

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

УДК \_\_\_\_\_

Толкач  
Роман Васильевич

Мониторинг состояния оборудования на основе анализа скалограммы

**АВТОРЕФЕРАТ**

на соискание степени магистра техники и технологии

по специальности 1–39 81 03 «Информационные радиотехнологии»

---

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

---

Минск 2019

## ВВЕДЕНИЕ

Затраты на обслуживание и ремонт являются одним из важнейших эксплуатационных показателей любой технической системы. Их минимизация в тех случаях, когда система является ремонтпригодной, практически невозможна без эффективного контроля состояния системы. В современных средствах контроля и диагностики роторного оборудования основным видом анализируемых процессов становится вибрация, активно вытесняя многие другие процессы, в том числе и тепловые. Причины не только в том, что вибрационная диагностика эффективнее, и имеется тенденция к быстрому снижению затрат на ее реализацию, но и в том, что начать диагностику по вибрации можно в любое время, в том числе и через несколько лет эксплуатации оборудования.

Контроль технологических процессов производства методами виброакустики, контроль качества монтажа машин и механизмов в период их изготовления и в ремонтный период также позволяют сэкономить рабочее время и трудовые затраты, снизить вероятность неожиданного выхода из строя оборудования, время его простоя, а следовательно, являются залогом повышения эффективности производства и использования механического оборудования в народном хозяйстве.

Современное промышленное оборудование имеет множество подвижных узлов и вращающихся частей. Некоторые из них, например, подшипники качения, работают под большой нагрузкой, быстро изнашиваются и выходят из строя.

Подшипники качения используются в широком диапазоне вращающихся механизмов: от небольших ручных устройств до тяжелых промышленных систем, и чаще всего выходят из строя в машинах. Мониторинг состояния подшипников качения с использованием анализа виброакустических сигналов чаще всего используется для обнаружения неисправностей, оценки состояния оборудования. Оценка состояния, в свою очередь, позволяет своевременно проводить обслуживание и замену оборудования.

В последнее время проблема повышения надежности машин стала одной из первостепенных технических проблем. Попытки ее решения предпринимаются по многим направлениям, и усовершенствование методов и средств технической диагностики одно из них. Эффективный контроль готовой продукции закрывает доступ к потребителям недоброкачественных изделий, а внедрение в эксплуатационную практику средств, позволяющих определять достаточно быстро и точно техническое состояние работающих устройств, даст возможность принимать правильные решения о сроках и содержании профилактических операций и ремонта.

Целью данной работы является исследование применения скалограммы для мониторинга состояния промышленного оборудования, что в дальнейшем может позволить обнаруживать дефекты на ранних стадиях зарождения, определять степень развития дефекта и определять срок службы элемента, тем самым препятствуя возникновению аварийных ситуаций на производстве. Сокращая время и затраты предприятия на обслуживание оборудования.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы магистерской диссертации:** обусловлена вопросом повышения надежности и качества работы оборудования, которые могут быть обеспечены путём применения методов вибродиагностики. Методы мониторинга состояния оборудования, не требующие разборки и остановки оборудования, позволяют существенно снизить расходы на техническое обслуживание. Одна из наиболее актуальных задач в диагностике машинного оборудования – диагностика зарождающихся дефектов.

**Цель данной работы:** разработка метода оценки технического состояния подшипника качения на основе мониторинга скалограммы его вибрационного сигнала.

**Задача исследования:** для достижения цели необходима решение следующих задач

- провести обзор существующих методов оценки технического состояния промышленного оборудования;
- разработать метод обнаружения дефектов подшипника качения на основе анализа скалограммы вибрационного сигнала;
- исследовать эффективность использования скалограммы для подшипника, работающего в различных скоростных режимах.

**Объект исследования:** промышленное оборудование.

**Предмет исследования:** методы анализа скейлограммы вибрации промышленного оборудования.

**Теоретико-методологическую основу исследования:** составили труды отечественных и зарубежных ученых, занимающиеся теоретическими и практическими вопросами: спектральными и временными методами анализа сигналов.

**Эмпирическую базу исследования:** составила база данных вибрационных сигналов, снятых с тестового стенда для проверки работоспособности алгоритма.

**Объем диссертации:** диссертационная работа состоит из введения, трёх глав, заключения, списка использованной литературы. Работа содержит 59 страниц основного текста, 34 рисунка, 6 таблиц, библиографический список из 55 позиций.

## КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении показано, в чём заключается научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы. Актуальность исследования обусловлена высокой востребованностью мониторинга технического состояния оборудования на предприятиях. Мониторинг позволяет обнаружить дефекты на ранних стадиях зарождения, тем самым предотвращая возникновения аварий и поломок промышленного оборудования.. Применение мониторинга состояния оборудования на основе анализа скалограммы ведёт к сокращению финансовых затрат предприятий на обслуживание оборудования.

В первой главе рассмотрены исследования в области вибрационной диагностики и мониторинга машин и механизмов. Так же были рассмотрены методы диагностики по сигналам вибрации. Анализ исследований показал, что в настоящее время наиболее перспективными методами диагностики являются методы из группы спектрального анализа. Они высоко информативны, позволяют выделить из сигнала даже слабо выраженные компоненты. Полученные информативные признаки легко интерпретируемы. Однако, нестационарность и уход частот от номинальных значений затрудняют использование спектрального анализа. Рассмотрены статистические методы мониторинга состояния на основе вычисления и контроля значений многих метрик.

Во второй главе были рассмотрены спектральные методы мониторинга технического состояния оборудования. Рассмотрены методы оценки состояния на основе вейвлет-преобразований. Обосновано использование вейвлета Морле. Обосновано и приведены теоретические выкладки для построения скейлограммы и скейлограммы нормированной по энергетическом вкладу вибрационного сигнала.

В третьей главе проверен алгоритм на реальных вибрационных сигналах. Приведена оценка возможности использования скейлограммы вибросигнала как инструмента мониторинга резонансной картины оборудования. Экспериментально установлено, что наибольшую эффективность предложенный метод демонстрирует на сигналах оборудования со слабо меняющейся скоростью вращения вала ( $\delta_{\%}$  менее 5%). В результате скейлограмму предложено использовать как инструмент мониторинга и как метод выделения наиболее информативных резонансных частот оборудования.

Дальнейшие исследования предлагается направить на разработку методов расширения пространства информативных признаков для анализа резонансной картины оборудования, а также на разработку частотно-временных моделей на основе вейвлет-анализа для оценки технического состояния оборудования.

Для устранения указанных выше недостатков применения скейлограммы для оборудования с изменяющейся скоростью вращения ротора предложено направить дальнейшее изучение на разработку алгоритма разреженной декомпозиции скейлограммы.

Применение скейлограммы совместно со спектральными методами дало практический результат. Следовательно, скейлограмма может успешно применяться в виброакустической диагностике и мониторинге машинного оборудования.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведён обзор используемых в настоящий момент методов виброакустической диагностики и мониторинга промышленного оборудования. Среди них выделена группа методов спектральной вибрационной диагностики и вейвлет-анализа. Отмечена высокая информативность, возможности относительно простого разделения компонентов и интерпретации результатов. В качестве недостатков были отмечены возможный уход частот дефектов от номинальных значений и сложность спектральной обработки нестационарных сигналов.

Для оценки технического состояния роторного оборудования, предложено рассматривать скейлограмму вибрационных сигналов. Для построения скейлограммы обосновано использование вейвлета Морле.

Проведены экспериментальные исследования границ применимости скейлограммы при мониторинге технического состояния подшипников при различных скоростных режимах работы. В результате, установлено, что наибольшую эффективность предложенный метод демонстрирует на сигналах оборудования, работающего в квазистационарном режиме (скорость вращения вала изменяется в пределах 5%). Показано, что скейлограмма позволяет выделить набор значимых энергетически выраженных частотных областей вибрации для методов спектрального анализа.

Предложенный метод позволяет своевременно определить «симптомы» развития дефектов, т.е. резонансные частоты удельный вклад которых значительно увеличивается, что свидетельствует об ухудшении состояния промышленного оборудования, а это в свою очередь позволяет своевременно производить ремонт и обслуживание. Представлены результаты обнаружения типовых дефектов подшипника качения на основе мониторинга скейлограммы.

# БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

## Список публикаций соискателя

[1-А.] Толкач, Р.В. Мониторинг состояния оборудования на основе анализа скалограммы / Р.В. Толкач // Факультет радиотехники и электроники: 54-я научно-техническая конференция аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР. (Минск, 6-10 мая 2018 года). - Минск: БГУИР, 2018.

[2-А.] Р. В. Толкач, Н. В. Космач. Анализ скалограммы вибросигнала для оборудования с переменной скоростью вращения. Информационные радиотехнологии: материалы 55-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов. – Минск : БГУИР, 2019.

[3-А.] П. Г. Рябцев, Р. В. Толкач. Информационные радиотехнологии: материалы 55-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР. — Минск : БГУИР, 2019.

[4-А.] Ю.П. Асламов, И.Г. Давыдов, Н.В. Космач, Р.В. Толкач. Разреженная декомпозиция скейлограммы для мониторинга технического состояния роторного оборудования / Ю.П. Асламов [и др.] // Доклады Белорус. гос. ун-та информатики и радиоэлектроники. – 2019.

## Патенты

[5-А.] Приспособление для крепления датчиков на исследуемые объекты : пат. ВУ 11689 / С.Ю. Васюкевич, Ю.П. Асламов, Р.В. Толкач. – Опубл. 15.02.2018.