

Проректор по науке
ФГАОУ ВО «Уральский федеральный
университет имени первого
а»

А. В.

ОТЗЫВ

ведущей органи:

на диссертационную работу Попова Никиты Сергеевича
«ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ
ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА БЕЗРЕЛЬСОВОГО ТРАНСПОРТНОГО
СРЕДСТВА», представленную на соискание ученой степени кандидата
технических наук по специальности
05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы

Актуальность исследования

Развитие электрического транспорта напрямую связано с усилением требований в области экологичности используемых транспортных средств, ростом стоимости традиционных источников энергии, а также активным расширением использования новых источников энергии.

Одним из основных факторов, сдерживающих распространение автономного электрического транспорта является величина запаса хода в сравнении с традиционными транспортными средствами на базе двигателей внутреннего сгорания. Увеличение запаса автономного хода является сложной задачей, требующей комплексного подхода.

Среди способов решения указанной проблемы: применение накопителей энергии различных типов на борту транспортного средства; разработка компоновок транспортных средств с гибридными силовыми установками, сочетающими несколько различных типов источников энергии, разработка и внедрение энергетических установок с повышенными удельными мощностными показателями; разработка систем управления транспортными средствами с применением современных подходов теории автоматического управления.

Автором в работе решается задача увеличения запаса автономного хода безрельсового транспортного средства за счет повышения энергоэффективности работы всей системы. Представлена разработка системы управления транспортным средством с применением законов

управления на основе теории нечетких множеств и оптимизацией по минимуму величины потерь энергии при работе системы управления.

Анализ содержания диссертации

В первой главе автор проводит анализ наиболее распространенных типов компоновок тяговых систем безрельсовых транспортных средств. Представлены основные конструктивные элементы компоновки каждого типа, выполнен анализ энергоэффективности представленных компоновок.

На основании выполненного анализа компоновок автор предлагает применение компоновки безрельсового транспортного средства на базе четырех мотор-колес с целью исключить такие механические узлы, как сцепление, редуктор, дифференциал, полуоси. Такой подход позволит повысить энергоэффективность и надежность силовой части системы.

В работе сделан выбор в пользу мотор-колес на базе бесколлекторного двигателя постоянного тока, в большей степени, по сравнению с другими типами электрических машин соответствующего требованиям повышения энергоэффективности работы транспортного средства. На основании проведенного тягового расчета определена требуемая мощность приводных электродвигателей.

Также в первой главе автором выполнена оценка требуемой энергоемкости аккумуляторной батареи транспортного средства для обеспечения заданной величины автономного хода. Приведена функциональная схема транспортного средства на базе четырех мотор-колес.

Во второй главе автором представлена разработка трехконтурной системы управления транспортным средством с применением подхода электронного дифференциала. На основании принципа Аккермана разработана имитационная модель полноприводного транспортного средства рассматриваемой компоновки, а также классической компоновки с применением механического дифференциала.

Предлагаемая автором система управления включает три последовательно соединенных контура: контур стабилизации линейной скорости, контур стабилизации угловой частоты вращения мотор-колеса, контур стабилизации напряжения звена постоянного тока. Представлен синтез регуляторов каждого из указанных контуров с применением методики разделения частот.

В качестве испытательного полигона для анализа качества работы предлагаемой системы управления рассматривается трасса Euroring. Проведенный анализ позволил сформировать вывод о большей эффективности от применения предлагаемой компоновки и реализации

подхода электронного дифференциала по сравнению с применением механического дифференциала в составе транспортного средства. Мгновенная разница в величинах КПД составляет 5,1 %.

В третьей главе обсуждается предлагаемая система стабилизации линейной скорости транспортного средства на базе ПИД – регулятора, разработана функциональная схема системы управления для данного решения. Представлена имитационная модель транспортного средства с системой стабилизации линейной скорости на базе ПИД – регулятора. Анализ разработанной системы выполнен на основании испытательного цикла изменения продольного профиля дорожного полотна, составленного на основании комплекса подъемов малой крутизны полигона НАМИ. Испытания проводились для различных скоростей движения, а также различных начальных уровнях заряда аккумуляторной батареи транспортного средства.

Здесь же предложена система стабилизации линейной скорости транспортного средства с применением нечеткой логики. В отличие от схемы стабилизации линейной скорости с ПИД- регулятором, функциональная схема на базе нечеткой логики имеет в своем составе задатчик интенсивности с настраиваемой постоянной времени, управляемый от блока нечеткой логики (БНЛ). БНЛ учитывает текущее состояние заряда аккумуляторной батареи, величины ошибки регулирования и ее первой производной, на основании которых БНЛ вычисляет требуемое значение постоянной времени задатчика интенсивности.

Применение БНЛ позволяет реализовать в системе управления три режима работы: экономичный, нормальный и динамичный. С целью увеличения запаса хода БНЛ воздействует на постоянную времени задатчика интенсивности и переводит систему в экономичный режим работы. Однако, в зависимости от величины измеряемых переменных БНЛ переводит систему в нормальный или динамичный режимы работы при необходимости повышения динамических показателей электромобиля в процессе движения.

Разработана имитационная модель системы с БНЛ, ее испытания проведены по циклу НАМИ с целью выполнения оптимизации настройки законов регулирования БНЛ. Оптимизация выполнена по критерию минимума расхода энергии при движении транспортного средства по испытательному полигону.

Также автором выполнен анализ рассматриваемых систем стабилизации скорости при движении по испытательному циклу WLTC, как наиболее приближенному к реальным условиям движения в городских и

смешанных условиях. Проведенный автором анализ для движения по испытательному полигону НАМИ, а также по циклу WLTC позволяет сформировать вывод об эффективности предлагаемых законов управления с применением нечеткой логики и повышении запаса хода транспортного средства для всех диапазонов скоростей движения, а также величины заряда аккумуляторной батареи.

Четвертая глава посвящена экспериментальному исследованию предлагаемых алгоритмов управления на базе разработанной автором испытательной установки безрельсового транспортного средства. Результаты проведенных испытаний подтверждают эффективность предлагаемой системы управления с алгоритмами на базе нечеткой логики, по сравнению с системой стабилизации линейной скорости с применением ПИД – регулятора. При этом данные имитационного моделирования соответствуют данным экспериментальных исследований с достаточной степенью точности.

Научная новизна диссертационной работы

В представленной диссертационной работе получен ряд результатов, обладающих научной новизной. Наиболее значимыми из них являются следующие:

1. Разработана система стабилизации линейной скорости безрельсового транспортного средства с алгоритмами управления на нечеткой логике, обеспечивающими коррекцию задающего воздействия на основании текущего состояния заряда аккумуляторной батареи и параметров движения с целью увеличения запаса хода.

2. Разработаны подходы и методика для оценки энергоэффективности на основании движения по испытательному полигону, а также движения по испытательному циклу в режимах стабилизации линейной скорости.

3. Разработана методика синтеза системы управления с применением нечеткой логики для стабилизации линейной скорости при движении по участкам с переменной величиной уклона дорожного профиля, а также при движении по участкам с наличием поворотов и реализации функций электронного дифференциала.

Степень обоснованности и достоверности научных положений подтверждается корректным использованием методов математического моделирования процессов, корректностью постановки задач и принятых допущений, совпадением расчетных и экспериментальных результатов, подтвержденных в ходе экспериментальных исследований на разработанном испытательном стенде.

Практическая ценность работы

Предложена структура и методика синтеза системы управления движением автономного безрельсового транспортного средства с применением теории нечетких множеств, обеспечивающей увеличение автономного запаса хода транспортного средства до 5%.

Разработанные в ходе исследования имитационная модель, а также физическая модель транспортного средства на базе испытательного стенда, подтверждающие корректность разработанной и синтезированной системы управления, могут применяться при проектировании тяговых систем автономных безрельсовых транспортных средств.

Соответствие положений, выносимых на защиту, материалам диссертации

На основании анализа содержания диссертационной работы, ее научной новизны и практической ценности можно заключить, что вынесенные на защиту положения полностью соответствуют содержанию диссертации, научно обоснованы и вносят существенный вклад в решение задач увеличения автономного запаса хода безрельсовых транспортных средств с тяговым электроприводом.

Публикации и апробация положений диссертационной работы

По теме диссертации автором опубликовано шестнадцать печатных работ, из которых две представлены статьями в рекомендованных ВАК изданиях, три работы по перечню Scopus и/или Web of Science. Апробация основных положений диссертационной работы проходила на международных, всероссийских и отраслевых конференциях. Автором получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Замечания по диссертации и автореферату

1. В разрабатываемой автором имитационной модели транспортного средства не учитывается смещение центра масс, крены кузова при прохождении транспортным средств поворотов. Поясните, каким образом учет данных явлений повлияет на результаты и основные выводы диссертационной работы?

2. Вопросы пробуксовки ведущих колес, изменения сцепления, а также изменения качества дорожного полотна не учитывались в имитационной модели. Каким образом данное пренебрежение скажется на энергетических показателях разрабатываемой системы?

3. Каким образом разрабатываемая система управления должна взаимодействовать с противоаварийными системами, которыми оборудуются современные транспортные средства?

4. В последнее время при проектировании систем питания электромобилей применяются гибридные системы, включающие как аккумуляторную сборку, так и сборку суперконденсаторов, применяемую для улучшения качества рекуперативных режимов работы электропривода транспортного средства. Каким образом изменилась бы предлагаемая в работе система управления в случае применения ее для гибридного безрельсового транспортного средства?

Общая оценка работы

Представленная диссертационная работа Н.С. Попова является самостоятельной, законченной научно-квалифицированной работой, обладающей признаками актуальности, новизны и практической значимости. Диссертационная работа соответствует паспорту специальности 05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы. Диссертационная работа вносит определенный вклад в область знаний, охватываемых данной научной специальностью. Область исследований соответствует пункту 3 «Разработка, структурный и параметрический синтез электротехнических комплексов и систем, их оптимизация, а также разработка алгоритмов эффективного управления» и пункту 4 «Исследование работоспособности и качества функционирования электротехнических комплексов и систем в различных режимах, при разнообразных внешних воздействиях» паспорта специальности 05.09.03.

Основные положения диссертационной работы опубликованы автором, в том числе, в ведущих рецензируемых изданиях. Автореферат диссертации в достаточной мере раскрывает основное содержание работы. Диссертация и автореферат изложены понятным техническим языком и надлежащим образом оформлены. Основные выводы и заключения сформулированы достаточно полно и отражают суть полученных результатов исследования.

Заключение по работе

Диссертация Попова Н.С. на соискание ученой степени кандидата технических наук является самостоятельной, законченной научно-квалификационной работой, обладающей признаками актуальности, новизны и внутреннего единства. Ее содержание соответствует паспорту специальности 05.09.03 - «Электротехнические комплексы и системы» и отвечает требованиям к кандидатским диссертациям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 г. В соответствии с пунктом 9 «Положения...» работа может быть квалифицирована как решение задачи,

имеющей существенное значение для развития методической базы повышения надежности и эффективности промышленных электротехнических систем с тяговым электроприводом. Автор диссертационной работы Попов Никита Сергеевич заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы.

Отзыв на диссертацию и автореферат обсужден на заседании научного семинара кафедры «Электропривод и автоматизация промышленных установок» 01 июля 2022 г., протокол №28.

Заведующий кафедрой «Электропривод и автоматизация промышленных установок»
ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»
доцент к.т.н.

 Костылев Алексей Васильевич


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

Адрес: 620002, Екатеринбург, ул. Мира, 19

Телефон кафедры «Электропривод и автоматизация промышленных установок»: (343) 375 46 46

Контактный телефон: +7 (912) 240 79 76

e-mail: a.v.kostylev@urfu.ru

отзыв получен 22.08.2022 ММ / Дубаско МА /
с отзывом декана МС 22.08.22  *Митов ИС /*