



КГЭУ

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «КГЭУ»)



УТВЕРЖДАЮ

Ректор

Абдуллазянов Э.Ю.

08.2019

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования
«Казанский государственный энергетический университет»
(ФГБОУ ВО «КГЭУ»)

Диссертация «Методы проектирования и создание синхронных электрических машин с постоянными магнитами в составе генерирующих и приводных комплексов» выполнена на кафедре «Электроснабжение промышленных предприятий» ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет».

В период подготовки диссертации соискатель Сафин Альфред Робертович работал в ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет» в должностях ассистента, старшего преподавателя, доцента (с сентября 2005 – по настоящее время) кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий».

В 2004 г. Сафин А.Р. окончил ФГБОУ ВПО «Казанский государственный энергетический университет» с присуждением степени магистра по направлению подготовки «Электротехника, электромеханика и электротехнологии», диплом № АВМ 0060155 от 15 июня 2004 года.

В 2009 году защитил диссертацию в Московском энергетическом институте (Технический Университет) на тему «Разработка энергосберегающих схем и алгоритмов управления тяговыми двигателями постоянного тока электроподвижного состава», диплом ДКН №085070.

Научный консультант – Ившин Игорь Владимирович, доктор технических наук, ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», директор института электроэнергетики и электроники, заведующий кафедрой «Электроснабжение промышленных предприятий».

По итогам обсуждения диссертации «Методы проектирования и создание синхронных электрических машин с постоянными магнитами в

составе генерирующих и приводных комплексов» принято следующее заключение.

1. Актуальность

Синхронные электрические машины с постоянными магнитами находят все большее применение в различных технических комплексах.

Синхронные электрические двигатели с постоянными магнитами используются в областях, где традиционно применялись двигатели постоянного тока или асинхронные двигатели, таких, как привод циркулярных насосов, привод компрессоров в холодильной технике, в системах вентиляции, в буровых установках, в станках-качалках добычи нефти. Причинами этого являются существующая тенденция к уменьшению стоимости магнитных материалов (внедрением сплавов редкоземельных металлов), а также совершенствование аппаратной базы управления. Существенный толчок дало внедрение преобразователей на транзисторах с изолированным затвором *IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor)* и использование принципов широтно-импульсной модуляции.

В дополнение к высокой энергоэффективности современные синхронные электрические двигатели с постоянными магнитами имеют более компактную конструкцию. Структура синхронных электрических двигателей с постоянными магнитами делает их значительно меньше и легче, чем аналогичные асинхронные двигатели.

Большой вклад в развитие теории, разработку методов и алгоритмов проектирования синхронных электрических машин с постоянными магнитами внесли коллективы НИУ «МЭИ», НИУ «МАИ», СПбГЭТУ ЛЭТИ, НГТУ, ЧГУ, РГУПС, КАИ, КНИТУ и ряд других организаций, известные отечественные и зарубежные ученые А. К. Аракелян, А. А. Афанасьев, А.Ф. Шевченко, А.В. Иванов-Смоленский, Ф.М. Юферов, И.Л. Осин, П.Г. Колпахчян, М.Я. Хитерер, И.Е. Овчинников, А.И. Москвитин, М.М. Соколов, Л.К. Сорокин, Е.В. Козаченко, И.В. Черных, Ф.Н. Сарапулов, Р.Т. Шрейнер, Л.В. Клименко, Ю.Ф. Антонов, А.А. Зайцев, Е.В. Сергеевкова, F. Milanese, N. Bianchi, S. Bolognani, H. Polinder, J.F. Gieras и многие их коллеги.

Однако большинство методов, рассмотренных в работах вышеперечисленных авторов, ограничено проектированием синхронных электрических двигателей с постоянными магнитами без учета их работы в составе генерирующих и приводных комплексов, не рассмотрены методы топологической оптимизации индукторов и роторов синхронных электрических двигателей с постоянными магнитами.

За счет высокого коэффициента мощности и КПД синхронных электрических двигателей с постоянными магнитами, снижаются потери в системе электроснабжения, растет КПД всей системы по сравнению с применением асинхронных двигателей. Использование синхронных электрических двигателей с постоянными магнитами вместо асинхронных

двигателей, например, для привода станков-качалок позволит повысить энергоэффективность нефтедобычи.

Синхронные электрические машины с постоянными магнитами применяются в составе генераторных комплексов малой энергетики.

На сегодняшний день подавляющая часть электрической энергии в Российской Федерации вырабатывается на крупных электростанциях и распространяется по электрическим сетям общего пользования. Тем не менее, по разным оценкам, 60 –70% территории России не охвачены централизованным электроснабжением. На этой территории проживает более 20 млн. человек и жизнедеятельность людей обеспечивается главным образом средствами малой энергетики.

Энергетическая стратегия России на период до 2030 года определила развитие малой энергетики в качестве одного из ключевых направлений развития энергетического сектора. В стране уже сегодня функционируют порядка 50 тысяч объектов малой распределенной генерации. Однако в ближайшие 7 –10 лет должна быть поставлена задача в несколько раз увеличить их суммарную установленную мощность, которая в настоящее время составляет 12 ГВт, и увеличить на них производство электроэнергии (сейчас – 24 млрд.кВт·ч) с целью еще более надежного электроснабжения потребителей (по официальным данным МинЭнерго России).

Основные направления совершенствования роторов и индукторов синхронных электрических машин с постоянными магнитами связаны с повышением магнитных свойств и характеристик постоянных магнитов, обеспечением стабильности свойств и характеристик в условиях повышенных температур и механических нагрузок, совершенствованием конструкций и технологий их изготовления.

В качестве электромеханического преобразователя энергии в таких энергоустановках рационально использовать синхронную электрическую машину возвратно-поступательного действия с постоянными магнитами, построенные по модульному принципу. Это позволит масштабировать энергоустановку по мощности для конкретной задачи.

Таким образом, развитие методических решений проектирования, оптимизация конструктивных параметров и разработка энергоэффективных синхронных электрических машин с постоянными магнитами в составе генерирующих и приводных комплексов является важной научной задачей.

2. Научная новизна результатов работы

Научная новизна характеризуется тем, что были получены следующие результаты:

1. Разработана математическая модель работы свободнопоршневого двигателя стандартного цикла Отто с учетом диаметра цилиндров, массы поршневой группы и индуктора, степени сжатия, хода поршня, теплоты сгорания топлива и сил трения, позволяющая определить положение и скорость индуктора синхронной электрической машины возвратно-

поступательного действия с постоянными магнитами в составе автономного источника электроснабжения, для последующего расчета энергетических характеристик и оптимизации конструктивных параметров синхронной электрической машины возвратно-поступательного действия с постоянными магнитами.

2. Разработана методика расчета электромагнитной силы синхронной электрической машины возвратно-поступательного действия с постоянными магнитами через отображение уравнения линейной токовой нагрузки и индукции магнитного поля, создаваемого постоянными магнитами, в виде ряда Фурье, что позволяет ввести в расчетные формулы конструктивные параметры статора и индуктора синхронной электрической машины возвратно-поступательного действия с постоянными магнитами с целью повышения качества алгоритма оптимизации.

3. Разработана тепловая модель синхронной электрической машины возвратно-поступательного действия с постоянными магнитами, позволяющая определить конструкцию системы охлаждения статора, рассчитать максимально допустимую выдаваемую мощность синхронной электрической машины возвратно-поступательного действия с постоянными магнитами, определить параметры, влияющие на теплоотдачу, определить меры по тепловой защите синхронной электрической машины возвратно-поступательного действия с постоянными магнитами.

4. Предложена эквивалентная схема магнитной цепи синхронного двигателя с встроенными магнитами в составе станка-качалки нефти. Полученная на основе данной схемы система уравнений позволяет аналитически определять требуемые размеры магнитов по заданному значению магнитного потока и заданным размерам ротора и статора двигателя и магнитный поток, рабочую точку магнита при известной конструкции ротора и статора.

5. Разработан комплекс имитационных моделей автономного источника электроснабжения на базе синхронной электрической машины возвратно-поступательного действия с постоянными магнитами, что позволяет на основе единой базы данных совместить моделирование тепловых, механических и электромагнитных процессов и оптимизацию конструктивных параметров синхронной электрической машины возвратно-поступательного действия с постоянными магнитами.

6. Разработана методика оптимизации конструктивных размеров статора и индуктора синхронной электрической машины возвратно-поступательного действия с постоянными магнитами по критерию максимума намагничивающей силы и максимальной генерируемой мощности на основе генетического алгоритма, что позволяет рассматривать при проектировании двигательный и генераторный режимы синхронной электрической машины возвратно-поступательного действия с постоянными магнитами.

7. Предложена методика многокритериальной оптимизации конструктивных параметров ротора синхронного электрического двигателя с

встроенными постоянными магнитами позволяющая получить множество допустимых решений, что предоставляет возможность проектировщику, имея информацию о предпочтительных характеристиках, определить наиболее приемлемое решение.

8. Разработан метод топологической оптимизации для распределения материалов в индукторах и роторах синхронных электрических машин с постоянными магнитами с использованием генетического алгоритма, что позволяет проектировать синхронные электрические машины с постоянными магнитами с новыми топологиями (в том числе и с новыми композиционными материалами), более высокой энергоэффективностью и низкой стоимостью производства.

3. Научная и практическая значимость результатов

Научные результаты работы могут применяться для повышения энергетической эффективности синхронных электрических машин с постоянными магнитами в составе генерирующих и приводных комплексов.

Практическая значимость результатов работы состоит в повышении качества проектирования, разработке экспериментальных и опытных образцов синхронных электрических машин с постоянными магнитами.

Предложенные в диссертации методы и алгоритмы расчета параметров электрической машины возвратно-поступательного действия с постоянными магнитами и конструкторская документация для испытательного стенда использованы в прикладных научных исследованиях в рамках Федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно - технологического комплекса России на 2014 – 2020 годы» Соглашение № 14.577.21.0121 от 20.10.2014 г. «Разработка экспериментального образца обратимой электрической машины возвратно-поступательного действия мощностью 10-20 кВт для тяжелых условий эксплуатации», приоритетное направление развития науки, технологий и техники в Российской Федерации: Энергоэффективность, энергосбережение и ядерная энергетика.

Методика многокритериальной оптимизации конструктивных параметров ротора синхронного электрического двигателя использована при реализации комплексного проекта по созданию высокотехнологичного производства на тему: «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 «Чебоксарский электроаппаратный завод».

Метод топологической оптимизации синхронных электрических

машин с постоянными магнитами реализован в рамках грантов Российского фонда фундаментальных исследований «Разработка нового метода проектирования и программно-аппаратного комплекса для повышения энергоэффективности и надежности линейных электрических машин возвратно-поступательного действия» № 17-48-160438 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. Приоритетное направление, определенное Стратегией научно-технологического развития Российской Федерации - Переход к экологически чистой и ресурсосберегающей энергетике, повышение эффективности добычи и глубокой переработки углеводородного сырья, формирование новых источников, способов транспортировки и хранения энергии. Разработанное математическое и программное обеспечение для расчета и выбора рациональных параметров синхронных электрических машин с постоянными магнитами могут быть использованы НИИ и проектными организациями электротехнической промышленности на этапе проектирования синхронных электрических машин с постоянными магнитами. Разработаны и изготовлены: испытательный стенд для проведения углубленных исследований экспериментального образца синхронной электрической машины возвратно-поступательного действия с постоянными магнитами, экспериментальные образцы электрической машины возвратно-поступательного действия с постоянными магнитами и синхронного двигателя с постоянными магнитами с использованием математического и программного обеспечения, методов, алгоритмов расчета и оптимизации конструктивных параметров.

4. Личное участие автора в получении результатов научных исследований, изложенных в диссертации

Результаты, представленные в диссертации и отраженные в публикациях, получены при непосредственном участии соискателя. Автор поставил цели и задачи исследования. Сформулировал и предложил математические модели генерирующего и приводного комплекса на базе синхронных электрических машин с постоянными магнитами. Разработал имитационные модели генерирующего комплекса на базе электрической машины возвратно-поступательного действия с постоянными магнитами, учитывающая конструктивные параметры электрической машины, а также усилия на шток индуктора и длину его хода. Разработал методику оптимизации конструктивных размеров статора и индуктора электрической машины возвратно-поступательного действия с постоянными магнитами по критерию максимальной генерируемой мощности. Участвовал в разработке методики оптимизации конструктивных размеров статора и ротора синхронного электрического двигателя с постоянными магнитами по критерию максимального номинального момента. Совместно с научным

коллективом по грантам РФФИ разработан метод топологической оптимизации синхронных электрических машин с постоянными магнитами для распределения материалов в роторах и индукторах с использованием генетического алгоритма. Предложена концепция кластеризации материалов и процедура «очистки» материалов. Сформулировал алгоритмы для программного комплекса по оптимизации конструктивных параметров синхронных электрических машин с постоянными магнитами. Автор принял участие в разработке и создании испытательного стенда, провел экспериментальные исследования для изучения характеристик синхронной электрической машины возвратно-поступательного действия с постоянными магнитами и синхронного двигателя с постоянными магнитами.

5. Степень достоверности результатов проведенных исследований

Достоверность полученных результатов обеспечивается корректной постановкой исследовательских задач и их физической обоснованностью, использованием современного программного обеспечения и комплексным подходом к проведению исследований; сходимостью теоретических и экспериментально полученных результатов; непротиворечивостью результатам подобных исследований других авторов и основным положениям науки; использованием сертифицированных и поверенных образцов и контрольно-измерительной аппаратуры, а также применением математического анализа при обработке полученных результатов с использованием современных средств вычислительной техники.

6. Соответствие диссертации научной специальности

Диссертация соответствует специальности 05.09.01 – Электромеханика и электрические аппараты в части:

1. Разработанная математическая модель работы свободнопоршневого двигателя стандартного цикла Отто с учетом диаметра цилиндров, массы поршневой группы и индуктора, степени сжатия, хода поршня, теплоты сгорания топлива и сил трения, позволяющая определить положение и скорость индуктора синхронной электрической машины возвратно-поступательного действия с постоянными магнитами в составе автономного источника электроснабжения, тепловая модель синхронной электрической машины возвратно-поступательного действия с постоянными магнитами соответствуют п. 2 «Разработка научных основ создания и совершенствования электрических, электромеханических преобразователей и электрических аппаратов».

2. Разработанная методика расчета электромагнитной силы синхронной электрической машины возвратно-поступательного действия с постоянными магнитами через отображение уравнения линейной токовой нагрузки и индукции магнитного поля, создаваемого постоянными магнитами, в виде ряда Фурье, эквивалентная схема магнитной цепи синхронного двигателя с

встроенными магнитами соответствуют п.3 «Разработка методов анализа и синтеза преобразователей электрической и механической энергии».

3. Разработанный комплекс имитационных моделей автономного источника электроснабжения на базе синхронной электрической машины возвратно-поступательного действия с постоянными магнитами, разработанные методики оптимизации конструктивных параметров синхронных электрических машин с постоянными магнитами, а также метод топологической оптимизации для распределения материалов в индукторах и роторах синхронных электрических машин с постоянными магнитами с использованием генетического алгоритма соответствуют п. 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».

7. Полнота изложения результатов диссертации в работах, опубликованных автором

Основное содержание диссертации изложено в 47 печатных работах, из них 11 статей в рецензируемых научных изданиях, индексируемых в международной базе данных SCOPUS / Web Of Science, 14 статей в журналах, входящих в перечень ВАК Минобрнауки России (в том числе 10 статей в журналах, входящих в перечень ВАК Минобрнауки России по специальности диссертации), 1 монография, 7 свидетельств о регистрации программы для ЭВМ, 2 патента на полезную модель и 12 публикаций в материалах всероссийских и международных научных конференций.

Статьи в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК по группе научных специальностей диссертации:

1. Сафин, А.Р. Выбор рациональных схем управления тяговым электроприводом трамвая на основе разработки имитационной модели/ А.Р. Сафин// Электротехника. – 2013. – № 1. – С. 57. (вклад соискателя – 100%).

2. Сафин, А.Р. Разработка метода проектирования линейных электрических машин возвратно-поступательного действия на основе топологической оптимизации / А. Р. Сафин, Р. Р. Хуснутдинов, А. М. Копылов, В. В. Максимов, А. Н. Цветков, Р. Р. Гибадуллин // Электроника и электрооборудование транспорта. – 2017. – № 5. – С. 34. (вклад соискателя – 40 %).

3. Сафин, А.Р., Обоснование рациональной модели тележки трамвая на основе параллельного моделирования в среде Matlab/Simulink и САД, САЕ - системе Catia V5 / А.Р. Сафин, Р.Ш. Мисбахов, В.М. Гуреев // Электроника и электрооборудование транспорта. – 2015. – № 5-6. – С. 28. (вклад соискателя – 60%).

4. Сафин, А.Р. Испытательный стенд с программно-аппаратным

комплексом для исследования электрической машины возвратно-поступательного действия / Р. Р. Гибадуллин, А. Н. Цветков, А. Р. Сафин, А. М. Копылов, И. В. Ившин // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2016. – № 3. – С. 105. (вклад соискателя – 25%).

5. Сафин, А.Р. Определение предельных эффективных конструктивных параметров и технических характеристик обратимой электрической машины возвратно-поступательного действия / А. М. Копылов, Р. Р. Гибадуллин, И. В. Ившин, А. Р. Сафин, Р. Ш. Мисбахов // Энергетика Татарстана. Развитие энергетики. – 2016. – № 1(41). – С. 75. (вклад соискателя – 40%).

6. Сафин, А.Р. Обоснование рациональной схемы управления тяговым электроприводом трамвая на основе разработки имитационной модели / А.Р. Сафин, Р.Ш. Мисбахов, В.М. Гуреев // Электроника и электрооборудование транспорта. – 2014. – № 3. – С. 19. (вклад соискателя – 50%).

7. Сафин, А. Р. Выбор и оптимизация конструктивных параметров обратимой электрической машины возвратно-поступательного движения / А. Р. Сафин, И. В. Ившин, А. М. Копылов, Е. И. Грачева, А. Н. Цветков // Электроника и электрооборудование транспорта. – 2017. – № 3. – С. 10. (вклад соискателя – 50%).

8. Сафин, А.Р. Разработка электрической машины возвратно-поступательного действия модульного типа / А. М. Копылов, А. Р. Сафин, Р. Р. Гибадуллин, Л.В. Долманюк, А. Н. Цветков // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2016. – № 9-10. – С. 126. (вклад соискателя – 30%).

9. Сафин, А.Р. Модель системы управления станком-качалкой на основе синхронных двигателей с бездатчиковым методом/ Т.И. Петров, А.Р. Сафин, И.В. Ившин, А.Н. Цветков, В.Ю. Корнилов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. –2018.–№ 7–8. – С. 107. (вклад соискателя – 30%).

10. Сафин, А.Р. Анализ развития электроприводов для станков-качалок нефти по результатам патентного поиска/ И.В. Ившин, А.Р. Сафин, Т.И. Петров, А.Н. Цветков, В.Ю. Корнилов, А.И. Мухаметшин // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. –2019.–№ 5. – С. 3. (вклад соискателя – 25%).

11. Сафин, А.Р. Разработка математической модели автономного источника электроснабжения с свободно-поршневым двигателем на базе синхронной электрической машины возвратно-поступательного действия с постоянными магнитами / И.В. Ившин, Т.И. Петров // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. –2019.–№ 6. – С. 4. (вклад соискателя – 50%).

Статьи в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК по другим группам научных специальностей:

12. Сафин, А.Р. Разработка рациональной структуры тягового электропривода трамвая в среде моделирования электроэнергетических

объектов программы *Matlab*/ А.Р. Сафин, Р.Ш. Мисбахов, В.М. Гуреев // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2015. – № 2. –С. 111. (вклад соискателя – 60%).

13. Сафин, А.Р. Разработка и реализация испытательного стенда для исследования характеристик синхронного электродвигателя / И.В. Ившин, А.Р. Сафин, Т.И. Петров, А.Н. Цветков, В.Ю. Корнилов, А.И. Мухаметшин // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2018.–№ 3(39). – С. 45. (вклад соискателя – 25%).

14. Сафин, А.Р. Разработка метода топологической оптимизации электрических машин на основе генетического алгоритма/ А.Р.Сафин, Р.Р. Хуснутдинов, А.М. Копылов, В.В. Максимов, А.Н. Цветков, Р.Р. Гибадуллин, Т.И. Петров // Вестник Казанского государственного энергетического университета. –2018. –№4 (40). –С. 77. (вклад соискателя – 50%).

*Статьи в рецензируемых научных изданиях, индексируемых в
международной
базе данных SCOPUS / Web Of Science*

15. Safin, A. R. Assessment, calculation and choice of design data for reversible reciprocating electric machine / A. M. Kopylov, I. V. Ivshin, A. R. Safin, R. Sh. Misbakhov, R. R. Gibadullin // International Journal of Applied Engineering Research. – 2015. – № 10. – P. 31449. (вклад соискателя – 60%).

16. Safin, A. R. Optimization of reciprocating linear generator parameters / A. P. Reshetnikov, I. V. Ivshin, N. V. Denisova, A. R. Safin, R. Sh. Misbakhov, A. M. Kopylov // International Journal of Applied Engineering Research. – 2015. – № 10. – P. 31403. (вклад соискателя – 50%).

17. Safin, A. R. Selection and justification of design parameters for reversible reciprocating electric machine / A. R. Safin, I. V. Ivshin, A. M. Kopylov, R. Sh. Misbakhov, A. N. Tsvetkov // International Journal of Applied Engineering Research. – 2015. – № 10. – P. 31427. (вклад соискателя – 30%).

18. Safin, A. R. Numerical Modeling of Dynamic Processes of the reciprocating reversible Electrical Machine / I. V. Ivshin, A. M. Kopylov, A. R. Safin // Applied Mechanics and Materials: Trans Tech Publications, Switzerland. – 2015. – №. 792. – P. 134. (вклад соискателя – 30%).

19. Safin, A.R Controlled rectifier simulation model development for reversible reciprocating electrical machine/ A.R.Safin , I.V. Ivshin, R.Sh. Misbakhov, A.N. Tsvetkov, N.V. Denisova // International Journal Of Pharmacy & Technology. –2016. – №.8 – P. 14059. (вклад соискателя – 40%).

20. Safin, A. R. Titanium chemical nature features which determine its most important performance properties in linear engine-generator/ R.O. Sirotkin, O.S. Sirotkin, I.V. Ivshin, A.R. Safin, A.N. Tsvetkov , L.V. Dolomanyuk // Journal of Engineering and Applied Sciences. –2016. – №.11– P. 9664. (вклад соискателя – 25%).

21. Safin, A. R. Hardware-software system test bench for studies of a

reciprocating electrical machine/ Tsvetkov A.N., Safin A.R., Gibadullin R.R.// 2016 2nd International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM. – 2016. – P. 7911493. (вклад соискателя – 25%).

22. Safin, A. R. The Prospects of Using a Synchronous Machine with Permanent Magnets in the Oil Industry/ T.I. Petrov, A.R. Safin, I.V. Ivshin, A.N. Tsvetkov, V.Yu Kornilov // 2018 XIV International Scientific-Technical Conference on Actual Problems of Electronics Instrument Engineering (APEIE). – 2018. – P. 336. (вклад соискателя – 35 %).

23. Safin, A.R. The Method Topological Optimization for Design Linear Electric Machines / A. R. Safin, R. Khusnutdinov, A. M. Kopylov // 2019 International Science and Technology Conference "EastConf", Vladivostok, Russia. – 2019. – P.46. (вклад соискателя – 50%).

24. Safin, A. R. Control station based on synchronous motors/ T.I. Petrov, A.R. Safin, I.V. Ivshin, L.V. Dolomanyuk, M.F. Nizamiev// Russia International Scientific and Practical Conference: Water Power Energy Forum 2018. – 2019. –P. 1561. (вклад соискателя – 50%).

25. Safin, A. R. Adaptive Control System of the Pumping Unit / A.N. Tsvetkov, I.V. Ivshin, T.I. Petrov, R.Sh. Misbakhov, V.Yu. Kornilov// International Journal of Engineering and Advanced Technology. –2019. – №.8– P. 289. (вклад соискателя – 40%).

Монографии

26. Сафин, А.Р. Новые технологии, материалы и оборудование в энергетике: монография. Цифровые технологии, возобновляемые источники и малая энергетика: монография / И.В. Ившин, А.Р. Сафин, А.Н. Цветков, Н.В. Денисова, А.Н. Копылов, Р.Р. Гибадуллин; под общ. ред. Э.Ю. Абдуллазянова, Э.В. Шамсутдинова. – Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2018. – В 3 т. Т. I. – 424 с. (вклад соискателя – 30%).

Свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ

27. Свидетельство № 2015663605 Рос. Федерация. Программный комплекс для моделирования электрической машины возвратно-поступательного движения / А. Р. Сафин, И. В. Ившин, Р. Ш. Мисбахов, А. Н. Цветков, А. М. Копылов, Р. Р. Гибадуллин. – № 2015619478; заявл. 07.10.2015; опубл. 20.02.2016. (вклад соискателя – 40%).

28. Свидетельство № 2015615063 Рос. Федерация. Программа оптимизации конструктивных размеров статора и индуктора электрической машины возвратно-поступательного действия/ А.Р. Сафин, И.В. Ившин, Н.В. Денисова, А.Н. Цветков, А.М. Копылов. - № 2015615063; заявл. 17.03.2015; опубл. 20.02.2016. (вклад соискателя – 55 %).

29. Свидетельство № 2016611030 Рос. Федерация. Программа оптимизации конструктивных размеров паза и количества витков обмоток статора электрической машины возвратно-поступательного движения/ А.М. Копылов, Р. Р. Гибадуллин, И.В. Ившин, А.Р. Сафин, Р.Ш. Мисбахов, А.Н.

Цветков, А.К. Мезиков, Л.В. Долломанюк, В.В. Максимов. - № 2016611030; заявл.08.12.2015; опубл. 25.01.2016. (вклад соискателя – 25%).

30. Свидетельство № 2016661811 Рос. Федерация. Программа управления стендом для испытания обратимых электрических машин возвратно-поступательного действия / Р.Р. Гибадуллин, А.Н. Цветков, И.В. Ившин, А.М. Копылов, А.Р. Сафин. - № 2016661811; заявл.08.12.2015; опубл. 25.01.2016. (вклад соискателя – 30%).

31. Свидетельство № 2016663776 Рос. Федерация. Программа оптимизации конструктивных размеров индуктора электрической машины возвратно-поступательного движения / А.М. Копылов, А.Р. Сафин, И.В. Ившин, Р.Р. Гибадуллин. - № 2016663776; заявл.08.12.2015; опубл. 25.01.2016. (вклад соискателя – 25%).

32. Свидетельство № 2018613530 Рос. Федерация. Программа топологической оптимизации электрических машин на основе генетического алгоритма / А.М. Копылов, А.Р. Сафин, Р.Р. Хуснутдинов, В.В. Максимов, А.Н. Цветков, Р.Р. Гибадуллин. - № 2018613530; заявл.13.11.2017; опубл. 16.03.2018. (вклад соискателя – 50%).

33. Свидетельство № 2019610240 Рос. Федерация. Программа для топологической оптимизации ротора синхронной машины / А.Р. Сафин, А.М. Копылов, А.Н. Цветков, Р.Р. Гибадуллин, Р.Р. Хуснутдинов, В.В. Максимов, Т.И. Петров. - № 2019610240; заявл.18.12.2018; опубл. 09.01.2019. (вклад соискателя – 60%).

Патенты на полезную модель

34. Пат. 159449 Рос. Федерация: МПК H02P25/06, H02P6/16. Устройство управления обратимой электрической машиной возвратно-поступательного действия. / А. М. Копылов, Р. Р. Гибадуллин, И. В. Ившин, Ш. И. Вафин, А. Р. Сафин, В. В., Максимов, Л. В. Долломанюк, А. Н. Цветков, М. Ф. Низамиев. // Бюл. «Изобретения. Полезные модели». – 2016. – № 4. – 2 с. (вклад соискателя – 25%).

35. Пат. 161647 Рос. Федерация: МПК H02P25/066, H02P9/06, H02K29/06. Устройство управления обратимой электрической машиной возвратно-поступательного действия. / А. М. Копылов, Р. Р. Гибадуллин, И. В. Ившин, Ш. И. Вафин, А. Р. Сафин, В. В., Максимов, Л. В. Долломанюк, А. Н. Цветков, М. Ф. Низамиев. // Бюл. «Изобретения. Полезные модели». – 2016. – № 12. – 2 с. и др. (вклад соискателя – 30%).

Все основные положения и результаты, выносимые на защиту, отражены в публикациях автора: по главе 1 – в [26], по главе 2 – в [11,], по главе 3 – в [9,10,22,24,25], по главе 4 – в [1,3,12,5,6,15,19,27], по главе 5 – [2,7,14,16,17,18,20,23,28,29,31,32,33], по главе 6 – [4,8,13,21,30,34,35].

В диссертационной работе не выявлено использования материалов или отдельных результатов без ссылок на автора или источник заимствования, включая работы, выполненных соискателем лично и/или в соавторстве.

8. Апробация работы

Основные положения и научные результаты диссертации докладывались и обсуждались на следующих научно-технических конференциях: III Всероссийской научно-практической конференции «Системы управления электротехническими объектами» (г.Тула, 2005 г.), V Международном симпозиуме «Ресурсоэффективность и энергосбережение» (г. Казань, 2004 г.), VI Международном симпозиуме «Ресурсоэффективность и энергосбережение» (г. Казань, 2005 г.), XXI Международной научно-практической конференции студентов и аспирантов «Радиоэлектроника, электротехника и энергетика» (г. Москва, 2015 г.);X Международной молодежной научной конференции «Гинчуринские чтения» (г. Казань, 2015 г.); XV Международном симпозиуме «Энергоресурсоэффективность и энергосбережение» (г. Казань, 2015 г.); Семинаре «Развитие научно-технического сотрудничества России и ЕС в области повышения энергетической эффективности» (г. Москва, 2015 г.); VII Международной научной конференции молодых ученых «Электротехника. Электротехнология. Энергетика» (г. Новосибирск, 2015 г.); X открытой молодежной научно-практической конференции «Диспетчеризация и управление в энергетике» (г. Казань, 2015 г.); Выставке «ВУЗПРОМЭКСПО-2015» (г. Москва, 2015 г.); Международной специализированной выставке «Энергетика. Ресурсосбережение-2016» (г. Казань, 2016г.); Выставке «ВУЗПРОМЭКСПО-2016» (г. Москва, 2016 г.); Международная научно-практическая конференция посвященная 60-летию высшего нефтегазового образования в Республике Татарстан «Достижения, проблемы и перспективы развития нефтегазовой области», 28-29октября 2016 г., Россия, г. Альметьевск, Альметьевский государственный нефтяной институт; Поволжской научно-практической конференция "Приборостроение и автоматизированный электропривод в топливно-энергетическом комплексе и жилищно-коммунальном хозяйстве», 8-9 декабря 2016 г., Россия, г. Казань, Казанский государственный энергетический университет; International Scientific and Technical Conference SES-2019 (Kazan, September 18-20, 2019); Заседаниях кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий» ФГБОУ ВО «КГЭУ» (2005-2019 г.г.).

9. Ценность научных работ соискателя

Ценность научных работ соискателя состоит в разработке математических моделей генерирующих и приводных комплексов на базе синхронных электрических машин с постоянными магнитами, позволяющих рассчитывать оптимальные параметры электрических машин с постоянными магнитами на основе исследования и анализа особенностей электромагнитных и механических процессов преобразования энергии и предложенных методик оптимизации.

Разработанный программный комплекс, позволяет реализовать алгоритмы расчета термодинамических процессов, электромеханических процессов, тепловых процессов в синхронных электрических машинах с постоянными магнитами, а также производить прочностные расчеты конструкции и оптимизацию конструктивных параметров синхронных электрических машин с постоянными магнитами в составе генерирующего комплекса.

Разработанный метод топологической оптимизации синхронных электрических машин с постоянными магнитами на основе рационального распределения материалов в индукторах и роторах синхронных электрических машин с постоянными магнитами с использованием генетического алгоритма позволяет повысить энергетические характеристики и технологичность их изготовления.

Разработан экспериментальный образец синхронной электрической машины возвратно-поступательного действия с использованием новых методических решений, имеющего модульную конструкцию и предназначенного для генерации электрической энергии и привода механизмов в агрессивной среде в составе автономных объектов.

10. Выводы

Диссертация Сафина А.Р. «Методы проектирования и создание синхронных электрических машин с постоянными магнитами в составе генерирующих и приводных комплексов» является завершенной научно-квалификационной работой, выполненной на актуальную тему, в которой содержится решение научной проблемы повышения энергетической эффективности, технологичности электромеханических преобразователей, снижения их себестоимости и эксплуатационных затрат. Решение данной научной проблемы имеет значение для развития области науки и техники, занимающейся исследованием по физическим и техническим принципам создания и совершенствования силовых и информационных устройств для взаимного преобразования электрической и механической энергии. Внедрение предложенных решений вносит значительный вклад в развитие страны.

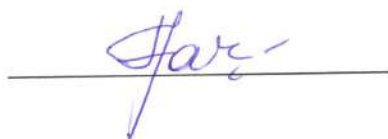
Диссертация обобщает самостоятельные исследования автора, обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и положения, выдвигаемые на защиту, свидетельствует о личном вкладе автора в науку. При выполнении диссертационной работы Сафин А.Р. проявил себя зрелым научным работником, способным ставить и решать сложные теоретические и практические задачи.

Работа соответствует критериям п. 9 – 14 Положения о присуждении ученых степеней, принятого Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. №842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук.

Диссертация «Методы проектирования и создание синхронных электрических машин с постоянными магнитами в составе генерирующих и приводных комплексов» Сафина Альфреда Робертовича рекомендуется к защите на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.09.01 «Электромеханика и электрические аппараты».

Заключение принято на расширенном заседании кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Казанский государственный энергетический университет».

Присутствовало на заседании 21 чел., из них докторов технических наук - 8, кандидатов технических наук - 10. Результаты голосования: «за» – 21 чел., «против» – нет, «воздержалось» – нет, протокол № 21^а от «26» сентября 2019 г.



Грачева Елена Ивановна,
докт. техн. наук, профессор, кафедра
«Электроснабжение промышленных
предприятий» ФГБОУ ВО «КГЭУ», заместитель
заведующего кафедрой

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский государственный энергетический университет»,
420066, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Красносельская, 51.
Тел. (843)519-42-73, e-mail: epp.kgeu@mail.ru

Сведения о лице, утвердившем заключение:

Абдуллазянов Эдвард Юнусович: кандидат технических наук, доцент
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский государственный энергетический университет», ректор,
420066, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Красносельская, 51.
Тел. (843)519-42-02, e-mail: rector@kgeu.ru