

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования

**«Пермский национальный
исследовательский
политехнический университет»
(ПНИПУ)**

614990, Пермский край, г. Пермь,
Комсомольский проспект, д. 29,
тел. 8(342) 219-80-67,
факс 8(342) 219-89-27, e-mail: rector@pstu.ru
<http://www.pstu.ru>

На № 23.03.2026 от № 490-218

УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по науке

и инновациям ПНИПУ

д-р физ-мат. наук, доцент

 А.И. Швейкин

«23» марта 2026 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» на диссертационную работу Ганджи Дмитрия Сергеевича на тему «Теоретические исследования и разработка принципиальных решений для электромеханического привода электрогидравлического усилителя мощности», представленную в диссертационный совет Самарского государственного технического университета 24.2.377.06 на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.2 – Электротехнические комплексы и системы.

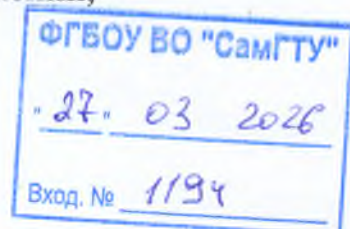
Диссертация выполнена на кафедре технологии автоматизированного машиностроения Федерального государственного автономного образовательного учреждения «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)» и посвящена оптимизации эксплуатационных параметров электромеханического привода электрогидравлического усилителя мощности. Разработка и производство данного усилителя осуществляется в рамках программы импортозамещения критически важного испытательного оборудования.

На рассмотрение кафедры «Электротехника и электромеханика» были представлены следующие материалы:

– диссертация на 150 страницах, состоящая из введения, 4 глав, заключения, списка использованных источников, 7 приложений;



Сертифицировано
«РУССКИМ РЕГИСТРОМ»



– автореферат диссертации, в котором дана общая характеристика работы, приведены основные результаты, выводы и рекомендации.

Актуальность темы исследования

Гидроприводы следящего типа находят широкое применение в качестве испытательных стендов для проведения полномасштабных натурных испытаний крупногабаритных и тяжеловесных изделий. Работы в данном направлении следует считать актуальными, поскольку производство этого оборудования на территории Российской Федерации имеет важное стратегическое значение. В диссертации исследуется электромеханический привод золотниковой пары следящего гидропривода, который является одним из основных его узлов. На данный момент из-за наложенных санкций не представляется возможным приобрести этот агрегат за рубежом. Исследования, результаты которых представлены в диссертации, имеют особое значение, поскольку проводились в рамках импортозамещения.

Оценка содержания диссертации

Представленная к защите работа отличается чёткой структурой, а логика изложения в каждой главе последовательна и взаимосвязана.

В первой главе проводится всестороннее исследование воздействия вихревых токов на различные конструкции якоря и индуктора. По результатам данного анализа была идентифицирована и выбрана оптимальная конструкция, характеризующаяся минимальным энергопотреблением при достижении требуемых рабочих параметров

Вторая глава посвящена разработке методики расчета рабочего магнитного потока, основанной на применении метода конечных элементов с ограниченным количеством элементов. Полученные данные послужили фундаментом для построения математической модели, описывающей динамику разгона штока золотника в системе гидроусилителя.

В третьей главе представлены и детализированы подсистемы, отвечающие за синтез и анализ, которые применяются в процессе проектирования электромеханического привода. Проектирование осуществляется с использованием подхода многоуровневой однокритериальной оптимизации.

Четвертая глава посвящена анализу теплового режима электромеханического привода. Исследование базируется на аэродинамических и эквивалентных тепловых схемах замещения и охватывает предложенную двухконтурную систему охлаждения.



Дополнительно представлены принципиальные схемы управления, результаты натурных испытаний, а также конструкторская проработка базовой конфигурации с радиально-тангенциальным индуктором и якорем, изготовленным из диэлектрического материала.

Поставленные в работе задачи выполнены в полном объеме.

Научная новизна исследований и полученных результатов

В рамках защиты диссертации автором представлены следующие положения, отличающиеся научной новизной:

– Разработана математическая модель электромеханического привода. Ключевой особенностью данной модели является учет влияния вихревых токов на тепловые процессы, протекающие в электромеханическом приводе, и демпфирующие силы, действующие на вал устройства. Данные факторы признаны критически важными для точной оценки динамических характеристик привода на высоких частотах.

– Методика расчета магнитной системы электромеханического привода с использованием метода конечных элементов. Ее новизна состоит в том, что количество конечных элементов подбирается заранее, гарантируя при этом необходимую точность определения ключевых магнитных параметров. Такой подход позволяет интегрировать полученные уравнения в итерационный процесс оптимизации, что недоступно при использовании программ с автоматическим формированием сеток конечных элементов.

– Методика многоуровневой однокритериальной оптимизации, применимая к электромеханическому приводу гидроусилителя. Данная методика обеспечила возможность формирования гибкой системы проектирования для указанного привода, способной адаптироваться к разнообразным проектным сценариям. Разработка подобных систем проектирования рассматривается как существенный вклад в развитие теории проектирования электромеханических устройств.

Новизна разработанных решений косвенно подтверждается наличием в настоящей работе патентов на полезные модели.

Степень обоснованности и достоверности положений, выводов и заключений диссертации

Достоверность результатов, изложенных в диссертации, подтверждается их получением с использованием верифицированных аналитических подходов, включая метод конечных элементов и метод эквивалентных схем замещения. Применение апробированных программных комплексов, таких



Сертифицировано
«РУССКИМ РЕГИСТРОМ»

как Ansys Electronics Desktop и Delphi, обеспечило корректность расчетов. Дополнительным свидетельством надежности представленных положений, выводов и заключений служит высокая степень корреляции между результатами натуральных испытаний и данными, полученными посредством разработанных математических моделей.

Значение для науки и практики

Изучение влияния вихревых токов в замкнутых контурах магнитной системы играет ключевую роль в развитии теории электромеханических приводов. Данная область исследований остается недостаточно изученной и не нашла должного отражения в доступной литературе. В данной работе представлены результаты исследований, посвященных широкому спектру конструктивных решений.

Результаты проведенных исследований позволяют на их основе разрабатывать как индивидуальные электромеханические приводы, так и целые линейки электродвигателей, предназначенных для выполнения различных задач.

Рекомендации по использованию результатов и выводов работы

Данная диссертация обладает ярко выраженной практической направленностью. Ее целью было импортозамещение зарубежных аналогов, направленное на повышение характеристик отечественного оборудования. В рамках исследования была разработана перспективная конструкция, для которой создан полный комплект конструкторской документации. Результаты диссертационных исследований успешно внедрены на предприятии-партнере ООО «Уральский инжиниринговый центр», что подтверждается актом внедрения, выданным этим предприятием.

Соответствие содержания работы заявленной специальности

Диссертация полностью охватывает требования пунктов 1-5 паспорта научной специальности 2.4.2. Электротехнические комплексы и системы в части физического, математического, и компьютерного моделирования компонентов, создания и эксплуатации электротехнических комплексов и их компонентов, оптимизации электротехнических комплексов, исследования качества функционирования электротехнических комплексов, разработки эффективного жизненного цикла электротехнических комплексов и их компонентов.

Соответствие автореферата основным положениям диссертации



Сертифицировано
«РУССКИМ РЕГИСТРОМ»

Автореферат соответствует содержанию диссертации. Объем и структура автореферата обеспечивают полное понимание выполненной работы.

Подтверждение опубликования основных результатов диссертации

Все результаты были получены непосредственно диссертантом, что подтверждается количеством его публикаций в отечественных и зарубежных изданиях. Из приведенного автором списка собственных работ можно заключить, что ключевые положения диссертации достаточно полно отражены в печатных материалах. Всего по теме диссертации опубликовано 15 научных работ, из них: 4 статьи в рецензируемых научных изданиях, определенных ВАК РФ. Кроме этого, диссертантом получены 2 патента на полезную модель и 2 свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Результаты исследований были представлены на множестве международных и всероссийских конференций.

Вопросы и замечания по диссертационной работе в целом

По представленной к защите работе имеются следующие вопросы и замечания:

1. При выборе в качестве единственного критерия оптимизации минимальной потребляемой энергии может возникнуть ряд вопросов, а именно: Почему не рассматривались многокритериальные подходы, учитывающие также массогабаритные показатели, стоимость материалов, технологичность изготовления и надёжность? Не приведёт ли такой подход к решениям, которые будут оптимальны по потребляемой энергии, но окажутся непрактичными в производстве?

2. Для двухконтурной системы охлаждения выбрана принудительная циркуляция хладагента только внутреннего контура. С наружной поверхности тепловой поток сходит при помощи естественной конвекции. Почему не применен принудительный обдув наружной поверхности. Это решение позволило бы улучшить теплоотдачу.

3. При использовании двухконтурной системы охлаждения используется встроенный вентилятор. Как обеспечивается его работоспособность в условиях запылённости, повышенной влажности и вибрации, характерных для промышленного применения? Каков ожидаемый ресурс вентилятора и предусмотрена ли диагностика его отказа?



Сертифицировано
«РУССКИМ РЕГИСТРОМ»

4. Применение гильзы якоря из диэлектрического материала исключает в нем вихревые токи, но при этом уменьшается механическая прочность и долговечность гильзы. Как в таком случае обеспечивается механическая прочность такой конструкции особенно при вибрационных нагрузках до 300 Гц?

5. В связи с использованием гильзы якоря из диэлектрического материала также возникает вопрос: Проводились ли испытания на усталостную прочность и термическое расширение разнородных материалов (пластик–медь–сталь)?

6. Магнитная система упрощена до осесимметричной 2D-модели, однако прорезь в гильзе якоря нарушает осевую симметрию. Как может повлиять прорезь на трёхмерный характер вихревых токов, и какова будет погрешность такого упрощения для расчёта усилий?

7. Натурные испытания были проведены для каких типов конструкций? В частности, были испытаны опытные образцы перспективной конструкции 3 с радиально-тангенциальной системой и диамагнитным якорем? Расчётное снижение потерь на 50% реализуется на практике?

8. Использован метод покоординатного спуска (Гаусса-Зейделя), который известен медленной сходимостью при большом числе переменных. Применялись ли другие методы (генетические алгоритмы, роевой интеллект, методы градиентного спуска с адаптивным шагом)? Проводилось ли сравнение эффективности различных методов для данной задачи?

9. При сравнении с прототипом Yuken использовались ли идентичные материалы (марки стали, тип магнитов, класс изоляции обмотки)? Отделялся ли вклад конструктивных решений от вклада различий в материалах?

Заключение

Диссертация Ганджи Дмитрия Сергеевича представляет собой завершённое научное исследование, направленное на решение актуальной научной и технической задачи повышения эксплуатационных характеристик электромеханического привода электрогидравлического усилителя мощности. Основные выводы и результаты работы могут быть использованы в промышленном производстве электромеханических приводов для гидравлических усилителей мощности.

Представленные в данной работе результаты обладают характеристиками, позволяющими отнести их к категории новых научных знаний в сфере электротехники. Достоверность полученных данных



Сертифицировано
«РУССКИМ РЕГИСТРОМ»

подтверждена, а сделанные выводы и заключения имеют прочное обоснование.

Диссертация на тему «Теоретические исследования и разработка принципиальных решений для электромеханического привода электрогидравлического усилителя мощности» соответствует требованиям п. 9-14 «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.

Отзыв подготовлен доцентом, кандидатом технических наук Чабановым Евгением Александровичем, заслушан и одобрен на заседании кафедры «Электротехника и электромеханика» от «23» марта 2026 г. (протокол № 16).

И.о. заведующий кафедрой «Электротехника и электромеханика»
ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский
политехнический университет»
доцент, кандидат технических наук



Чабанов Евгений
Александрович

Подпись Чабанова Е. А.
Заверяю
Зам. начальника УК
Н.В. Колчина



Сведения о ведущей организации:
ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет»
Почтовый адрес: 614990, Пермский край, г. Пермь, Комсомольский проспект, д. 29
Телефон: +7 (342) 2-198-520
Электронная почта: kanc@pstu.ru
Сайт: <https://pstu.ru>



Сертифицировано
«РУССКИМ РЕГИСТРОМ»