

## ОТЗЫВ

### официального оппонента

кандидата технических наук **Киселева Александра Викторовича** на диссертацию Корнеева Вячеслава Викторовича на тему: «Расчетные коэффициенты и добавочные потери синхронных машин с постоянными магнитами и дробными зубцовыми обмотками», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.01 - Электромеханика и электрические аппараты.

### Актуальность темы

Благодаря активному развитию химической промышленности в настоящее время появляются новые и совершенствуются старые магнитные сплавы на основе редкоземельных металлов (в частности сплавы из самария-кобальта и различные комбинации сплавов на основе неодим-железо-бор). Данный факт способствует бурному росту номенклатуры электрических машин с возбуждением от постоянных магнитов и их массовому применению. Несмотря на то, что первые магнитоэлектрические машины стали появляться в 30-х годах прошлого столетия, вопросы проектирования конструкций с нестандартными соотношениями числа пазов на полюс и фазу освещены лишь частично. В результате, при проектировании электрических машин данного класса с помощью классических методик не всегда удается достичь высоких показателей. Одним из таких недостатков является отсутствие уточненных расчетных коэффициентов.

**Во введении** дана подробная классификация электрических машин с возбуждением от постоянных магнитов, обозначена сфера их применения и рассмотрены подходы к проектированию. Автором диссертации четко поставлена цель работы и подробно сформулированы задачи для решения указанной цели.

**В первой главе** автором подробно представлены основные параметры и свойства постоянных магнитов (особое внимание уделено сплавам на основе редкоземельных элементов). Рассмотрены различные комбинации конструкций роторов, построенных с использованием высококоэрцитивных постоянных магнитов, а также приведено сравнение различных способов намагничивания постоянных магнитов. Автор диссертации выполнил детальную оценку влияния

конструкций синхронных машин с постоянными магнитами и дробными зубцовыми обмотками на различные расчетные коэффициенты.

**Во второй главе** представлена подборка зависимостей обмоточного коэффициента от относительного открытия паза для различных значений числа пазов на полюс и фазу, полученных с использованием различных методов расчета. Получены выражения для определения значения обмоточного коэффициента для различных конструкций ротора. Приведены зависимости обмоточного коэффициента от относительного открытия паза для разного соотношения числа пазов на полюс и фазу, установленные автором.

**В третьей главе** рассмотрены причины возникновения вихревых токов и соответствующих потерь в постоянных магнитах ротора. Автором был предложен ряд дополнений для существующей теории исследований пульсаций магнитной индукции в объеме постоянных магнитов синхронных машин с дробными зубцовыми обмотками. В качестве способа определения пульсаций магнитного потока выбраны каскадные схемы замещения с подробным рассмотрением сторонней плотности тока. Предложен алгоритм определения потерь на вихревые токи в постоянных магнитах коллекторных роторов и с радиальным расположением на роторе. Для оценки достоверности полученных результатов выполнен численный расчет пульсаций магнитной индукции в объеме постоянных магнитов генератора аварийного торможения. Приведены экспериментальные исследования потерь на вихревые токи в постоянных магнитах.

**В четвертой главе диссертации** выполнено моделирование работы генератора аварийного торможения с применением интерактивного инструмента моделирования, имитации и анализа динамических систем. Результатами моделирования стали режим холостого хода и режим номинальной нагрузки. Автор сумел совместить возможности имитационного моделирования и классической методики проектирования с учетом предложенных им обмоточного коэффициента и уточненных значений добавочных потерь. Отдельно стоит отметить высокую сходимость полученных результатов моделирования с результатами испытаний.



**Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации** достаточна, так как они получены в соответствии с электромагнитными процессами, явлениями и теорией электрических машин - это основывается на корректном математическом представлении и решениях с помощью современных программных продуктов. Полученные выводы распространяются на все озвученные модели в диссертации.

**Новизна исследования, полученные результаты, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации**, подкреплены различными работами по теме диссертации в изданиях, рекомендованных ВАК, а также на конференциях российского и международного уровней. Представленные рекомендации могут быть учтены при проектировании синхронных машин с возбуждением от постоянных магнитов, применяемых не только в аварийном оборудовании, но и также в других сферах.

**Практическая ценность работы.** Предложенные расчетные коэффициенты и способы оценки добавочных потерь позволят существенно сократить время на проектирование при выборе оптимальных конструкций роторов магнитоэлектрических машин с точки зрения требуемых массогабаритных и энергетических характеристик. Установленные зависимости отношений воздушного зазора к полюсному делению во многих случаях позволят оперативно определить конфигурацию ротора и статора будущей электрической машины.

#### **Вопросы и замечания по диссертационной работе**

1. Почему в работе не рассматривались беспазовые конструкции статора? Среди магнитоэлектрических машин на базе высококоэрцитивных постоянных магнитов подобные конструкции встречаются часто.
2. Почему в тексте работы не указана марка электротехнической стали и способ изготовления магнитопровода? Для некоторых конструктивных решений подобные вопросы носят принципиальный характер.
3. Учитывалось ли при моделировании температурное состояние постоянных магнитов?
4. Первое упоминание о имитационном моделировании встречается на стр. 34 диссертации, далее этому вопросу посвящена целая глава, где автор уделяет особое внимание особенностям инструмента моделирования, однако,

- полностью отсутствует описание принятых допущений при указанном моделировании.
5. При упоминании программного продукта ANSYS Maxwell автор неверно указывает на допущения при моделировании в этой среде: «Токи в фазах электрической машины изменяются по синусоидальному закону в зависимости от углового положения ротора». В указанном программном обеспечении имеется возможность задавать различные законы питания и управления в зависимости от рассматриваемого объекта.
  6. На стр. 47 автор говорит, что: «... относительная проницаемость стали в модели задается значением, которое больше реальной относительной проницаемости электротехнической стали, так как в программе не может быть задана проницаемость равная бесконечности». В итоге не ясно, какую проницаемость задал автор и о какой программе идет речь? Далее в тексте диссертации повторно встречаются упоминания о принятии завышенного значения проницаемости электротехнической стали, однако, без численного пояснения.
  7. В качестве объекта, на базе которого проводились исследования в диссертации, указан генератор аварийного торможения, при этом экспериментальные исследования потерь на вихревые токи в постоянных магнитах выполнялись совершенно для другого объекта - синхронного погружного электродвигателя. Чем обоснована данная замена и насколько она корректна?
  8. В последнем разделе приведены результаты испытаний генератора аварийного торможения. Почему отсутствуют акты указанных испытаний.
  9. В работе очень часто фигурирует формулировка: «согласно техническому заданию». Стоит отметить, что указанное выражение неприемлемо для работы данного уровня.

### **Заключение по диссертационной работе**

В целом, несмотря на отмеченные недостатки и замечания, представленная диссертация выполнена на высоком научно-техническом уровне и является законченной научно-квалификационной работой, выполненной на актуальную тему, связанной с теоретическим и экспериментальным обоснованием и практическим внедрением рекомендаций по проектированию целого класса



электрических машин, имеющих массовое применение в различных сферах деятельности.

Результаты диссертационной работы, выносимые на защиту, прошли достаточную апробацию на конференциях различного уровня и опубликованы в 14 научных трудах автора.

Автореферат диссертации полностью отражает содержание работы.

Учитывая актуальность выполненных исследований, научную новизну и практическую значимость полученных результатов считаю, что представленная диссертационная работа удовлетворяет всем требованиям п. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», а ее автор Корнеев Вячеслав Викторович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.01 - «Электромеханика и электрические аппараты».

**Официальный оппонент,**

кандидат технических наук по специальности 05.09.01 – «Электромеханика и электрические аппараты»,

доцент отделения электроэнергетики и электротехники инженерной школы энергетики ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

(подпись)

Киселев Александр Викторович

634050, г. Томск, пр. Ленина, 30

ФГАОУ ВО НИ ТПУ

+7(3822) 701-777 (доб. 3457)

e-mail: kiselevav@tpu.ru

Подпись к.т.н. Киселева А. В. заверяю  
Ученый секретарь ФГАОУ ВО НИ ТПУ

(подпись)

О.А. Ананьева

«28» ноября 2018 г.

*Отзыв получен 03 декабря 2018г.*

*М.А. / Дубов М.А.*

*С отзывом ознакомлен*

*03.12.2018г.*

*Корн - / Корнеев В.В. /*