

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

УДК \_\_\_\_\_

Рачковский  
Тимофей Сергеевич

Мониторинг состояния оборудования на основе пакетного вейвлет-  
преобразования

**АВТОРЕФЕРАТ**

на соискание степени магистра технических наук

по специальности 1–39 80 02 «Радиотехника, в том числе  
системы и устройства радиолокации, радионавигации и телевидения»

Научный руководитель  
Давыдов Игорь Геннадьевич  
к.т.н., доцент

Минск 2018

## ВВЕДЕНИЕ

Мониторинг состояния оборудования определяется как непрерывное или периодическое измерение, а также указание состояния оборудования и определение необходимости в его техническом обслуживании через интерпретацию полученных измерением данных. Поэтому мониторинг состояния, в первую очередь, связан с диагностикой различных дефектов и сбоев и нацелен на точное и как можно более раннее обнаружение диагностической информации о таких неисправностях. На данный момент известно большое количество методик, способных выявить всевозможные ошибки, однако скорость их работы и порог их применимости может быть неудовлетворителен для задачи выявления дефектов оборудования на ранних стадиях их развития. Таким образом, требуется одновременно простое в плане вычислительных затрат и эффективное с точки зрения точности обнаружения дефектов средство для нахождения полезной диагностической информации в сигналах мониторинга.

Возможность сбоев, разумеется, не может быть снижена, однако уверенная ранняя диагностика зарождающихся дефектов чрезвычайно полезна, чтобы избежать поломок оборудования, и, таким образом, обеспечить более экономичную общую работу, сокращающую время простоя. Промышленная безопасность также повышается, поскольку предотвращаются катастрофические события при соблюдении метода обслуживания. Поэтому, мониторинг состояния является всё более важной областью исследований и играет неотъемлемую роль в экономической конкурентоспособности во многих отраслях.

В последние годы для предотвращения выхода оборудования из строя активно применяются системы мониторинга, основанные на последних достижениях в сфере цифровой обработки сигналов (ЦОС). Одним из достижений и быстро развивающимся направлением ЦОС являются вейвлеты. Вейвлет-преобразование (ВП), разработанное в некотором роде как альтернатива оконному преобразованию Фурье (ОПФ), преодолело некоторые проблемы ОПФ, связанные с плохим разрешением, и благодаря подходу к обработке сигналов, названному крупномасштабным анализом, позволило выделить новые характерные особенности сигналов, недоступные ранее. Вейвлет-преобразования, в частности пакетное, позволяют обрабатывать сигналы для нахождения ценной диагностической информации.

Предполагается, что использование алгоритма пакетного-вейвлет преобразования позволит уверенно классифицировать дефекты конкретного узла оборудования.

Целью магистерской диссертации является применение алгоритма ПВП для наблюдения за состоянием оборудования, а также проверка эффективности наблюдения, то есть определения степени точности систематизации различных дефектов узлов, содержащих подшипники качения.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы магистерской диссертации** обусловлена распространяющимся явлением под названием «Промышленный интернет вещей», являющимся многоуровневой системой контроля узлов и агрегатов промышленных объектов. Часть такой системы, включающая мощные аналитические инструменты интерпретации получаемой информации, требует специфических алгоритмов обработки, отвечающих стандартам, устанавливаемым под конкретные задачи. Для систем мониторинга за промышленным оборудованием необходимы методы для быстрого определения информативных признаков дефектов машин. В данной магистерской диссертации предлагается метод мониторинга состояния промышленного оборудования, основанный с применением пакетного вейвлет-преобразования (ПВП).

**Цель и задачи исследования.** Целью работы является разработка алгоритма определения технического состояния промышленного оборудования, основанного на обработке сигналов виброускорения методом пакетного вейвлет-преобразования для извлечения информативных признаков и решения задачи классификации неисправностей. Достижение поставленной цели потребовало решения следующих задач:

- провести анализ существующих алгоритмов мониторинга состояния оборудования;
- провести обзор методов кратномасштабного анализа (КМА), в том числе пакетного вейвлет-преобразования;
- применить алгоритм пакетного вейвлет-преобразования на сигналах виброускорения, снятых с различных состояний подшипников качения, и выделить набор информативных признаков, использующихся в качестве входных параметров для классификатора;
- классифицировать дефекты, выбрав при этом наилучшие параметры классификации, а также оценить ее эффективность.

**Объект исследования** – метод оценки состояния оборудования.

**Предметом исследования** является пригодность данного метода для определения технического состояния узлов промышленного оборудования, а в частности состояния подшипников качения.

**Теоретико-методологическую основу исследования** составили труды отечественных и зарубежных ученых, занимающиеся теоретическим обоснованием природы вейвлетов, а также практическим их использованием с целью определения технического состояния оборудования по сигналам вибрации и акустической эмиссии.

**Эмпирическую базу исследования** составили сигналы виброускорения, записанные при помощи пьезоэлектрических акселерометров с подшипников качения различного технического состояния, установленных на модифицированном стенде промышленного оборудования, на котором доступна возможность замены ее узлов.

Материалы диссертации выкладывались в тезисном виде на 54-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР.

## КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении продемонстрирована немаловажность ранней диагностики зарождающихся дефектов в промышленном оборудовании, и влияние алгоритма пакетного вейвлет-преобразования для нахождения ценной диагностической информации.

Мониторинг состояния оборудования связан с диагностикой различных дефектов и сбоев и нацелен на точное и как можно более раннее обнаружение диагностической информации о таких неисправностях. На данный момент известно большое количество методик, способных выявить всевозможные ошибки, однако скорость их работы и порог их применимости может быть неудовлетворителен для задачи выявления дефектов оборудования на ранних стадиях их развития. Таким образом, требуется одновременно простое в плане вычислительных затрат и эффективное с точки зрения точности обнаружения дефектов средство для нахождения полезной диагностической информации в сигналах мониторинга.

В главе 1 обосновывается перспективность систем предписываемого обслуживания технического оборудования, общие принципы мониторинга, а также применение алгоритмов вейвлет-преобразования для диагностики подшипников качения.

В главе 2 показана эволюция методов частотного и кратномасштабного анализа, произведено математическое обоснование различных методов вейвлет-преобразования. Рассмотрена постановка задачи классификации для обоснования выбора алгоритма классификации дефектов подшипников качения.

В главе 3 разрабатывается адаптивная система классификации дефектов на основе пакетного вейвлет-преобразования и исследуется его эффективность. Производится обоснование выбора материнского вейвлета и формируется базис информативных признаков для задачи классификации. Описываются все этапы алгоритма, производится количественная оценка точности классификации в зависимости от набора входных параметров для классификатора.

В приложениях представлены листинги алгоритмов обработки сигналов, написанные в среде разработки MATLAB, а также результаты экспериментального моделирования классификатора при различных входных параметрах для него.

## ВЫВОДЫ

Целью магистерской диссертации была разработка алгоритма определения технического состояния промышленного оборудования, основанного на обработке сигналов виброускорения методом пакетного вейвлет-преобразования, для решения задачи классификации неисправностей. В качестве исследуемых сигналов были выбраны сигналы виброускорения от подшипников качения, установленных на стендах, имитирующих промышленное оборудование.

В ходе написания магистерской диссертации была разработана методика получения информативных признаков на основе пакетного вейвлет-преобразования. А для задачи классификации дефектов был выбран наиболее эффективный алгоритм классификации, а именно машина на опорных векторах.

Алгоритм определения технического состояния оборудования включает следующие этапы: получение и преобразование в цифровую форму сигналов виброускорения от пьезоэлектрического акселерометра, декомпозиция сигнала методом пакетного вейвлет-преобразования на эмпирические моды, нахождение статистических показателей каждой моды и формирование из них вектора для входного интерфейса классификатора, классифицирование дефекта и определение степени точности.

В ходе обзора литературы отмечено, что пакетное вейвлет-преобразование в алгоритме выделения информативных признаков и классификации дефектов подшипников качения позволяет достичь большей точности, чем методы, основанные на обычных частотных масштабах, таких как преобразование Фурье. Поэтому для организации исследования произведен выбор и обоснование метода выделения диагностических признаков на основе алгоритма пакетного вейвлет-преобразования и вычисления из него статистических метрик. Такой метод применяется в системе прогностического обслуживания, и проявил себя наилучшим образом в недавних исследованиях.

В работе проведено экспериментальное исследование диагностической системы. Количественные результаты исследования показали, что определенные статистические параметры от эмпирических мод могут выполнять функции информативных признаков для классификации дефектов. Эффективным материнским вейвлетом по результатам эксперимента считается дискретный вейвлет Мейера. Оптимальным минимальным уровнем разложения пакетного вейвлет-преобразования был определен шестой уровень. Эффективность классификации при данных параметрах составила в среднем более 96%.

В результате проведенного исследования подтверждена правомерность выводов, сделанных предшествующими экспериментаторами, и разработан комплексный алгоритм, предоставляющий надежную базу для решения задач диагностики неисправностей подшипников качения на ранних стадиях развития дефектов, что может быть использовано для дальнейших исследований и внедрения в промышленность.



## СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

[1-А.] Рачковский Т.С. Применение пакетного вейвлет-преобразования для обнаружения дефектов подшипников качения / Т.С. Рачковский // Радиотехнические системы: материалы 54-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов. – Минск: БГУИР, 2018.