



Минобрнауки России
Федеральное государственное
бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Национальный исследовательский
университет «МЭИ»
111250, Россия, Москва,
Красноказарменная ул., 14,
Тел.: (495) 362-75-60, факс: (495) 362-89-38
E-mail: universe@mpei.ac.ru
<http://www.mpei.ru>

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной работе
ФГБОУ ВО «Национальный
исследовательский университет
«МЭИ»

Драгунов В.К.



02

2019 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу

Копылова Андрея Михайловича

«Совершенствование конструкции синхронной электрической машины
возвратно-поступательного действия с применением генетического
алгоритма», представленную на соискание ученой степени кандидата
технических наук по специальности 05.09.01 – Электромеханика и
электрические аппараты

Актуальность темы

Линейные электрические генераторы возвратно-поступательного действия находят применение в малой энергетике с приводами от поршневых агрегатов, в морских энергоустановках, использующих энергию волн и др. Основное отличие и трудности в разработке таких генераторов состоит в непостоянной скорости движения подвижной части генератора, следовательно в непостоянной частоте и амплитуде напряжения генератора. Это существенно осложняет отбор мощности генератора. Исследования и поиск перспективных конструкций электрических генераторов возвратно-поступательного действия и систем управления в настоящий момент

востребованы промышленностью. Тема диссертационной работы соискателя Копылова А.М. «Совершенствование конструкции синхронной электрической машины возвратно-поступательного действия с применением генетического алгоритма» представляется актуальной и важной для науки и практики.

Цель работы

В диссертации поставлена и достигнута следующая цель: повышение КПД синхронной электрической машины возвратно-поступательного действия (ЭМВПД) с постоянными магнитами за счёт увеличения электромагнитной мощности путем совершенствования конструкции статора и индуктора.

Анализ содержания работы

Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка цитированной литературы и приложений. Общий объем работы 148 страница, 10 приложений; работа иллюстрирована 12 таблицами и 64 рисунками. Библиографический список состоит из 103 наименований.

Во введении приведена общая характеристика работы. Обосновывается актуальность темы, научная новизна, цель и основные задачи диссертационного исследования, приводится практическая значимость работы и перечислены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе дан обзор основных тенденций развития и направлений работ по созданию ЭМВПД, который показал актуальность разработки мобильных и стационарных энергоустановок мощностью до 100 кВт на базе двигателей внутреннего сгорания для сверхмалых одиночных потребителей. Приведена классификация конструкций ЭМВПД. Выявлено, что наиболее перспективными являются цилиндрические конструкции ЭМВПД с постоянными магнитами (ПМ).

Во второй главе обосновывается выбор конструкций активных частей статора и индуктора разрабатываемой ЭМВПД с ПМ, рассматриваются механические и электромагнитные процессы такой электрической машины.

Выявлено, что наиболее предпочтительной является реализация подвижной магнитной системы из кольцевых постоянных магнитов с осевой намагниченностью в виде Хальбах-массива с циклически изменяемой угловой ориентацией вектора намагниченности. При этом снижаются зубцовые пульсации и магнитные потоки рассеяния. В качестве наиболее перспективной была принята концепция ЭМВПД с обмоткой на статоре и постоянными магнитами на цилиндрическом полом индукторе.

Третья глава посвящена расчету и исследованию конструктивных параметров и магнитных полей электрической машины возвратно-поступательного действия. Представлена математическая модель синхронной ЭМВПД с ПМ. На основе разработанной имитационной модели трехфазной линейной ЭМВПД с ПМ проведены расчеты зависимостей вырабатываемой электрической мощности и осевой нагрузки от частоты перемещения индуктора электрической машины.

Автором выполнен прочностной анализ крепления магнита на индукторе электрической машины. Механическое напряжение крепления необходимо учитывать при выборе способа монтажа магнитов на основу индуктора. Также осуществлен прочностной анализ основы индуктора электрической машины с учетом только осевых нагрузок. Рассчитанное максимальное механическое напряжение позволило обосновать выбор использования титана в качестве материала основы индуктора.

Разработана программа для реализации параллельно-последовательных алгоритмов моделирования электрической машины возвратно-поступательного действия. Разработаны алгоритмы и программы для совершенствования конструкции статора, индуктора, элементов магнитной цепи синхронной ЭМВПД с ПМ, что позволяет повысить её КПД.

Проведена оптимизация параметров синхронной ЭМВПД с ПМ с применением специально разработанных оригинальных программ, критерием которой является максимальный КПД при заданных условиях (при фиксированных размерах статора и индуктора).

Разработан генетический алгоритм для топологической оптимизации индуктора электрической машины возвратно-поступательного действия.

Оценка образцов производится по наибольшему значению целевой функции, представляющей собой результат расчета модуля интегральной электромагнитной силы, воздействующей на индуктор. Расчет выполняется в среде моделирования электромагнитных полей методом конечных элементов для задач магнитостатики.

В результате топологической оптимизации индуктора сделан вывод, что максимальная электромагнитная сила достигается, когда магниты представляют собой полученную в результате моделирования модифицированную сборку Хальбаха. Определена минимизирующая массу индуктора оптимальная толщина магнитных колец в модифицированной сборке Хальбаха, при которой достигается максимальная электромагнитная сила. Полученные результаты имитационного моделирования ЭМВПД показали эффективность использования разработанных программ для повышения эффективности проектирования и оптимизации конструктивных параметров.

Четвертая глава посвящена экспериментальным исследованиям.

Автор производит физическое моделирование ЭМВПД и верификацию имитационной модели. Разработан и создан экспериментальный образец электрической машины возвратно-поступательного действия мощностью 10 кВт, а также стенд для его испытаний.

С целью определения потенциальных возможностей синхронной ЭМВПД с ПМ проведены расчеты КПД в режиме генератора на частотах перемещения индуктора до 50 Гц. Характеристика КПД представлена в зависимости от выдаваемой электрической мощности. С увеличением частоты перемещения индуктора наблюдается снижение КПД в режиме генератора, что связано с увеличением потерь в стали от частоты перемагничивания.

Автором оценены возможности применения разработанной ЭМВПД:

- в качестве автономного источника электроснабжения объектов малой и микро- энергетики;
- в качестве волнового генератора в морских прибрежных акваториях;
- на объектах электроснабжения нефтяных месторождений;
- в составе силовой установки гибридных транспортных средств.

В заключении сформулированы основные результаты и выводы диссертационной работы.

Анализ текста диссертации позволяет заключить, что она является завершенным, методически грамотно, доказательно и последовательно изложенным научным исследованием, в котором поставлена и решена актуальная научная задача в области развития методов повышения энергетической эффективности электромеханических линейных преобразователей при заданных условиях, а также повышения качества проектирования электромеханических линейных преобразователей.

Результаты исследований доведены до практического применения. Разработана конструкторская документация и изготовлен экспериментальный образец электрической машины возвратно-поступательного действия в рамках реализации Федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014 – 2020 годы», соглашение о предоставлении субсидии от 20 октября 2014 г. № 14.577.21.0121, уникальный идентификатор прикладных научных исследований (проекта) RFMEFI57714X0121.

Результаты исследований прошли апробацию на 8 российских и международных конференциях и в достаточной мере опубликованы в рецензируемых научных изданиях, индексируемых в международной базе данных SCOPUS/Web Of Science (2 статьи), в рецензируемых научных изданиях, входящих в перечень ВАК (4 статьи), в материалах всероссийских и международных конференций (3 статьи). Также получено 5 свидетельств о регистрации программы для ЭВМ.

В целом диссертационная работа выполнена на хорошем научном уровне и заслуживает положительной оценки. Результаты работы относительно достоверности и обоснованности выводов не вызывают сомнения. Автореферат полностью отражает основное содержание диссертации.

Значимость полученных автором результатов для развития соответствующей отрасли науки, научная новизна

Полученные диссертантом результаты являются реальным вкладом в развитие теории и практики методов повышения энергетической эффективности электромеханических линейных преобразователей.

Для организаций и специалистов научно-технических центров, работающих в области проектирования и повышения энергетической эффективности электромеханических линейных преобразователей, теоретическую и практическую значимость представляют следующие результаты диссертационного исследования, характеризующие также его научную новизну.

1. Имитационная модель синхронной ЭМВПД с ПМ, учитывающая конструктивные параметры электрической машины, а также усилия на вал индуктора и длину его хода.

2. Алгоритмы и программы для оптимизации конструктивных параметров статора и индуктора синхронной ЭМВПД с ПМ. Критерием оптимизации является КПД при заданных условиях.

3. Генетический алгоритм для топологической оптимизации индуктора синхронной ЭМВПД с ПМ.

Сформулированные автором положения научной новизны обоснованы и следуют из материалов исследований, изложенных в диссертации. Они представляют собой новые научные результаты, позволяющие повысить КПД синхронной электрической машины возвратно-поступательного действия с постоянными магнитами за счёт увеличения электромагнитной мощности путем совершенствования конструкции статора и индуктора.

Реализация результатов работы представлена при выполнении прикладных научных исследований по теме «Разработка экспериментального образца обратимой электрической машины возвратно-поступательного действия мощностью 10-20 кВт для тяжелых условий эксплуатации» в рамках реализации Федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014 – 2020 годы», соглашение о предоставлении субсидии от 20 октября 2014 г. № 14.577.21.0121, уникальный идентификатор прикладных научных исследований (проекта) RFMEFI57714X0121. Имеется Акт изготовления экспериментального образца обратимой электрической машины возвратно-поступательного действия, а также Акт изготовления испытательного стенда для проведения углубленных исследований электрической машины возвратно-поступательного действия.

Обоснованность и достоверность выводов и результатов работы достигается корректным использованием при решении поставленных задач математических методов, экспериментальной обоснованностью принятых допущений, сопоставлением результатов с общеизвестными, опубликованными в научно-технической литературе исследованиями.

Конкретные рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации

Разработанные в результате данной диссертационной работы методики проектирования электрических машин возвратно-поступательного действия могут быть в дальнейшем использованы при разработке устройств генерации электрической энергии в малой энергетике. Так же результаты могут быть использованы в научно-образовательном процессе в средних

образовательных учреждениях с математическим и техническим уклоном, в профильных ВУЗах, а так же при создании электронных научных библиотек и электронных научных фондов. Представленные в диссертации конструктивные решения ЭМВПД с ПМ могут найти применение в качестве генераторов в составе автономных энергетических установках со свободнопоршневыми двигателями, в волновых генераторах, а также в гибридных автомобилях.

Вопросы и замечания по диссертации

- 1) Требуется дополнительное пояснение эквивалентная схема генератора, приведенная на рисунке 3.1. Как она связана с формулами (3.9)-(3.14).
- 2) В модели на рисунке 3.3 отсутствуют элементы, определяющие взаимное влияние фаз генератора. Как обоснована данная структура модели?
- 3) Из текста диссертации неясны преимущества использованного генетического алгоритма оптимизации по сравнению с обычным динамическим программированием (перебором вариантов).
- 4) В экспериментальной части не рассмотрен двигательный режим работы электрической машины возвратно-поступательного действия.
- 5) В тексте диссертации отсутствует сравнение КПД полученной электрической машины с разработками других исследователей.

Вышеуказанные замечания не носят принципиального характера и не меняют общего положительного мнения о диссертации.

Заключение по работе

Представленные в рассмотренной работе результаты исследований вносят важный вклад в повышение энергетической эффективности электромеханических линейных преобразователей, а также развитие методов их проектирования. Вынесенные на защиту научные положения в достаточной мере обоснованы и соответствуют поставленным целям и решаемым задачам. Учитывая новизну, теоретическую и экспериментальную обоснованность сформулированных положений, научную и практическую значимость результатов, можно сделать заключение, что диссертационная работа «Совершенствование конструкции синхронной электрической машины возвратно-поступательного действия с применением генетического алгоритма» является завершенной научно-квалификационной работой, которая удовлетворяет требованиям «Положения о присуждении ученых

степеней» Российской Федерации, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор, Копылов Андрей Михайлович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.01 – «Электромеханика и электрические аппараты».

Диссертационная работа и отзыв обсуждены на расширенном заседании кафедры электромеханики, электрических и электронных аппаратов ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ», протокол № 2/19 от 14 февраля 2019 года.

Заведующий кафедрой электромеханики,
электрических и электронных аппаратов
ФГБОУ ВО «Национальный
исследовательский университет «МЭИ»
доктор технических наук, профессор

Курбатов Павел
Александрович

14.02.2019

Почтовый адрес: 111250, г. Москва, ул. Красноказарменная, д. 14,
Тел.: +7(495) 362-71-89, E-mail: kurbatovpa@mpei.ru

Проректор по научной работе



Драгунов Виктор
Карпович

14.02.2019

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ»
111250, г. Москва, ул. Красноказарменная, д. 14,
Тел./факс: +7(495)362-77-22, E-mail: dragunovvk@mpei.ru