

ОТЗЫВ

официального оппонента

доктора технических наук, профессора **Зюзева Анатолия Михайловича**
на диссертацию **Ганджи Дмитрия Сергеевича** «Теоретические исследования и разработка принципиальных решений для электромеханического привода электрогидравлического усилителя мощности», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.2. «Электротехнические комплексы и системы»

На отзыв представлены:

- диссертация, включающая введение, четыре главы, заключение, список литературы из 128 наименований, 7 приложений. Работа изложена на 150 страницах, из них 114 страниц основного текста. Работа содержит 59 иллюстраций, 60 аналитических выражений, 18 таблиц;
- автореферат диссертации.

Актуальность темы диссертации

Диссертация Ганджи Д.С. посвящена актуальной теме создания испытательного оборудования для исследования устойчивости изделий к механическим воздействиям при эксплуатации и транспортировании. Политика импортозамещения устройств, имеющих стратегически важное значение, повышает значимость данной научной работы. В настоящее время разработка следящих гидроприводов на различные частоты и усилия воздействия является направлением, которое динамично развивается. В связи с этим представленное к защите исследование следует признать важным и актуальным.

Целью диссертационного исследования является улучшение эксплуатационных характеристик существующих следящих гидроприводов. Для достижения цели диссертации и решения поставленных задач автором использованы **современные методы исследований**: аналитические методы общей теории электромеханических преобразователей энергии, численные методы компьютерного моделирования физических полей в электрических машинах на основе метода конечных элементов, методы параметрической многоуровневой оптимизации конструкции, методы имитационного моделирования режимов работы привода, реализованные в распространенных программных комплексах. Выполнено физическое моделирование двигателя, изготовлен и испытан макетный образец, подтвердивший выводы научных результатов.

Оценка содержания и оформления диссертации. Диссертация написана ясно, использованная терминология и стиль соответствуют общепринятым нормам. Структура диссертации традиционная, имеет внутреннее единство, по каждой главе и диссертации в целом сделаны выводы, которые отражают результаты работы. Даны рекомендации по практическому применению результатов диссертации и перспективам развития темы. При использовании в тексте диссертации результатов других авторов сделаны соответствующие ссылки.

Первая глава диссертации посвящена исследованию вихревых токов в различных конструктивных исполнениях линейного электромеханического привода. Эта тема недостаточно исследована в отечественных и зарубежных источниках. Диссертант проанализировал 15 конструктивных модификаций (три варианта индуктора и 5 вариантов якоря в различных сочетаниях), сравнивая конструкции по величине выделяемых потерь. По этому показателю определена наиболее перспективная конструкция: с индуктором, имеющим радиально-тангенциальное расположение магнитов и якорем на диэлектрической основе.

Во второй главе представлены результаты разработки математической модели линейного двигателя, работающего в режиме возвратно-поступательного движения на основной рабочей характеристике. Научный результат в этой части представлен методикой расчета магнитного поля индуктора с применением метода конечных элементов.

В третьей главе показан подход к оптимизации геометрии линейного двигателя по критерию минимума потребления энергии при работе на основной характеристике. В этой главе заслуживает внимания подход к однокритериальной оптимизации, при котором процедура оптимального выбора распадается на уровни, определяемые количеством варьируемых переменных.

В четвертой главе приведены термодинамический анализ, схмотехнические решения и разработка перспективной конструкции. Показаны результаты натурных испытаний опытного образца.

В заключении содержатся выводы, сделанные по результатам всей работы, определены направления дальнейших исследований

Анализ научного содержания диссертации показал следующее.

Научная новизна результатов. На защиту представлены следующие положения:

- компьютерные модели электромеханического привода, основное отличие которых от существующих научных заделов заключается в возможности оценить влияние вихревых токов на потери и демпферное усилие, влияющее на быстродействие привода. Данные модели можно отнести к новым научным результатам;

- методика расчета магнитной системы электромеханического привода на основе метода конечных элементов. Сам метод конечных элементов широко используется для электромагнитного анализа, но в работе подобрано минимальное количество элементов, обеспечивающих требуемую точность определения индукции в воздушном зазоре, что позволило существенно упростить модель и включить ее в оптимизационные циклы. Такой подход позволяет оценить его как новый научный результат;

- методика оптимального проектирования на основе многоуровневой однокритериальной оптимизации. Подход, при котором однокритериальная оптимизация разделяется на уровни в зависимости от числа переменных, включенных в цикл оптимизации, встречается в работах других авторов, в частности Чуйдука И.А., Косимова Б.И., но этот подход применялся для других электромеханических устройств, в частности для вращающихся электродвигателей. Применение этого подхода для линейных электродвигателей является инновацией, так как требует новой постановки оптимизационной задачи.

- конструкция электромагнитного привода на основе радиально-тангенциального индуктора и якоря с диэлектрической гильзой. Радиально-тангенциальное расположение магнитов применяется для вращающихся электрических машин, но в этих магнитных системах требуется создать знакопеременное поле в рабочем зазоре. В предложенной конструкции поле воздушного зазора однополярное, что является существенным отличием от известных магнитных систем. Новизна данной конструкции подтверждена патентом на полезную модель.

Таким образом, представленные модели, методики и конструктивные решения вносят определённый теоретический вклад в развитие электромеханических систем этого класса.

Практическая значимость результатов. Представленная к защите научная работа имеет явно выраженную практическую направленность. В диссертации разработана законченная проектная система, которая позволяет разрабатывать линейные электроприводы данного назначения. Комплекс разработанных программ позволяет определять оптимальную геометрию приводов для разных вариантов технического задания. Многоуровневая оптимизация позволяет реализовывать различные проектные ситуации. Предложенная двухконтурная система охлаждения расширяет диапазон эксплуатации привода, позволяя увеличивать частоту и амплитуду колебаний штока золотниковой пары. Разработана перспективная конструкция электромеханического привода, превосходящая зарубежный прототип по уровню потребляемой

мощности. Результаты научной работы используются на предприятии ООО «Уральский инжиниринговый центр», что подтверждается актом внедрения.

Обоснованность и достоверность результатов, научных положений, выводов и результатов обеспечена использованием известных математических методов теории преобразования энергии, компьютерным моделированием электромагнитного и теплового состояния двигателя на основе распространенных программных комплексов, методов математического, имитационного, компьютерного и физического моделирования, удовлетворительным совпадением с результатами испытаний натурного макетного образца.

Оценка научной квалификации автора. Ганджа Д.С., судя по диссертационной работе, обладает достаточно высокой научной квалификацией, что подтверждается использованием сложных программных комплексов, проведением натурных испытаний, разработкой конструкторской документации в среде трехмерного твердотельного моделирования, комплексным решением поставленных задач.

Соответствие паспорту специальности. Диссертация соответствует научной специальности 2.4.2 – Электротехнические комплексы и системы по пунктам 1-5.

Основные результаты диссертации опубликованы в 4 статьях в рецензируемых научных изданиях, определенных ВАК РФ. Этого достаточно, чтобы научная общественность оценила результаты исследований.

Апробация результатов диссертации. Основные положения и результаты диссертации обсуждены на международных и всероссийских конференциях.

Соответствие автореферата содержанию диссертации. Автореферат отражает содержание и основные положения диссертации, содержит выводы и полученные результаты. По автореферату можно оценить значимость работы.

По представленной работе имеются следующие вопросы и замечания.

1. В начале работы выполнен анализ определённого количества исходных конструктивных модификаций разрабатываемого электромеханического преобразователя. Чем определяется и ограничивается их выбор на начальном этапе разработки?

2. При разработке методики расчета индукции в рабочем зазоре был использован метод конечных элементов с числом элементов 60. Выбор достаточного количества элементов в модели требует дополнительного разъяснения.

3. Для анализа влияния вихревых токов в исследованиях используется квазистационарный режим Eddy Current. Этот режим не учитывает линейное перемещение якоря. Почему для анализа вихревых токов не выбран режим Transient, в котором можно смоделировать это движение?

4. Математическая модель динамического режима исследуемого электромеханического преобразователя (ЭМП), предложенная в гл.2, требует подтверждения её адекватности реальным условиям работы ЭМП.

5. Для аэродинамического и теплового анализа применены упрощенные методы эквивалентных схем замещения. Почему для этого анализа не использованы программные средства на основе метода конечных элементов, которые дают более высокую точность расчета?

6. Конструкция двигателя, предлагаемая в работе в качестве базовой, имеет габариты и массу больше прототипа. В чём заключаются её основные преимущества?

7. В требованиях к двигателю плунжерного гидрораспределителя в диссертационной работе указана необходимость реализации частоты колебаний до 300 Гц, однако в экспериментальной части и выводах по работе выполнение этого требования не получило очевидного подтверждения.

8. Обсуждение принципов построения электронных блоков системы управления и интерфейса в гл.4 излишне утяжеляет работу, не приводя к принципиально новым результатам.

Заключение

Диссертация Ганджи Дмитрия Сергеевича «Теоретические исследования и разработка принципиальных решений для электромеханического привода электрогидравлического усилителя мощности» является законченной научно-квалификационной работой, которая по содержанию, объекту и направлению исследований, полученным новым научно обоснованным результатам соответствует паспорту научной специальности 2.4.2 Электротехнические комплексы и системы.

Диссертационная работа выполнена лично автором, на актуальную тему, имеет научную новизну, теоретическую и практическую значимость, содержит решение актуальной задачи по улучшению эксплуатационных характеристик электромеханического привода электрогидравлического усилителя мощности.

Диссертация соответствует требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней» Постановления Правительства РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Ганджа Дмитрий Сергеевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.2 –Электротехнические комплексы и системы.

Официальный оппонент,

профессор, доктор технических наук, профессор кафедры «Электропривод и автоматизация промышленных установок» федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина

А.З. 

Зюзов Анатолий Михайлович

Дата составления отзыва «18» 03 2026

Подпись Зюзова Анатолия Михайловича заверяю !

УЧЕНЫЙ
УРФУ
МОРОЗОВА В.



Полное название организации: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина».

Телефон: +7(912)6348363

Электронная почта: a.m.zyuzev@urfu.ru

Адрес сайта организации: <https://urfu.ru>