

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Каргина Виталия Александровича «Повышение эффективности технических средств для процессов и технологий АПК использованием машин с линейным электромагнитным приводом», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по научной специальности 05.20.02 – Электротехнологии и электрооборудование в сельском хозяйстве

**Актуальность темы.** Одной из тенденций развития специальных электрических двигателей является их сращивание с рабочими машинами и механизмами. Среди таких электромеханических преобразователей энергии можно выделить линейные электродвигатели, которые могут составлять основу электроприводов современных технологических машин для АПК, использующих поступательные, возвратно-поступательные или колебательные движения. В представленной диссертации рассматриваются линейные электромагнитные двигатели (ЛЭМД) и электроприводы технологических машин на их основе. В диссертации обобщается многолетний опыт автора по разработке и созданию таких электроприводов и установок. В рамках системного подхода анализируются как физические процессы в самих двигателях, так и структура и алгоритмы систем управления ими с учетом специфики конкретных установок сельскохозяйственного назначения. Разработан целый ряд технических решений, направленных на повышение эффективности ЛЭМД-приводов. Такой подход способствует созданию энерго- и ресурсосберегающих технологий АПК и соответствующего технологического оборудования. В связи с этим тематика диссертации Каргина Виталия Александровича представляется актуальной и важной для развития аграрной отрасли.

**Соответствие паспорту научной специальности.** Рассматриваемые в диссертации Каргина В.А. вопросы связаны с разработкой электроприводов машин сельскохозяйственного назначения. При этом механические и технологические параметры установок рассматриваются как факторы, влияющие на выбор параметров электропривода. С учетом этого объект исследования, задачи и методы моделирования, направления теоретических и экспериментальных исследований вполне соответствуют паспорту специальности 05.20.02 - «Электротехнологии и электрооборудование в сельском хозяйстве».

### **Структура диссертации и основные результаты разделов**

Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения, списка литературы из 264 наименований и 9 приложений. Материал работы изложен на 377 страницах машинописного текста, включает в себя 172 рисунка и 39 таблиц. Структура и оформление диссертации соответствует требованиям ГОСТ Р 7.0.11-2011 «Диссертация и автореферат диссертации».

**Во введении** обоснована актуальность проблемы, определены объекты и направления исследований, оценивается уровень разработанности темы. Сформулированы цель и задачи исследований, приведены основные положения, вы-

носимые на защиту, их научная новизна, теоретическая и практическая значимость результатов работы.

**В первой главе** проведён анализ и намечены перспективы использования приводов с линейными электромагнитными двигателями в технологиях АПК. Показаны преимущества ЛЭМД-приводов в целом ряде технологических машин как ударного (для сводообрушения, обеспечивающего бесперебойную выгрузку сыпучих материалов; для забивки стоек изгородей загонов и культурных пастбищ, стержней, труб, заземлителей при строительстве и реконструкции объектов АПК), так и безударного действия (для кормораздачи; для прессования и получения сока; для шприцевания колбасного фарша; для наложения скрепок на упаковку). Предложена обобщенная структурная схема электроприводов на основе ЛЭМД. Отмечается, что для повышения эффективности ЛЭМД-приводов необходимо совершенствовать все структурные элементы привода (двигатель, электрический преобразователь, устройство передачи механической энергии, система управления) с учетом особенностей реализуемых технологических операций.

**Во второй главе** обосновывается целесообразность применения в электромагнитных приводах для технологий и объектов АПК однообмоточных броневых цилиндрических ЛЭМД. Для повышения функциональности таких двигателей предложено выполнять в якоре сквозной осевой канал. Для исследования характеристик ЛЭМД новой конструкции проведены теоретические исследования, в том числе с применением численных методов. В частности показано, что радиус поперечного сечения осевого канала не должен превышать 30% от радиуса якоря.

На основании анализа теплового состояния ЛЭМД показана необходимость интенсификации охлаждения обмотки двигателя. Для этой цели в работе рассмотрены различные способы повышения теплоотдачи: оребрение корпуса, принудительное охлаждение за счет встроенного вентилятора, самовентиляция двигателя. Выполнена сравнительная оценка указанных вариантов. Показаны соответствующие конструктивные решения. В частности, в случае принудительного охлаждения предусмотрены кольцевые вентиляционные каналы, а для обеспечения самовентиляции двигателя предложено выполнять в его корпусе продольные вентиляционные каналы. Для оценки теплового состояния двигателей и выбора геометрических размеров вентиляционных каналов разработаны тепловые схемы замещения, а также используются оценки теплового состояния и систем охлаждения машин, применяемые в классической электромеханике.

**В третьей главе** рассматриваются устройства передачи механической энергии ЛЭМД исполнительному органу в различных случаях применения. Показаны особенности работы зажимных механизмов с конусными заклинивающими элементами, даны рекомендации по выбору их параметров. Для упрощения конструктивных схем электромагнитных двигателей и повышения их надежности предложены зажимные механизмы со сферическими зажимными элементами, в том числе для реверсивных линейных электроприводов. Представлены основы расчета зажимных механизмов различного типа.

**В четвертой главе** рассматриваются особенности построения электрических преобразователей ЛЭМД-приводов при работе от автономных источников электроэнергии (передвижных электрогенераторных установок или химических источников тока), а также систем с емкостными накопителями энергии. Показано, что системы использующие аккумуляторы требуют оптимизации режимов работы с целью продления срока работы источников. Обосновывается использование программируемых микропроцессорных технических средств для построения адаптивных управляющих устройств с целью оптимизации рабочего цикла ударных и безударных ЛЭМД-приводов в зависимости от изменения свойств среды или параметров нагрузки. С помощью имитационных моделей ЛЭМД-приводов, реализованных в операционной среде Simulink пакета MATLAB, получены настроечные характеристики адаптивного управления для обеспечения соответствия мощности питающих импульсов и нагрузки и снижения энергопотребления электромагнитного привода.

**В пятой главе** описаны лабораторные стенды для испытаний различных ЛЭМД-приводов, оснащенные современной контрольно-измерительной аппаратурой. Изложены общие принципы и частные методики экспериментальных исследований приводов и результаты выполненных экспериментов. При выявлении закономерностей и функциональных взаимосвязей в ЛЭМД-приводах использованы характерные для подобных исследований методы (суперпозиции и теории планирования экспериментов). По результатам экспериментов получены уравнения регрессии для силовых и энергетических характеристик различных ЛЭМД-приводов и построены соответствующие диаграммы, по которым определяются наилучшие сочетания принятых во внимание факторов (напряжение, емкость конденсаторов, жесткость пружин).

**В шестой главе** описаны разработанные по результатам выполненных исследований технологические машины и устройства на основе ЛЭМД-приводов стационарного и переносного исполнения, в том числе: для шприцевания колбасного фарша, клипсования упаковки сельхозпродукции, кормораздаточных транспортеров, неторцевой забивки продольно-неустойчивых стержневых элементов и другого назначения. Представлены результаты полевых и производственных испытаний созданных ЛЭМД-приводов. Приведены примеры технико-экономической оценки эффективности применения рассматриваемых электроприводов в сравнении с существующими. Выполненные расчеты подтверждают целесообразность внедрения ЛЭМД-приводов в технологиях и оборудовании АПК.

**В заключении** представлены основные выводы по результатам работы.

**Новизна исследований и полученных научных результатов** заключается в разработке новых технологий и технологического оборудования для целей АПК на основе электроприводов с ЛЭМД, в том числе с использованием новых технических решений направленных на повышение эффективности работы двигателей, на оптимизацию работы электроприводов на их основе. Новые технические решения обусловили необходимость разработки математических моделей и методик расчета ЛЭМД-приводов, а также проведения их теоретических и экспе-

риментальных исследований для выявления закономерностей физических процессов в них.

**Ценность полученных результатов для науки и практики.** Научная ценность работы состоит в разработке математических моделей электромагнитных и тепловых процессов в новых конструкциях ЛЭМД, в разработке имитационных моделей электроприводов на основе ЛЭМД в среде Simulink, в выявлении закономерностей физических процессов в ЛЭМД и реализации рабочих циклов электроприводов, повышающих эффективность работы электромагнитных двигателей и технологических машин на их основе. Практическая ценность заключается в создании новых конструкций броневого цилиндрических линейных электромагнитных двигателей со сквозным осевым каналом и приводов с их использованием, с разработкой новых конструкций устройств передачи механической энергии, с выявлением особенностей, связанных с работой ЛЭМД от автономных источников питания и разработкой алгоритмов управления режимами работы ЛЭМД-приводов с учетом особенностей нагрузки, с созданием целого ряда новых технологий и оборудования на основе ЛЭМД для целей АПК.

**Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций.** Достоверность полученных результатов обеспечена принятием при моделировании физических процессов признанных и обоснованных допущений, использованием современных математических моделей и программного обеспечения. Адекватность результатов расчетов с данными экспериментов, выполненных с использованием современных измерительных систем и классических методов математической статистики. Выводы и рекомендации, полученные при исследованиях, подтверждены при испытаниях и внедрении в производство целого ряда технологических машин и устройств на основе ЛЭМД.

**Полнота отражения результатов диссертации в опубликованных работах.** Основные результаты диссертации опубликованы в 49 печатных работах, представленных в автореферате, включая 22 статьи в изданиях, включенных в список ВАК, 10 статей, индексированных в базах Web of Science и Scopus. Новые технические решения защищены 9 патентами РФ на изобретения и полезные модели. Анализ публикаций автора позволяет утверждать, что содержание диссертации отражено в них с требуемой Положением ВАК полнотой. Основные результаты работы прошли апробацию на целом ряде специализированных конференций.

Автореферат отражает содержание диссертации.

**По работе имеются следующие вопросы и замечания:**

1. Список литературы содержит 264 наименования. Однако, из них только 6 публикаций зарубежных авторов. Оценивалось ли состояние работ по рассматриваемой теме за рубежом?
2. Рассматривались ли возможности применения для создания поступательных и возвратно-поступательных движений других типов линейных электродвигателей, например, асинхронных или шаговых?

3. В разделах 2.1-2.3, где обсуждаются электромагнитные характеристики ЛЭМД, много внимания уделяется методическим вопросам, но приводится мало результатов расчетов и их анализа. Например, картины магнитного поля в ЛЭМД, приведенные на рис. 2.4 и в Приложении 3, практически не комментируются.

4. Представленные в разделе 2 результаты электромагнитных расчетов выполнены для одного типоразмера ЛЭМД. Можно ли распространить полученные рекомендации (например, ограничение диаметра осевого канала значением 30% от диаметра якоря) на другие типоразмеры двигателей?

5. При работе ЛЭМД в осевом канале находятся стальные тела (забиваемый стержень, часть инструмента). Учитывалось ли их влияние на магнитное поле и усилия при расчетах?

6. В основе любых тепловых расчетов (раздел 2.4) должна лежать качественная и количественная оценка источников тепловыделения (например, потери в обмотке, потери в стали, потери на трение, вентиляционные потери). Такая оценка в работе отсутствует.

7. На рис. 2.47 не раскрыт смысл удельной энергии, по которой производится сравнение вариантов охлаждения двигателя и не показан способ расчета такой энергии.

8. В разделе 4, где рассматриваются электрические преобразователи и системы управления ЛЭМД, многие технические решения заимствованы из работ других авторов или работ, написанных в соавторстве, поэтому следует уточнить вклад автора в разработку систем управления ЛЭМД.

9. Имеются отдельные замечания по оформлению диссертации:

- в разделе 1.1 при постановке задач преобладают ссылки на собственные публикации автора или его соавторов (более 60% наименований в списке литературы), мало ссылок на свежие публикации, что снижает ценность аналитического обзора;
- общее замечание для раздела 1: приведены многочисленные схемы и описания существующих технологических устройств, а предлагаемые конструктивные решения не раскрываются;
- при использовании для расчетов тепловых схем замещения, позволяющих определять тепловые потоки и усредненные температуры, некорректно применять термин «тепловое поле»;
- во многих случаях не приводятся параметры двигателей, для которых выполнялись расчеты (пример, для зависимостей на рис. 2.14-2.16) и эксперименты (иллюстрации в разделе 5);
- имеются отдельные опечатки и неточности (например, перепутаны обозначения осей диаграммы на рис. 5.23).

### **Заключение**

Высказанные замечания не снижают значимости диссертационной работы, обобщающей весьма большой объем научных исследований и практических разработок. Диссертационная работа Каргина В.А. «Повышение эффек-

тивности технических средств для процессов и технологий АПК использованием машин с линейным электромагнитным приводом» является завершённой научно-квалификационной работой, в которой изложены научно-обоснованные технические и технологические решения, направленные на повышение эффективности технических средств и технологий АПК применением приводов с линейными электромагнитными двигателями, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие отрасли и экономики страны. Диссертация соответствует критериям п.п. 9-11 и 13 «Положения о присуждения ученых степеней» (утв. Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 № 842), предъявляемым к докторским диссертациям, и паспорту специальности 05.20.02 – Электротехнологии и электрооборудование в сельском хозяйстве, а её автор, Каргин Виталий Александрович, достоин присуждения ученой степени доктора технических наук.

Официальный оппонент, профессор  
кафедры «Электротехника  
и электротехнологические системы»  
ФГАОУ ВО «Уральский федеральный  
университет имени первого  
Президента России Б.Н. Ельцина»,  
доктор технических наук, профессор



А.Ю. Коняев

14.04.2020

#### Сведения об оппоненте

Коняев Андрей Юрьевич – профессор кафедры «Электротехника и электротехнологические системы», доктор технических наук (специальность 05.09.01 – Электромеханика и электрические аппараты), профессор.

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» (ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»)

620002, Екатеринбург, ул. Мира, 19

Телефон: +79126264980

E-mail: a.u.konyaev@urfu.ru

<https://urfu.ru/ru/about/personal-pages/Personal/person/a.u.konyaev/>

Подпись  
заверяю

