

ОТЗЫВ

официального оппонента доктора технических наук,
профессора Аипова Рустама Сагитовича на диссертационную работу
Мошкина Владимира Ивановича на тему «Импульсные линейные электромаг-
нитные двигатели для технологий с высококонцентрированными потоками
энергии», представленной на соискание ученой степени доктора технических
наук по специальности: 05.09.01 – Электромеханика и электрические аппараты

1 АКТУАЛЬНОСТЬ ИЗБРАННОЙ ТЕМЫ

Работа посвящена исследованию и разработке силовых электромагнитных импульсных систем (СЭМИС) с магнитным накоплением энергии и применению их в электромеханике для различных технологических процессов, в том числе и с высококонцентрированными потоками энергии, например, для электротехнологий в сварочном производстве. Эти системы, в которые входит импульсный линейный электромагнитный двигатель (ЛЭМД), обеспечивают наилучшие условия совместимости и интеграции приводного двигателя и рабочего органа машины и поэтому наиболее перспективны. Особенность технологических процессов с высококонцентрированными потоками энергии – это обычно стесненные производственные условия и повышенная температура окружающей среды. Так как обрабатываемый материал еще нагрет и находится в вязко-пластичном состоянии, то от импульсного ЛЭМД, как исполнительного органа, требуются сравнительно невысокие значения энергии рабочего хода и тягового усилия.

Импульсные ЛЭМД имеют предельно простую конструкцию и относятся к импульсным электромеханическим преобразователям электромагнитного типа и представляют собой самостоятельный класс специальных электрических машин, обладающих рядом специфических свойств: ограниченностью механического перемещения якоря, дискретным энергопреобразованием, циклическим характером работы. Такие машины мало исследованы и привлекают внимание специалистов новыми свойствами и неплохими энергетическими показателями,

такими как удельная энергия рабочего хода, повышенный КПД, надежность в работе. Однако разработка и внедрение энергоэффективных импульсных ЛЭМД требует более глубокого понимания процессов энергопреобразования как на стадии электромагнитного, так и на стадии магнитомеханического преобразования энергии в таком двигателе. Достигнутый уровень удельных энергетических показателей таких двигателей не всегда достаточен. Для реализации технологических процессов с применением импульсных ЛЭМД необходимо снизить электрические и магнитные потери двигателя, то есть повысить его КПД, а также повысить энергоэффективность двигателя, то есть его удельные энергетические и силовые показатели.

Поиск путей и способов дальнейшего повышения удельных энергетических и силовых показателей импульсных ЛЭМД говорит о своевременности и несомненной актуальности научного исследования Мошкина В.И.

2 СТЕПЕНЬ ОБОСНОВАННОСТИ НАУЧНЫХ ПОЛОЖЕНИЙ, ВЫВОДОВ И РЕКОМЕНДАЦИЙ, СФОРМУЛИРОВАННЫХ В ДИСЕРТАЦИИ

В диссертации двенадцать выводов.

Первый вывод, в котором установлены требования к значениям механической энергии и частот воздействия для широкого спектра технологических процессов, представляется достоверным и новым, так как основан на результатах производственного опыта, патентном поиске и анализе литературных источников.

Второй, третий и четвертый выводы, в которых определены области допустимых сочетаний геометрических параметров МС интегрированного ЛЭМД, оптимальные геометрические параметры и соотношения основных размеров МС ЛЭМД по критериям «удельная интегральная механическая работа» и «удельное тяговое усилие», получены аналитически и используются другими исследователями, подтверждены математическим моделированием, экспериментами и представляются достоверными.

В пятом и шестом выводах выявлены факторы, влияющие на обобщен-

ный конструктивно-режимный параметр Θ_n , определяющий значения основных выходных параметров конструктивной схемы ЛЭМД. Полученные выводы достоверны, так как базируются на аналитической оценке.

Седьмой вывод, в котором обоснованы критерии разграничения электро-механических режимов по интенсивности энергетической эффективности импульсных ЛЭМД, достоверен и базируется на аналитической оценке.

Восьмой вывод, в котором получены основные электро-механические характеристики ЛЭМД для эффективных энергетических режимов при различных состояниях МС, достоверен и базируется на аналитической оценке.

Девятый вывод о разработанных методах проектного расчета ЛЭМД для широкого диапазона тяговых усилий, энергий и частот воздействия на технологический объект достоверен и используется другими исследователями.

Десятый вывод о способе передачи дополнительной магнитной энергии в рабочие зазоры импульсного ЛЭМД, защищенном патентами РФ на изобретение, достоверен и подтвержден математическим моделированием.

Одиннадцатый вывод об обладающих повышенными динамическими, силовыми и энергетическими показателями схемных и конструктивных решениях импульсных ЛЭМД развивает положения девятого и десятого выводов. Его достоверность и новизна подтверждаются патентами на изобретения и актами внедрения.

Двенадцатый вывод, в котором обоснованы области допустимой работы ЛЭМД, исходя из заданного уровня колебаний напряжения, вызванного работой линейного электромагнитного привода, при питании его от электрических сетей промышленных предприятий и силовых трансформаторов, достоверен, базируется на аналитической оценке и подтверждается другими исследователями.

В целом, выводы достоверны, обладают новизной и практической значимостью.

3 ДОСТОВЕРНОСТЬ И НОВИЗНА ИССЛЕДОВАНИЯ, ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ, ВЫВОДОВ И РЕКОМЕНДАЦИЙ, СФОРМУЛИРОВАННЫХ В ДИССЕРТАЦИИ

Достоверность исследований подтверждается применением всесторонне апробированных методов и удовлетворительной сходимостью результатов теоретических, экспериментальных исследований и методов конечно-элементного моделирования магнитного поля в программном продукте ELCUT разработанных импульсных линейных электромагнитных двигателей, а также совпадением отдельных результатов с данными других авторов.

О научной новизне говорят следующие научные результаты, впервые полученные автором в процессе выполнения работы:

- установлены геометрические соотношения основных размеров магнитных систем (МС) броневых ЛЭМД цилиндрической структуры с двумя рабочими зазорами и определены оптимальные геометрические параметры таких двигателей исходя из минимума объема активных материалов;

- теоретически обоснован и практически подтвержден факт уменьшения энергии удара импульсного ЛЭМД в случае ввода сторонней механической энергии в электромеханическую систему при совпадении направлений тягового усилия и скорости движения якоря;

- выявлено влияние режимных и конструктивных параметров ударных машин с однообмоточными ЛЭМД, выполненных по конструктивным схемам с возвратной и накопительной пружинами, на их энергетические и динамические показатели. Установлено, что первая схема превосходит вторую по частоте ходов, однако уступает ей по энергии удара и ударной мощности;

- впервые установлены граница и область допустимых сочетаний геометрических параметров элементов МС интегрированного ЛЭМД с учетом магнитного состояния их отдельных конструктивных элементов (ферромагнитного направляющего корпуса и удерживающей площадки), определяющих диапазон изменения усилия удержания якоря.

Новизна диссертационной работы Мошкина В.И. также заключена в выявленных энергоэффективных режимах импульсного ЛЭМД и соотношении между его интегральной механической работой и энергией рабочего хода; в предложенных магнитных системах импульсных ЛЭМД, имеющих повышенные удельные силовые и энергетические показатели; способе передачи дополнительной магнитной энергии потоков рассеяния в рабочие зазоры импульсного ЛЭМД и подтверждена одним авторским свидетельством СССР и 13 патентами РФ на изобретения.

Значимость для науки и практики, полученных автором результатов заключается:

- в использовании энергетических режимов импульсного ЛЭМД, которые позволяют увеличить его удельную механическую работу в два и более раза;
- в разработке инженерных методик определения геометрических размеров ЛЭМД с заданными полезной работой и тяговым усилием;
- в разработке новых конструкций магнитных систем ЛЭМД, позволяющие в 1,5...2 раза повысить удельные значения тягового усилия и механической энергии двигателей, расширить их функциональные возможности и область применения.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации

В работе приведены результаты фундаментальных научных исследований энергопреобразования в импульсных ЛЭМД. Была использована научная гипотеза о соотношении между энергией удара A_y и интегральной работой A_n электромагнитного двигателя. Это позволило создать методику предварительного расчета импульсного ЛЭМД по заданной энергии рабочего хода; сравнить на этапе проектирования различные конструктивные схемы импульсных ЛЭМД по энергетическим и динамическим характеристикам.

Разработанные машины и оборудование с импульсными ЛЭМД, обладающие повышенными удельными силовыми и энергетическими показателями, рекомендованы к внедрению в машиностроении, литейном и металлургическом производствах, на операциях локального вытеснения металла при наплавке, на

операциях терморезания при восстановлении железнодорожных колесных пар, снятие механических напряжений после наплавочных операций серий ударов, впрыск ингибиторов в паропровод высокого давления тепловых электростанций и других операциях с высококонцентрированными потоками энергии.

4 ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ И ЕЕ ЗАВЕРШЕННОСТИ

Диссертационная работа Мошкина Владимира Ивановича на тему «Импульсные линейные электромагнитные двигатели для технологий с высококонцентрированными потоками энергии» является законченным научным исследованием, выполненным автором лично.

Структура и объем диссертации соответствуют требованиям, предъявляемым к работам на соискание ученой степени доктора технических наук.

Диссертация состоит из введения, 7 глав, заключения, списка литературы из 233 наименований и приложения. Материал работы изложен на 361 странице, включая 125 рисунков и 14 таблиц.

Во введении дана краткая характеристика рассматриваемой проблемы, обосновывается актуальность и практическая значимость работы, представлены положения, выносимые на защиту.

В первой главе рассмотрены импульсные технологические процессы и их основные параметры, проанализированы эффекты импульсных механических воздействий, определены предельные показатели линейных приводов. На основе сравнительного анализа выявлено преимущество в общем КПД для привода с импульсным ЛЭМД, установлены требования к значениям механической энергии и частот воздействия для широкого спектра технологических процессов, реализуемых ЛЭМД: механическая энергия $1...5 \cdot 10^4$ Дж, частоты $0,1...100$ Гц, доказана возможность использования ЛЭМД в составе оборудования для удовлетворения требований импульсных технологий.

Вторая глава посвящена оптимизации геометрических параметров МС цилиндрических импульсных ЛЭМД с интегральными функциями: с двумя ра-

бочими зазорами и комбинированным якорем, с неферромагнитным направляющим корпусом и ферромагнитным. На основе принципа укорочения длины МС возможно повышение удельных силовых показателей импульсных ЛЭМД на 30...50% при соответствующей коррекции продолжительности включения двигателя. Для интегрированного ЛЭМД установлены области допустимых сочетаний площади поперечного сечения верхнего магнитного шунта и удерживающей поверхности, что позволило определить и изменять усилие удержания якоря.

В третьей главе рассмотрена энергетическая структура электромеханического преобразователя электромагнитного типа, состоящая из трех последовательно включенных подсистем: электрической, магнитной и механической. Здесь же обоснована необходимость концентрации в рабочих зазорах магнитной энергии при неподвижном якоре. Показано, что при изменении обобщенного режимно-конструктивного параметра Θ_n , например, от 45° до 20° , что соответствует переходу от одноззорных конструкций МС к многоззорным, максимально возможная величина накопленной на этапе трогания магнитной энергии возрастает более чем в 3 раза. Установлено, что предельная механическая работа двигателя зависит от степени насыщения материала магнитопровода и начальной индуктивности L_H . Для редкоударных электромагнитных машин выявлены преимущества способа статического нагружения двигателя, тогда как для частоударных машин – предпочтительнее способ динамического нагружения.

В четвертой главе исследуются режимы электромеханического преобразования. Получены в обобщённом виде количественные соотношения между электрической, магнитной и механической энергиями при их взаимном преобразовании для энергетических режимов импульсных электромеханических преобразователей электромагнитного типа с ненасыщенной магнитной системой. Выявлены энергетические режимы, обеспечивающие высокую стабильность энергии удара и быстроедействие.

Пятая глава посвящена расчету параметров импульсных ЛЭМД на основе взаимных соотношений, когда в качестве исходных данных используются статические тяговые характеристики импульсного ЛЭМД и противодействующие характеристики нагрузки. Впервые получено обобщенное соотношение между энергией рабочего хода и интегральной работой применительно к каждому энергетическому режиму, по которому работает импульсный ЛЭМД. Определены границы области минимального статического тягового усилия, исключаящие генераторный эффект в двигательном режиме для конструктивных схем молота двойного действия и многосекционной машины в период рабочего хода. Получены энергетические и динамические параметры конструктивных схем однообмоточных ЛЭМД с возвратной пружиной и пружинным накопителем. Выявлена предпочтительность конструктивной схемы однообмоточного ЛЭМД с пружинным накопителем по энергетическим характеристикам и их стабильности, которую можно рекомендовать для привода вакуумных выключателей.

В шестой главе рассмотрены рабочие процессы импульсных ЛЭМД с повышенными силовыми и энергетическими показателями для технологий с высококонцентрированными потоками энергии. Нагружение импульсного ЛЭМД в приводе редкоударных машин позволяет увеличить удельную энергию удара до 9 Дж/кг и выше и его КПД в 2 и более раза. Предложен способ передачи дополнительной магнитной энергии, обусловленной полями рассеяния магнитной системы двигателя, в его рабочие зазоры. Такое перераспределение значительной части магнитной энергии, связанной с полями рассеяния импульсного ЛЭМД и его устройства удержания, позволяет увеличить механическую энергию рабочего хода на 30-35%.

В седьмой главе рассмотрены конструктивные и схемные решения технологического оборудования с ЛЭМД. Автором предложены импульсные ЛЭМД для ресурсосберегающих технологий с высококонцентрированными потоками энергии, среди которых доминируют процессы плазменной (дуговой) наплавки обработки по принципу безотходного терморезания, например, при восстановлении

колесной пары железнодорожного вагона. Введение сравнительно небольшой механической энергии с помощью импульсного ЛЭМД в такие технологические процессы позволяет упростить эти операции за счет возможности их совмещения.

5 ОФОРМЛЕНИЕ ДИССЕРТАЦИИ И ЕЕ РЕДАКТИРОВАНИЕ

Рецензируемая диссертация написана ясным языком с использованием общепринятой технической терминологии, четко структурирована. Диссертационное исследование имеет внутреннее единство, материал логически выдержан и представляется завершенным в рамках поставленных задач. Материалы исследований сопровождаются схемами и рисунками. В тексте встречаются опечатки. В целом, оформление работы следует признать хорошим.

6 ПОЛНОТА ОПУБЛИКОВАНИЯ ОСНОВНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ РАБОТЫ В НАУЧНОЙ ПЕЧАТИ И СООТВЕТСТВИЕ АВТОРЕФЕРАТА ДИССЕРТАЦИИ

Основное содержание диссертации опубликовано в 81 научных работах 19 из них соответствуют перечню журналов и изданий, рекомендованных ВАК РФ. Опубликованные работы достаточно полно отражают основное содержание диссертации.

Автореферат раскрывает основные положения диссертации в последовательности, соответствующей основной работе; содержание выводов не имеет отклонений от приведенных в диссертации, а опубликованные по теме диссертации работы отражают ее основное содержание достаточно полно.

6 ЗАМЕЧАНИЯ ПО ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЕ В ЦЕЛОМ

1. Не ясно, почему ударная мощность электромагнитной машины, выполненной по конструктивной схеме однообмоточного ЛЭМД с возвратной пружиной (Рисунок 5.27 а), имеет экстремум, а такая же ударная мощность машины, выполненной по конструктивной схеме однообмоточного ЛЭМД с накопи-

тельной пружины (Рисунок 5.21), монотонно растет с увеличением жесткости соответствующей пружины.

2. Чем обусловлено последовательное включение обмоток возбуждения и удержания перед их параллельным соединением (Рисунок 6.6)? А каким должно быть их включение между собой, согласно или встречно?

3. В п. 7.4 установлены границы и области допустимого изменения параметров схемы замещения импульсного ЛЭМД при питании его от электрической сети с силовыми трансформаторами типа ТМ. Однако из работы не ясно, как сохранить допустимый уровень колебания напряжения в случае, если параметры двигателя выйдут за пределы этой области.

4. В диссертации не приведены примеры ценовых показателей экономической эффективности от внедрения импульсных ЛЭМД в технологические процессы.

5. Не совсем ясно отсутствие в работе сравнительных графиков зависимостей полученных теоретически и экспериментально.

Сделанные замечания не влияют на положительную оценку диссертационной работы.

7 ЗАКЛЮЧЕНИЕ О СООТВЕТСТВИИ ДИССЕРТАЦИИ КРИТЕРИЯМ, УСТАНОВЛЕННЫМ ПОЛОЖЕНИЕМ О ПОРЯДКЕ ПРИСУЖДЕНИЯ УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ

Диссертационная работа Мошкина Владимира Ивановича на тему «Импульсные линейные электромагнитные двигатели для технологий с высококонцентрированными потоками энергии», является научно-квалифицированной работой, выполненной автором на высоком научном уровне, в котором изложены новые научно-обоснованные исследования и технические решения, направленные на развитие и решение научно-технической проблемы создания импульсных линейных электромагнитных двигателей для технологий с высококонцентрированными потоками энергии в машиностроении, строительстве, литейном производстве, в швейной отрасли, радиоэлектронной промышленности,

что позволяет повысить производительность труда, снизить потребление энергии, высвободить производственные площади, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие страны, что соответствует требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 05.09.01 - Электромеханика и электрические аппараты.

Официальный оппонент: профессор, доктор технических наук, 05.20.02 – Электротехнологии и электрооборудование в сельском хозяйстве, профессор кафедры электрических машин и электрооборудования ФГБОУ ВО Башкирский государственный аграрный университет, 450001, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. 50-летия Октября, д. 34.
Тел.: (347) 228-36-55
E-mail: aipovrs@mail.ru

/Аипов Р.С./

28.02.2018

