

ОТЗЫВ

официального оппонента

Науменко Александра Петровича

на диссертационную работу **Синицина Владимира Владимировича** «Алгоритмы обработки информации для оценки технического состояния подшипников качения и зубчатых передач исполнительных механизмов АСУ ТП», представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.13.01 – системный анализ, управление и обработка информации (промышленность)

Актуальность темы исследования

Затраты на ремонт и техническое обслуживание промышленных систем составляют одну из наиболее важных статей расходов, ограничивающую возможности экономического роста промышленности в целом. Общая доля затрат промышленных предприятий на техническое обслуживание в зависимости от отрасли достигает 40%, а иногда и 70% от стоимости выпускаемой продукции. Более того, оптимизация складов запасных частей, минимизация замороженных средств и растущая сложность промышленного оборудования будет способствовать дальнейшему росту стоимости отказов на производстве. С другой стороны, разработка и внедрение технологий и средств предиктивного технического обслуживания позволит сохранить устойчивое развитие промышленных предприятий. В свою очередь, развитие и внедрение систем технического обслуживания по состоянию формирует фундаментальную задачу для исследователей и вызовы для разработчиков: как обеспечить точное и своевременное обнаружение и локализацию дефектов в сложных технических системах, включающие множество различных узлов и агрегатов, функционирующих в различных режимах?

Работа **Синицина Владимира Владимировича** посвящена разработке новых алгоритмов обработки информации для оценки технического состояния подшипников качения и зубчатых передач исполнительных механизмов на основе использования новых способов получения диагностической информации непосредственно с вращающегося вала.

Использование крутильных колебаний вала для получения информации о возникших дефектах и неисправностях механизма путём декомпозиции этих крутильных колебаний в координаты движения и выявления диагностических признаков является актуальным решением в области технической диагностики в свете расширения пространства определяющих критериев состояния.

Структура и содержание диссертации

Диссертация **Синицина Владимира Владимировича** состоит из введения, пяти глав, заключения (основных выводов и результатов) и двух

приложений. Общий объем диссертации 156 страниц, из них 133 страниц текста, включая 84 рисунка. Библиография включает 156 наименований.

Введение содержит обоснование актуальности работы и достоверности результатов, содержит описание объекта и методов исследования, научную новизну, теоретическую и практическую значимость. Кроме того, во введении сформулированы цель и задачи работы, представлена информация по апробации, публикациям и внедрению результатов работы, а также выделены основные положения, выносимые на защиту.

Первая глава содержит предметную область исследования и анализ публикаций, посвященных методам получения и обработки информации для обнаружения и локализации дефектов в подшипниках качения и зубчатых передачах.

Вторая глава содержит описание разработанного метода получения информации с вращающегося вала; разработанного метода обработки измеренной информации, а также предложенного критерия декомпозиции измеренной информации на угловые и линейные координаты движения. Кроме того, представлено имитационное моделирование разработанного метода.

Третья глава содержит описание реализации разработанного метода получения информации в прототипе датчика, а также результаты испытаний прототипа. Кроме того, описана физическая модель разработанного метода получения информации при помощи аттестованных акселерометров на валу механизма. Приведены экспериментальные результаты декомпозиции измеренных сигналов разработанным методом. Глава содержит описание предложенного метода определения текущей частоты вращения вала.

Четвертая глава содержит описание разработанного метода и предложенных критериев обнаружения дефекта в подшипнике качения по сигналам декомпозированного углового ускорения. Приведены экспериментальные результаты применения разработанного метода и критериев на наборе подшипников с различными дефектами для различных частот вращения вала. В главе описано предложенное алгоритмическое обеспечение локализации дефекта в подшипнике качения по сигналам декомпозированных линейных ускорений, а также комбинированный критерий локализации дефектов. Приведены экспериментальные результаты применения алгоритмического обеспечения на наборе подшипников с различными дефектами для различных частот вращения вала.

Пятая глава содержит описание предложенного метода и критериев обнаружения локального дефекта ведущего колеса зубчатой передачи по

сигналам углового ускорения. Приведены экспериментальные результаты применения предложенных метода и критериев для обнаружения локального дефекта ведущей шестерни в одноступенчатом редукторе с коническими колесами.

Заключение содержит основные выводы и результаты по диссертационной работе.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций

Научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертационной работе, достоверность и обоснованность полученных результатов основаны на моделировании и обработке сигналов с использованием верифицированной интерактивной среды для программирования, численных расчётов и визуализации результатов MATLAB, взаимным соответствием результатов математического и физического моделирования датчика; результатами экспериментальных исследований по обнаружению и локализации дефектов и неисправностей.

Научная новизна

В качестве научного результата автором предложена модель датчика, методика и алгоритмы декомпозиции сигналов, измеренных вращающимися тремя акселерометрами, на угловое и линейные ускорения. Полученные данные с использованием разработанных алгоритмов позволили декомпозировать линейные ускорения на ортогональные оси в поперечном сечении вала. По измеренным линейным ускорениям с использованием разработанных способов обработки сигналов автором предложены критерии обнаружения и локализации дефектов в подшипнике качения и критерии обнаружения локальных дефектов зубчатой передачи.

Научная и практическая значимость

Научная значимость результатов диссертационного исследования состоит в том, что разработана модель датчика, позволяющего получать дополнительную альтернативную, в сравнении с известными методами, чувствительную к дефектам диагностическую информацию.

Предложен способ и алгоритм обработки информации, который позволяет декомпозировать измеренные ускорения на угловое и линейные ускорения, а также декомпозировать линейные ускорения на ортогональные оси в поперечном сечении вала, что позволяет получить дополнительную информацию о дефектах и неисправностях по сравнению с традиционными методами.

Разработано алгоритмическое обеспечение для обработки информации и критерии локализации дефекта в подшипнике качения и обнаружения

локального дефекта ведущего колеса зубчатой передачи по сигналам декомпозированных угловых и линейных ускорений.

Практическая ценность диссертационной работы заключается во внедрении результатов исследований на производствах ЗАО “Завод Минплита” (г. Челябинск) и, кроме того, полученные в работе результаты использованы при выполнении НИР по проекту «Разработка, исследование и реализация алгоритмов обработки данных динамических измерений пространственно-распределённых объектов» (в рамках базовой части государственного задания Минобрнауки РФ, техническое задание 8.9692.2017/8.9 от 17.02.2017).

Оценка содержания диссертации, её завершённость

Содержание и структура диссертации находятся в логическом единстве и соответствуют поставленной цели исследования, критерию внутреннего единства, что подтверждается наличием последовательного алгоритма исследования. Язык и стиль изложения диссертационной работы и автореферата диссертации **Синицина В.В.** соответствуют требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям. Материал изложен логично, грамотно и аргументированно. В тексте диссертации имеются необходимые ссылки на литературные источники.

Автореферат соответствует основным положениям диссертации и отражает её содержание.

Основные замечания по диссертационной работе

1 В диссертационной работе отсутствует информация о модели воздействия нарушения целостности механической системы (дефектов подшипника, зубчатой передачи) на характеристики крутильных колебаний. Поэтому для установления количественной и качественной взаимосвязи между характером дефектов, их величиной и параметрами характеристик сигналов потребуются объёмные экспериментальные исследования. Единичные эксперименты показывают лишь принципиальную возможность использования предложенного способа оценки состояния.

2 Критерий оценки состояния подшипника качения и способы выделения его дефектов основывается на анализе суммы спектральных компонент на одной из резонансных частот. Выбор количественного критерия, как и диапазона частот, центральной частоты – обоснованы недостаточно корректно. Учитывая вероятностный характер колебательных процессов, следовало бы применять какой-либо статистический параметр, например, моменты распределения, с обоснованием их эффективности, состоятельности

и несмещённости. А в данном случае – это решение частной задачи при частных граничных условиях.

3 В работе весьма вольно решается задача выбора пороговых значений критериев – вводится коэффициент запаса для предотвращения “случайных (ложных) срабатываний”. Хотя в технической диагностике принято использовать вероятностно-статистические методы и критерии, впервые для технической диагностики предложенные Биргером И.А. в 1978 г. Эти же методы позволяют оценить достоверность определения состояния и вероятность ошибочных решений, что является основополагающим принципом формирования критериев состояния. Предложенное разделение дефектов подшипника по величине критерия является необоснованным, поскольку величина критерия будет определяться серьёзностью и величиной дефекта и изменяться в зависимости от величины частоты вращения, условий генерирования и распространения виброакустических колебаний.

4 Предложенная методика обнаружения дефектов подшипников качения в роторных механизмах (раздел 4.2.1) имеет весьма ограниченное применение, поскольку определение резонансных частот для каждого механизма занятие весьма сомнительное вследствие большой трудоёмкости для реальных производств и значительной изменчивости значений этих частот после ремонтов, технических обслуживаний, изменений условий эксплуатации и т.п. Поэтому для каждого контролируемого узла и датчика придётся подбирать пороговые значения.

5 При использовании метода выделения огибающей и анализа её спектра в качестве критерия необходимо использовать такую величину как глубина модуляции, поскольку из основ радиотехники известно, что абсолютная величина боковых полос несущей частоты зависит от абсолютной величины несущей. Поэтому для одинаковых по величине дефектов абсолютная величина сигнала может быть разной, а глубина модуляции – одинаковой. Применение же суммы амплитуд гармоник частоты дефекта в качестве критерия состояния приведёт к неустойчивым оценкам величины дефекта.

6 В предложенной методике локализации дефектов подшипников качения в роторных механизмах (раздел 4.2.2) не очень понятны критерии выделения собственных частот механизма и их связь с предполагаемыми дефектами. Предложенный в методике способ задания пороговых значений локализации дефектов трудно реализуем для реальных производственных условий эксплуатации машин и механизмов. Для реальных условий промышленности должны предлагаться безэталонные критерии, основанные на статистических данных.

7 В предложенном способе диагностирования конической зубчатой передачи весьма сомнительным является выбор амплитуды первой гармоники частоты вращения входного колеса в угловом ускорении в качестве критерия оценки состояния. В спектрах измеренных угловых и линейных ускорений явно видны классические зубцовые гармоники, которые модулированы частотой вращения. Таким образом, гораздо эффективнее было бы использовать именно их для оценки состояния зубчатой передачи и определения вида дефекта и применять известные критерии оценки состояния зубчатой пары.

Следует отметить, что замечания, высказанные по работе, не носят принципиального характера и не влияют на общую положительную оценку работы и могут рассматриваться как направления дальнейших исследований.

Публикации, отражающие основное содержание работы

По теме диссертационной работы опубликованы 10 печатных работ, из них 3 входят в перечень ведущих рецензируемых журналов и изданий в соответствии с требованиями ВАК Минобрнауки РФ, в том числе пять работ в рецензируемых зарубежных изданиях, индексируемых наукометрической базой Scopus, получен патент РФ на полезную модель.

Заключение

Диссертационная работа **Синицина Владимира Владимировича** является завершённой научно-квалификационной работой, выполненной на современном научно-техническом уровне, в работе изложены новые научно обоснованные технические решения, связанные с разработкой новых и совершенствованием существующих методов и средств анализа обработки информации, включая математическое и алгоритмическое обеспечение.

Тема и содержание диссертационного исследования **Синицина Владимира Владимировича** «Алгоритмы обработки информации для оценки технического состояния подшипников качения и зубчатых передач исполнительных механизмов АСУ ТП» соответствует паспорту специальности 05.13.01 – системный анализ, управление и обработка информации (промышленность) по пункту 4 «Разработка методов и алгоритмов решения задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений и обработки информации» в части обработки информации для принятия решения.

По своей актуальности, научной новизне, объёму выполненных исследований и практической значимости полученных результатов, представленная работа соответствует критериям раздела 2 «Положения о порядке присуждения учёных степеней» (пункты 9, 10, 11, 14), утверждённого

постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г., предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата технических наук, а её автор **Синицин Владимир Владимирович** заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.01 – системный анализ, управление и обработка информации (промышленность).

На обработку персональных данных согласен.

Профессор кафедры «Радиотехнические устройства и системы диагностики», доктор технических наук (специальность 05.11.13 – «Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий»), профессор



**Александр
Петрович
Науменко**

«02» 12 2020 г.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Омский государственный технический университет» (ОмГТУ),
адрес: 644050, г. Омск, Мира, д. 11
тел.: +7 (3812) 65-26-98
e-mail: info@omgtu.ru

Подпись Науменко Александра Петровича
заверяю,
Учёный секретарь



**Анна
Фёдоровна
Немцова**

«02» 12 2020 г.

