

Утверждаю:

ректор федерального
государственного бюджетного
образовательного учреждения
высшего образования
«Иркутский национальный
исследовательский
технический университет»,
доктор технических наук,
доцент



Корняков М.В.

«24» ноября 2020 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации – федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Иркутский национальный исследовательский технический университет» на диссертацию Бельского Игоря Олеговича «Разработка методов и средств диагностики асинхронных электродвигателей по параметрам внешнего магнитного поля», представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.13.01 – «Системный анализ, управление и обработка информации (транспорт)».

Актуальность темы исследования

Развитие современных тенденций повышения экономической и эксплуатационной эффективности объектов транспортной инфраструктуры приводит к возрастанию интереса со стороны исследователей к разработке систем управления их техническим состоянием. Данные системы, в основном, находят свою реализацию при введении комплексов диагностики технического состояния, действие которых основано на применении принципов обратной информационной связи по диагностическим параметрам. Поэтому важной становится задача разработки современных методов диагностики, позволяющих повысить эффективность управления техническим состоянием оборудования транспортных объектов.

Асинхронный электродвигатель является важным звеном множества транспортных машин и механизмов, от эксплуатационной надёжности

которого зависит эффективность их работы. Снижение числа отказов асинхронного привода является важной задачей и может быть достигнуто на основе разработки методов диагностики его технического состояния.

Существующие на данный момент методы диагностики асинхронных электродвигателей способны указать на наличие неисправности и не позволяют точно определять степень её развития. При этом, часто, вывод асинхронной машины в ремонт осуществляется при сильном развитии дефектов. В связи с этим требуется разработка современных методов диагностики асинхронных электродвигателей транспортных машин на основе добавления новых диагностических данных, способных определять не только наличие неисправностей, но и проводить оценку степени их развития.

Для решения данной задачи необходима разработка современной приборной базы, а также методик сбора и обработки диагностической информации. Проектирование приборов в области диагностики должно осуществляться с применением системного подхода, позволяющего с использованием методов системного анализа подобрать наиболее эффективные пути, средства и методы для решения задач проектирования. Поэтому использование данного подхода, при разработке структуры и связей элементов проектируемых систем диагностики является важным.

Диссертация Бельского И.О. посвящена актуальной задаче повышения эффективности управления техническим состоянием транспортных машин и механизмов при помощи введения дополнительных источников диагностических данных о параметрах внешнего магнитного поля и угловой скорости вращения ротора асинхронных электродвигателей.

Оценка структуры и содержания работы

Диссертационная работа состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка литературы, включающего 146 наименований, и трёх приложений. Общий объем работы составляет 191 страницу, включая 109 рисунков и 12 таблиц.

Во введении рассмотрена актуальность исследования, поставлена цель и сформулированы основные задачи, которые необходимо решить для её достижения, теоретическая и практическая значимость, отмечен личный вклад автора, приведены данные об апробации результатов, представлены положения, выносимые на защиту.

В первой главе, на основе обзора литературных источников, проведена классификация современных методов диагностики асинхронных электродвигателей. С использованием системного подхода к проектированию сформулированы основные требования к разработке многоканального модульного прибора диагностики асинхронных электродвигателей по параметрам внешнего магнитного поля и угловой скорости ротора в составе более общей системы технического обслуживания по фактическому состоянию. Рассмотрены принципы управления техническим состоянием асинхронного привода как элемента сложных электромеханических систем. На основе статистических данных, определены наиболее распространённые виды дефектов асинхронных электродвигателей, рассмотрен процесс их развития. Изучены принципы образования магнитных полей, в том числе и внешних магнитных полей рассеяния. Проведён обзор существующих типов чувствительных элементов и методов измерения напряжённости внешнего магнитного поля.

Во второй главе приведены результаты разработки математических моделей асинхронных машин, позволивших выявить диагностические признаки при возникновении и развитии распространённых дефектов:

1. Математические модели, отражающие изменение механических и электрических характеристик электродвигателя при наличии повреждений стержней ротора.

2. Математическая модель силовых взаимодействий между ротором и статором асинхронной машины при наличии несимметрии фазных токов.

В третьей главе представлены результаты разработки конечно-элементных моделей асинхронных электродвигателей при наличии дефектов. Рассмотрено изменение основных механических и электрических параметров, распределение магнитного поля в сечении электродвигателя при развитии дефектов короткозамкнутой обмотки ротора и несимметрии фазного тока. Определён критический уровень развития дефекта «обрыв стержней ротора», позволяющий своевременно выводить асинхронный привод в ремонт.

В четвертой главе представлены результаты разработки, на основе системного подхода к проектированию, и изготовления многоканального модульного прибора, позволяющего проводить диагностику технического состояния асинхронных приводов по двум новым источникам

диагностической информации: напряжённости внешнего магнитного поля и колебаниям угловой скорости ротора. Разработаны методики сбора и обработки диагностической информации. Приведены результаты испытаний многоканальной модульной системы при диагностике асинхронного привода на лабораторном стенде и в промышленных условиях, при диагностике вспомогательных машин электровозов.

По тексту диссертации необходимо отметить обоснованность выводов по главам работы и общих выводов исследования.

Соответствие содержания диссертации заявленной специальности и теме диссертации

Содержание диссертации соответствует заявленной научной специальности 05.13.01 – «Системный анализ, управление и обработка информации (транспорт)». Диссертация является законченной научно-квалификационной работой, в которой на основе проведённых теоретических и экспериментальных исследований изложены новые научно обоснованные технические и технологические решения в области диагностики асинхронных электродвигателей, что вносит значительный вклад в повышение эффективности управления техническим состоянием асинхронных машин транспортной промышленности.

Содержание работы соответствует теме диссертационного исследования и отражает его основную суть.

Соответствие автореферата диссертации её содержанию

В автореферате кратко изложено содержание основных разделов диссертации и даётся правильное общее представление о диссертационной работе в целом. Отражены основные положения, выносимые на защиту, цель и задачи исследования, научные выводы и результаты.

Личный вклад соискателя в получении результатов исследования

Соискателем проведён литературный обзор существующих методов диагностики асинхронных электродвигателей, на основе которого составлена их классификация. Разработаны математические и конечно-элементные модели асинхронного электродвигателя при наличии распространённых неисправностей. Произведено проектирование, на основе системного подхода, и разработка прибора, позволяющего осуществлять регистрацию

напряжённости внешнего магнитного поля и скорости вращения ротора асинхронных машин. Проведены лабораторные испытания опытного образца прибора при измерении параметров асинхронных электродвигателей на лабораторной установке и при диагностике вспомогательных машин электровозов в сервисном локомотивном депо.

Степень достоверности результатов исследования

Достоверность выводов и результатов исследования обеспечивается использованием корректных математических и конечно-элементных моделей, общепринятых и известных методов, таких как преобразование Фурье, методов системного анализа, аналого-цифрового преобразования, аналоговой и цифровой фильтрации сигналов.

Достоверность результатов исследований обеспечивается проведёнными в достаточном объёме лабораторными испытаниями как исправных электродвигателей, так и асинхронных машин при искусственно созданных дефектах. Предварительные результаты в дальнейшем подтверждены испытаниями асинхронных электродвигателей вспомогательных машин электровозов. Достоверность проведённых диагностических исследований в достаточной мере обеспечивается результатами, диагностическими признаками и выводами, полученными при математическом и конечно-элементном моделировании.

Теоретическая и практическая значимость полученных автором диссертации результатов

Теоретическая ценность диссертационного исследования заключается в разработке математических и конечно-элементных моделей, позволяющих существенно расширить представление о процессах, протекающих при возникновении и развитии распространённых неисправностей асинхронных электродвигателей. Данные, полученные при моделировании, существенно упрощают проведение оценки изменения электрических и механических характеристик в динамике развития дефектов, позволяют определять степень развития распространённых дефектов благодаря выявленным диагностическим признакам.

Практическая ценность работы заключается в определении критического уровня развития дефектов. Данный параметр позволяет

определять степень опасности развитых дефектов для дальнейшей эксплуатации асинхронного привода, осуществлять подготовку и вывод в ремонт до наступления отказа, тем самым организовать систему управления ремонтами оборудования по фактическому состоянию.

Особую практическую ценность работы составляет разработанный соискателем способ многоканального контроля технического состояния асинхронных электродвигателей, позволяющий осуществлять диагностику асинхронных машин различной мощности и числом полюсов, оригинальность которого подтверждена патентом на изобретение.

Практическая ценность работы также подтверждается актом о внедрении результатов НИОКР, при измерении асинхронного привода вспомогательных машин электровозов в локомотивном ремонтном депо.

Конкретные рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации

Разработанная многоканальная система диагностики технического состояния асинхронных электродвигателей на основе анализа параметров внешнего магнитного поля и колебаний угловой скорости вращения ротора позволяет организовать систему управления техническим состоянием транспортных машин и механизмов по фактическому состоянию благодаря использованию её в качестве источника обратной информационной связи по диагностическим параметрам.

Результаты диссертационного исследования рекомендуется использовать:

– в *транспортных предприятиях и предприятиях технического обслуживания* для определения технического состояния асинхронного привода машин и механизмов. Внедрение разработанного многоканального прибора в систему обслуживания оборудования по фактическому состоянию;

– в *образовательных учреждениях* для изучения общих закономерностей и изменения параметров асинхронного привода при образовании распространённых дефектов. Изучения процессов, протекающих в асинхронном электродвигателе при развитии дефектов с помощью разработанных соискателем математических и конечно-элементных моделей, лабораторной установки с искусственно созданными дефектами.

Новизна полученных результатов

Впервые предложен способ многоканальной регистрации, при котором измерение величины напряжённости внешнего магнитного поля происходит одновременно в каждой обмотке каждого полюса асинхронного электродвигателя, что позволяет определять точное место расположения дефектов. Таким образом, данный подход позволил получить мгновенную картину внешнего магнитного поля вокруг асинхронного привода. В тексте диссертации имеется соответствующий патент на изобретение.

Модульное исполнение данной системы позволяет изменять число измерительных каналов, тем самым проводить диагностику асинхронного привода с различным числом пар полюсов. Регулируемый коэффициент усиления и малые габариты датчиков магнитного поля позволяют проводить диагностику электродвигателей различной мощности, что расширяет возможности применения данного прибора и является его достоинством.

Предложен комплексный подход к диагностике технического состояния асинхронного привода, заключающийся в анализе нескольких источников диагностических параметров. В качестве источников предложено использовать: напряжённость внешнего магнитного поля и угловую скорость вращения ротора асинхронной машины.

Замечания по диссертационной работе

1. В работе не рассмотрены другие часто встречающиеся дефекты асинхронных электродвигателей, например, межвитковые и межфазные замыкания обмотки статора и эксцентриситет ротора.

2. Не проведена верификация полученных результатов при разработке конечно-элементной модели.

Заключение

Диссертация Бельского И.О. на соискание учёной степени кандидата технических наук является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение важной задачи, имеющей существенное значение для повышения эффективности управления техническим состоянием асинхронных электродвигателей транспортных объектов.

В целом диссертационная работа Бельского Игоря Олеговича отвечает требованиям п. 9 «Положения о присуждении учёных степеней», а её автор

заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.13.01 – «Системный анализ, управление и обработка информации».

Заключение рассмотрено на расширенном заседании кафедры «Электропривод и электрический транспорт» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Иркутский национальный исследовательский технический университет», протокол № 5 от 23 ноября 2020 г.

Заключение составлено:

Арсентьев Олег Васильевич,
кандидат технических наук, доцент,
заведующий кафедрой «Электропривод и электрический транспорт»
института энергетики федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего образования «Иркутский
национальный исследовательский технический университет»,
05.09.01 – «Электрические машины»,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83. Тел.: +7 (3952) 40-51-28,
e-mail: arsentyev@istu.edu

О.В. Арсентьев

Маланова Татьяна Валерьевна,
кандидат технических наук, доцент,
доцент института информационных технологий и анализа данных
федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования «Иркутский национальный исследовательский
технический университет»,
05.13.01 – «Системный анализ, управление и обработка информации
(промышленность)»,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83. Тел.: +7 (3952) 40-51-64,
e-mail: malanova_tanya@mail.ru

Т.В. Маланова

