

Отзыв

официального оппонента на диссертационную работу

Нейман Людмилы Андреевны

«Линейные синхронные электромагнитные машины
для низкочастотных ударных технологий»,

представленной на соискание ученой степени доктора технических наук
по специальности 05.09.01– Электромеханика и электрические аппараты

Актуальность работы

Актуальность работы обусловлена поставленными задачами цифровизации экономики РФ, комплексной автоматизации технологических процессов и производств, для чего необходимо совершенствование существующих и разработка целого ряда новых классов электромеханических преобразователей, обеспечивающих непосредственное преобразование управляющих сигналов в требуемые технологические воздействия. При этом решаются задачи по повышению качества и надежности, снижению массогабаритных показателей технологических машин и оборудования.

В машиностроении, энергетике, строительстве, горном деле и т.д., часто необходимо обеспечить возвратно-поступательное движение рабочего органа. Большой интерес представляют электрические виброимпульсные системы, в связи с их меньшей энергоемкостью и легкостью управления.

Применение электрических импульсных систем в машинах и оборудовании с колебательным движением рабочих органов позволяет упростить кинематическую цепь машины за счет исключения передаточных механизмов преобразования вида движения и обеспечить наилучшие условия интеграции приводного двигателя и рабочего органа машины, имеющего возвратно-поступательный характер движения. В частности, в последние десятилетия наметилась тенденция использования электрических импульсных систем в системах управления тепловыми двигателями, что позволяет повысить их топливную экономичность.

Многие технологические процессы могут быть интенсифицированы при использовании не только колебаний, но и ударов. Наиболее эффективными линейными электромагнитными двигателями для низкочастотных ударных машин являются синхронные электромагнитные машины ударного действия (СЭМУД), так как они обеспечивают высокие КПД и удельную мощность.

Несмотря на относительную простоту конструкции СЭМУД, проходящие в них физические процессы довольно сложны и тесно взаимосвязаны, что обуславливает трудности их исследования и моделирования. В настоящее время существует большое количество теоретических и экспериментальных исследований различных частных конструкций синхронных электромагнитных машин. Для реализации всех потенциальных возможностей при практическом использовании СЭМУД необходимо обобщить опыт их исследований и развить их теорию, на основании которой разработать подходы к разработке и проектированию оптимальных конструкций СЭМУД для различных областей применения.

На основании вышеизложенного развитие общей теории, методов анализа и синтеза низкочастотных синхронных электромагнитных машин ударного действия, а в конечном итоге, создание и совершенствование СЭМУД для повышения эффективности технологических производственных процессов при взаимодействии с деформируемой средой представляется **актуальной научной проблемой**.

Краткая характеристика работы

Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения и основных выводов, списка использованной литературы, содержащем 244 источника, и четырех приложений.

Во *введении* кратко обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цели и задачи, определены область, объект и предмет исследования, перечислены методы исследования, сформулирована

научная новизна, показана теоретическая и практическая значимость работы, приводится информация о реализации и апробации результатов работы, сформулированы основные научные положения, которые выносятся на защиту.

В *первой главе* автор на основе анализа существующих циклических синхронных машин ударного действия и их технических показателей, требований к ним со стороны технологических машин предлагает основные варианты перспективных схем СЭМУД, которые защищены патентами на изобретения. Разрабатываются основные критерии для оценки экономичности линейных электромагнитных двигателей, их тепловой напряженности и возможных максимальных усилий. Показано, что рациональные значения конструктивных факторов целесообразно определять из анализа расчетных тяговых характеристик.

Во *второй главе* рассмотрены рабочие циклы СЭМУД при передаче энергии, проведен анализ процессов энергопреобразования за рабочий цикл. Результаты анализа рабочих циклов СЭМУД показывают возможность того, что можно получить импульсную механическую мощность, которая будет сопоставима или даже будет превышать импульсную мощность источника.

В *третьей главе* автором проводится анализ различных систем охлаждения электромагнитных машин с периодическим движением, разрабатывается математическая модель тепловых процессов в установившихся и переходных режимах. Представлены результаты численного анализа полученной тепловой математической модели. На основе полученных приближенных решений разработаны методики теплового расчета, которые могут использоваться при разработке новых виброударных электромагнитных преобразователей.

В *четвертой главе* рассматриваются электромеханические процессы, получены выражения для определения электромагнитных сил, дана комплексная оценка сил сопротивления. Большой интерес представляет

исследование влияния асимметрии магнитной системы на электромагнитные силы, а также разработанная модель обобщенной магнитной цепи с потерями. Расчет выполняется с использованием методов конечных элементов и методов анализа динамических систем.

В *пятой главе* разработаны математическая модель обобщенной много массовой электромеханической колебательной системы с возвратно-поступательным движением взаимодействующих между собой инерционных масс, связанных упругими связями и возбуждаемых периодической электродинамической силой. Разработаны и проведен анализ моделей как без, так и с ударным взаимодействием. Приведены результаты сравнения результатов моделирования и эксперимента.

В *шестой главе* предложен единый методологический подход к математическому описанию учитывающий взаимосвязи между электрической, магнитной, механической подсистемами электромагнитных синхронных двигателей. Проведен численный анализ полученных нелинейных обобщенных математических моделей. Получено хорошее совпадение результатов моделирования с экспериментальными данными.

В *заключении* по работе автор приводит основные результаты и выводы по работе.

В *приложениях А-В* приведены примеры расчетов по разработанным методикам, в *приложении Г* приведены акты внедрения научных результатов работы.

Научная и практическая ценность диссертационной работы

Теоретическая и практическая значимость работы заключается в следующем:

1. Развита общие подходы и теория силовых линейных синхронных электромагнитных машин для низкочастотных ударных технологий.

Разработанные подходы могут также использоваться при исследованиях других классов виброимпульсных электромеханических преобразователей.

2. На основе единого методологического подхода разработан комплекс математических моделей многомассовых электромеханических колебательных систем, позволяющих исследовать электромеханические процессы в переходных и установившихся режимах и обеспечивающих широкие возможности для анализа и синтеза. На основе математических моделей реализованы компьютерные модели (в MatLab Simulink), внедрение которых в практику проектирования позволит сократить сроки выполнения и повысить качество проектирования СЭМУД.

3. На основе качественного анализа рабочих циклов СЭМУД предложены принципы построения их конструктивных схем, обоснованы новые эффективные рабочие циклы и способы управления электромагнитных машин. Разработан комплекс технических решений на уровне изобретений, обеспечивающий повышение надежности, производительности, энергетических показателей, электромагнитной совместимости при питании от промышленных источников электроэнергии.

4. Разработаны методы оптимального проектирования СЭМУД, обеспечивающие наименьший расход активных материалов.

5. Разработаны инженерные методики расчета выходных параметров СЭМУД, обеспечивающих управление их тепловой нагрузкой в зависимости от начального перегрева в рабочем цикле машины.

Практическую ценность работы подтверждает, что работа выполнена в соответствии с планами и заданиями госбюджетных НИР. Основные результаты работы реализованы в виде макетных образцов, методик и компьютерных моделей, которые используются и внедрены на ряде предприятий и в учебный процесс НГТУ.

Оценка научной новизны исследований и полученных результатов

Научная новизна основных положений и выводов диссертационной работы Нейман Л.А. состоит в решении научно-технической проблемы, имеющей существенное значение для электротехнической отрасли в области создания и совершенствования силовых устройств для взаимного преобразования электрической энергии с целью повышения их энергетической эффективности и заключается:

1. Развита научная концепция синхронной электромагнитной импульсной системы, включающей линейный электромагнитный двигатель, устройства для импульсного преобразования и передачи механической энергии бойка с частотой вынужденных колебаний, кратной частоте 50 Гц промышленного однофазного источника, что повышает эффективность процесса электромеханического преобразования и передачи энергии.

2. Разработаны подходы, обеспечивающие в решении вопросов рационального проектирования линейных электромагнитных двигателей (ЛЭМД), а именно:

– разработана методика количественной и качественной оценки сравнения вариантов цилиндрических ЛЭМД одинакового объема и веса активных материалов с произвольной конфигурацией магнитной цепи, наиболее полно отражающая тенденции преимущественного выбора уже известных и новых вариантов схем;

– обоснована перспективность применения ранее известного метода для определения пределов рационального применения разновидностей ЛЭМД с использованием расчетных зависимостей показателя экономичности в функции показателя «конструктивный фактор», полученных с помощью конечно-элементного моделирования магнитного поля, что расширяет возможности и границы существующего метода и повышает качество результатов в задачах проектирования;

– впервые на примере расчета магнитного поля типовой конструкции цилиндрического ЛЭМД установлена количественная оценка степени влияния определяющих величин на значения показателя «конструктивный фактор»;

– выявлена целесообразность выбора ЛЭМД для привода СЭМУД вести по широко распространенному в практике значению показателя «конструктивный фактор».

3. На уровне изобретений предложены новые рабочие циклы и реализованы на их основе способы управления СЭМУД, разработаны новые технические решения, направленные на улучшение электромагнитной совместимости, повышение надежности, производительности, энергии удара и КПД, новизна которых подтверждена патентами на изобретения.

4. На основе баланса энергии электромеханической системы выполнен анализ энергопреобразовательных процессов за полный рабочий цикл СЭМУД, характеризующихся разными способами реализации возвратно-поступательного движения ударной массы бойка, поясняющих закономерности процессов преобразования электрической, энергии, что, развивает и дополняет фундаментальные положения теории импульсных электромагнитных систем и определяет научные основы для их создания и совершенствования.

5. Получены приближенные расчетные выражения и разработаны на их основе методики расчета СЭМУД, устанавливающие из условия допустимого нагрева и колебаний температуры в рабочем цикле связи между энергией и частотой ударов для различных режимов работы в зависимости от начального превышения температуры над температурой окружающей среды.

6. Дана количественная оценка силы одностороннего магнитного притяжения и ее отдельных компонент по отношению к движущей электромагнитной силе в зависимости от магнитной асимметрии сопрягаемых элементов конструкции магнитопровода электромагнитной машины и выработаны рекомендации по учету этой силы. Выполнена

модернизация известного на практике выражения по определению силы одностороннего магнитного притяжения, что расширяет возможности существующего метода расчета относительно установленных ранее ограничений по эксцентриситету.

7. Разработаны варианты моделей магнитной цепи с массивным магнитопроводом, позволяющие рассчитывать в нестационарных режимах потери мощности от вихревых токов в зависимости от закона формирования напряжения на входе электромеханического преобразователя и насыщения ферромагнитных участков. Реализованы на основе моделей алгоритмы расчета, обеспечивающие высокую вычислительную устойчивость с использованием методов структурного моделирования.

8. Разработаны математические и компьютерные модели многомассовых электромеханических колебательных систем с ЛЭМД, обеспечивающие широкие возможности для всестороннего анализа взаимосвязанных электромеханических процессов в различных режимах при возбуждении вынужденных периодических колебаний системы с частотой до 100 с^{-1} , сопровождаемых различного рода потерями энергии и зависящих от нелинейности магнитных характеристик, потоков рассеяния, степени подвижности инерционных масс, свойств упругих связей, внешних воздействий, с большим набором входных и выходных переменных, реализованные методами структурного моделирования.

9. Разработан единый методологический подход к математическому описанию различных вариантов схем СЭМУД и созданию их компьютерных моделей, наиболее точно отражающих динамическое состояние электромеханической системы с потерями энергии при возбуждении периодических ударных импульсов сил, что обеспечивает широкие возможности анализа и синтеза моделей методами структурного моделирования с большим набором входных и выходных переменных.

Научные положения, выносимые автором на публичную защиту, несомненно, обладают признаками научной новизны и соответствуют поставленной цели и задачам диссертационного исследования.

**Соответствие диссертации и автореферата
паспорту специальности**

05.09.01– Электромеханика и электрические аппараты

Диссертация и автореферат соответствуют формуле специальности и областям исследования паспорта научной специальности 05.09.01 – Электромеханика и электрические аппараты (технические науки).

Автореферат в полной мере отражает основные положения диссертационной работы.

**Степень обоснованности
научных положений, выводов и рекомендаций**

Достоверность результатов, приведенных в работе, не вызывает сомнений. В диссертации применяются и развиваются общепринятые подходы к моделированию электромеханических систем, используется строгий математический аппарат, предлагаемые методы и алгоритмы апробированы на практике. Проведены экспериментальные исследования, которые подтверждают адекватность и точность разработанных теоретических моделей. Результаты работы внедрены и используются на практике.

**Личный вклад соискателя в разработку научной задачи,
апробация работы и подтверждение опубликования
основных положений работы**

Приведенные в диссертации результаты являются составной частью научных и исследовательских работ в соответствии с планами и заданиями госбюджетных НИР в рамках реализуемой в различные годы программы

стратегического развития НГТУ по приоритетным направлениям развития науки, тематического плана НИР НГТУ, а также обусловили их востребованности заинтересованными организациями г. Новосибирска в виде практических разработок и методик проектирования, выполненные при непосредственном участии автора.

Автору принадлежит постановка и решение задач данного исследования, обоснование и разработка положений, определяющих научную новизну теоретическую и практическую значимость работы; разработка математических и компьютерных моделей; анализ и обобщение результатов теоретических и практических исследований; изложение основных выводов и заключения по работе.

В период с 2008 по 2017 г.г. основные теоретические положения и результаты диссертационного исследования неоднократно докладывались и обсуждались на международных и всероссийских научно-технических конференциях различного уровня.

По теме представленной диссертации автором опубликовано 90 работ, в том числе, 37 статей в российских рецензируемых журналах, входящих в перечень ВАК РФ, 9 статей в зарубежных изданиях, индексируемых ведущими международными базами WoS и Scopus, а также 8 патентов на изобретения и 1 патент на полезную модель.

В диссертации сделаны необходимые ссылки и отмечены результаты использования научных работ, выполненные автором лично или в соавторстве.

Замечания

В целом работа выполнена и оформлена очень хорошо. Однако есть ряд замечаний.

1. Например, в таблице 1.2 (с.39) нарушены условности графических изображений, отсутствует нумерация или указания элементов, что несколько затрудняет восприятие параграфа 1.2.

2. Во второй главе при качественном анализе рабочих циклов СЭМУД используется термин «полная синхронизация в работе ...», «согласованность в работе ...» (см. например, внизу с.87). На мой взгляд, в данной главе было бы уместно пояснить, почему данные условия согласования нельзя было бы назвать некоторым резонансным режимом в рассматриваемом электромеханическом преобразователе? Такие сравнение и пояснения с хорошо известными резонансными явлениями, на мой взгляд, обогатили бы фундаментальную сторону работы.

3. В четвертой главе приводятся структурные модели, реализованные в среде MatLab Simulink, и результаты моделирования. При этом не приводятся сведения о настройках данной среды, которыми определяется адекватность и точность расчетов - тип решателя, постоянный или переменный шаг, точность и др. Аналогичное замечание можно высказать и по представлению результатов моделирования в МКЭ программах – приводятся лишь расчетные области и результаты моделирования, подробности же настройки областей, граничных условий и решателя остаются «за кадром». В тоже время, именно эти настройки модели представляют большой интерес, так как их выбором во многом определяются результаты моделирования.

4. На с. 221 – 225 используется наименования блоков: «Subsystem-1» и «Subsystem-2». На мой взгляд, было бы удобнее использовать не даваемые системой по умолчанию названия блоков, а названия, отражающие функциональное назначение соответствующего блока, например, «Учет потерь». Кроме того, на рис. 4.30-4.33 используется блок «CRMS», про который нигде в тексте нет пояснений. После изучения главы, становится ясно, что это блок вычисления ЭДС по формуле на с. 222. Однако не вполне ясно – используется ли стандартный блок MatLab или блок разработан автором? При наличии указанных пояснений материал главы воспринимался бы гораздо лучше, особенно с учетом того, что набор стандартных блоков MatLab изменяется от версии к версии.

5. Запись формулы (5.17) с формальной математической точки зрения не корректна, так как формула определяет функцию $x_1(t)$ как разрывную и определенную только для ряда моментов времени, в то время, как автор, очевидно имел в виду, что $x_1(t)$ принимает граничные значения в определенные моменты времени.

Заключение

Отмеченные недостатки не оказывают существенного влияния на общий уровень и оценку диссертационной работы. Она выполнена на высоком научном уровне. Содержание диссертации и автореферата полностью соответствует ее названию и паспорту научной специальности 05.09.01– Электромеханика и электрические аппараты. Основные выводы и заключение сформулированы достаточно полно и отражают суть полученных результатов исследований.

Результаты и выводы, полученные Нейман Л.А. в диссертации, свидетельствуют о том, что на основании выполненных автором исследований разработаны теоретические положения, совокупность которых можно квалифицировать как решение комплексной научно-технической проблемы имеющей важное хозяйственное значение для электротехнической отрасли, в области создания и совершенствования низкочастотных синхронных электромагнитных машин ударного действия, направленной на повышение эффективности процесса электромеханического преобразования и передачи энергии в технологических производственных процессах при взаимодействии с деформируемой средой.

Диссертация написана автором самостоятельно, обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и положения, выдвигаемые для публичной защиты, свидетельствует о личном вкладе автора диссертации в науку. Основные положения диссертации достаточно

полно отражены в публикациях автора в изданиях, рекомендованных ВАК РФ. Предложенные новые решения в достаточной степени аргументированы по сравнению с известными решениями.

Считаю, что диссертационная работа Нейман Л.А. «Линейные синхронные электромагнитные машины для низкочастотных ударных технологий» удовлетворяет критериям п.п. 9–14 положения ВАК «О порядке присуждения ученых степеней». Автор работы Нейман Людмила Андреевна заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 05.09.01 – Электромеханика и электрические аппараты.

Официальный оппонент,
профессор кафедры «Электромеханика»,
Федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего образования
«Уфимский государственный авиационный
технический университет»,
доктор технических наук, доцент

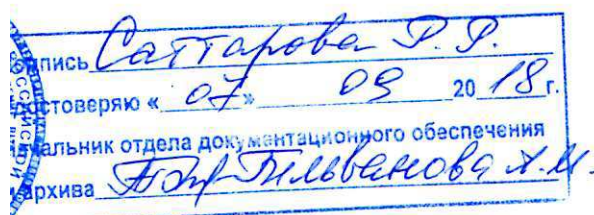
Саттаров Роберт Радикович

Дата: «7» сентября 2018 г.

Докторская диссертация защищена по специальности 05.13.05 – «Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления»

ФГБОУ ВО «Уфимский государственный
авиационный технический университет»
450008, г. Уфа, ул. К. Маркса, д. 12.
Тел. +7 (347)273-77-87
e-mail: sattar.rb@gmail.com

*Отзыв получен 11.09.18
М.Р. Давло М.А.*



С отзывом ознакомлена 25.09.18г. Меймар / Нейман Л.А. /