

**УТВЕРЖДАЮ**

Проректор по научной работе

ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)»,

доктор технических наук, доцент

А.В. Коржов

2020 г.



## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Федерального государственного автономного образовательного учреждения  
высшего образования «Южно-Уральский государственный университет  
(национальный исследовательский университет)»

Диссертация «Алгоритмы обработки информации для оценки технического состояния подшипников качения и зубчатых передач исполнительных механизмов АСУ ТП» выполнена на кафедре информационно-измерительной техники федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)».

В период подготовки диссертации соискатель Синицин Владимир Владимирович с 2011 года по 2014 год проходил обучение в аспирантуре на кафедре информационно-измерительной техники федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южно-Уральский государственный университет» (национальный исследовательский университет), с 2015 года по настоящее время работает инженером-исследователем управления научной и инновационной деятельности федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)»

В 2011 г. Синицин Владимир Владимирович окончил государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Южно-Уральский государственный университет» по специальности «Системы управления летательными аппаратами».

Справка о сдаче кандидатских экзаменов выдана в 2020 г. федеральным государственным автономным образовательным учреждением высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)».



Научный руководитель – Шестаков Александр Леонидович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой информационно-измерительной техники федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)».

Тема диссертации утверждена Ученым советом высшей школы электроники и компьютерных наук федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южно-Уральский государственный университет» (национальный исследовательский университет), протокол №2 от «19» октября 2015 г. Тема диссертации скорректирована и утверждена Ученым советом высшей школы электроники и компьютерных наук федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)», протокол №10 от «22» июня 2020 г.

По результатам рассмотрения диссертации «Алгоритмы обработки информации для оценки технического состояния подшипников качения и зубчатых передач исполнительных механизмов АСУ ТП» принято следующее **заключение:**

*Актуальность* диссертационной работы Синицина В.В. «Алгоритмы обработки информации для оценки технического состояния подшипников качения и зубчатых передач исполнительных механизмов АСУ ТП» не вызывает сомнений и обусловлена современными тенденциями внедрения методов и систем раннего обнаружения и локализации дефектов узлов исполнительных механизмов АСУ ТП во многих отраслях промышленности, таких как, машиностроение, энергетика, металлургия. В работе автора рассмотрены новые алгоритмы обработки информации для оценки технического состояния подшипников качения и зубчатых передач исполнительных механизмов АСУ ТП, основанные на разработке методов и критериев получения, декомпозиции и обработки комплексной диагностической информации непосредственно с вращающегося вала. Результатом применения предложенных автором алгоритмов и методов получения и обработки информации является обнаружение и локализация дефектов, приводящие к сокращению расхода времени и средств, связанных с простоями и ремонтом производственного оборудования. Таким образом, предложенные алгоритмы и методы позволяют повысить эффективность технологических процессов.

В диссертации рассмотрены задачи по разработке математических моделей, методов, алгоритмического обеспечения и критериев получения и обработки информации с целью повышения эффективности функционирования исполнительных механизмов АСУ ТП, что соответствует паспорту специальности 05.13.01 «Системный анализ, управление и обработка информации». В диссертации разработана модель получения информации непосредственно с



вращающегося вала исполнительного механизма, разработан метод и критерий декомпозиции, полученной непосредственно с вращающегося вала информации. В диссертации разработаны методы, алгоритмическое обеспечение и критерии для обнаружения и локализации дефектов в подшипниках качения и ведущего колеса зубчатой передачи по декомпозированной информации, полученной непосредственно с вращающегося вала механизма.

В диссертации разработана модель получения информации непосредственно с вращающегося вала исполнительного механизма, использующая мгновенные ускорения закрепленных на вращающемся валу нескольких взаимно-ориентированных акселерометров, позволяет определить линейные и угловое ускорение вращающегося вала с учетом его мгновенного угла поворота, что соответствует пункту 1 области исследований паспорта специальности 05.13.01 «Системный анализ, управление и обработка информации (промышленность)».

В диссертации разработан метод обработки информации и предложен критерий декомпозиции измеренных ускорений, основанные на разработанной математической модели получения информации, позволяющие декомпозировать измеренные ускорения на угловое и линейные составляющие, а также декомпозировать линейные ускорения на ортогональные оси в поперечном сечении вала. Кроме того, разработан метод обработки информации и предложен критерий обнаружения дефекта в подшипнике качения из декомпозированного углового ускорения вала, основанный на оценке значения суммы амплитуд спектральных компонент декомпозированного углового ускорения в области одной из крутильных частот вала. Более того, разработан метод обработки информации и предложен критерий обнаружения локального дефекта ведущего колеса зубчатой передачи типа «скол» и «поломка» зуба по сигналам декомпозированного углового ускорения, что соответствует пункту 4 области исследований паспорта специальности 05.13.01 «Системный анализ, управление и обработка информации (промышленность)».

В диссертации разработано алгоритмическое обеспечение для обработки информации, основанное на методе огибающей в области каждой собственной частоты механизма, и предложен критерий локализации дефектов в подшипнике качения по сигналам декомпозированных линейных ускорений, соответственно; предложен критерий локализации, основанный на комбинации двух критериев: первый критерий основан на превышении порогового значения суммы амплитуд характерных частот дефекта тел качения для каждой собственной частоты, второй критерий основан на оценке значения натурального логарифма отношения суммы значений, связанных с амплитудами характерных частот внешнего и внутреннего колец подшипника для каждой собственной частоты, что соответствует пункту 5 области исследований паспорта специальности 05.13.01 «Системный анализ, управление и обработка информации (промышленность)».



Таким образом, работа полностью соответствует паспорту специальности 05.13.01 «Системный анализ, управление и обработка информации (промышленность)».

Содержание диссертационной работы указывает на то, что соискатель достаточно хорошо владеет современными подходами, математическими моделями и методами обработки информации и системного анализа поведения исполнительных механизмов АСУ ТП при различном их техническом состоянии.

*Теоретическая значимость* работы соискателя заключается в созданной математической модели получения информации непосредственно с вращающегося вала, которая позволяет определить мгновенные линейные и угловые ускорения вала с учетом его мгновенного угла поворота, в разработанных методе и устройстве измерения (патент РФ №142934) с вращающегося вала ускорений, в разработанных методе и критерии декомпозиции измеренной информации на угловые и линейные компоненты, а также в разработанных методах и критериях обнаружения и локализации дефектов по декомпозированным угловому и линейным ускорениям.

*Практическая значимость* заключается в созданном программно-аппаратном комплексе, в котором реализованы разработанные методы и алгоритмическое обеспечение для обнаружения дефектов механических элементов АСУ ТП. Результаты работы были приняты к использованию в деятельности ЗАО «Завод Минплита» (г. Челябинск).

*Научная новизна* работы заключается следующем:

1. Создана новая математическая модель получения информации непосредственно с вращающегося вала исполнительного механизма, которая использует мгновенные ускорения закрепленных на валу взаимно-ориентированных акселерометров, позволяющая определить линейные и угловое ускорения вала с учетом его мгновенного угла поворота.

2. Разработаны новые метод и критерий, основанные на математической модели получения информации, позволяющие декомпозировать измеренную непосредственно с вращающегося вала информацию на линейные и угловые компоненты. Декомпозиция выполняется через линейную комбинацию и взаимную фильтрацию измеренных ускорений.

3. Разработаны новые метод обработки информации и критерий, позволяющие по декомпозированному угловому ускорению обнаруживать дефект в подшипнике качения. Обнаружение дефекта основано на оценке значения суммы спектральных компонент декомпозированного углового ускорения в области одной из крутильных частот вала.

4. Разработаны алгоритмическое обеспечение для обработки информации и критерий, позволяющие по декомпозированным линейным ускорениям локализовать дефект в подшипнике качения. Локализация дефекта основана на совместной оценке амплитуд частотных компонент сигналов, полученных применением метода огибающей в области каждой собственной частоты механизма, выявленной методом ударного отклика, каждого декомпозированного линейного ускорения.



5. Разработаны новые методы обработки информации и критерии, позволяющие по декомпозированному угловому ускорению выходного вала обнаруживать локальные дефекты ведущего колеса зубчатой передачи типа «скол» и «поломка» зуба. Обнаружение дефекта основано на оценке значения амплитуд гармоник частоты вращения ведущего колеса в декомпозированном угловом ускорении.

*Личным вкладом* соискателя является постановка задачи получения и декомпозиции информации непосредственно с вращающегося вала исполнительного механизма; метод и критерий декомпозиции, полученной с вращающегося вала информации, на угловую и линейные компоненты; метод и критерий обнаружения дефектов в подшипнике качения по декомпозированному угловому ускорению; алгоритмическое обеспечение и критерий локализации дефектов в подшипнике качения по декомпозированным линейным ускорениям вала; метод и критерий обнаружения локальных дефектов типа «скол» и «поломка» зуба ведущего колеса зубчатой передачи.

*Степень достоверности результатов проведенных исследований.*

Достоверность результатов диссертационного исследования подтверждается корректной постановкой и формализацией исследовательской задачи, адекватными решаемой задаче методами исследования, корректным использованием основных положений теории механических колебаний, теории автоматического управления, цифровой обработки сигналов, методов теоретической механики, вычислительной математики, спектрального анализа и других классических и современных научных положений. Научные положения и выводы, сформулированные в диссертации, подкреплены убедительными фактическими данными, полученными в ходе экспериментальных исследований.

По объему выполненных научно-технических исследований и полученным практическим результатам диссертационная работа Сеницына В.В. является законченной научно-исследовательской работой, результаты которой можно квалифицировать как решение конкретной практически значимой научно-технической задачи, которая соответствует требованиям, предъявляемым ВАК к кандидатским диссертациям.

Результаты и выводы не противоречат ранее полученным результатам других авторов. В диссертацию включены только результаты, полученные Сеницыным В.В., они не затрагивают интересы соавторов в представленных публикациях. Научному руководителю принадлежит общая постановка задачи диссертационного исследования.

Основные разработки и научные положения диссертации представлены в 10 научных работах, в числе которых: 3 работы опубликованы в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК при Минобрнауки России; 5 работ опубликованы в рецензируемых зарубежных изданиях, входящих в международные реферативные базы данных и ведущие международные системы цитирования Web of Science, Scopus. Материалы диссертации полно



представлены в работах, опубликованных соискателем. Получен патент на полезную модель.

**Статьи, опубликованные в рецензируемых научных журналах в изданиях, рекомендованных ВАК при Минобрнауки России:**

1. Синицин, В.В. Математическая модель устройства измерения виброускорения подвижных элементов машин и механизмов / В.В. Синицин // Вестник Южно-Уральского государственного университета, серия: компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. — 2014. — Т. 14, № 3. — С. 127–133.

2. Sinitsin, V. Determination of shaft rotation angle from accelerations of the wireless sensor by the novel numerical method / V. Sinitsin, N. Yaparova // Bulletin of the South Ural State University, series: Computer Technologies, Automatic Control & Radioelectronics. — 2018. — Vol. 18, no. 3. — P.~143–149. (3/7)

3. Sinitsin, V.V. An approach to fault diagnosis of gearbox based on an instantaneous angular acceleration experimental study / V.V. Sinitsin, A.L. Shestakov // Bulletin of the South Ural State University, series: Computer Technologies, Automatic Control & Radioelectronics. — 2020. — Vol. 20, no. 1. — P. 89–99. (7/11)

**Статьи в зарубежных изданиях, входящих в международные реферативные базы данных и ведущие международные системы цитирования Web of Science, Scopus:**

4. Sinitsin, V.V. Wireless sensor acceleration of moving elements for condition monitoring of mechanisms / V.V. Sinitsin, A.L. Shestakov // 14th IMEKO TC10 Workshop on Technical Diagnostics: New Perspectives in Measurements, Tools and Techniques for Systems Reliability, Maintainability and Safety. — Milan, Italy: IMEKO, 2016. — P. 24–26. (2/3)

5. Sinitsin, V.V. Wireless acceleration sensor of moving elements for condition monitoring of mechanisms / V.V. Sinitsin, A.L. Shestakov // Measurement Science and Technology. — 2017. — aug. — Vol. 28, no. 9. — P. 094002. (5/8)

6. Sinitsin, V.V. Roller bearing fault detection by applying wireless sensor of instantaneous accelerations of mechanisms moving elements / V.V. Sinitsin // 15th IMEKO TC10 Workshop on Technical Diagnostics: Technical Diagnostics in Cyber-Physical Era. — Budapest, Hungary: IMEKO, 2017. — P. 62–66.

7. Henry, M. Prism signal processing for machine condition monitoring II: Experimental data and fault detection / M. Henry, V. V. Sinitsin // 2018 IEEE Industrial Cyber-Physical Systems (ICPS). — St. Petersburg, Russia: IEEE, 2018. — May. — P. 458–463. (2/6)

8. Henry, M. Prism signal processing for machine condition monitoring I: Design and simulation / M. Henry, V. V. Sinitsin // 2018 IEEE Industrial Cyber-Physical Systems (ICPS). — St. Petersburg, Russia: IEEE, 2018. — May. — P. 452–457. (2/6)



### **Другие публикации:**

9. Синицин, В.В. Беспроводной датчик ускорений вращающихся валов для мониторинга состояния механизмов / В.В. Синицин // Проминжиниринг труды II международной научно-технической конференции. — Челябинск, Россия: ЮУрГУ, 2016. — С. 475–478.

### **Патенты:**

10. Устройство измерения виброускорения подвижных элементов машин и механизмов: пат. 142934 Рос. Федерация: МПК7 G 01 P 15/02, G 01 H 9/00 / Синицин В.В.(мл.), Синицин В.В.(ст.), Семенов А.С., Шестаков А.Л. (РФ); ФГБОУ ВПО "ЮУрГУ"(НИУ); Патентный отдел. — №~2014109714/28; опубли. 10.07.2014, Бюл. № 19. (7/10)

Диссертационная работа соответствует требованиям, установленным п. 14 Положения о присуждении ученых степеней. Текст диссертации представляет собой самостоятельную научно-квалификационную работу, не содержит заимствованного материала без ссылки на автора и (или) источник заимствования.

Диссертация «Алгоритмы обработки информации для оценки технического состояния подшипников качения и зубчатых передач исполнительных механизмов АСУ ТП» Синицина Владимира Владимировича рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации (промышленность).

### **ПРИСУТСТВОВАЛИ:**

Шестаков Александр Леонидович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой информационно-измерительной техники (ИнИТ) ЮУрГУ;

Некрасов Сергей Геннадьевич, доктор технических наук, профессор кафедры ИнИТ ЮУрГУ; Усачев Юрий Александрович, кандидат технических наук, профессор, профессор кафедры ИнИТ ЮУрГУ; Лапин Андрей Павлович, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры ИнИТ ЮУрГУ; Богатенков Сергей Александрович, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры ИнИТ ЮУрГУ; Юрасова Екатерина Валерьевна, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры ИнИТ ЮУрГУ; Палей Александр Гилич, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры ИнИТ ЮУрГУ; Волосников Андрей Сергеевич, кандидат технических наук, доцент кафедры ИнИТ ЮУрГУ; Константинов Владимир Игоревич, доцент кафедры ИнИТ ЮУрГУ; Лысова Алена Александровна, доцент кафедры ИнИТ ЮУрГУ; Николайзин Никита Владимирович, старший преподаватель кафедры ИнИТ ЮУрГУ; Габбасова Ольга Павловна, старший преподаватель кафедры ИнИТ ЮУрГУ; Пашнин Сергей Владимирович, старший преподаватель кафедры ИнИТ ЮУрГУ; Аверина Наталья Юрьевна, старший преподаватель кафедры ИнИТ ЮУрГУ.

**ПРИГЛАШЕНЫ:** Логиновский Олег Витальевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой информационно-аналитического обеспечения управления в социальных и экономических системах (ИАОУ)

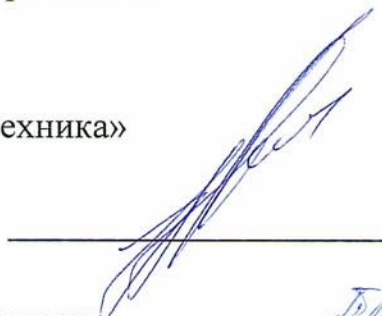


ЮУрГУ; Ширяев Владимир Иванович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Системы автоматического управления» (САУ) ЮУрГУ; Суховилов Борис Максович, доктор технических наук, заведующий кафедрой «Информационные технологии в экономике» ЮУрГУ; Тележкин Владимир Федорович, доктор технических наук, профессор кафедры «Инфокоммуникационные технологии» ЮУрГУ; Япарова Наталья Михайловна, кандидат физико-математических наук, доцент, заведующий кафедрой «Вычислительная математика и высокопроизводительные вычисления» ЮУрГУ; Голлай Александр Владимирович, кандидат химических наук, старший научный сотрудник кафедры ИАОУ ЮУрГУ; Семашко Марина Юрьевна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Двигатели летательных аппаратов»; Подвилова Елена Олеговна, младший научный сотрудник кафедры САУ ЮУрГУ; Хаданович Дина Валентиновна, младший научный сотрудник кафедры САУ ЮУрГУ; Белоусов Михаил Дмитриевич, инженер-конструктор ООО «ИТеК ББМВ»; Арапов Олег Леонидович, инженер-исследователь ФГУП «РФЯЦ – ВНИИТФ им. академика Е. И. Забабахина»; Дружков Александр Михайлович, начальник отдела калибровочных работ и обеспечения качества АО «Метран».

**ВЫСТУПИЛИ:** Ширяев Владимир Иванович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Системы автоматического управления» ЮУрГУ; Логиновский Олег Витальевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой ИАОУ ЮУрГУ; Шестаков Александр Леонидович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой ИнИТ ЮУрГУ.

Заключение принято на расширенном заседании кафедры информационно-измерительной техники федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)». Результаты голосования «за» – 25 чел., «против» – 0 чел., «воздержались» – 0 чел., протокол №1 от «14» сентября 2020 г.

и.о. Заведующего кафедрой  
«Информационно-измерительная техника»  
ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)»  
к.т.н., доцент



А.П. Лапин

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)»  
Россия, 454080 Челябинск, проспект Ленина, 87,  
<http://susu.ru/>, e-mail: [init174@yandex.ru](mailto:init174@yandex.ru)  
телефон: (351) 267-90-01

*Будущее зависит от нас,  
Начальник отдела  
кадров работников  
университета  
Владимир Владимирович*

