



## 2 Актуальность избранной темы

Диссертационная работа Мошкина Владимира Ивановича посвящена очень актуальной теме исследования процессов электромеханического преобразования энергии в импульсных линейных электромагнитных двигателях (ЛЭМД).

Обычно для реализации возвратно-поступательного движения рабочего органа по линейной траектории с помощью традиционных электродвигателей между рабочим органом и приводным двигателем ставится дополнительное механическое устройство, преобразующее вращательное движение в возвратно-поступательное, что увеличивает габариты, стоимость и снижают надежность всего устройства.

Создание привода непосредственно возвратно-поступательного движения позволяет вводить в рабочую зону технологического объекта концентрированные потоки механической энергии высокой плотности в импульсной форме. Такой привод в своей структуре содержит главный силовой элемент – электрический двигатель возвратно-поступательного движения, наилучшим образом согласованный по роду движения с рабочим органом машины.

Импульсный подвод энергии в ряде случаев имеет значительные преимущества перед непрерывным характером энергопотребления технологическим объектом. В связи с этим возникает комплекс теоретических, экспериментальных, расчетных и инженерных задач по совершенствованию существующих и созданию новых импульсных электрических приводов возвратно-поступательного движения.

Технологические процессы с высококонцентрированными потоками энергии характеризуются повышенной температурой окружающей среды и стесненными производственными условиями. Для реализации таких технологических процессов с помощью импульсных ЛЭМД необходимо повышать их энергоэффективность, то есть повысить удельные энергетические и силовые показатели двигателя и его КПД. Очевидно, что такие требования актуальны для импульсных ЛЭМД, используемых и в других технологиях. Однако технологии с высококонцентрированными потоками энергии дают наибольший эффект, поскольку в этом случае от двигателя требуются сравнительно невысокие абсолютные значения энергии рабочего хода и тягового усилия. Для расширения технологических возможностей машин ударного действия с импульсными ЛЭМД необходимо регулирование их

выходных параметров: энергии удара (полезной работы), частоты ходов, тягового усилия.

Анализ энергоёмкости различных импульсных технологических процессов показывает, что достигнутый и требуемый уровни удельной энергии удара в электромагнитных машинах ударного действия позволяет применять импульсные ЛЭМД для решения практических задач. Это свидетельствует о необходимости дальнейшей работы по поиску путей и способов повышения удельных энергетических и силовых показателей импульсных ЛЭМД. По названным причинам тема диссертации Мошкина В.И., связанная с исследованием и разработкой импульсных ЛЭМД, **является актуальной.**

### **3 Новизна исследования и полученных результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.**

Новизна диссертационной работы Мошкина В.И. заключена в выявленных энергоэффективных режимах импульсного ЛЭМД и соотношении между его интегральной механической работой и энергией рабочего хода; в предложенном новом способе передачи дополнительной магнитной энергии потоков рассеяния в рабочие зазоры импульсного ЛЭМД, конструкция которого защищена двумя изобретениями, позволяющем повысить его механическую энергию на 30–35%.

В процессе выполнения работы автором также получены следующие новые научные результаты:

- определены оптимальные геометрические параметры цилиндрического ЛЭМД с двумя рабочими зазорами исходя из минимума объема активных материалов;

- теоретически и экспериментально обоснованы условия укорочения длины магнитной системы импульсных ЛЭМД продольного и поперечного поля;

- 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 ударной машины с известным однообмоточным ЛЭМД и возвратной пружиной на его пре-

дельную ударную мощность, для ее повышения предложен разработанный двух-обмоточный двигатель.

- впервые установлены области допустимых сочетаний геометрических параметров элементов магнитных систем интегрированного ЛЭМД;

- разработаны на уровне изобретений конструкции импульсных ЛЭМД с двумя рабочими зазорами, имеющие повышенные в сравнении с известными удельные силовые и энергетические показатели;

- разработаны на уровне изобретений устройства питания и управления (УПУ) ЛЭМД, обеспечивающие надежную и экономичную работу с регулированием энергии удара и частоты ходов, а также стабилизацию энергии удара при изменении напряжения источника.

В целом можно отметить, что разработанные на уровне изобретений конструкции импульсных ЛЭМД обладают **научной новизной** и представляют **практическую ценность** для исследования рассматриваемых машин.

**4 Значимость для науки и производства полученных автором диссертации результатов** заключается:

в использовании эффективных энергетических режимов импульсного ЛЭМД, позволяющих увеличить его удельную механическую работу (энергию удара) в два и более раза;

- в разработке новых конструкций магнитных систем ЛЭМД: с укороченной длиной магнитной системы продольного и поперечного поля, с ферромагнитным направляющим корпусом, с встроенным в магнитную систему устройством удержания якоря, позволяющие в 1,5...2 раза повысить удельные значения тягового усилия и механической энергии двигателей, расширить их функциональные возможности и область применения;

- в определении областей допустимых изменений параметров импульсных ЛЭМД, исключаящих их влияние на питающую сеть;

- в разработке инженерных методик определения геометрических размеров ЛЭМД продольного магнитного поля с заданными полезной работой и тяговым усилием;

- в разработке и испытании в лабораторных и производственных условиях различных конструкций импульсных ЛЭМД и созданных на их основе электромагнитных машин для технологий с высококонцентрированными потоками энергии, защищенных патентами на изобретения.

### **5 Реализация результатов работы:**

- разработаны и внедрены машины и оборудование с импульсными ЛЭМД в машиностроении, литейном и металлургическом производствах, строительстве, на железнодорожном транспорте и др.: на операциях локального вытеснения металла при наплавке (сварочные производства промышленных предприятий), на операциях терморезания при восстановлении железнодорожных колесных пар (может быть рекомендовано таким предприятиям, как НПК «Уралвагонзавод», г. Н. Тагил и вагоноремонтный цех ШААЗ, г. Шадринск);

- разработанные методы проектирования и моделирования импульсных ЛЭМД продольного и поперечного поля внедрены в учебный процесс КГУ в виде научных монографий и учебных пособий по дисциплинам «Введение в специальность», «Электрические машины», «Преобразовательная техника в электроприводе», «Электротехнологические промышленные установки» для студентов направления 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника».

### **6 Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и заключений**

**Методы исследования** базировались на применении фундаментальных законов и уравнений электродинамики и теории электрических и магнитных цепей, теории электрических машин и автоматизированного электропривода. Поиск количественных соотношений между исследуемыми параметрами осуществлялся с помощью аналитических методов математического анализа и численных методов решения задач. Для ускорения решения поставленных задач использовались программы MathCad, Statistica, для математического моделирования магнитных систем импульсных ЛЭМД использовалась программа Elcut.

**Достоверность** полученных результатов исследований определялась корректностью постановки задач, обоснованностью принятых допущений и адекватностью используемых математических моделей, а также степенью совпадения теоретических и практических результатов, полученных экспериментально на ре-

альных моделях импульсных ЛЭМД в лабораторных и производственных условиях с использованием специально разработанных стендов и методик.

## **7 Оценка содержания диссертации, ее завершенность в целом, замечания по оформлению**

Диссертация написана ясным языком, грамотно, структурирована, содержит значительное количество рисунков и таблиц, помогающих понять суть изложения. Основные положения диссертационной работы апробированы, доложены и одобрены на 19 научных и научно-практических конференциях.

Результаты теоретических и экспериментальных исследований достаточно полно отражены в научной печати. По материалам диссертационной работы опубликована 81 научная работа. В их числе 4 монографии и 19 статей в ведущих рецензируемых научных журналах и изданиях, определенных ВАК. Получено 1 авторское свидетельство СССР и 13 патентов РФ на изобретения. Результаты исследований отражены в 3 отчетах по г/б НИР и отчете о проведении фундаментальных исследований в рамках выполнения базовой части государственного задания МОН РФ № 2014/77 по теме № 8.2654 «Исследование энергоэффективных импульсных линейных электромагнитных двигателей».

## **8 Соответствие реферата основным положениям диссертации**

Автореферат полностью отражает содержание диссертационной работы, содержит информацию об основных положениях и выводах диссертации, позволяет сделать заключение о научном и техническом уровне работы.

## **9 Замечания**

1. В главе 2 при расчете геометрических параметров импульсного ЛЭМД его основной размер – радиус втяжной части якоря  $r_1$  (формула 2.24) определен без учета характеристики противодействующего усилия, что, на наш взгляд, снижает точность расчетов.

2. Из материалов второй главы диссертации и из автореферата не ясно, какие конструктивные элементы интегрированного ЛЭМД оказывают самое существенное влияние на начальное тяговое усилие – усилие удержания.

3. На энергетической структуре электромеханического преобразователя электромагнитного типа (рисунок 3.2 на стр. 93 диссертации и рисунок 10 автореферата) показаны 16 энергетических режимов. Требуется пояснить, чем обуслов-

лено появление «совмещенного режима» (например, это энергетический режим 1 для двигательного режима импульсного ЛЭМД). Насколько нам известно, в асинхронном двигателе или в двигателе постоянного тока такой режим отсутствует.

4. На рисунке 3.8 диссертации и на рисунке 13 автореферата приведена зависимость предельной механической работы  $A_{\text{пред.}}$  импульсного ЛЭМД от режимно-конструктивного параметра  $\Theta_n$  для конструкционной стали Ст3, из которой изготовлен магнитопровод ярма и якоря. Но для изготовления магнитопровода импульсного ЛЭМД возможно использовать и другие конструкционные стали, например, стали Ст10, Ст20, а также электротехнические стали. Поясните, как в этом случае изменится предельная механическая работа такого двигателя.

5. В автореферате формула (17) не соответствует механической мощности энергетического режима 4  $P_{\text{мех}}(x)_{(4)}$  для коэффициента восстановления магнитной энергии  $k_b=0$ , хотя в тексте диссертации такой ошибки нет.

6. В тексте диссертации нет четких рекомендаций, когда при предварительном расчете импульсного ЛЭМД для определения его энергии удара целесообразно использовать формулу (5.1), а когда – (5.5).

Замечания по работе не снижают достоинств диссертационной работы, выполненной на высоком научном уровне.

## 10 Заключение

Задачи, поставленные в диссертационной работе, связанные с повышением удельных силовых и энергетических показателей импульсных ЛЭМД для технологий с высококонцентрированными потоками энергии, решены. Диссертация соответствует паспорту научной специальности 05.09.01 – Электромеханика и электрические аппараты.

По объему научных исследований, их научной и практической значимости диссертация Мошкина В.И. удовлетворяет требованиям, предъявляемым к научно-квалификационным работам на соискание ученой степени доктора технических наук. Таким образом, диссертация Мошкина Владимира Ивановича является законченной научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований изложен комплекс новых научно обоснованных технических решений, 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 технических наук, а ее автор заслуживает присуждения искомой ученой степени по специальности 05.09.01 – Электромеханика и электрические аппараты.

Работа обсуждалась на научном семинаре кафедры, по результатам которого был составлен отзыв на диссертационную работу.

Отзыв рассмотрен и одобрен на заседании кафедры «Электротехника и электро-механика» Пермского национального исследовательского политехнического университета « 15 » февраля 2018 года (протокол № 13 ).

Заведующий кафедрой  
«Электротехника и электромеханика»  
ПНИПУ, доцент,  
доктор технических наук

 Кавалеров Борис Владимирович

Подпись Кавалерова Бориса Владимировича удостоверяю

Ученый секретарь ПНИПУ

  
В.И. Макаревич

Адрес организации: 614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29

Тел./факс: +7 (342) 219-86-61

E-mail: [kbv@pstu.ru](mailto:kbv@pstu.ru)