



«Утверждаю»

Проректор по научной работе и инновациям

ФГАОУ ВО «НИ ТПУ»

Степанов Игорь Борисович

«11» 02 2019 г.

## ОТЗЫВ

ведущей организации федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» на диссертационную работу Малыгина Игоря Вячеславовича «Исследование возможности применения трехфазного якоря с кольцевыми обмотками в электрических машинах малой мощности в условиях воздействия радиационных полей», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.01 - Электромеханика и электрические аппараты.

**Актуальность исследования для науки и практики.** В настоящее время доля атомных электростанций (АЭС) в выработке электроэнергии в России неуклонно растет. Так, согласно данным Росатома доля АЭС в процентном соотношении от общего числа электрической энергии в 2017 году составила 18,9 %. Указанный рост количества АЭС требует активного решения вопросов, связанных с переработкой и хранением атомных отходов. В наши дни для решения данных вопросов запущен проект «Прорыв», направленный на реализацию общепромышленной задачи по замыканию ядерного топливного цикла (ЗЯТЦ), которая реализуется различными технологическими решениями. Одним из традиционных решений по переработке радиоактивных отходов от ядерных реакторов атомных электростанций остается переработка в специальных радиационно-защитных камерах. Основным оборудованием указанных камер являются электродвигатели малой и средней мощности с органической изоляцией.

Стоит отметить, что при эксплуатации перерабатывающего оборудования в условиях воздействия радиационных полей происходит интенсивное разрушение органической изоляции обмоток электродвигателя и как следствие, ранний выход из строя всего электродвигателя.

Для решения этой проблемы необходимо применение гибридных или полностью неорганических типов изоляции, которые способны работать в условиях высоких температур и высокой радиации. Применение указанных изоляционных материалов не

всегда совместимо с традиционными конструкциями магнитных систем электродвигателей малой и средней мощности.

Содержание данной диссертационной работы направлено на поиск необходимой конструкции магнитной системы, совместимой с неорганическими типами изоляции, поэтому ее актуальность для науки и практики не может вызывать сомнений.

**Содержание диссертационной работы.** Диссертационная работа изложена на 180 страницах машинописного текста и состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы, включающего 39 наименований, содержит 145 рисунков и 30 таблиц. **Во введении** выполнен обзор двигателей малой и средней мощности для атомной промышленности. Проведен обширный патентный поиск по тематике работы. Автором диссертации четко поставлена цель работы и подробно сформулированы задачи для решения указанной цели. **В первой главе** предложена и подробно описана конструкция асинхронного двигателя с кольцевыми обмотками, в которой возможно наиболее эффективно применение неорганических типов изоляции. Рассмотрены различные типы конструкций магнитопровода электродвигателя. А также автором подробно рассмотрены традиционные и нетрадиционные принципы формирования вращающегося магнитного поля, позволяющие найти оптимальный вариант конструкции магнитной системы. **Во второй главе** с помощью трехмерного моделирования в программной среде ANSYS реализованы различные способы определения электромагнитного момента с учетом пространственного распределения магнитного потока электрической машины с кольцевыми обмотками. Полученные результаты систематизированы в виде графических зависимостей. **В третьей главе** выполнен поиск оптимальной конструкции на базе рассматриваемого электродвигателя. Получены зависимости влияния геометрических размеров якоря с кольцевыми обмотками на значения тангенциальной составляющей электромагнитной силы. Предложены рекомендации по выбору значений плотности магнитной индукции для всех участков магнитной цепи рассматриваемого электродвигателя. **В четвертой главе диссертации** выполнена оценка механической прочности предлагаемой автором конструкции. На основании выполненных расчетов автором предложен окончательный вариант конструкции якоря электрической машины с кольцевой обмоткой. **Пятая глава** посвящена экспериментальным исследованиям асинхронного двигателя с кольцевыми обмотками. Проведен анализ аналитических и экспериментальных данных. **В заключении** изложены результаты всей работы.

**Соответствие автореферата диссертации ее содержанию.** Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации.

**Основные научные результаты и их научная новизна** состоят в следующем:

1. Методами численного моделирования разработана модель и методика определения электромагнитного момента синхронной электрической машины в пакете «ANSYS».
2. На основании разработанной методики определения электромагнитного момента проведен поиск оптимальной конструкции якоря синхронного двигателя с кольцевыми обмотками в пакете «ANSYS» и определены граничные значения индукции по участкам магнитной цепи.

3. С помощью программного пакета «Elcut» проведена оценка механических составляющих, действующих в радиальном направлении на зубцовый наконечник якоря. В результате оценки данных сил было установлено, что опорные кольца в магнитной системе якоря имеют только технологическую функцию удержания зубцовых наконечников в магнитной системе при отсутствии поля в якоре.

#### **Практическая значимость полученных результатов.**

Совместно с ЗАО «Уралэлектромаш» изготовлен и испытан в условиях лаборатории кафедры «Электрические машины» экспериментальный образец асинхронного двигателя с кольцевыми обмотками. В результате испытаний получены следующие результаты:

1. Предложен способ формирования магнитной системы, позволяющий уменьшить влияние высших гармонических, оказывающих негативное влияние на величину и форму электромагнитного момента.
2. Доказана справедливость соответствия соотношения числа пар с частотой вращения ротора предлагаемой автором конструкции.
3. Получены рекомендации по созданию асинхронных электродвигателей с кольцевыми обмотками малой средней мощности.

#### **Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации.**

Полученные результаты работы могут быть применены в различных отраслях атомной промышленности, не только связанных с переработкой отходов. Считаем, что достигнутые результаты диссертации могут быть также успешно использованы и в других отраслях промышленности с агрессивной рабочей средой как химическая, нефтяная, металлургическая.

**Публикации.** Основное содержание работы опубликовано в 4 рецензируемых научных изданиях, определенных ВАК и вошедших в международные базы цитирования Scopus и Web of Science, а также в 8 публикациях в сборниках материалов и тезисов докладов конференций, имеется заявка на патент.

#### **Замечания по диссертационной работе.**

1. Вторая и третья главы диссертационной работы посвящены способам определения электромагнитного момента и исследованию влияния геометрических размеров участков магнитной цепи на одну из составляющих электромагнитной силы для синхронной электрической машины с кольцевыми магнитами. Однако основные результаты работы посвящены асинхронному двигателю с кольцевыми обмотками. Автор не приводит аргументированных доводов по ротации указанных двигателей.
2. По тексту диссертации нигде не встречаются допущения принятые при моделировании в программных средах ANSYS и ELCUT.
3. При описании рассматриваемых конструкций электродвигателей отсутствуют описания марок применяемых материалов, что затрудняет оценку полученных результатов выполненных исследований.

4. Автором уделено большое внимание применению/замене органической изоляции обмотки статора электрической машины на неорганическую или комбинированную, при этом вопросы изоляции электротехнической стали магнитопровода не затронуты.
5. Не приведены количественные оценки срока службы органической изоляции обмотки статора и магнитопровода. На сколько будет увеличен срок службы электродвигателя с неорганической изоляцией обмотки статора по сравнению с исходным вариантом двигателя?
6. Раздел 1 заключения гласит: «...достоверность получаемых результатов подтверждена совпадением кривых электромагнитного момента синхронных машин, рассчитанных по классической методике, изложенной в [19], и рассчитанных с помощью пакета «ANSYS». Основные результаты работы принято подтверждать натурными испытаниями, а не другими математическими способами расчета.
7. Многие результаты работы, особенно это касается главы 2 и 3, которые содержат избыточное количество пунктов, носят разрозненный характер и затрудняют восприятие полученных результатов.
8. Работа перегружена листингом моделирования в программной среде ANSYS. Интерфейс современных версий указанной программы позволяет задавать, представлять результаты в более компактном и удобном формате.

#### **Заключение по диссертации**

Несмотря на указанные замечания, которые сказываются на изложении материала, общая оценка диссертационной работы является положительной.

Диссертационная работа на тему «Исследование возможности применения трехфазного якоря с кольцевыми обмотками в электрических машинах малой мощности в условиях воздействия радиационных полей» является законченной научно-квалификационной работой, результаты которой могут лечь в основу нового типа электрических машин переменного тока.

Исследования выполнены на высоком научном уровне с применением современных средств конечно-элементного анализа процессов в электромеханических устройствах.

Тематика и содержание диссертационной работы соответствует паспорту специальности 05.09.01 – Электромеханика и электрические аппараты. Область диссертационного исследования соответствует пунктам: 1 «Анализ и исследование физических явлений, лежащих в основе функционирования электрических, электромеханических преобразователей энергии и электрических аппаратов», 2 «Разработка научных основ создания и совершенствования электрических, электромеханических преобразователей и электрических аппаратов», 3 «Разработка методов анализа и синтеза преобразователей электрической и механической энергии».

Работа отвечает требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней.

Малыгин Игорь Вячеславович заслуживает присвоения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.01 – Электромеханика и электрические аппараты.

Отзыв на диссертацию обсужден на расширенном заседании отделения Электроэнергетики и электротехники, Инженерной школы энергетики, Томского политехнического университета 15 января 2019 г.

Доцент отделения электроэнергетики и электротехники инженерной школы энергетики ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ), кандидат технических наук (05.09.01 – «Электромеханика и электрические аппараты»)

(подпись)

Киселев Александр Викторович

634050, г. Томск, пр. Ленина, 30  
ФГАОУ ВО НИ ТПУ  
+7(3822) 701-777 (вн. т. 3457)  
e-mail: kiselevav@tpu.ru

11.02.2019г.

Руководитель отделения электроэнергетики и электротехники, профессор инженерной школы энергетики ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ), доктор PhD, кандидат технических наук (05.09.03 – «Электротехнические комплексы и системы, включая их управление и регулирование»)

(подпись)

Дементьев Юрий Николаевич

11.02.2019г.

634050, г. Томск, пр. Ленина, 30  
ФГАОУ ВО НИ ТПУ  
+7 (3822) 606105 (вн. т. 1931)  
e-mail: dementev@tpu.ru

Подпись Киселева А.В., Дементьева Ю.И.  
заверяю  
Ученый секретарь ФГАОУ ВО НИ ТПУ



Ю.А. Ананьева