

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертацию Иванников Юрий Николаевич

«Повышение энергетической эффективности активного электромагнитного подшипника», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.01 – Электромеханика и электрические аппараты

На отзыв представлены:

- Диссертация «Повышение энергетической эффективности активного электромагнитного подшипника», содержащая введение, четыре главы, заключение, список использованной литературы из 95 наименований и 2 приложения, общим объемом 143 страниц.

- Автореферат диссертации.

Актуальность темы исследования

Повышение эффективности и экономической рентабельности, а также снижение аварийности роторных машин (РМ), является одной из основных задач развития промышленности.

Перспективами решения данной задачи для РМ является использование активных магнитных подшипников (АМП). Они позволяют отказаться от смазочной системы РМ и значительно повысить ресурс подшипниковой опоры.

Поэтому задачи исследования и совершенствования АМП являются актуальными и важными для энергетики, авиации, космических систем, нефтегазового сектора и станкостроения.

При этом, в большинстве известных работ, посвящённых АМП, при исследованиях АМП уделяется внимание либо их электромагнитной, силовой части, либо их системам управления, а решение задач теплового состояния АМП, в основном представлено методом тепловых схем и ведётся эпизодически. Хотя тепловое состояние АМП во многом определяет, как его ресурс, так и ресурс РМ в которых они используются. Отличительной особенностью диссертации Иванникова Ю. Н. является именно анализ теплового состояния АМП, что несомненно показывает и новизну решаемой задачи и ее актуальность.

Оценка структуры и содержания диссертационной работы.

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цели и задачи, отражена научная новизна и практическая значимость полученных результатов, апробация работы и личный вклад соискателя.

В первой главе проведен анализ устройства и принцип действия активного электромагнитного подшипника, рассмотрены основные конструктивные схемы.

Во второй главе проведен анализ энергетических процессов в АМП, представлены исследования потерь в активных элементах АМП, а также аэродинамических потерь. Проведены численные расчёты потерь энергии в АМП для различных типов используемых электротехнических сталей отечественного производства. Анализ потерь проведен как аналитическими методами, так и с использованием методов компьютерного моделирования в двухмерной и трехмерной постановке. Важно отметить, что при анализе потерь методом конечных элементов автор рассматривает не только электромагнитное поле, но и учитывает влияние системы управления АМП, которая внесена в компьютерную модель в виде электрической системы. То есть автор решает задачу совместного моделирования электромагнитных процессов в АМП и электрических процессов в системе управления АМП. На основе данных исследований разработана методика аналитического расчета потерь в электромагнитах АМП, отличающаяся учетом потерь от высших пространственных и временных гармоник поля, а также добавочных магнитных потерь, вызванных откликом системы на возмущающее воздействие от вибраций ротора.

В третьей главе разработана трехмерная математическая модель тепловых и газодинамических процессов в радиальном АМП, отличающаяся учетом турбулентности потоков хладагента. Решение тепловой и газодинамической задачи осуществлялось методом конечных элементов. Но при этом автор приводит строгое математическое обоснование используемого метода, что позволяет наглядно оценивать тепловые процессы в АМП.

В результате исследований, автор на примере конкретного АМП производит численную верификацию созданной им модели и оценивает тепловые про-

цессы в АМП с конкретными численными параметрами. Также на основе исследований автор делает научные выводы, которые уточняют методики тепловых расчётов АМП.

Важно отметить, что созданная модель прошла экспериментальную верификацию в реальных условиях эксплуатации, что подтверждается актом внедрения результатов на СУМП «Неман–100».

В четвертой главе произведен анализ возможных путей совершенствования температурного состояния радиального АМП, рассмотрены различные системы охлаждения и предложены новые технические решения, способствующие повышению интенсивности охлаждения АМП. Проведено численное обоснование разработанных численных решений и доказана их эффективность.

Диссертация написано ясно, использованная терминология и стиль соответствуют общепринятым нормам.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности

Проведенный анализ диссертационной работы показывает, что диссертация является завершённой научно-квалификационной работой, в которой содержится решение важной научной задачи в области перспективных электромеханических преобразователей энергии – активных магнитных подшипников.

Результаты диссертационного исследования соответствуют следующим пунктам паспорта специальности 05.09.01: пункт 1–Анализ и исследование физических явлений, лежащих в основе функционирования электрических, электромеханических преобразователей энергии и электрических аппаратов; пункт 2– Разработка научных основ создания и совершенствования электрических, электромеханических преобразователей и электрических аппаратов; пункт 4– разработка подходов, методов, алгоритмов и программ, обеспечивающих проектирование, надежность, контроль и диагностику функционирования электрических, электромеханических преобразователей и электрических аппаратов в процессе эксплуатации, в составе рабочих комплексов.

Методы исследования. При решении поставленных задач в работе использованы аналитические методы общей теории электромеханических преобразова-

телей энергии. Математическое моделирование электромагнитных, газодинамических и тепловых процессов осуществлялось с использованием аналитических и численных методов расчета физических полей на основе метода конечных элементов.

Научная новизна результатов:

1. Уточнена методика аналитического расчета потерь в электромагнитах АМП, отличающаяся учетом потерь от высших пространственных и временных гармоник поля, а также добавочных магнитных потерь, вызванных откликом системы на возмущающее воздействие от вибраций ротора.
2. Разработана уточненная трехмерная математическая модель газодинамических и тепловых процессов в радиальном АМП, отличающаяся учетом турбулентности потоков охлаждающего агента.
3. Предложены новые научно обоснованные технические решения и методы, использование которых, позволяет значительно повысить эффективность АМП.

Теоретическая и практическая значимость полученных автором результатов:

– использование уточненных значений параметров, полученных аналитическими методами и в результате численного компьютерного моделирования, могут быть использованы для АМП газонагнетателей мощностью 8 – 25 МВт;

– результаты исследований позволяют повысить энергоэффективность АМП на 10,8 % за счет уточнённого расчета и снижения наиболее значимых потерь;

– разработанные конструктивные решения позволяют исключить зоны локальных перегревов и, следовательно, повысить надежность АМП и РМ, в которых они установлены.

Практическая ценность исследований, представленных в диссертации, подтверждается актами внедрения в промышленность и учебный процесс.

Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций. Обоснованность научных положений, выводов и реко-

мендаций диссертации обусловлена корректным применением классических положений и законов теоретической электротехники, строгим выполнением математических преобразований, применением обоснованных допущений, использованием современных программных продуктов, прошедших экспериментальную верификацию. Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций диссертации подтверждается полученными в ходе исследования результатами экспериментальных исследований в реальных условиях эксплуатации, что подтверждается актом внедрения результатов диссертационной работы.

Апробация работы. Основные положения диссертации докладывались и обсуждались на международных и всероссийских научно-технических конференциях:

Международная научно-технической конференция «Состояние и перспективы развития электротехнологий» (XXVII Бернадосовские чтения), 2013 г.; Международная научно-техническая конференция «Мехатроника и автоматизация», 2014 г.; VIII Международная (XIX Всероссийская конференция по автоматизированному электроприводу АЭП-2014) 2017 г.; Второй Всероссийский форум «Наука будущего – наука молодых», 2016 г.; Ашировские чтения. Международная научно-практическая конференция, 2018 г.

Подтверждение опубликования основных положений, результатов, выводов и заключений диссертации. Результаты диссертационной работы опубликованы в 11 работах, из них одна работа индексируется в базе данных Scopus, 5 статей в журналах, входящих в перечень ведущих рецензируемых изданий, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ.

Соответствие автореферата содержанию диссертации. Автореферат соответствует содержанию диссертации.

Замечания по диссертации.

1. Допущение, что исследуемые коммутирующие ключи являются идеальными требует уточнение. Представляется целесообразным рассмотреть

какую погрешность в модель вносит использование ключей с реальными техническими параметрами.

2. На стр. 56 по рисунку 2.8 видно, что для стали 2421 при толщине 0,18 мм и индукции 1 Тл на частоте 400 Гц потери составляют 20 Вт/кг. Хотя производителем данной стали указываются потери 12–14 Вт/кг для заданных параметров. Целесообразно объяснить, чем вызвано данное расхождение.

3. Автором разработана как аналитическая, так и компьютерная модели. Представляло бы интерес привести сравнение результатов компьютерного и математического моделирования, а также сравнить их с экспериментальными данными.

4. При оценке аэродинамических потерь не учитывается изменение вязкости, плотности и давления воздуха под действием температуры. Хотя, данное изменение может быть значительным и привести к погрешностям расчета.

5. Замечания оформительского характера, так например рисунок 4.5 не читаем, таблица 2.5 разорвана на 2 страницы, на рисунке 2.1 аэродинамические потери обозначены как Рвд, а в пояснениях как Рад. В автореферате написано, что на рис. 3 представлена математическая модель, хотя приведена геометрическая.

Заключение.

Указанные недостатки не снижают научной ценности представленной диссертации в целом.

Диссертационная работа Иванников Юрий Николаевич является законченной научно-квалификационной работой, которая по содержанию, объекту и направлению исследований, полученным новым научно обоснованным результатам соответствует паспорту научной специальности 05.09.01 – Электромеханика и электрические аппараты.

Работа выполнена лично, на актуальную тему, имеет научную новизну, теоретическую и практическую значимость и удовлетворяет требованиям ВАК РФ, п.9 («Положение о присуждении ученых степеней») к кандидатским диссертациям, а ее автор Иванников Юрий Николаевич заслуживает присуждения

ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.01 – Электромеханика и электрические аппараты.

Официальный оппонент,

кандидат технических наук, профессор,

доцент кафедры «Электромеханика»

федерального государственного бюджетного


образовательного учреждения высшего образования

«Уфимский государственный авиационный технический университет».

(Кандидатская диссертация защищена по специальности 05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы).

Адрес: 450007, г. Уфа, ул. Карла Маркса 12

телефон (347) 273-77-87, адрес электронной почты s2_88@mail.ru)



Вавилов Вячеслав Евгеньевич