.

Положения, выносимые на защиту

1. Метод преобразования Гильберта-Хуанга как алгоритм выявления неисправностей механизмов.
2. Сравнительная характеристика преобразования Фурье, вейвлет преобразования и преобразования Гильберта-Хуанга.

Связь работы с приоритетными направлениями научных исследований и запросами реального сектора экономики

Работа выполнялась в соответствии научно-техническими заданиями и планами работ кафедры «Программное обеспечение информационных технологий»:

1. Пункту 1 «Цифровые информационно-коммуникационные и междисциплинарные технологии, основанные на них производства» и пункту 4 «Машиностроение, машиностроительные технологии, приборостроение и инновационные материалы» Указа президента Республики Беларусь «О приоритетных направлениях научной, научно-технической и инновационной деятельности на 2021–2025 годы».

2. «Разработка алгоритмов комплексной обработки длинных реализаций вибрационных сигналов с целью мониторинга и повышения точности оценки технического состояния механизмов и агрегатов и создание на их основе прототипа программно-аппаратного модуля вибродиагностики» (№ госрегистрации 20211399, научный руководитель НИР – Н.В. Лапицкая).

Личный вклад соискателя

Результаты, приведенные в диссертации, получены соискателем лично. Вклад научного руководителя Н. В. Лапицкой, заключается в формулировке целей и задач исследования.

Апробация результатов диссертации

Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на 56-ой конференции аспирантов, магистрантов и студентов учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» (Минск, Беларусь, 2020); 57-ой конференции аспирантов, магистрантов и студентов учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» (Минск, Беларусь, 2022); XI Международной научной конференции «Информационные технологии и системы» (Минск, Беларусь, 2021); XII Международной научной конференции «Информационные технологии и системы» (Минск, Беларусь, 2022).

Опубликованность результатов диссертации

По теме диссертации опубликовано 4 печатных работ, из них 2 статья в рецензируемом издании, 2 работы в сборниках трудов и материалов международных конференций.

Основные результаты диссертации

1. Предложен метод преобразования Гильберта-Хуанга как алгоритм выявления неисправностей механизмов.
2. Разработано программное обеспечение опытного образца измерительно-вычислительного для оценки эффективности использования преобразования Гильберта-Хуанга на уровне с уже широко используемыми.
3. Проведен сравнительный анализ широкоиспользуемых методов и метода преобразования Гильберта-Хуанга.

Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, пяти глав, заключения, списка использованных источников, списка публикаций автора и приложений. В первой главе представлен анализ предметной области, выявлены основные применяемые методы в рамках тематики исследования. Вторая глава обзорекает проблемы и недостатки в тематике исследования, показаны направления их решения. Третья глава посвящена постановке требований к разработке программного обеспечения. В четвертой главе описывается проектирование программного обеспечения: разработка архитектуры ПО и алгоритмов для систем вибрационного контроля. В пятой главе предложен практический результат реализованного программного для

анализа вибросигнала и дальнейшего использования его для выявления неисправностей технического оборудования.

Общий объем работы составляет 74 страниц, из которых основного текста – 53 страниц, 21 рисунок на 9 страницах, 2 таблиц на 1 странице, список использованных источников из 41 наименований на 4 страницах и 1 приложение на 7 страницах.

Проверка на уникальность

Проведена экспертиза текущей диссертации на корректность использования заимствованных материалов с применением сетевого ресурса «Антиплагиат» (адрес доступа: <https://antiplagiat.ru>) в online режиме 26.04.2023. В результате проверки установлена корректность использования заимствованных материалов (оригинальность диссертации составляет 86,98 %).

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** определены объект и предмет диссертационного исследования, актуальность, цель и задачи, которые необходимо решить для достижения поставленной цели.

В первой главе определены понятия технической диагностики, вибродиагностики, вибрация, стационарных и нестационарных сигналов. Проведён анализ методов используемых для обработки сигналов, таких как методы преобразования Фурье, вейвлет преобразования и преобразования Гильберта-Хуанга.

Во второй главе описаны проблемы использования преобразования Фурье и вейвлет преобразования как методов обработ сигналов. Выдвинута гипотеза о преобразование Гильберта – Хуанга как о более эффективным методом обработки сигналов, чем преобразования Фурье и вейвлет преобразования

В третьей главе сформированы основные требования к функциональности программного средства. Определен формат входных данных. Проведено моделирование программного средства.

В четвертой главе рассмотрена подробно архитектура разрабатываемого программного средства. Разработаны алгоритмы преобразования Фурье, преобразования Гильберта-Хуанга, вейвлет преобразовани методами мексиканского шляпника и Gaus4p.

В пятой главе приведен сравнительный анализ методов обработки сигналов на основе результатов, полученных при использовании разработанного программного обеспечения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Конструкция современного технического оборудования ание отличается своей конструктивной сложностью. Это в свою очередь привело к тенденции развития диагностики оборудования для преждевременного нахождения неисправностей и предотвращения полной поломки оборудования, и как следствие – возразила значимость нахождения наиболее эффективных способов анализа технического оборудования. Одним из направлений дальнейшего развития диагностики для решения задач анализа технического оборудования является техническая диагностика. Анализ существующих методов и алгоритмов обработки виброметрических данных показал, что основными применяемыми алгоритмами являются методы преобразования Фурье и вейвлет преобразования.

Исследование алгоритма преобразования Фурье определило, что данный алгоритм не справляется анализом нестационарных сигналов. Существует подход, который может устранить данный недостаток, а именно это метод оконного преобразования Фурье. Однако данный подход также полностью не решает проблему использования данного алгоритма для нестационарных сигнала, так как он имеет такое ограничение как выбор размера окна.

Исследование алгоритма вейвлет преобразования показало, что данный алгоритм хорошо справляется с поставленной задачей анализа вибрационного сигнала, что обусловлено его способностью выделять из сигнала компоненты разного масштаба, однако существует некоторая сложность в его применении, а именно необходимость выбора вида вейвлета и частоты сигнала, так как от этого зависит качество полученного результата.

Таким образом проведя сравнение преобразования Фурье, вейвлет-преобразования и Гильберт-Хуанг преобразования было определено, что преобразования Фурье ограничено по сравнению с преобразованием Вейвлета и преобразованием Гилберта-Хуанга при анализе нелинейных и неустановившихся сигналов. Вейвлет преобразование было лучшим доступным анализом нелинейных данных перед введением Гильберта-Хуанга преобразования. Преобразование Гильберта-Хуанга имеет лучшие временные и частотные разрешающие способности, чем вейвлет-преобразование. Преобразование Гильберта-Хуанга оказывается новым революционным методом анализа нелинейных и неустановившихся данных сигнала

Полученные результаты формируют теоретическую и практическую базу для разработки ПО компьютерных систем для решения задач вибрационного контроля с применением компьютеров общего назначения. Они могут быть использованы для модернизации и дальнейшего развития существующих систем.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

[1-А] Бондарева Т.О., Пикиреня П.И., Леванцевич В.А Программное средство реализации преобразования гильберта-хуанга, 56-я конференция аспирантов, магистрантов и студентов учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», 21-24 апреля 2020 г., БГУИР, Минск, Беларусь: тезисы докладов. – Мн. – 2020. – с. 49-50

[2-А] Бондарева Т.О., Деменковец Д.В., Леванцевич В.А. Представление сигналов в модовой декомпозиции, 57-я конференция аспирантов, магистрантов и студентов учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», 19-23 апреля 2021 г., БГУИР, Минск, Беларусь: сборник тезисов докладов. – Мн. – 2021. – с. 26-27.

[3-А] Бондарева Т. О., Лапицкая Н. В. Алгоритм выявления неисправностей механизма, основанный на преобразовании вибрационного сигнала // Информационные технологии и системы 2021 (ИТС 2021) = Information Tehnologies and Systems 2021 (ITS 2021) : материалы международной научной конференции, Минск, Беларусь, 24 ноября 2021 г. / Л. Ю. Шилин [и др.]. – Минск : БГУИР, 2021. – с. 136-137.

[4-А] Бондарева Т. О. Диагностика промышленного оборудования: вибрационные подходы // Информационные технологии и системы 2022 (ИТС 2022) = Information Tehnologies and Systems 2022 (ITS 2022) : материалы международной научной конференции, Минск, Беларусь, 23 ноября / Л. Ю. Шилин [и др.]. – Минск : БГУИР, 2022. . – с. 91-92.