

УТВЕРЖДАЮ

Первый проректор – проректор
по научной работе

ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)»

доктор технических наук, доцент

 А.В. Коржов

«6» марта 2025 г.



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

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

Министерства науки и высшего образования Российской Федерации

Диссертация «Алгоритмы обработки информации для оценки
технического состояния асинхронного электродвигателя исполнительных
механизмов АСУ ТП» на соискание учёной степени кандидата технических
наук по специальности 2.3.1 «Системный анализ, управление и обработка
информации, статистика» выполнена на кафедре информационно-
измерительной техники федерального государственного автономного
образовательного учреждения высшего образования «Южно-Уральский
государственный университет (национальный исследовательский
университет)» (ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный
университет»).

В период подготовки диссертации с 2021 по настоящее время Еремеева
Виктория Александровна проходит обучение в аспирантуре ФГАОУ ВО
«Южно-Уральский государственный университет» по направлению
подготовки 09.06.01 - «Информатика и вычислительная техника».

Еремеева В.А. с 2021 года по настоящее время работает инженером-исследователем в научно-исследовательской лаборатории технической самодиагностики и самоконтроля приборов и систем ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)».

Еремеева Виктория Александровна в 2019 году с отличием окончила бакалавриат ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (НИУ)» по направлению подготовки 12.03.01 «Приборостроение». В 2021 году Еремеева В.А. с отличием окончила магистратуру ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (НИУ)» по направлению подготовки 12.04.01 «Приборостроение».

Справка о сдаче кандидатских экзаменов выдана в 2025 г. ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (НИУ)».

Научный руководитель – Шестаков Александр Леонидович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры информационно-измерительной техники ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (НИУ)»

По результатам рассмотрения диссертации «Алгоритмы обработки информации для оценки технического состояния асинхронного электродвигателя исполнительных механизмов АСУ ТП» принято следующее **заключение:**

Актуальность диссертационной работы Еремеевой В.А. обусловлена требованиями к надёжности, безопасности и отказоустойчивости оборудования АСУ ТП в разных отраслях промышленности, которые могут быть обеспечены за счёт интеграции в программное обеспечение АСУ ТП алгоритмов непрерывного контроля технического состояния оборудования. В работе автора рассмотрены новые алгоритмы обработки информации и диагностические критерии для оценки технического состояния асинхронных электродвигателей исполнительных механизмов АСУ ТП. Результатом применения предложенных автором алгоритмов обработки информации и

диагностических критериев является обнаружение таких неисправностей асинхронного электродвигателя, как межвитковое замыкание в статоре, обрыв стержня в роторе, повреждение подшипников. Таким образом, предложенные алгоритмы и критерии позволяют повысить надёжность и безопасность технологических процессов.

Основное содержание работы. В диссертационной работе рассмотрены задачи по разработке алгоритмов обработки информации асинхронного электродвигателя и диагностических критериев с целью повышения надёжности функционирования исполнительных механизмов АСУ ТП, что соответствует паспорту специальности 2.3.1 «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика». В диссертационной работе разработан алгоритм обработки сигналов тока и напряжения на основе векторного метода матричных пучков для получения диагностических признаков межвиткового замыкания в статоре электродвигателя в виде разности фазовых задержек между сигналами тока и напряжения, на основе которых формируется диагностический критерий с помощью метода опорных векторов. В диссертационной работе разработан алгоритм обработки сигналов тока и частоты вращения на основе векторного метода матричных пучков для получения диагностических признаков обрыва стержня короткозамкнутого ротора в виде значений амплитуд гармоник дефекта ротора, извлекаемых из демодулированных сигналов тока, отфильтрованных в диапазоне 5-ой и 7-ой частоты гармоники питания, на основе которых формируется диагностический критерий с помощью метода опорных векторов. В диссертационной работе разработан алгоритм обработки сигналов виброускорений, измеряемых с вращающегося вала электродвигателя, с использованием преобразования Гилберта-Хуанга для получения изображений спектра Гилберта, содержащих диагностические признаки неисправностей подшипников качения в виде локальных изменений амплитуды виброускорения, а также диагностический критерий, который представляет собой максимальное значение вероятности принадлежности

изображения спектра Гилберта к конкретному классу неисправности подшипника, формируемое свёрточной нейронной сетью.

В диссертационной работе разработаны алгоритмы обработки сигналов тока, напряжения и частоты вращения асинхронного электродвигателя, а также сигналов виброускорения вращающегося вала, позволяющие выделить признаки неисправностей асинхронного электродвигателя для оценки технического состояния электродвигателя, что соответствует пункту 4 области исследований паспорта специальности 2.3.1 «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика».

В диссертационной работе разработаны диагностические критерии неисправностей асинхронного двигателя, основанные на обработке выборок диагностических признаков, полученных при разных технических состояниях асинхронного электродвигателя, с помощью методов машинного обучения, таких как метод опорных векторов и свёрточная нейронная сеть, что соответствует пункту 3 области исследований паспорта специальности 2.3.1 «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика».

В диссертационной работе разработанные алгоритмы основаны на применении компьютерных методов обработки информации к сигналам асинхронного электродвигателя, которые позволяют повысить информативность сигналов, а также выделить диагностические признаки неисправностей асинхронного электродвигателя исполнительных механизмов АСУ ТП для оценки его технического состояния, что соответствует пункту 12 области исследований паспорта специальности 2.3.1 «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика».

Таким образом, диссертационная работа полностью соответствует паспорту специальности 2.3.1 «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика».

Содержание диссертационной работы указывает на то, что соискатель достаточно хорошо владеет методами обработки информации для оценки

технического состояния асинхронного электродвигателя исполнительных механизмов АСУ ТП в различных режимах работы.

Теоретическая значимость. Впервые векторный метод матричных пучков применён к сигналам тока и напряжения АД для получения диагностических признаков неисправностей статора и ротора (патент РФ №2799985). Предложенные диагностические признаки неисправностей также ранее не использовались при оценке состояния АД. Применение метода опорных векторов к предложенным диагностическим признакам позволяет получить новые диагностические критерии для оценки состояния АД. Также впервые к сигналам виброускорения, измеренных с вращающегося вала АД, применено преобразование Гилберта-Хуанга. Преобразование Гилберта-Хуанга позволяет преобразовать сигналы виброускорений в изображения, которые затем могут быть распознаны свёрточной нейронной сетью для оценки состояния подшипников качения.

Практическая значимость работы состоит в создании программно-аппаратного комплекса, в котором реализованы разработанные алгоритмы обнаружения неисправностей АД исполнительных механизмов АСУ ТП. Работоспособность разработанных алгоритмов и диагностических критериев подтверждена экспериментально, что позволяет рекомендовать их для интеграции в существующие АСУ ТП для непрерывного контроля за техническим состоянием АД. Алгоритмы могут быть адаптированы для оценки состояния других типов электродвигателей и вращающегося оборудования. Полученные результаты диссертационной работы внедрены в деятельности предприятия НТЦ «Приводная техника».

Научная новизна работы заключается в следующем:

- 1) Разработан новый алгоритм обработки сигналов и диагностический критерий обнаружения межвиткового замыкания в статоре АД, который представляет собой функцию классификации, полученную в результате обучения метода опорных векторов на выборке диагностических

признаков в виде разности трёх фазовых задержек между сигналами тока и напряжения АД.

2) Разработан новый алгоритм обработки сигналов и диагностический критерий обнаружения обрыва стержня ротора в АД, который представляет собой функцию классификации, полученную в результате обучения метода опорных векторов на выборке диагностических признаков в виде совокупности значений амплитуд гармоник дефекта ротора, извлечённых из демодулированных сигналов тока, предварительно отфильтрованных в районе 5-ой и 7-ой гармоники частоты питания.

3) Разработан алгоритм обработки сигналов виброускорений, измеренных с вращающегося вала АД, с использованием преобразования Гилберта-Хуанга для получения изображений спектра Гилберта, содержащих диагностические признаки в виде локальных изменений амплитуды, а также диагностический критерий, который представляет собой максимальное значение вероятности принадлежности изображения спектра Гилберта к конкретному классу неисправности подшипника.

Личным вкладом соискателя является разработка алгоритмов обработки сигналов асинхронного электродвигателя для оценки его технического состояния, обоснование диагностических признаков неисправностей, проведение модельных и экспериментальных исследований для проверки работоспособности разработанных алгоритмов.

Степень достоверности результатов проведенных исследований.

Достоверность результатов диссертационного исследования подтверждается корректной постановкой задачи, корректным использованием основных положений теории электромагнитного поля, теории механических колебаний, цифровой обработки сигналов, спектрального анализа и других классических и современных научных положений. Научные положения и выводы, сформулированные в диссертационной работе, подкреплены убедительными фактическими данными, полученными в ходе модельных и экспериментальных исследований.

По объему выполненных научно-технических исследований и полученным практическим результатам диссертационная работа Еремеевой В.А. 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 Еремеевой В.А., они не затрагивают интересы соавторов в представленных публикациях. Научному руководителю принадлежит общая постановка задачи диссертационного исследования.

Основные разработки и научные положения диссертации представлены в 8 работах, в числе которых: 1 работа опубликована в рецензируемом научном издании, рекомендованном ВАК при Минобрнауки России; 4 работы опубликованы в изданиях, входящих в международные реферативные базы данных и ведущие международные системы цитирования Web of Science, Scopus, получен патент на изобретение. Материалы диссертационной работы полно представлены в работах, опубликованных соискателем.

Статьи, входящие в рецензируемые научные издания, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук:

1) Еремеева, В.А. Обнаружение дефектов ротора асинхронного двигателя в нестационарных условиях методом матричных пучков / В.А. Еремеева // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2025. – Т. 25, № 1. – С. 30–42. DOI: <http://dx.doi.org/10.14529/ctcr250103> (BAK)

2) Ibryaeva, O. A novel hybrid method for fault diagnosis of two rolling bearings mounted on the same shaft / O. Ibryaeva, V. Sinitsin, V. Sakovskaya, V. Eremeeva // Measurement: Sensors. – 2021. – Vol. 18. – P. 100210. DOI: 10.1016/j.measen.2021.100210 (Scopus). (1 с. из 4 с.)

3) Ibryaeva, O. Intelligent bearing fault diagnosis method combining mixed input and hybrid CNN-MLP model / O. Ibryaeva, V. Sinitsin, V. Sakovskaya, V. Ereemeeva // Mechanical Systems and Signal Processing. – 2022. – Vol. 180. – P. 109454. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2022.109454> (Scopus). (5 с. из 20 с.)

4) Shestakov, A. The Detection of Rotor Bar Faults in Induction Motors Using the Recursive Matrix Pencil Method / A. Shestakov, O. Ibryaeva, V. Ereemeeva, V. Sinitsin // 19th IMEKO TC10 Conference "Measurement for Diagnostics, Optimisation and Control to Support Sustainability and Resilience". – International Measurement Confederation (IMEKO), 2023. – P. 196257. DOI: <https://doi.org/10.21014/tc10-2023.015> (Scopus). (2 с. из 6 с.)

5) Shestakov, A. Detection of Broken Bar Fault in Induction Motor Using Higher-Order Harmonics Analysis / A. Shestakov, D. Galyshev, V. Ereemeeva, V. Sinitsin, O. Ibryaeva // 19th IMEKO TC10 Conference "Measurement for Diagnostics, Optimisation and Control to Support Sustainability and Resilience". – International Measurement Confederation (IMEKO), 2023. – P. 196257. DOI: <https://doi.org/10.21014/tc10-2023.010> (Scopus). (1 с. из 6 с.)

Патент:

6) Еремеева, В.А. Способ контроля состояния электрических машин по сигнатурному анализу токового сигнала: пат. 2799985 Рос. Федерация: МПК G 01 R 31/34 (2006.01) / В.А. Еремеева, О.Л. Ибряева; ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)»; Патентный отдел. – № 2023103816; заявл. 20.02.2023; опубл. 14.07.2023, Бюл. № 20. – 9 с. (3 с. из 6 с.)

Другие публикации:

7) Еремеева, В.А. Оценка точности измерения фазовой задержки сигналов методом матричных пучков / В.А. Еремеева, О.Л. Ибряева // Сборник тезисов докладов III Международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов «ЗА НАМИ БУДУЩЕЕ». – ООО «Типография Литас+», 2024. – С. 295–296. (1 с. из 2 с.)

8) Шестаков, А.Л. Обнаружение обрывов стержней короткозамкнутого ротора асинхронного двигателя по высшим гармоникам тока статора / А.Л.

Шестаков, Д.В. Галышев, В.А. Еремеева, О.Л. Ибряева // Цифровая индустрия: состояние и перспективы развития 2023 (ЦИСП'2023): сборник научных статей. – Издательский центр Южно-Уральского государственного университета, 2024. – С. 509–516. (2 с. из 8 с.)

Публикации полностью соответствуют теме диссертационного исследования и раскрывают ее основные положения. Соавторы не возражают против использования материалов совместных исследований в диссертации соискателя.

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

Диссертация «Алгоритмы обработки информации для оценки технического состояния асинхронного электродвигателя исполнительных механизмов АСУ ТП» Еремеевой Виктории Александровны рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.1 «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика».

Заключение принято на расширенном заседании кафедры информационно-измерительной техники Южно-Уральского государственного университета.

ПРИСУТСТВОВАЛИ:

Шестаков Александр Леонидович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры информационно-измерительной техники (ИНИТ) ЮУрГУ; Волосников Андрей Сергеевич, кандидат технических наук, доцент кафедры ИНИТ ЮУрГУ; Кацай Дмитрий Алексеевич, кандидат технических наук, доцент кафедры ИНИТ ЮУрГУ; Константинов Владимир Игоревич, доцент кафедры ИНИТ ЮУрГУ; Латфулина Юлия Сергеевна, старший преподаватель кафедры ИНИТ ЮУрГУ; Лысова Алёна Александровна, доцент кафедры

ИнИТ ЮУрГУ; Некрасов Сергей Геннадьевич, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры ИнИТ ЮУрГУ; Николайзин Никита Владимирович, старший преподаватель кафедры ИнИТ ЮУрГУ; Самодурова Марина Николаевна, доктор технических наук, доцент, и.о. заведующего кафедрой ИнИТ ЮУрГУ; Юрасова Екатерина Валерьевна, кандидат технических наук, доцент кафедры ИнИТ ЮУрГУ; Ячиков Игорь Михайлович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры ИнИТ ЮУрГУ.

ПРИГЛАШЕНЫ:

Логиновский Олег Витальевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Информационно-аналитическое обеспечение управления в социальных и экономических системах» (ИАОУ) ЮУрГУ; Голлай Александр Владимирович, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры ИАОУ; Кодкин Владимир Львович, доктор технических наук, профессор кафедры «Электропривод, мехатроника и электромеханика» ЮУрГУ; Тележкин Владимир Фёдорович, доктор технических наук, профессор кафедры «Инфокоммуникационные технологии» ЮУрГУ; Захаров Вадим Владимирович, ведущий инженер кафедры ИАОУ; Япаров Дмитрий Данилович, старший преподаватель кафедры «Математическое обеспечение информационных технологий» ЮУрГУ; Синицин Владимир Владимирович, кандидат технических наук, заместитель заведующего НИЛ технической самодиагностики и самоконтроля приборов и систем ЮУрГУ (НИЛ ТССПС); Ибряева О.Л., кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник НИЛ ТССПС; Федосов И.И., младший научный сотрудник НИЛ ТССПС.

ВЫСТУПИЛИ:

Ячиков Игорь Михайлович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры ИнИТ ЮУрГУ; Некрасов Сергей Геннадьевич, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры ИнИТ ЮУрГУ; Тележкин Владимир Фёдорович, доктор технических наук, профессор кафедры

«Инфокоммуникационные технологии» ЮУрГУ; Кодкин Владимир Львович, доктор технических наук, профессор кафедры «Электропривод, мехатроника и электромеханика» ЮУрГУ; Сеницин Владимир Владимирович, кандидат технических наук, заместитель заведующего НИЛ технической самодиагностики и самоконтроля приборов и систем ЮУрГУ (НИЛ ТССПС); Шестаков Александр Леонидович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры информационно-измерительной техники (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» 14 чел., «против» 0 чел., «воздержались» - 0 чел., протокол № 06 от «4» марта 2025 г.

И.о. заведующего кафедрой
информационно-измерительной техники
ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)»
доктор технических наук, доцент



М. Н. Самодурова

Подпись Самодурова удостоверяю
Начальник управления
по работе с кадрами И.И.И. Н.С. Минакова



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
телефон: +7 (351) 267-90-01