

Председателю диссертационного совета
24.2.437.14, на базе ФГАОУ ВО «Южно-
Уральский Государственный университет
(национальный исследовательский
университет)»
д.т.н., доценту А.В. Коржову

ОТЗЫВ

официального оппонента по диссертационной работе Лисова Андрея Анатольевича на тему: «Разработка и исследование системы электронного дифференциала для электроавтомобиля», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.2 «Электротехнические комплексы и системы».

На отзыв Представлены следующие материалы:

— диссертация на тему «Разработка и исследование системы электронного дифференциала для электроавтомобиля», включающая введение, четыре главы, заключение, список литературы из 143 наименований и шесть приложений. Основная часть изложена на 102 страницах, содержит 57 рисунков и девять таблиц;

— автореферат диссертации на тему «Разработка и исследование системы электронного дифференциала для электроавтомобиля».

1. Актуальность темы

Диссертационная работа Лисова Андрея Анатольевича посвящена решению актуальной научно-технической проблемы, связанной с разработкой алгоритма эффективного управления системы электрического дифференциала электромеханической трансмиссией транспортных средств с помощью нейронных сетей.

Разработка эффективной методики обучения нейронной сети для управления электрическим дифференциалом позволит значительно повысить управляемость и безопасность транспортных средств с электромеханической трансмиссией. Это особенно важно в условиях постоянного роста числа транспортных средств на дорогах общего пользования и увеличения интенсивности движения.

Актуальность темы диссертационного исследования подтверждается стратегией развития электрического автомобильного транспорта, утверждённой Правительством Российской Федерации распоряжением № 4261-р от 28 декабря 2022 года, а также концепцией развития производства и использования электрического транспорта в Российской Федерации, утверждённой распоряжением № 2290-р от 23 августа 2021 года.

2. Новизна исследований и полученных результатов

Новизна проведённых исследований заключается в том, что соискателем предложен комплекс методов и подходов для разработки физической модели электроавтомобиля. Также предложены решения для создания программного кода, предназначенного для обучения нейронной сети и управления моделью с использованием системы электронного дифференциала.

Уникальность предлагаемых решений подтверждена свидетельством о государственной регистрации программы для ЭВМ, разработанной в рамках темы диссертации.

3. Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Основные научные положения, выдвигаемые на защиту:

3.1. Результаты анализа эффективности существующих систем управления тяговым электроприводом электроавтомобиля при поворотах и манёврах.

3.2. Физическая модель электроавтомобиля для получения экспериментальных данных необходимых для обучения нейронной сети.

3.3. Методика получения экспериментальных данных необходимых для обучения искусственной нейронной сети на основе идеальных кривых поворота и разработанной физической модели электроавтомобиля.

3.4. Способ управления электроприводом электроавтомобиля при поворотах и манёврах, основанный на системе электронного дифференциала и нейронных сетях, для варианта компоновки с двумя электродвигателями сзади.

3.5. Результаты сравнения эффективности существующих способов управления скоростью электропривода электроавтомобиля с разработанной системой электронного дифференциала на основе нейронной сети.

Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, подтверждается использованием научных работ отечественных и зарубежных авторов (143 источника) в области электропривода.

Предложенные конструктивные и алгоритмические меры по улучшению системы электронного дифференциала для электротранспорта, характеризующие новизну разработок в данной квалификационной работе, прошли все этапы исследований. Достоверность теоретических исследований в работе подтверждается экспериментальными данными.

Всё вышеперечисленное позволяет сделать заключение о том, что полученные выводы и рекомендации являются научно обоснованными.

4. Практическая значимость и реализация результатов

Практические результаты исследований, представленные в диссертационной работе, могут быть использованы специалистами при проектировании и разработке тяговых электроприводов транспортных средств. Это позволит улучшить безопасность, повысить управляемость и энергетическую эффективность транспорта, снизить эксплуатационные расходы,

Высокая практическая значимость результатов работы соискателя заключается в универсальности разработанного метода обучения нейронной сети для управления электроприводом электрического дифференциала. Метод можно применять для широкого спектра транспортных средств.

Использование методов искусственного интеллекта совместно с передачей данных в облачные хранилища даст разработчикам возможность быстро собрать данные для быстрой адаптации электрического дифференциала в составе беспилотных наземных транспортных средств.

Основные результаты диссертационной работы были представлены на научно-технических конференциях российского и международного уровня. Также они опубликованы в девяти научных работах, шесть из которых — в изданиях, входящих в перечень ВАК РФ, а одна — в издании, входящем в международную систему Scopus.

Кроме того, по результатам работы получено одно свидетельство на программу для ЭВМ.

5. По диссертации имеются следующие замечания и дискуссионные положения:

5.1 В первой главе на страницах 20–22 отмечено, что наиболее перспективным является компоновочное решение «мотор-колесо». Это решение представляется обоснованным, и в исследовании подробно описаны его преимущества. Вместе с тем возникает вопрос об экономическом обосновании такого типа решений для автотранспортных средств.

5.2. В таблице 1.1 приведены примеры решений на основе мотор-колёс, которые являются концептуальными. На основании имеющихся данных установлено, что два электропривода малой мощности зачастую дороже одного электропривода эквивалентной мощности. При этом остаётся неясным, проведён ли анализ рынка, подтверждающий обратное. Была бы полезна информация о проведённом анализе и его результатах, если таковой был выполнен.

5.3. Некоторые пункты таблицы 1.2 кажутся спорными:

- «Большая масса механического дифференциала», есть предположение, что масса дифференциала даже в совокупности с КПП будет меньше, чем суммарная масса двух двигателей, двух инверторов, системы охлаждения, набора шлангов, силовых проводов и прочих элементов.

- Надёжность конечного устройства зависит от надёжности отдельных узлов и компонентов. В СЭД этих компонентов значительно больше, чем в механическом дифференциале. Поэтому утверждение о том, что устройство с электронным дифференциалом будет более надёжным, требует дополнительного обоснования.

- Стоимость двух электроприводов с контроллером, достаточным для работы нейронной сети, скорее всего, будет выше, чем стоимость механического дифференциала с блокировкой.

5.4 Из рисунка 2.8 не видно, как взаимодействуют органы управления водителя (оператора). Создаётся впечатление, что исследование в большей степени посвящено беспилотным транспортным средствам и не учитывает действия оператора (водителя). Кроме того, на рисунке 2.8, вероятно, отсутствует информационная линия между BMS батареи и МК, если только это не отдельный МК СЭД.

5.5 В четвёртой главе указано, что система электронного дифференциала будет работать совместно с гидравлической тормозной системой для реализации функций ABS, и основной будет именно гидравлическая тормозная система. Не правильнее ли будет осуществлять торможение в основном с помощью электродвигателей? Это положительно скажется на энергетической эффективности автотранспортного средства. Применяемые в электроприводах датчики положения значительно точнее датчиков скорости систем ABS. Это значит, что регулирование торможения будет выполняться более точно. Кроме того, при использовании электродвигателей торможение будет осуществляться без использования колодок и дисков, что снизит эксплуатационные расходы транспортного средства.

5.6. После ознакомления со второй главой, появляются вопросы о вычислительных мощностях, которые потребуются на борту транспортного средства для работы довольно сложной нейронной сети. Хотелось бы понять, как это повлияет на конечную стоимость устройства.

5.7 Раздел, посвящённый оптимизации работы нейронных сетей на маломощных вычислительных устройствах, демонстрирует наличие способов снижения требований к вычислительным ресурсам. Однако требуется больше практических примеров и сравнений реализации разработанного алгоритма СЭД в условиях ограниченных вычислительных мощностей, например, на процессоре ARM Cortex.

5.8 Несмотря на то, что система «мотор-колесо» представляется дорогой для применения в автомобилестроении, она демонстрирует высокую эффективность при использовании в специальных транспортных средствах в формате мотор-двигателя. Было бы интересно оценить масштабируемость предложенных методов на более крупные транспортные средства.

5.9 Хотелось бы увидеть больше информации об адаптации рассматриваемой в работе СЭД к различным условиям.

5.10 В диссертации подробно рассмотрены специфические режимы работы системы электронного дифференциала: картинг и дрифт. Однако, хотелось бы увидеть, как СЭД функционирует не только в режиме поворота.

5.11 У многодвигательных систем тяговых приводов есть проблема коррекции скорости колёс не только при повороте транспортного средства. Для полноприводного варианта актуальна проблема галопирования, особенно на пневмошинах, а также отклонения от прямолинейного движения из-за погрешностей датчиков, калибровок и разброса параметров устройств. Интересно было бы ознакомиться с адаптивностью системы к экстремальным условиям: высоким и низким температурам, резко изменяющимся дорожным покрытиям.

5.12 Хотя работа в основном сосредоточена на точности и производительности нейронной сети для управления системой электронного дифференциала, однако, также следует рассмотреть вопросы влияния системы электронного дифференциала и выбранного метода оптимизации работы нейронной сети на конечную энергоэффективность транспортного средства. Кроме того, интересно было бы узнать о влиянии наличия системы электронного дифференциала на эксплуатационные затраты транспортного средства. Предполагается, что внедрение такой системы способно увеличить ресурс элементов тормозной системы, подвески и покрышек.

6. Заключение по диссертационной работе

6.1. Диссертационная работа А.А. Лисова «Разработка и исследование системы электронного дифференциала для электроавтомобиля» представляет собой завершённую научно-квалификационную работу, в которой успешно решена актуальная научно-техническая задача, связанная с исследованием и подтверждением практической работоспособности системы электронного дифференциала, основанной на применении нейронных сетей.

6.2. Содержание диссертации соответствует её названию и паспорту специальности 2.4.2 – «Электротехнические комплексы и системы».

6.3. Основные положения диссертации в достаточной мере отражены в научных трудах соискателя, среди них 6 научных статьи по теме диссертации опубликованных в изданиях, рекомендованных ВАК РФ, а также 2 статьи в международной базе цитирования Scopus.

6.4. Автореферат достаточно подробно отражает основные положения и содержание диссертации.

6.5. На основании изложенного считаю, что данная диссертационная работа удовлетворяет требованиям ВАК РФ «Положения о порядке присуждения ученых степеней», а её автор Лисов Андрей Анатольевич заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.2 «Электротехнические комплексы и системы».

Официальный оппонент
к.т.н., ведущий инженер
конструкторского бюро
электропривода
ООО НПП «Резонанс»

Чернышев Алексей Дмитриевич

54119, Челябинская область, г.
Челябинск, ул. Нахимова, д. 19п
Тел: + 7 (351) 731-30-00 (доб. 395)
+7 912 476 2921
e-mail: ad.chernyshev@icloud.com
a.chernyshev@rez.ru

«10» Декабря 2025 г.

Кандидатская диссертация Чернышева А.Д. защищена по специальности 05.09.03 - Электротехнические комплексы и системы.

Подпись Чернышева А.Д. заверяю,
заверяю, генеральный директор, д.т.н.



 В.А. Коровин
«10» Декабря 2025 г.