

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 217.014.01,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
УНИТАРНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ - «ЦЕНТРАЛЬНЫЙ ОРДЕНА
ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ НАУЧНО-
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ АВТОМОБИЛЬНЫЙ И АВТОМОТОРНЫЙ
ИНСТИТУТ «НАМИ» МИНИСТЕРСТВА ПРОМЫШЛЕННОСТИ И
ТОРГОВЛИ РФ, ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ
СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 14.09.2022 г. №15

О присуждении Ульченко Ивану Алексеевичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Повышение безопасности колёсных машин на основе совершенствования алгоритмов работы системы предотвращения столкновений» по специальности 05.05.03 – «Колесные и гусеничные машины» принята к защите 06 июня 2022 г. (протокол заседания № 8) диссертационным советом Д 217.014.01, созданным на базе Федерального государственного унитарного предприятия «Центральный ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательский автомобильный и автомоторный институт «НАМИ» (ФГУП «НАМИ») Министерства промышленности и торговли РФ, 125438, г. Москва, ул. Автомоторная, д. 2, приказ Минобрнауки России о создании совета от 11 апреля 2012 г., № 105/НК.

Соискатель Ульченко Иван Алексеевич, родился 9 июля 1994 года, в 2018 году окончил факультет «Информатика и системы управления» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» (ФГБОУ ВО «МГТУ им. Н.Э. Баумана) с присвоением

квалификации инженера по специальности «Системы управления летательными аппаратами». В 2018 г. Ульченко Иван Алексеевич поступил на очное отделение аспирантуры ФГУП «НАМИ» по направлению подготовки 15.06.01 – «Машиностроение», специальность 05.05.03 – «Колёсные и гусеничные машины», а в 2022 году её окончил.

С сентября 2018 г. по настоящее время работает во ФГУП «НАМИ», в центре «Интеллектуальные системы» на должности инженера-программиста 1 категории.

Диссертация выполнена в центре «Интеллектуальные системы» ФГУП «НАМИ» Министерства промышленности и торговли РФ.

Научный руководитель – кандидат технических наук Куликов Илья Александрович, заведующий сектором имитационного моделирования центра «Энергоустановки» ФГУП «НАМИ».

Официальные оппоненты:

Косицын Борис Борисович, доктор технических наук (специальность 05.05.03 – «Колесные и гусеничные машины»), доцент кафедры «Колесные машины», Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» (ФГБОУ ВО «МГТУ им. Н.Э. Баумана»);

Баулина Елена Евгеньевна, кандидат технических наук (специальность 05.05.03 – «Колесные и гусеничные машины»), доцент, доцент кафедры «Наземные транспортные средства» Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский политехнический университет» (ФГАОУ ВО «Московский Политех»),

– дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет

(МАДИ)» (ФГБОУ ВО «МАДИ») в своем положительном отзыве, подписанном доктором технических наук, профессором, заместителем заведующего кафедрой «Автомобили» Гаевским Виталием Валентиновичем и утвержденном доктором технических наук, профессором, проректором по научной работе Карелиной Марией Юрьевной, **указала, что** рассматриваемая диссертация Ульченко Ивана Алексеевича является самостоятельной и завершенной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение актуальной научной задачи повышения активной безопасности автомобилей путем совершенствования алгоритмов предотвращения столкновений. Диссертационное исследование имеет научную ценность и практическую значимость для автомобильной промышленности. Полученные автором результаты достоверны, выводы обоснованы. Автореферат диссертационной работы в достаточной мере отражает ее содержание и соответствует требованиям ВАК РФ. Выполненное исследование соответствует паспорту научной специальности 05.05.03 – «Колесные и гусеничные машины» и критериям оценки диссертационных работ, изложенным в Постановлении Правительства РФ №842 от 24.09.2013 г. «О порядке присуждения ученых степеней». Автор диссертации «Повышение безопасности колесных машин на основе совершенствования алгоритмов работы системы предотвращения столкновений», Ульченко Иван Алексеевич, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.05.03 — «Колесные и гусеничные машины».

Соискатель имеет 5 печатных работ, в том числе из которых 1 в изданиях, рекомендованных ВАК РФ и 3 в изданиях, входящих в международные базы цитирования Web of Science и Scopus, приравниваемых к публикациям ВАК РФ (Постановление Правительства РФ №426 от 20.03.2021 г. «О внесении изменений в некоторые акты Правительства РФ...»):

1. Kulikov I., Ulchenko I. Performance analysis of the sliding mode control for automated vehicle path tracking at low adhesion surfaces: the 7th International Conference on Traffic and Logistic Engineering (ICTLE 2019), MATEC Web.Conf

/ (2019). 6 с. **Издание входит в базу Web of Science.**

2. Kulikov I.A., Ulchenko I.A., Chaplygin A.V. Using Real World Data in Virtual Development and Testing of a Path Tracking Controller for an Autonomous Vehicle // International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE). Vol. 8. 2019. N 12. 7 p. **Издание входит в базу Scopus.**

3. Kulikov I.A., Ulchenko I.A., Chaplygin A.V. Development and Testing of a Collision Avoidance Braking System for an Autonomous Vehicle // International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE). Vol. 8. 2019. N 12. 7 p. **Издание входит в базу Scopus.**

4. Куликов И.А., Ульченко И.А., Чаплыгин А.В. Разработка и тестирование функций автоматического управления движением автомобиля // Сборник Технологии и компоненты наземных интеллектуальных транспортных систем. 2019. С. 441-444.

5. Ульченко И.А. Сравнительный анализ регуляторов траекторного движения автомобиля, основанных на геометрическом методе // Труды НАМИ. 2020. № 4 (283). С. 72–81. **Издание входит в перечень ВАК РФ.**

На диссертацию и автореферат поступило 12 отзывов. Все отзывы положительные:

1. Государственное научное учреждение «Объединенный Институт машиностроения национальной академии наук Беларуси» (Объединенный Институт машиностроения НАН Беларуси), начальник научно-инжинирингового центра Бортовых систем управления мобильных машин — начальник отдела систем активной безопасности и управления, кандидат технических наук, доцент Савченко Владимир Владимирович.

Замечаний по работе не имеется.

2. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова Российской академии наук (ИПУ РАН), главный научный сотрудник, доктор физико-математических наук Рапопорт Лев Борисович.

Замечаний по работе не имеется.

3. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Тольяттинский государственный университет» (ФГБОУ ВО «ТГУ»), доцент кафедры «Проектирование и эксплуатация автомобилей», кандидат технических наук, доцент Соломатин Николай Сергеевич.

Отзыв содержит одно замечание редакционного характера.

4. Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого» (ФГАОУ ВО «СПбПУ»), профессор, профессор Высшей школы транспорта, доктор технических наук Худорожков Сергей Иванович.

Отзыв содержит четыре замечания, имеющие уточняющий характер.

5. Набережно-челнинский институт (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Казанский (Приволжский) федеральный университет» (Набережночелнинский институт (филиал) ФГАОУ ВО КФУ), профессор кафедры «Эксплуатация автомобильного транспорта», доктор технических наук Кулаков Александр Тихонович; доцент кафедры «Эксплуатация автомобильного транспорта», кандидат технических наук, доцент Барыкин Алексей Юрьевич.

Отзыв содержит два замечания, имеющие уточняющий характер.

6. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Пензенский государственный университет» (ФГБОУ ВО «ПГУ»), заведующий кафедрой «Технологии и оборудование машиностроения», доктор технических наук, доцент Зверовщиков Александр Евгеньевич; доцент кафедры «Транспортные машины», кандидат технических наук, доцент Генералова Александра Александровна.

Отзыв содержит два замечания, имеющие уточняющий характер.

7. Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования «Белорусско-Российский университет», профессор кафедры «Транспортные и технологические машины», доктор технических наук, профессор Тарасик Владимир Петрович; проректор по научной работе, доктор технических наук, профессор Пашкевич Виктор Михайлович.

Отзыв содержит одно замечание уточняющего характера.

8. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Волгоградский государственный технический университет» (ФГБОУ ВО «ВолгГТУ»), профессор кафедры «Техническая эксплуатация и ремонт автомобилей», доктор технических наук, доцент Балакина Екатерина Викторовна.

Отзыв содержит три замечания, одно из которых редакционного характера, одно замечание уточняющего и одно критического характера:

- судя по стр. 8 автореферата, автор считает, что алгоритмы предотвращения столкновений посредством экстренного автоматического торможения, получившие распространение в серийных автомобилях, имеют только ограничения эффективности, связанные с минимальной безопасной дистанцией до препятствия. В действительности есть другие ограничения, связанные с боковой скоростью появления движущейся мишени, с ее контрастностью на общем фоне и др.

9. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева» (ФГБОУ ВО «НГТУ им. Р.Е. Алексеева»), заведующий кафедрой «Автомобили и тракторы», кандидат технических наук, доцент Тумасов Антон Владимирович; доцент кафедры «Автомобили и тракторы», кандидат технических наук Лелиовский Константин Ярославич.

Отзыв содержит два замечания уточняющего характера.

10. Федеральное государственное образовательное учреждение высшего образования «Ковровская государственная технологическая академия имени

В.А. Дегтярева» (ФГБОУ ВО «КГТА им. В.А. Дегтярёва»), доцент кафедры «Наземные транспортно-технологические машины», кандидат технических наук, доцент Потапов Сергей Иванович.

Замечаний по работе не имеется.

11. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Пензенский государственный университет» (ФГБОУ ВО «ПГУ»), главный научный сотрудник Научно-исследовательского института фундаментальных и прикладных исследований, доктор технических наук, профессор Князьков Владимир Сергеевич.

В отзыве имеется следующее замечание критического характера:

- сравнительное исследование эффективности экстренного маневрирования и экстренного торможения проведено только с помощью математического моделирования без экспериментального подтверждения.

12. Общество с ограниченной ответственностью «ЭвоКарго» (ООО «ЭвоКарго»), главный научный сотрудник, доктор технических наук Шухман Сергей Борисович.

Отзыв содержит два замечания, одно из которых имеет уточняющий характер, и одно замечание критического характера:

- из автореферата непонятно, по каким конкретным численным критериям математическая модель №5 была признана наиболее подходящей для решения задач исследования в тексте дана только общая фраза о критериях адекватности, точности, вычислительной нагрузки и функциональности.

Выбор официальных оппонентов, доктора технических наук Бориса Борисовича Косицына и кандидата технических наук, доцента Елены Евгеньевны Баулиной обосновывается высокой компетенцией ученых и имеющимися у них публикациями в области систем активной безопасности автомобиля.

Выбор ведущей организации обосновывается широко известными достижениями и исследованиями ФГБОУ ВО «МАДИ» в областях

автомобилестроения, теории автомобиля и систем активной безопасности, в том числе предотвращающих столкновения.

Выбранные оппоненты и представители ведущей организации являются признанными специалистами и компетентны в области исследования, выполненного соискателем, а также имеют публикации в соответствующем направлении. Работы оппонентов и ведущей организации опубликованы в рецензируемых изданиях за последние 5 лет с 2018 по 2022 гг. и свидетельствуют об их осведомленности в современных тенденциях развития в области систем активной безопасности, предотвращающих столкновения, а также об актуальности и новизне выполненных научно-исследовательских работ.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации соответствует требованиям постановления правительства РФ от 24.09.2013 № 842 «О порядке присуждения ученых степеней».

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

проведен анализ исследований в области систем активной безопасности автомобиля, целью которых является предотвращение столкновений при помощи автоматического маневрирования. В результате анализа выявлены недостатки существующих решений и исследований в предметной области;

выполнено исследование математических моделей движения автомобиля на предмет применимости в исследованиях и разработках систем активной безопасности, предназначенных для экстренного автоматического маневрирования. Для решения задач диссертационного исследования выбрана модель на основе четырехколесной расчетной схемы автомобиля с эластичными шинами, нелинейными характеристиками бокового сцепления и учетом перераспределения нормальных реакций посредством динамики бокового крена кузова;

предложен новый набор критериев для оценки безопасности и качества маневров уклонения от столкновений;

разработан алгоритм управления движением автомобиля для выполнения экстренных маневров на основе метода нелинейного модельно-прогностического управления (NMPC). Для алгоритма NMPC **предложена** оригинальная целевая функция, обеспечивающая расчет оптимальной программы управления траекторным движением автомобиля по критериям безопасности и качества выполнения маневра уклонения от столкновения. По результатам проведенного исследования **установлена** более высокая эффективность экстренного маневрирования по сравнению с применением экстренного торможения, выражающаяся в снижении расстояния, требуемого для предотвращения столкновения. Так, на сухом асфальте с летними шинами при скорости более 50,2 км/ч снижение расстояния составило от 0,95 м (4,9%) до 18 м (36,2%); на сухом асфальте с зимними шинами при скорости более 41,5 км/ч снижение расстояния составило от 0,5 м (3,1%) до 12,82 м (32%); на укатанном снегу при скорости выше 27,7 км/ч снижение расстояния составило от 0,37 м (2,7%) до 21,7 м (41%). Эффект снижения расстояния увеличивается с ростом скорости автомобиля. В качестве основы для контроллеров систем экстренного маневрирования **предложены** два новых траекторных регулятора: «четырёхконтурный регулятор» и «курсовой регулятор с ω_z ». Исследование **показало**, что обеспечиваемые ими характеристики выполнения маневров уклонения от столкновения, близки к оптимальным, полученным с помощью метода NMPC, а также обеспечивают повышение эффективности предотвращения столкновений (снижение расстояния до препятствия) по сравнению с распространённым методом Pure Pursuit. Так, при использовании вместо Pure Pursuit «четырёхконтурного регулятора», уменьшение минимального безопасного расстояния в маневрах на сухом асфальте с летними шинами составило до 8,6%; на сухом асфальте с зимними шинами – до 12,6%; на укатанном снегу с зимними шинами – до 6,7%. Снижение минимального безопасного расстояния при использовании «курсового регулятора с ω_z » составило на сухом асфальте с летними шинами до 7,9%; на

сухом асфальте с зимними шинами – до 12,6%; на укатанном снегу с зимними шинами – до 5,8%.

Вычислительные и дорожные эксперименты **подтвердили** работоспособность и эффективность разработанных алгоритмов предотвращения столкновений.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что поставлена и решена научная задача повышения безопасности автомобиля путем совершенствования алгоритмов предотвращения столкновений при помощи экстренного маневрирования;

исследовано оптимальное управление траекторным движением автомобиля при выполнении маневра уклонения от столкновения с попутным препятствием;

разработаны два новых траекторных регулятора, которые продемонстрировали лучшие показатели безопасности и качества выполнения маневров, чем распространенный в исследованиях и инженерной практике регулятор Pure Pursuit;

предложен новый набор критериев для оценки качества выполнения экстренного маневра уклонения от столкновения с препятствием.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается:

- **реализацией** разработанных алгоритмов системы предотвращения столкновений в виде программного кода, который может быть использован в качестве основы для контроллеров систем активной безопасности;

- **использованием** результатов работы использовались в трех научно-исследовательских проектах в рамках государственных контрактов ФГУП «НАМИ» с Минобрнауки РФ и Минпромторгом РФ;

- **возможностью применения** набора предложенных критериев для оценки качества выполнения экстренных маневров серийных систем предотвращения столкновений;

- **внедрением** основных результатов диссертации в исследовательских и инженерных работах, а также в учебном процессе ФГУП «НАМИ»;

- **внедрением** основных результатов диссертационной работы в научной деятельности и учебном процессе кафедры «Наземные транспортные средства» ФГАОУ ВО «Московский политех».

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что:

теоретическая часть работы основана на известных научных принципах теории автомобиля, теоретической механики, теории автоматического управления и теории оптимального управления;

экспериментальные исследования проведены в соответствии с методиками, основанными на нормативных документах, с использованием сертифицированного контрольно-измерительного оборудования;

достоверность результатов математического моделирования движения автомобиля **подтверждается** научной обоснованностью использованных моделей и методов проведения вычислительных экспериментов. Адекватность выбранной модели подтверждается сопоставлением результатов вычислительных экспериментов с результатами дорожных испытаний автомобиля с определением абсолютных погрешностей ($\max \Delta$) и среднеквадратических ошибок (СКО) расчета бокового ускорения и скорости рыскания автомобиля. Получены следующие средние значения данных параметров в зависимости от опорной поверхности и используемых шин: сухой асфальт, летние шины: $|\max \Delta a_y| = 1,04 \text{ м/с}^2$, СКО $a_y = 18,2\%$, $|\max \Delta \omega_z| = 0,04 \text{ рад/с}$, СКО $\omega_z = 9\%$; сухой асфальт, зимние шины: $|\max \Delta a_y| = 1,2 \text{ м/с}^2$, СКО $a_y = 18,3\%$, $|\max \Delta \omega_z| = 0,07 \text{ рад/с}$, СКО $\omega_z = 11,6\%$; укатанный снег, зимние шины: $|\max \Delta a_y| = 0,96 \text{ м/с}^2$, СКО $a_y = 26,5\%$, $|\max \Delta \omega_z| = 0,08 \text{ рад/с}$, СКО $\omega_z = 19,3\%$;

достоверность результатов исследования разработанных алгоритмов управления траекторным движением автомобиля **подтверждается** научной обоснованностью использованных методов, а также вычислением оценочных

параметров качества выполнения маневров и сопоставлением полученных параметров с результатами других исследований.

Личный вклад соискателя состоит в:

- проведенном анализе исследований в области систем активной безопасности автомобиля, целью которых является предотвращение столкновений при помощи автоматического маневрирования;
- проведенном сравнительном анализе математических моделей движения автомобиля и выборе наиболее подходящей для исследования систем предотвращения столкновений;
- предложенном наборе критериев для оценки безопасности и качества маневров уклонения от столкновений;
- разработке алгоритма поиска оптимальной программы выполнения маневра предотвращения столкновения на основе метода нелинейного модельно-прогностического управления (NMPC);
- разработке двух новых траекторных регуляторов – «четырёхконтурного» и «курсового регулятора с ω_z »;
- проведении вычислительных экспериментов и дорожных испытаний автомобиля, снабженного разработанными соискателем алгоритмами.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания:

1. В представленной зависимости минимального безопасного расстояния от скорости автомобиля, зимние шины показывают на сухом асфальте лучшие результаты, чем летние шины. Такой результат вызывает сомнения. Как это объяснить?

2. Для решения задач исследования выбрана модель, в которой отсутствует расчет продольных реакций. Чем объяснить тот факт, что по некоторым параметрам адекватности модель, которая является в известной степени упрощенной, показывает лучшие результаты, чем модель с учетом продольных реакций? Обычно считается, что чем точнее описываются процессы, тем точнее, как правило, получается результат.

3. В описании используемой математической модели рулевого управления не представлен учет его жесткости. При низкой скорости поворота руля жесткость практически не играет роли, но при высокой скорости она становится определяющим фактором с точки зрения реакции автомобиля.

Соискатель Ульченко И.А. ответил на заданные ему в ходе заседания вопросы и привёл обоснованную аргументацию:

1. Во время выполнения испытаний на сухом асфальте с летними шинами по соображениям безопасности, связанными с опрокидыванием автомобиля, интенсивность маневров была занижена. Перед проведением зимних испытаний на сухом асфальте была выполнена предварительная расчетная оценка риска опрокидывания, что позволило при выполнении экспериментов не занижать интенсивность маневров, не перестраховываться. С этим и связана большая эффективность алгоритмов в зимних манерах. В тексте работы это отражено.

2. Дополнительные исследования показали, что снижение точности более сложной модели связано с тем, что усложнение модели ведет к увеличению числа параметров, которые должны быть идентифицированы, причем с определенной точностью. Ошибки в идентификации этих параметров увеличивают погрешность модели. Конкретно, в модели б, о которой идет речь, необходимо дополнительно идентифицировать, как минимум, четыре коэффициента модели шины Magic Formula.

3. Моделирование рулевого управления осуществляется при помощи нелинейной передаточной функции с наложенными на неё ограничениями. Жесткость рулевого управления в данной модели не учитывалась. Она будет учтена при дальнейшем развитии модели.

На заседании 14.09.2022 г. диссертационный совет принял заключение, за решение научной задачи повышения активной безопасности колесных машин и совершенствования алгоритмов предотвращения столкновений, имеющей значение для развития автомобильной отрасли, присудить Ульченко Ивану Алексеевичу ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 14 человек, из них 6 докторов наук по рассматриваемой специальности, участвовавших в заседании, из 20 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 14, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель диссертационного совета,
доктор технических наук, профессор,
лауреат Государственной премии РФ,
лауреат премии Правительства РФ,
заслуженный машиностроитель РФ



Ольгерт Иванович Гируцкий

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат технических наук, доцент



Ринат Ханьяфиевич Курмаев

14.09.2022