

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

УДК \_\_\_\_\_

Рябцев  
Петр Геннадьевич

Режимы работы оборудования на основе классификации информативных признаков сигналов

**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

Техническая диагностика — это область науки и техники, изучающая и разрабатывающая методы и средства определения и прогнозирования технического состояния механизмов, машин и оборудования без их разборки.

Одной из наиболее важных проблем современности является повышение качеств и надежности механизмов, машин и оборудования в любой отрасли промышленности.

Известные традиционные пути увеличения надежности и ресурса, такие как оптимизация систем, совершенствования конструкции и технологии изготовления отдельных элементов, в течении последних десятилетий не дали значительных результатов в том числе из-за ограничений по массе и габаритам, невозможности введения высокой степени резервации механизмов и коэффициента запаса.

Ранее машины и оборудование либо эксплуатировались до выведения из строя, что возможно при использовании недорогих машин и при дублировании важных участков технологических процессов, либо обслуживания по регламенту, что обусловлено невозможностью или нецелесообразностью дублирования и большими потерями при непредусмотренных остановках машин или оборудования. Но для многих машин обслуживание и ремонт по регламенту не снижают частоту выхода их из строя.

Очевидно, что увеличение эффективности, надежности и ресурса, а также обеспечения безопасной эксплуатации машин и механизмов тесно связано с необходимостью оценки их технического состояния с помощью методов и средств технической диагностики. Создание автоматических средств диагностики позволило обрабатывать большой объем информации, проводить логический анализ сложных взаимосвязанных процессов и снизила вероятность запоздалой или ошибочной оценки технического состояния. Для корректного диагностирования оборудования в автоматическом режиме необходимо знать режимы работы оборудования для уменьшения ложного срабатывания диагностической системы. Информация о режиме работы не всегда может быть доступна для диагностической системы, что указывает на важность данной работы.

Целью работы является разработка алгоритма выделения информативных признаков вибрационных сигналов и определения режимов работы оборудования на основе классификация информативных признаков.

Основными задачами стала разработка алгоритма определения режимов работы оборудования на основе классификация информативных признаков вибрационных сигналов.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы магистерской диссертации** обусловлена необходимостью определения режимов работы роторного оборудования по информативным признакам вибрационных сигналов в автоматических стационарных системах вибромониторинга и вибродиагностики промышленного оборудования.

**Цель и задачи исследования.** Целью работы является разработка алгоритма выделения информативных признаков вибрационных сигналов и определения режимов работы оборудования на основе классификация информативных признаков. Достижение поставленной цели потребовало решения следующий задач:

- провести обзор существующих методов определения режимов работы оборудования при оценке технического состояния промышленного оборудования;

- выделить набор информативных признаков вибрационных сигналов для определения режимов работы оборудования;

- разработать алгоритм определения режимов работы оборудования на основе анализа информативных признаков вибрационных сигналов.

- исследовать алгоритм определения режима работы оборудования на основе классификации информативных признаков.

**Объект исследования** — промышленное оборудование.

**Предметом исследования** являются методы анализа информативных признаков вибрационных сигналов для определения режимов работы оборудования.

**Теоретическо-методологическую основу исследования** составили труды отечественных и зарубежных ученых, занимающихся теоретическими и практическими вопросами в области вибромониторинга и вибродиагностики роторного оборудования.

**Эмпирическую базу исследования** составили наборы вибрационных сигналов промышленного оборудования, а также наборы сигналов, снятые на тестовом стенде.

**Объем диссертации.** Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, библиографического списка. Работа содержит 62 страниц основного текста, содержащего 32 рисунков и 8 таблиц. Библиографический список включает 37 наименования.

## КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В введении показано, в чем заключается теоретическая и практическая значимость работы. Актуальность исследования обусловлена созданием полностью автоматических средств вибродиагностики и необходимостью знать режим работы оборудования для его корректного диагностирования в автоматическом режиме и для уменьшения ложного срабатывания диагностической системы.

В первой главе рассмотрены методики вибромониторинга и вибродиагностики вращающегося оборудования, их основные направления, цели и задачи. Также рассмотрены технические средства вибродиагностики. Приведены основные преимущества и недостатки портативных, мобильных и стационарных средств вибродиагностики. Рассмотрены особенности применения автоматизированных систем оценки технического состояния агрегатов (без участия эксперта-вибродиагноста).

Анализ изменения состояния оборудования при его вибромониторинге должен производиться независимо для каждого режима работы контролируемого агрегата. Режимы работы объекта диагностики также влияют на возможности и используемые методы вибродиагностики вращающегося оборудования. Таким образом задача определения режима работы оборудования является наиболее актуальной для автономных систем вибродиагностики. В первой главе приведены основные методы определения режимов работы оборудования для каждого из видов средств диагностики агрегатов.

В первом разделе второй главы представлены основные методы статистического описания результатов измерения различных параметров вибрации по группе независимых измерений. Задачей такого анализа является идентификация закона распределения значений контролируемых параметров вибрации и определение основных моментов распределения, от которых зависят величины порогов в диагностических моделях. Приведен ряд условий, которые необходимо выполнить в практических задачах при статистическом анализе диагностических параметров.

Также в данном разделе рассмотрены методы частотного анализа вибрации: с постоянной абсолютной шириной полосы пропускания и с постоянной относительной шириной полосы пропускания. Приведены способы построения каждого из типов частотных анализаторов, рассмотрены их преимущества и недостатки, области практического применения. Более подробно рассмотрено построение частотных анализаторов с октавной и третьоктавной шириной полосы пропускания фильтров.

Один из факторов, ограничивающий ширину полосы пропускания частот смежных фильтров при решении задач контроля, мониторинга и диагностики

заключается в реальной нестабильности во времени частоты вращения для многих видов машин и оборудования. А это означает, что составляющая вибрации на частоте вращения и зависящие от нее и кратные по частоте составляющие могут изменяться в определенных пределах. Ширина полосы пропускания третьо-ктавного фильтра во многих случаях удовлетворяет этим особенностям при контроле уровней шума и вибрации машин и оборудования. Узкополосный спектральный анализ вибрации, с другой стороны, позволяет получить большой объем диагностической информации.

Во втором разделе второй главы рассмотрена постановка задачи классификации. Приведено описание метрического и линейного (векторного) пространств. Рассмотрены основные особенности построения пространства признаков.

В третьей главе был разработан алгоритм выделения информативных признаков вибрационных сигналов и определения режима работы оборудования на основе анализа полученных признаков. Рассмотрены особенности применения классификации на основе машинного обучения.

Данный алгоритм производит расчет метрических показателей сигналов виброускорения, вибро скорости и виброперемещения, с учетом данных за период обучения определяет пороговые уровни полученных метрических показателей, соответствующие определенным режимам работы оборудования, по полученным пороговым значениям определяет принадлежность величины метрики к одному из режимов работы оборудования. Анализ интегральных метрических показателей позволяет определять режимы работы оборудования по нагрузке, т.к. нагрузочные состояния отличаются друг от друга (в том числе и от выключенного состояния) значительным повышением общего уровня вибрации.

Также производит расчет спектральной плотности мощности вибрационного сигнала для получения спектрального «портрета» и сравнения его с эталонным, соответствующим известному режиму работы оборудования. Данный метод позволяет устранить случаи ложного определения режима работы оборудования при наличии большого количества рядом расположенных агрегатов, взаимное влияние которых велико.

В четвертой главе приведена апробация разработанного алгоритма определения режимов работы оборудования на основе анализа информативных признаков вибрационных сигналов. Приведено описание диагностируемого оборудования и наборов снятых сигналов вибрации.

Приведена оценка эффективности использования рассмотренных в предыдущей главе пространств информативных признаков (интегральных метрических показателей и спектральных портретов вибрации) для методов машинного обучения. Для классификации режимов работы был выбран метод опорных

векторов с радиальным ядром. Отношение обучающей и тестовой выборок составило 4:1. Для повышения достоверности результатов при обучении классификатора использовалась 5-блочная кросс-валидация. Результаты распознавания режимов работы для рассматриваемых наборов вибрационных сигналов представлены в виде матриц неточностей. При этом рассматривалось три типа пространств информативных признаков:

- 1) «метрики» — набор интегральных метрических показателей;
- 2) «СПМ» — спектральная плотность мощности;
- 3) «метрики+СПМ» — комбинация пространств «метрики» и «СПМ».

Точность классификации фиксированных скоростных режимов оборудования на базе пространств признаков «метрики» и «СПМ» соизмерима. Здесь стоит заметить, что различение скоростных режимов оборудования на основе рассмотренных пространств признаков возможно лишь при значительной разнице в скоростях.

В свою очередь при распознавании режима работы низкоскоростного оборудования лучшие результаты продемонстрировал метод опорных векторов на базе пространства признаков «СПМ». Точность классификации на базе пространства «метрики» значительно ниже. Данный факт обусловлен тем, что изменение режима работы оборудования в этом случае не приводило к существенному изменению временной структуры сигнала и его энергетики, а проявлялось в перераспределении энергии в спектральной области.

В среднем лучшая точность распознавания (классификации) режимов работы оборудования была достигнута при использовании пространства признаков в виде комбинации значений интегральных метрических показателей и спектральной плотности мощности вибрации (пространство «метрики+СПМ»).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе обзора литературы было установлено, что одним из основных требований к современной системе вибродиагностики является полностью автоматическая обработка данных (без эксперта-вибродиагноста). Показано что изменение режима работы оборудования (по скорости, нагрузке) оказывают влияние на достоверность работы системы автоматической диагностики. Поэтому целью настоящей работы являлась разработка алгоритма автоматического определения режима работы оборудования на основе классификации информативных признаков вибрационных сигналов

Для распознавания режима работы предложено использовать метод машинного обучения (машина на опорных векторах), а в качестве пространства признаков рассмотрен набор интегральных метрических показателей, спектральная плотность мощности. Апробация алгоритма распознавания была проведена на наборах вибрационных сигналов, снятых с многорежимного оборудования.

Показано, что лучший результат показывает классификация пространства признаков, сформированного на основе набора метрических показателей вибрационных сигналов и их спектральной плотности мощности. При этом точность распознавания режимов работы в среднем составила 0,971.

Предложенный алгоритм может быть использован в стационарных автоматических системах вибрационной диагностики, а также интегрирована в мобильные средства вибромониторинга.

# БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

## Список публикаций соискателя

[1-А.] Рябцев П. Г. Определение режимов работы оборудования на основе классификации информативных признаков сигналов / П. Г. Рябцев, Р. В. Толкач // Информационные радиотехнологии: материалы 55-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР. — Минск : БГУИР, 2019.

[2-А.] Космач Н. В. Методы решения задачи обнаружения на основе динамики спектральной составляющей/ Н. В. Космач, П. Г. Рябцев // Информационные радиотехнологии: материалы 55-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР. – Минск : БГУИР, 2019.

[3-А.] Рябцев П. Г. Анализ трендов метрик вибросигнала для оценки технического состояния промышленного оборудования / П. Г. Рябцев // Информационные радиотехнологии: материалы 53-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР. — Минск : БГУИР, 2017.