

## Отзыв

**официального оппонента на диссертацию Петрова Тимура Игоревича на тему «Метод комплексной топологической оптимизации ротора синхронного электрического двигателя с постоянными магнитами», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.01 – «Электромеханика и электрические аппараты»**

### **Актуальность темы диссертации**

В работе предлагается современный метод проектирования и оптимизации синхронных двигателей с постоянными магнитами (СДПМ) за счет применения комплексной топологической оптимизации. Эксплуатация синхронных двигателей взамен асинхронных для электроприводов различных установок даст возможность получить более высокие параметры энергоэффективности, также СДПМ имеют чрезвычайно компактную конструкцию, но широкому применению СДПМ препятствует высокая изначальная стоимость. Решить эту проблему можно использованием комплексной топологической оптимизации.

Стоит отметить, что на данный момент отсутствуют работы по комплексной топологической оптимизации синхронных двигателей с постоянными магнитами, позволяющие учесть влияние распределение материалов на электромагнитные, тепловые и прочностные характеристики машин, с целью выбора рационального варианта конструкции.

На основании вышеизложенного, считаю, что диссертация Петрова Т.И., посвящённая разработке метода комплексной топологической оптимизации ротора синхронных двигателей с постоянными магнитами, является **актуальной** и представляет **научный и практический интерес**.

### **Краткая характеристика работы**

**Во введении** представлена общая характеристика диссертационной работы: актуальность, цель, задачи исследований, научная новизна и практическая значимость, методы исследований, достоверность, реализация и внедрение

полученных результатов, апробация и публикации, основные защищаемые положения. Приведены структура и краткое содержание диссертационной работы.

**В главе 1** диссертации проведен анализ современного состояния синхронных двигателей, их преимущества и недостатки. Сделан вывод, что перспективным направлением является использование синхронных двигателей с постоянными магнитами, недостатками которых является высокая стоимость, в том числе из-за стоимости постоянных магнитов. Вариантом решения данной проблемы может стать комплексная топологическая оптимизация.

**В главе 2** разработан метод комплексной топологической оптимизации, включающий в себя электромагнитный, тепловой и прочностной расчет, на примере оптимизации конкретного двигателя.

**В главе 3** приведена практическая реализация метода комплексной топологической оптимизации, которая заключалась в модернизации генетического алгоритма и создании программы ЭВМ.

**В главе 4** представлена разработка стенда, для подтверждения эффективности оптимизации, на примере модернизированного СДПМ.

В «**Основных результатах и выводах**» представлены основные результаты по диссертационной работе.

### **Научная новизна**

1. Разработан алгоритм изменения геометрической модели СДПМ для повышения скорости проектирования, включающий в себя упрощение формы пазов, приведение модели к отдельному сектору двигателя и минимизацию размера сетки для метода конечных элементов.

2. Разработаны алгоритм и метод комплексной топологической оптимизации конструкции ротора СДПМ для оценки возможности повышения вращающего момента и снижения объема постоянных магнитов.

3. Разработана программа, реализующая метод комплексной топологической оптимизации ротора СДПМ, перебор вариантов расположения материалов в теле ротора реализован на основе генетического алгоритма с циклической проверкой тепловых и прочностных параметров.

## **Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов**

Достоверность и обоснованность научных положений и выводов подтверждается:

- корректными допущениями, принятыми в работе;
- применением современных методов моделирования и обработки экспериментальных данных;
- получением результатов, совпадающих с результатами работ других авторов по данной тематике;
- апробацией основных научных результатов на научно-технических конференциях, семинарах и выставках (Конкурс "Энергоэффективное оборудование и технологии" в рамках Татарстанского международного форума по энергоресурсоэффективности и экологии (г. Казань, 21-23 апреля, 2021); "Sustainable energy and power engineering 2021" (Kazan, Russia, 18-20 February, 2021); "Sustainable energy systems: innovative perspectives" (Russia – India, October 29-30, 2020, Saint-Petersburg, Russia) и т.д.;
- опубликованием статей, содержащих результаты работ, в научных журналах, индексируемых в базе данных Scopus и ВАК.

## **Практическая значимость работы**

Программа метода комплексной топологической оптимизации и стенд для проверки эффективности модернизированных двигателей реализованы в рамках грантов РФФИ «Комплексная топологическая оптимизация роторов синхронных электрических машин с постоянными магнитами» № 19-37-90134 и «Разработка метода проектирования и топологической оптимизации роторов синхронных двигателей с постоянными магнитами для привода станков-качалок с целью повышения энергоэффективности нефтедобычи» № 18-48-160023.

Метод топологической оптимизации конструктивных параметров ротора синхронного электрического двигателя использован при реализации комплексного проекта по созданию высокотехнологичного производства по теме: «Создание серии электроприводов на базе российских высокоэффективных

синхронных двигателей для станков-качалок нефти с применением беспроводных систем передачи данных и адаптивной системой управления для «умных» месторождений», в рамках Государственной программы Российской Федерации «Развитие науки и технологий» на 2013-2020 годы, утвержденными постановлением Правительства Российской Федерации от 9 апреля 2010 г. № 218, договор № ДР-936/17 от 26 октября 2017 года с участием ФГБОУ ВО «КГЭУ» и АО «ЧЭАЗ».

### **Замечания по диссертационной работе**

По содержанию диссертационной работы имеется ряд замечаний и вопросов:

1. На стр. 62 выбрана коэрцитивная сила магнитов 1000000 А/м, но не указывается с каких источников использовано данное значение, так как у данных магнитов значение изменяется в пределах от 750000 до 1350000 А/м. Корректно ли для моделирования двойной обмотки просто разделить паз статора на 2 части?

2. Чем обусловлены диапазоны частоты и значения скорости вращения двигателя при испытаниях макетного образца СВЭД – 15 кВт под нагрузкой (табл. 2.3.)?

3. После таблицы 2.3. не сделаны выводы о влиянии изменения витков обмотки статора на работу двигателя при повышенной частоте вращения. Не определено, сохраняется ли при повышении тока, значение коэффициента пропорциональности между электромагнитным моментом и проекцией обобщенного вектора тока статора на ортогональную ось прямоугольной системы, и соответствует ли оно теоретическим расчетам.

4. Отсутствуют пояснения к полученным результатам расчетов значений момента (рис. 2.10, 2.11, 2.12).

5. Для расчетов тепловых и прочностных параметров не представлены примеры количественных характеристик материалов, как в примере с электромагнитными параметрами.

6. Какие допустимые пределы приняты для температурного нагрева ротора при построении тепловой модели ротора (рис. 2.21.)?

7. Какие допустимые пределы приняты для перемещения элементов (рис. 2.23) при построении прочностной модели СДПМ?

8. Для чего в стенде реализована возможность измерения тока для двигателей, если данные значения не используются для сравнения исходного и модернизированного СДПМ?

### **Соответствие содержания диссертации паспорту научной специальности**

Диссертация соответствует паспорту специальности 05.09.01 – «Электромеханика и электрические аппараты» и напрямую отвечает следующим пунктам паспорта специальности:

2. Разработка научных основ создания и совершенствования электрических, электромеханических преобразователей и электрических аппаратов.

3. Разработка методов анализа и синтеза преобразователей электрической и механической энергии.

5. 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.

### **Заключение**

Диссертационная работа Петрова Т.И. содержит научную и практическую ценность и представляет собой законченную научно-квалификационную работу, результатами которой являются разработка нового метода комплексной топологической оптимизации ротора СДПМ с целью создания энергоэффективных синхронных электрических машин с постоянными магнитами.

Автореферат диссертации и опубликованные труды соискателя в достаточной мере отражают содержание работы.

Считаю, что диссертация Петрова Т.И. является научно-квалификационной работой, в которой содержится исследование и разработка научной задачи оптимизации ротора синхронного электрического двигателя с постоянными магнитами. Это соответствует п.9 Положения о присуждении ученых степеней утвержденного постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 №842 (с изменениями от 20 марта 2021 года).

За подробное исследование и разработку современного метода проектирования и оптимизации синхронных двигателей с постоянными магнитами путем применения комплексной топологической оптимизации Петров Тимур Игоревич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.01 «Электромеханика и электрические аппараты».

Официальный оппонент,

доктор технических наук, профессор,

ФГБОУ ВО «Вологодский

государственный университет»,

профессор кафедры

«Электрооборудование»



Немировский Александр Емельянович

«16» ноября 2021 г.

ПОДПИСЬ ЗАВЕРЯЮ  
Ведущий специалист по персоналу  
Управления практического академического  
обеспечения



Шадрина Е.С.

Контактные данные:

160000, г. Вологда, ул. Галкинская, 1, корп.2, ауд. 122.

Тел. (8172) 72-14-11

E-mail: a.e.nemirovsky@mail.ru

Подпись Немировского А.Е. заверяю: