

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 РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ, ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
КАНДИДАТА ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 21.09.2022 №17

О присуждении Васину Павлу Александровичу, гражданину Российской Федерации, учёной степени кандидата технических наук.

Диссертация «Совершенствование алгоритмов автоматического управления движением автомобиля посредством нейросетевых решений и анализа дорожной обстановки» по специальности 05.05.03 – «Колёсные и гусеничные машины» принята к защите 20 июня 2022 г., (протокол заседания №10) диссертационным советом Д217.014.01, 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 Российской Федерации, 125438, г. Москва, ул. Автомоторная, д. 2, приказ Минобрнауки России о создании диссертационного совета от 11 апреля 2012 г., № 105/НК.

Соискатель Васин Павел Александрович родился 8 июня 1994 года, в 2018 году окончил обучение на кафедре «Робототехника, мехатроника, динамика и прочность машин» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «национальный исследовательский университет «МЭИ» (ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»)), защитив магистерскую диссертацию с присвоением квалификации магистра по специальности «Мехатроника и робототехника». С 2018 года Васин Павел Александрович работает во

ФГУП НАМИ в должности инженера-программиста 1 категории в центре «Интеллектуальные системы».

В 2018 г. Васин Павел Александрович поступил на очное отделение аспирантуры ФГУП «НАМИ» по направлению 15.06.01 – «Машиностроение», специальность 05.05.03 – «Колёсные и гусеничные машины», а в 2022 году окончил обучение в аспирантуре.

Диссертация выполнена в центре «Интеллектуальные системы» ФГУП «НАМИ» Министерства промышленности и торговли Российской Федерации

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

Официальные оппоненты:

Катанаев Николай Трофимович, доктор технических наук (специальность 05.05.03 – «Колёсные и гусеничные машины»), профессор, профессор кафедры «Менеджмент» Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский политехнический университет» (ФГАОУ ВО «Московский Политех»);

Малиновский Михаил Павлович, кандидат технических наук (специальность 05.05.03 – «Колёсные и гусеничные машины»), доцент, доцент кафедры «Тягачи и амфибийные машины» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)» (ФГБОУ ВО «МАДИ»),

- дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексева» (ФГБОУ ВО «НГТУ им Р.Е. Алексева»), в своем положительном отзыве, подписанном: ученым секретарём диссертационного совета Д212.165.04, профессором кафедры «Автомобили и тракторы», доктором технических наук, профессором Орловым Львом Николаевичем; заведующим кафедрой «Автомобили и тракторы»,

кандидатом технических наук, доцентом Тумасовым Антоном Владимировичем и утвержденном проректором по научной работе, доктором физико-математических наук, профессором Куркиным Андреем Александровичем, **указала, что** диссертационная работа Васина Павла Александровича «Совершенствование алгоритмов автоматического управления движением автомобиля посредством нейросетевых решений и анализа дорожной обстановки» является самостоятельной завершенной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение научной задачи, связанной с совершенствованием алгоритмов автоматического управления движением автомобиля посредством нейросетевых решений и анализа дорожной обстановки. Диссертационное исследование имеет значение для развития автомобильной отрасли страны. Полученные автором результаты достоверны, выводы и заключения обоснованы. Автореферат диссертации соответствует требованиям ВАК Минобрнауки России и в основном соответствует содержанию работы. Выполненное исследование отвечает паспорту научной специальности 05.05.03 – «Колесные и гусеничные машины» и соответствует критериям оценки кандидатских диссертационных работ, изложенным в пп. 9...11, 13, 14 Постановления Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 «О порядке присуждения ученых степеней». Автор диссертации «Совершенствование алгоритмов автоматического управления движением автомобиля посредством нейросетевых решений и анализа дорожной обстановки» Васин Павел Александрович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.05.03 – «Колесные и гусеничные машины».

Соискатель имеет 4 печатные работы, в том числе из которых 1 в издании, рекомендованном ВАК РФ и 2 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. Васин П.А., Куликов И.А. Обучение нейросетевых алгоритмов автомобильного технического зрения с учётом типов ошибок распознавания // Труды НАМИ. –2021. –№ 3 (286). –С. 37–47. **Издание входит в перечень ВАК РФ.**

2. Endachev D., Vasin P., Shadrin S. Applicability of Computer Vision Architectures and Their Influence on Traffic Safety of Autonomous Vehicles // IJEAT. 2019. Т. 8. № 6. С. 5295–5301. **Издание входит в базу Scopus.**

3. Vasin P., Shadrin S. Development and Testing of Approach for Separated Training of Branches of Multi-Task Convolutional Neural Networks// 2020 12th International Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence (ECAI).2020. **Издание входит в базы Scopus, Web of Science, IEEE Xplore.**

4. Ендачев Д. В., Васин П. А., Шадрин С. С. Влияние свойств программных компонентов системы технического зрения на безопасность движения беспилотного транспорта // Технологии и компоненты наземных интеллектуальных транспортных систем. 2019. С. 251-258. **Издание входит в РИНЦ.**

На диссертацию и автореферат поступило 9 отзывов. Все отзывы положительные.

1. Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Казанский (Приволжский) федеральный университет» (ФГАОУ ВО «КФУ»), директор Института вычислительной математики и ИТ, директор Центра Цифровых трансформаций, руководитель стратегического проекта М94 «ИТ, ИИ и киберфизические системы» программы Приоритет-2030, кандидат технических наук, доцент Чикрин Дмитрий Евгеньевич.

В отзыве имеются два замечания, одно из которых имеет уточняющий характер, а одно критический характер:

- недостаточно обосновано утверждение о том, что неравнозначность ошибок первого и второго рода в существующих алгоритмах идентификации проходимого пространства является недостатком. Для учета ошибок 1-го и 2-го рода существуют альтернативные критерии оценки качества, такие как Р-меры.

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

В отзыве имеется одно замечание редакционного характера.

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

В отзыве имеются два замечания, одно из которых имеет уточняющий характер, а одно критический характер:

- из автореферата неясно, как поведут себя предложенные нейросетевые алгоритмы в темное или сумеречное время суток, а также при наличии осадков.

4. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Пензенский государственный университет» (ФГБОУ ВО «ПГУ»), заместитель директора Научно-исследовательского института фундаментальных и прикладных исследований, доктор технических наук Тычков Александр Юрьевич.

В отзыве имеются два замечания, одно из которых имеет уточняющий характер, а одно критический характер:

- в тексте автореферата не отражена формула расчета весовой функции $W_{i,j}^{\text{расст}}$ и не описано, из каких соображений она введена, что не позволяет определить ее назначение и влияние на функцию обучения, в которой она используется.

5. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Липецкий государственный технический университет» (ФГБОУ ВО «ЛГТУ»), доцент кафедры «Транспортные средства и техносферная безопасность», кандидат технических наук Дмитриев Семен Анатольевич.

В отзыве имеются три замечания, одно из которых имеет редакционный характер, одно – уточняющий, одно - критический характер:

- вывод в последнем абзаце на стр. 15 о более высоком качестве идентификации параметров объектов выглядит излишне оптимистичным, так как сделан на основании только одного параметра из предложенных четырех. Причем

для разных рассматриваемых алгоритмов также взяты разные параметры. В таком случае правильнее было бы судить только о сравниваемых величинах.

6. Общество с ограниченной ответственностью «Ульяновский автомобильный завод» (ООО «УАЗ»), исполняющий обязанности главного конструктора Макаров Андриан Иванович.

В отзыве имеются два замечания, которые имеют уточняющий характер.

7. Государственное научное учреждение «Объединённый институт машиностроения Национальной академии наук Беларуси» (ГНУ «ОИМ НАН Беларуси»), генеральный директор, кандидат технических наук Поддубко Сергей Николаевич.

В отзыве отсутствуют замечания.

8. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ковровская Государственная Технологическая Академия имени В.А. Дегтярева» (ФГБОУ ВО «КГТА им. В.А. Дегтярева»), доцент кафедры «Наземные транспортно-технологические комплексы», кандидат технических наук, доцент Потапов Сергей Иванович.

В отзыве отсутствуют замечания.

9. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Волгоградский государственный технический университет» (ФГБОУ ВО «ВолгГТУ»), профессор кафедры «Техническая эксплуатация и ремонт автомобилей», доктор технических наук, профессор Ляшенко Михаил Вольфредович.

В отзыве имеется одно замечание критического характера:

- анализ дорожных ситуаций, приведённый в разделах о техническом зрении, соответствует только летним условиям с ясной погодой, в связи с чем возникает вопрос адекватности разработанных алгоритмов в зимних условиях или в условиях ухудшенной видимости из-за осадков или тумана.

Выбор официальных оппонентов, доктора технических наук, профессора Катанаева Николая Трофимовича, кандидата технических наук, доцента Малиновского Михаила Павловича, обосновывается высокой компетенцией учёных и имеющимся у них рядом публикаций в областях автоматических систем

управления движением автомобиля, системы «водитель-автомобиль-среда-дорога» и динамики автомобиля.

Выбор ведущей организации обосновывается известными разработками и исследованиями ФГБОУ ВО «НГТУ им. Р.Е. Алексеева» в области беспилотных автомобилей и автоматических систем управления движением автомобиля.

Выбранные оппоненты и представители ведущей организации являются признанными специалистами и компетентны в области исследования, выполненного соискателем, а также имеют публикации в этой области. 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 автоматического управления движением автомобиля, 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 алгоритмов автоматического управления движением автомобиля, в частности, алгоритмов планирования траектории движения и алгоритмов анализа дорожной обстановки вокруг автомобиля. В результате анализа **выявлены** недостатки существующих исследований и решений в предметной области;

предложена концепция усовершенствованной системы автоматического управления движением автомобиля с учетом окружающей дорожной обстановки. В качестве основы системы **предложен** оригинальный нейросетевой алгоритм планирования траектории движения автомобиля, учитывающий конфигурацию окружающего пространства, динамические свойства автомобиля, «изучаемые» алгоритмом посредством математической модели динамики автомобиля, а также ограничения, налагаемые на параметры движения и управления автомобилем. В результате проведенного исследования **установлено**, что в сравнении с

известными решениями применение алгоритма позволяет существенно улучшить характеристики движения и управления автомобиля, делая его автоматическое движение физически реализуемым и комфортным. **Показано** численное повышение качества управления, выражающееся в снижении амплитудных значений основных параметров курсового движения автомобиля относительно алгоритмов аналогов (при прочих равных условиях): бокового ускорения на 27%, скорости рыскания автомобиля на 29%, угла поворота рулевого колеса на 28%, скорости вращения рулевого колеса на 73%;

разработаны новые нейросетевые алгоритмы, обеспечивающие алгоритм планирования движения автомобиля информацией о дорожной обстановке посредством технического зрения: многозадачный алгоритм идентификации и классификации участников дорожного движения и оценки их параметров; алгоритм распознавания проходимого (проезжего) пространства с оригинальными функциями обучения, вводящими штрафы за ложноположительные оценки. В результате исследования **установлено**, что метрика качества mAP (средняя точность идентификации) разработанного алгоритма идентификации участников дорожного движения составляет 70,3%, что соответствует уровню лучших известных алгоритмов-детекторов. Погрешности идентификации параметров объектов составляют 0,5% и 1,7% для ширины и длины объекта соответственно. Ошибки идентификации пространственного положения объектов составляют 9% для расстояния до объекта и 6% для угла ориентации объекта, что лучше, чем у рассмотренных алгоритмов-аналогов. Быстродействие алгоритма на 82% превышает данный показатель программного комплекса, способного выполнять аналогичный набор функций. В результате исследования **установлено**, что применение разработанного алгоритма распознавания проходимого пространства позволяет снизить долю ложноположительных оценок в среднем на 20% по сравнению с известными алгоритмами-аналогами.

Выполненные автором вычислительные и дорожные эксперименты подтвердили эффективность и работоспособность разработанных алгоритмов автоматического управления движением автомобиля.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

решена научная задача совершенствования алгоритмов автоматического управления движением автомобиля путем применения нейросетевых решений, основанных на функциях обучения, которые учитывают особенности динамики автомобиля и дорожной обстановки, окружающей автомобиль;

предложен новый алгоритм планирования траектории движения автомобиля и новые алгоритмы анализа дорожной обстановки средствами технического зрения;

изложена концепция системы автоматического управления движением автомобиля, включающая в себя разработанные новые алгоритмы;

исследовано влияние использования математической модели динамики автомобиля при обучении нейросетевого алгоритма на качество автоматического управления траекторным движением автомобиля;

изучено влияние состава и настроек функций обучения нейросетевых алгоритмов технического зрения на качество анализа дорожной обстановки.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается:

реализацией предложенных алгоритмов и процедур их обучения в виде программного обеспечения, которое может использоваться как центральный элемент автоматических систем управления движением автомобилей различных уровней автоматизации;

использованием результатов диссертационной работы в двух научно-исследовательских проектах по государственным контрактам ФГУП «НАМИ» с Министерством науки и высшего образования РФ и Министерством промышленности и торговли РФ;

внедрением основных результатов диссертации в исследовательские и инженерные работы ФГУП «НАМИ» в области систем автоматического управления движением автомобилей;

внедрением основных результатов диссертационной работы в научную деятельность и учебный процесс кафедры «Наземные транспортные средства» ФГАОУ ВО «Московский Политех».

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

теоретическая часть работы основана на известных научных принципах теории системы «водитель-автомобиль-дорога-среда», динамики автомобиля и нейросетевого анализа данных;

новые результаты подтверждены вычислительными экспериментами, а также сопоставлением расчетных данных с данными физических и виртуально-физических экспериментов;

использованы современные общепринятые методы проведения вычислительных и физических экспериментов и критерии оценки качества математических моделей и нейросетевых алгоритмов;

достоверность математического моделирования движения автомобиля и результатов исследования разработанных алгоритмов управления движением **подтверждается** научной обоснованностью использованных методов, а также сопоставлением расчетных данных с измерениями, полученными в ходе дорожных испытаний автомобиля. Полученные в результате сравнения вычислительных и физических экспериментов величины погрешностей расчета основных параметров движения автомобиля в среднем составили: 4% по скорости рыскания, 17% по боковому ускорению, 0,06...0,15 м по среднему отклонению автомобиля от траектории, 0,09...0,38 м по максимальному отклонению от траектории, что позволило сделать вывод о приемлемой адекватности и точности разработанных моделей и возможности их применения в задачах разработки и обучения алгоритма построения траектории;

установлены качественные и количественные показатели предложенных автором алгоритмов, произведено их сравнение с известными аналогами, представленными в публикациях и независимых источниках, показавшее преимущества предложенных в работе алгоритмов в сравнении с известными решениями.

Личный вклад соискателя состоит в следующем:

1. Проведён анализ исследований в области алгоритмов автоматического управления движением автомобиля: алгоритмов построения траектории движения и анализа дорожной обстановки средствами технического зрения.

2. Предложена концепция усовершенствованной системы автоматического управления движением автомобиля.

3. Разработан новый нейросетевой алгоритм планирования траектории движения автомобиля с учетом конфигурации проходимого пространства, динамических свойств автомобиля и ограничений, налагаемых на параметры его движения и управления, с оригинальной функцией обучения.

4. Разработан новый многозадачный алгоритм обнаружения участников дорожного движения и идентификации их параметров с оригинальной функцией обучения.

5. Предложены оригинальные целевые функции обучения алгоритмов сегментации проходимого пространства, в которых предусмотрена возможность введения штрафов за ложноположительные оценки.

6. Проведено исследование разработанных нейросетевых алгоритмов посредством вычислительных и физических экспериментов.

7. Программно реализованы разработанные алгоритмы.

Основные результаты, приведенные в диссертации, получены лично автором или при непосредственном его участии.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания:

1. В работе приведены результаты работы алгоритмов при движении автомобиля с постоянными скоростями 20 км/ч, 40 км/ч. В этой связи вызывает сомнения работоспособность алгоритмов при больших скоростях движения.

2. В докладе не приводилось допустимое число ложноположительных срабатываний алгоритма оценки проходимого пространства. Каким оно должно быть и соответствует ли ему предложенный алгоритм?

3. В выводах по алгоритму планирования траектории показано снижение амплитудного значения скорости поворота рулевого колеса, которое составило примерно 70% по сравнению с алгоритмами-аналогами. Столь значительное снижение вызывает сомнения. Пожалуйста, обоснуйте его.

Соискатель Васин П.А. ответил на вопросы, заданные ему в ходе заседания, и привёл обоснованную аргументацию:

1. Ограничений по работе, связанных со скоростью движения, для предложенных алгоритмов технического зрения нет, однако скорость их обчета будет определяться быстродействием вычислителя. Может использоваться камера с глобальным затвором, которая не дает искажений и не имеет скоростных ограничений; при использовании скользящего затвора могут возникнуть искажения, которые могут затруднить работу алгоритмов. Алгоритм построения траектории был исследован на скоростях от 0 до 60 км/ч, так как изначально было принято ограничение области эксплуатации городскими условиями движения. В пределах этого диапазона ограничений для работы алгоритма не выявлено.

2. Количество ложноположительных срабатываний для идеального алгоритма - ноль, такой алгоритм будет иметь только истинные срабатывания. Однако, достижение таких показателей в реальных условиях невозможно. В работе для обучения с разными целевыми функциями были получены разные количества ложноположительных срабатываний – 2,7% для первой целевой функции, и 2,8% - для второй. Общий количественный предел допустимых ложных срабатываний дать нельзя, нужно рассматривать вопрос для каждого алгоритма, обучающей выборки и условий эксплуатации в отдельности. При одном и том же количестве ложноположительных срабатываний на изображении, и соответственно, вокруг автомобиля, они могут оказывать разное влияние на безопасность движения.

3. Для сравнения был взят один из широко используемых аналогов – алгоритм Rapidly-exploring random trees (RRT). Характерным его недостатком является ломанный характер построенной траектории. Переходы между сегментами получаемой траектории заставляют регулятор быстро изменять угол поворота рулевого колеса, что приводит к большим скоростям его поворота. У разработанного алгоритма такой недостаток отсутствует, генерируемые им траектории значительно более гладкие, вследствие чего их прохождение требует значительно меньших амплитуд параметров движения и управления, в том числе скорости поворота рулевого колеса.

На заседании 21.09.2022 г. диссертационный совет принял заключение: за решение научной задачи, имеющей существенное значение для развития автомобильного транспорта, связанной с совершенствованием алгоритмов автоматического управления движением автомобиля посредством нейросетевых решений и анализа дорожной обстановки, присудить Васину Павлу Александровичу учёную 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



Гируцкий Ольгерт Иванович

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат технических наук, доцент



Курмаев Ринат Ханяфиевич

21.09.2022