

Шадрин Сергей Сергеевич

**МЕТОДОЛОГИЯ СОЗДАНИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ
АВТОНОМНЫХ КОЛЕСНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ,
ИНТЕГРИРОВАННЫХ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНУЮ
ТРАНСПОРТНУЮ СРЕДУ**

Специальность: 05.05.03 - Колесные и гусеничные машины

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Москва - 2017

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)»

Официальные оппоненты: Баженов Евгений Евгеньевич, доктор технических наук, директор института Автомобильного транспорта и технологических систем «Уральского государственного лесотехнического университета»;

Дубровский Анатолий Федорович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Автомобильного транспорта» «Южно-Уральского государственного университета (национального исследовательского университета)»;

Кисуленко Борис Викторович, доктор технических наук, профессор, заместитель генерального директора по техническому регулированию Государственного научного центра Российской Федерации ФГУП «НАМИ».

Ведущее предприятие: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева» (НГТУ).

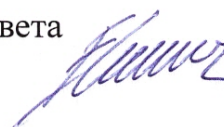
Защита состоится "22" мая 2017 г. в 14³⁰ на заседании диссертационного совета Д 212.141.07 в Московском государственном техническом университете имени Н.Э. Баумана по адресу: 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1.

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке и на сайте МГТУ им. Н.Э. Баумана: www.bmstu.ru.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах с подписью, заверенные печатью Вашего учреждения, просим направить в адрес ученого секретаря диссертационного совета.

Автореферат разослан: " ____ " _____ 2017 г.

Ученый секретарь диссертационного совета
доктор технических наук

 Сарач Евгений Борисович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность

Повышение эффективности транспортного обслуживания населения за счет применения инновационных организационных и технических решений связано с развитием и внедрением интеллектуальных транспортных систем, интеллектуальных (автономных) транспортных средств, а также с уменьшением степени влияния человеческого фактора на процессы управления транспортными средствами. Естественным является то обстоятельство, что автономные колесные транспортные средства, в зависимости от степени автоматизации, будут уменьшать нагрузку, оказываемую на водителей, не будут ухудшать дорожную ситуацию, но будут улучшать эффективность транспортного обслуживания и повышать безопасность дорожного движения. Снижение тяжести дорожно-транспортных происшествий, сохранение и поддержание трудоспособности населения, повышение производительности труда, в том числе, за счет автоматизации технологических процессов, всегда находилось в сфере государственных интересов Российской Федерации.

Вместе с тем, при выполнении специальных транспортно-технологических операций с использованием колесных транспортных средств имеют место ситуации, когда участие водителя в процессе управления связано с риском для его жизни, например, при ликвидации чрезвычайных ситуаций, при проведении войсковых операций, в т.ч. при противодействии терроризму.

В то же время, общемировая тенденция показывает, что современные автомобили и дорожная транспортная техника все в меньшей мере остаются одиночными транспортными средствами, все более интегрируясь в интеллектуальную транспортную среду, под которой понимается информационное пространство Интеллектуальных Транспортных Систем (ИТС).

Таким образом, разработка методологии создания систем управления движением автономных колесных транспортных средств, интегрированных в интеллектуальную транспортную среду, имеет и гражданскую, и военную направленности, является актуальной и соответствует приоритетным направлениям развития автотранспортного комплекса Российской Федерации, что, в свою очередь, подтверждается следующими официальными документами:

- концепция долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2020 года (Распоряжение Правительства Российской Федерации от 17 ноября 2008 г. № 1662-р);
- перечень критических технологий Российской Федерации, утвержденный Указом Президента Российской Федерации от 7 июля 2011 г. № 899;
- стратегия развития автомобильной промышленности Российской Федерации на период до 2020 года, утвержденная приказом Минпромторга России от 23 апреля 2010 г. № 319 (ред. от 27.12.2013).

В мире разработкой технологий управления автономными колесными транспортными средствами активно занимаются и автопроизводители (Volvo, Volkswagen, Mercedes-Benz, General Motors), и крупные инженерные центры (Google, Continental, Delphi, Siemens, Bosch), и военные ведомства (DARPA), и университеты (Stanford University, Carnegie Mellon University, Technical University of Munich,

University of Karlsruhe, Fraunhofer Institute, University of Minnesota), и многие другие, что подчеркивает актуальность выбранного направления исследований. Из зарубежных официальных документов отдельно выделим Европейскую стратегию развития интеллектуальных транспортных систем до 2050 года, одним из индикаторов которой значится достижение нулевого уровня смертности на дорогах, в том числе, за счет распространения автономных колесных транспортных средств, интегрированных в интеллектуальную транспортную среду.

Цель работы

Целью диссертационной работы является повышение безопасности дорожного движения путем внедрения автономных колесных транспортных средств, интегрированных в интеллектуальную транспортную среду.

Задачи исследования

На основании анализа научных работ по теме диссертации для достижения цели были сформулированы задачи исследования:

- разработать концепцию создания систем управления движением автономных колесных транспортных средств, радикально повышающую безопасность дорожного движения;
- разработать комплексную математическую модель расчета динамики движения автомобиля, подробно описывающую неустановившиеся режимы движения, а также режимы движения с высокими скоростями на разных типах опорных поверхностей;
- разработать методику верификации параметров математической модели на основе результатов дорожных испытаний;
- определить адекватность разработанной математической модели, адаптировать модель к использованию в системах управления движением автономных колесных транспортных средств, интегрированных в интеллектуальную транспортную среду;
- разработать методы интеграции автономных колесных транспортных средств в интеллектуальную транспортную среду;
- обосновать работоспособность предлагаемой методологии путем создания опытных образцов автономных колесных транспортных средств.

Объект исследования – система «Водитель – Система Автономного Вождения – Автомобиль – Дорога – Транспортная Среда – Информационное Поле».

Предмет исследования – процессы функционирования систем управления движением автономных колесных транспортных средств, интегрированных в интеллектуальную транспортную среду.

Методы исследования

Теоретические исследования проводятся на основе фундаментальных положений теории движения автомобиля, теоретической механики, электротехники, теории математического анализа, теории эксперимента, методов компьютерного моделирования, теории автоматизированного управления, методов синтеза систем управления и средств связи, методов обработки видеоинформации в системах технического зрения. Экспериментальные исследования проводятся в условиях испытательного автополигона МАДИ, автополигона ФГУП «НАМИ» и на дорогах общего пользования на автомобилях категорий «М1» и «М2» с использованием современных измерительных комплексов Corrsys Datron, Kistler, IMC с интеграцией в бортовые мультимедийные сети передачи данных, с применением средств технического зрения и специализированного навигационного оборудования. Обработка

экспериментальных данных и компьютерное моделирование реализуются с использованием пакетов прикладных программ CeCalWin, TurboLab, imc FAMOS, Matlab. Прототипирование систем управления, интерфейсов и протоколов связи осуществляется в среде Matlab, программирование процессоров модуля управления системами автомобиля и модулей обработки выполняется на языке C, приложения дистанционного управления, а также приложения сервисов V2P (Vehicle-to-Person) реализуются на языке Java.

Научная новизна результатов проведенного исследования заключается:

- в разработке концепции создания систем управления движением автономных колесных транспортных средств, интегрированных в интеллектуальную транспортную среду, включающей в себя следующие отличительные особенности: сформулированный и обоснованный состав системы автономного вождения; функциональные и технические требования к системе и элементам системы, а также методы выполнения требований; методологию оборудования новых и дооснащения находящихся в эксплуатации колесных транспортных средств для выполнения задач автономного движения; методы интеграции автономных колесных транспортных средств в интеллектуальную транспортную среду;
- в разработке комплексной математической модели расчета динамики движения автомобиля, пригодной для использования в системах управления движением автономных колесных транспортных средств, отличающейся подробным описанием неустановившихся режимов движения, а также режимов движения с высокими скоростями на разных типах опорных поверхностей;
- в разработке методики верификации математической модели на основе результатов ускоренных дорожных испытаний (впервые установлены минимальный набор испытаний для верификации модели и возможность автоматического уточнения параметров в процессе эксплуатации).

Практическая значимость результатов диссертации

Разработана методология создания систем управления движением автономных колесных транспортных средств, интегрированных в интеллектуальную транспортную среду, применяемая как при создании новых, так и дооснащении находящихся в эксплуатации автотранспортных средств категорий L6, L7, M1, M2, M3, N1, N2, N3.

Обоснован состав системы автономного вождения, технические и функциональные требования к элементам системы, а также методы выполнения требований. Решена прикладная задача создания трехмерного сканирующего устройства, пригодного для использования в системе бионического машинного зрения.

Сформулированы актуальные проблемы и риски массового внедрения систем автономного вождения для использования в стратегии развития автономного транспорта.

Разработана предикторная система управления движением на основе подробной математической модели, описывающей криволинейное движение автомобиля с высокой точностью (в т.ч. неустановившиеся режимы, режимы движения с высокими скоростями и на разных типах опорных поверхностей), определяемой экспериментальным характером получения исходных данных. Математическая модель используется в системе управления движением, в т.ч. в подсистеме предотвращения ДТП, пригодна для использования в учебных процессах высших учебных профильных заведений.

Обоснован перечень параметров, передаваемых в интеллектуальную транспортную среду в рамках V2V (Vehicle-to-Vehicle) и V2I (Vehicle-to-Infrastructure) коммуникаций, рассчитаны минимальные требования к скорости передачи данных, проведены натурные эксперименты – результаты могут быть использованы в процессе стандартизации технологий интеллектуальных транспортных систем (ИТС), а также при создании дорожной инфраструктуры современной транспортной сети.

Разработана методика декодирования данных, передаваемых по бортовым мультиплексным сетям автотранспортных средств, для использования в задачах автоматизации управляемого движения и интеграции автономного колесного транспортного средства в интеллектуальную транспортную среду. Оценена точность штатных бортовых средств измерения современных автотранспортных средств.

Экспериментально определены диапазоны запаса пропускной способности высокоскоростных и среднескоростных шин CAN современных автотранспортных средств в эксплуатации, определены уровни дополнительной нагрузки на шины CAN от внешних устройств, обоснована применимость разработанной методики интеграции внешнего оборудования в бортовые сети для создания систем управления движением автономных колесных транспортных средств. Обоснован выбор интерфейсов связи и разработаны протоколы передачи данных между модулями системы автономного вождения.

Созданы опытные образцы автономных колесных транспортных средств третьего и четвертого уровней автоматизации SAE на платформах микроавтобуса и легкового автомобиля, использующиеся для разработки и тестирования алгоритмов систем автономного вождения, в т.ч. в учебном процессе.

Реализация результатов работы

Разработанная методология может использоваться при создании систем управления движением автономных колесных транспортных средств, интегрированных в интеллектуальную транспортную среду. Основные результаты работы реализованы и подтверждены соответствующими актами внедрения в:

- ООО «Объединенный Инженерный Центр» (группа ГАЗ) в части практического применения концепции создания систем управления движением автономных колесных транспортных средств (г.Нижний Новгород);
- ООО «Шинный испытательный центр «Вершина» при проведении дорожных испытаний (г.Ярославль);
- ЗАО «НПП Транснавигация» при разработке технических требований к аппаратно-программному обеспечению бортового навигационно-связного оборудования колесных транспортных средств (г.Москва).

На защиту выносятся:

1. Научно обоснованная структура системы «Водитель – Система Автономного Вождения – Автомобиль – Дорога – Транспортная Среда – Информационное Поле», включающая связи физических и информационных взаимодействий.
2. Концепция создания систем управления движением автономных колесных транспортных средств, интегрированных в интеллектуальную транспортную среду.
3. Комплексная математическая модель расчета динамики движения автомобиля, подробно описывающая неустановившиеся режимы движения, а также режимы движения с высокими скоростями на разных типах опорных поверхностей.

4. Методика верификации параметров математической модели на основе результатов ускоренных дорожных испытаний.
5. Прикладные результаты применения методологии, полученные при создании образцов автономных колесных транспортных средств.

Апробация работы

Основные положения диссертации были доложены и обсуждены на 79-ой международной научно-технической конференции «Безопасность транспортных средств в эксплуатации» (Нижний Новгород, 2012); международной конференции «Прогресс транспортных средств и систем» (Волгоград, 2013); 72-ой научно-методической и научно-исследовательской конференции МАДИ (Москва, 2014); 86-ой международной научно-технической конференции ААИ «Конструктивная безопасность автотранспортных средств» (МО, п. Автополигон, центр испытаний «НАМИ», 2014); 73-ей научно-методической и научно-исследовательской конференции МАДИ (Москва, 2015); 94-ой международной научно-технической конференции ААИ «Беспилотные транспортные средства: проблемы и перспективы» (Нижний Новгород, 2016); во время стажировки в федеральном дорожном агентстве Германии BAST (Германия, г. Бергиш-Гладбах, 2014).

Публикации

Основные положения работы опубликованы в 38 научных статьях, 23 из которых в журналах перечня ВАК РФ, 6 статей в журналах баз данных Scopus и Web of Science. По результатам работы получено 6 свидетельств о государственной регистрации программ для ЭВМ. Общий объем публикаций составляет 15,13 п.л.

Структура и объем работы

Диссертация содержит 400 страниц, включая 250 рисунков и 17 таблиц, состоит из введения, 5 глав, основных результатов и выводов, списка используемой литературы (180 наименований) и приложения.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность работы, формулируются цель и задачи исследования, определяются объект исследования, научная новизна, теоретическая и практическая значимость.

В первой главе проводится аналитический обзор работ в области автоматизации движения автомобиля, рассматриваются тенденции развития технологий современных автотранспортных средств, освещаются вопросы стандартизации в исследуемой области, ставятся цель и задачи диссертационной работы.

Вопросами автоматизации управления автомобилем во всем мире занимаются исследователи вот уже порядка ста лет. Меняется компонентная база объектов испытаний, математический аппарат и его реализация, решения для систем технического зрения и даже появляются опытные образцы автономных транспортных средств, однако, до серийного производства в настоящее время доходят только некоторые технологии частичной и условной автоматизации (по классификации SAE), объединяемые термином ADAS (Advanced Driver Assistance Systems) и современной идеологией Интеллектуальных Транспортных Систем (ИТС).

Проведенный анализ позволил сделать следующие выводы:

1. Опытные образцы автономных КТС отражают традиционную тенденцию насыщения или перенасыщения автомобиля вычислительными мощностями и технологиями технического зрения и навигации, в то время, как модели предикторного управления движением автомобиля остаются либо упрощенными, либо параметризованными.
2. Современные автомобили все в меньшей мере остаются одиночными транспортными средствами, все более интегрируясь в информационную транспортную среду. Очевидно, что технологии ИТС в обозримом будущем распространятся и на автономные КТС.
3. Особую сложность при математическом моделировании управляемого движения автомобиля представляют процессы взаимодействия пневматической шины с опорной поверхностью при неустановившихся режимах качения колеса, и в настоящее время нет единого и достоверного подхода к решению данной задачи.
4. Международно признанную классификацию уровней автоматизации управления движением автомобиля отражает стандарт SAE J3016, в связи с чем в работе будет использоваться термин «автономное колесное транспортное средство» с дальнейшим указанием уровня автоматизации по классификации SAE.
5. Автономные колесные транспортные средства с уровнями автоматизации SAE с третьего по пятый в обязательном порядке должны оборудоваться устройствами записи параметров движения, в т.ч. управляющих воздействий со стороны водителя и со стороны системы управления движением, для объективного анализа причин возникновения дорожно-транспортных происшествий.
6. Существуют юридические и ведомственные проблемы, относящиеся ко всем уровням технологий автоматизированных систем вождения, которые еще предстоит разрешить в обозримом будущем.

Таким образом, проведенный анализ позволил сформулировать задачи диссертационной работы.

Во второй главе разрабатывается концепция создания систем управления движением автономных колесных транспортных средств, приводится структура системы «Водитель – Система Автономного Вождения – Автомобиль – Дорога – Транспортная Среда – Информационное Поле» с потоками физических и информационных взаимодействий, актуализируются технические задачи и общие проблемы создания автономных колесных транспортных средств.

Развитие технологий ИТС способствует тому, что современный автомобиль перестает быть одиночным колесным транспортным средством и, интегрируясь в информационную транспортную среду, становится «сетевым». На Рисунке 1 показано авторское представление структуры системы «Водитель – Система Автономного Вождения – Автомобиль – Дорога – Транспортная Среда – Информационное Поле». При рассмотрении идеалистического автомобиля пятого (высшего) уровня автоматизации SAE с Рисунка 1 исчезает звено «водитель», а в остальном, схема остается неизменной, соответственно система автономного вождения будет являться уже частью автомобиля.

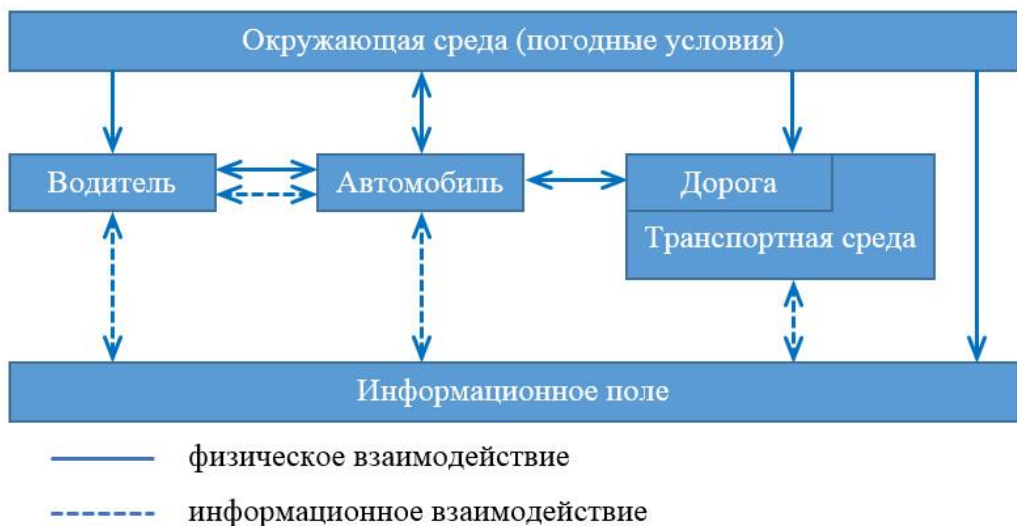


Рисунок 1. Схема современной системы «В-А-Д-С»

На Рисунке 2 показаны потоки обмена данными в системе «Водитель – Система Автономного Вождения – Автомобиль – Дорога – Транспортная Среда – Информационное Поле», а также обозначены технологии межобъектного взаимодействия интеллектуальных транспортных систем «Vehicle-to-Vehicle» (V2V), «Vehicle-to-Infrastructure» (V2I) и «Vehicle-to-Person» (V2P).

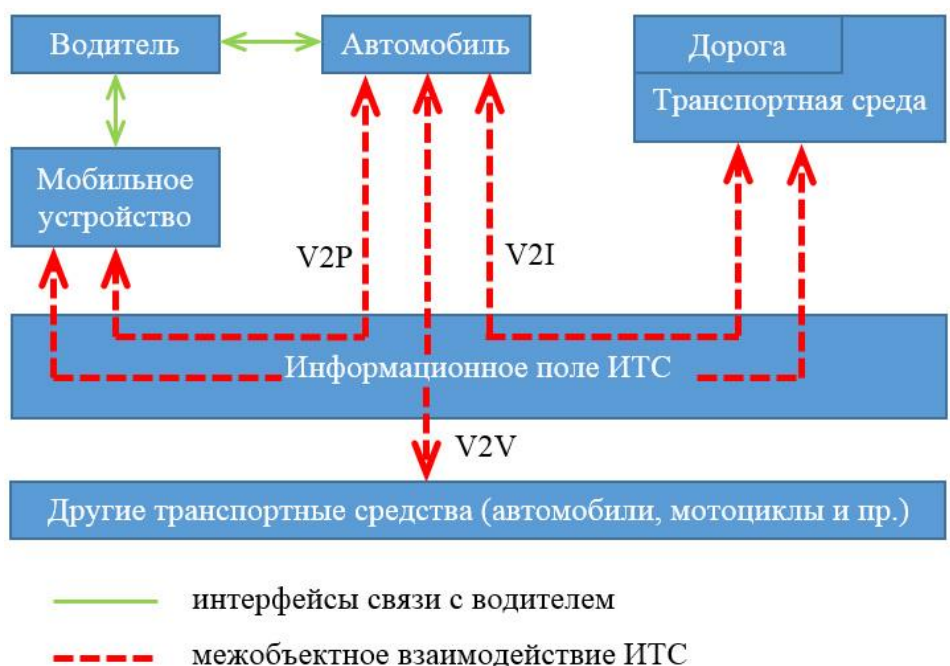


Рисунок 2. Информационный обмен данными

Очевидным является то обстоятельство, что на сегодняшний день, пока еще не разработаны автомобили 5 уровня автоматизации SAE, лучше всех с задачей управления колесными транспортными средствами справляется человек. В таком случае, проведем анализ процесса управления автомобилем человеком-водителем. Обобщенная схема рассматриваемого процесса управления показана на Рисунке 3. Аналогичным образом представим схему управления автомобилем системой автономного вождения – Рисунок 4.

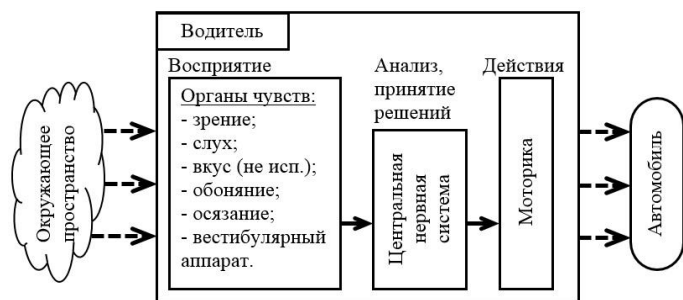


Рисунок 3. Схема процесса управления автомобилем водителем

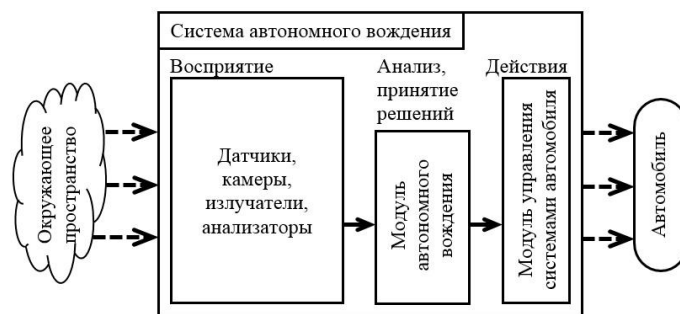


Рисунок 4. Схема процесса управления системой автономного вождения

Таким образом, на основе принципов биомимикрии обосновываем и формулируем состав системы автономного вождения, включающей в себя:

- 1) подсистему технического восприятия;
- 2) модуль автономного вождения;
- 3) модуль управления системами автомобиля.

В Таблице 1 представлено сравнение способов восприятия окружающего пространства человеком и системой автономного вождения.

Таблица 1.

Соответствие восприятия окружающего пространства человеком и системой автономного вождения в процессе управления автомобилем

	Водитель (человек)	Система автономного вождения	Комментарии
№	Органы чувств:	Системы восприятия:	
1.1	Зрение	Техническое зрение: - радар; - лидар; - ультразвуковые датчики; - стереозрение; - камеры отдельных зон.	Техническое зрение имеет потенциальное преимущество перед человеческим в том, что функционально не ограничено распознаваемыми диапазонами и частотами излучения, углами зрения, количеством одновременно отслеживаемых областей и объектов.
1.2	Слух	Звуковой анализ (микрофон);	Необходимо обеспечить распознавание специфических звуков.
1.3	Обоняние	Газоанализатор	Необходимо обеспечить распознавание специфических запахов.
1.4	Осязание	Датчики усилий и перемещений	Человек использует осязание для формирования управляющих воздействий и отслеживания реакций на органах управления автомобилем.
1.5	Вестибулярный аппарат	Датчики ускорений и угловых скоростей	Человек использует вестибулярный аппарат для субъективной оценки свойств управляемости и устойчивости конкретного автомобиля и внесения поправок в процесс управления.
1.6	-----	Связь с интеллектуальной транспортной средой	Важное преимущество технической системы восприятия.

1. Подсистема технического восприятия

1.1. Техническое зрение

Функциональные требования:

- распознавание дорожной разметки;
- распознавание дорожных знаков;
- распознавание сигналов светофоров/семафоров/регулирующих;
- распознавание систем контроля проезда (шлагбаумы/цепи/тросы);
- распознавание границ дорожного полотна;
- распознавание типа покрытия дорожного полотна;
- распознавание искусственных и естественных неровностей дорожного полотна;
- распознавание других участников дорожного движения, в т.ч. пешеходов;
- распознавание световых сигналов участников дорожного движения (сигналы поворотов, аварийная сигнализация, проблесковые маячки и пр.);
- распознавание действий (жестов) сотрудников дорожной полиции;
- распознавание непредвиденных неподвижных препятствий на пути следования (например, упавшее дерево, открытый канализационный люк, рассыпавшиеся строительные материалы и пр.);
- распознавание непредвиденных подвижных объектов по пути следования (например, дикие животные или непредвиденные предметы);
- распознавание погодных условий (снег, дождь, туман, порывы ветра и пр.);
- общие требования (высокая надежность, технологичность и пр. – применимы ко всей системе, поэтому далее не указываются).

Минимальный состав системы технического зрения может быть сведен к двум видеокамерам, модулю обработки и системе зеркал, при этом кадровая частота должна быть не менее 50 fps (рекомендуем 100 fps) с разрешающей способностью не менее 1 Мрх.

1.2. Звуковой анализ

Функциональные требования:

- распознавание звуков сирены;
- распознавание звуков автомобильных сигналов;
- распознавание дополнительных звуков, которые могут использоваться для самодиагностики механических систем автомобиля (рекомендательно).

Указанные задачи решаются установкой на автомобиль дополнительных микрофонов и/или использования штатных, например, системы hands-free или ЭРА-Глонасс и пр., а также модуля обработки и распознавания звуков.

1.3. Газоанализатор

Функциональные требования:

- распознавание специфических запахов, которые могут использоваться для дополнительной самодиагностики систем автомобиля или оценки состояния окружающей среды.

1.4. Датчики усилий и перемещений

Функциональные требования:

- контроль прикладываемых усилий и отслеживание перемещений на органах управления автомобилем;
- отслеживание реакций автомобиля на органах управления.

Перечисленные задачи решаются путем установки дополнительных датчиков усилий и перемещений на органах управления автомобилем, либо подключением к

штатным датчикам, либо интеграцией системы автономного вождения в бортовые мультиплексные сети передачи данных автомобиля.

1.5. Датчики ускорений и угловых скоростей

Функциональные требования:

- определение пространственного положения автомобиля;
- определение динамических параметров движения;
- определение свойств управляемости и устойчивости автомобиля.

С технической точки зрения инструментарий вестибулярного аппарата мог бы быть заменен на трех-осевые датчики ускорений и угловых скоростей подсистемы технического восприятия вместе с модулем обработки информации и гибридной навигационной системой, причем данные продольного и бокового ускорений центра масс автомобиля вместе с угловой скоростью рысканья можно получать с бортовых мультиплексных сетей большинства современных автомобилей. Под гибридной навигационной системой понимается симбиоз спутниковой, инерциальной и расчетно-аналитической навигации.

1.6. Связь с интеллектуальной транспортной средой

Функциональные требования:

- передача данных телеметрии, траектории, условий движения и прочих параметров другим участникам движения и дорожным службам;
- прием аналогичных данных от других участников движения и дорожных служб (элементов инфраструктуры) для того, чтобы:
 - избегать столкновений;
 - корректировать управляющие воздействия на основе данных о характеристиках сцепления и состоянии дорожного полотна по ходу следования;
 - реализовывать эффективное использование дорог и транспортных средств (движение в «зеленом» коридоре, в составе автоколонны и пр.);
- ретрансляция данных других участников движения и дорожных служб.

2. Модуль автономного вождения (анализ, принятие решений)

Функциональные требования:

- наличие интерфейса связи с водителем и/или внешней системой управления;
- возможность построения маршрута движения;
- получение данных от системы технического восприятия;
- формирование и отправка команд в модуль управления системами автомобиля;
- обеспечение безопасности движения;
- возможность передачи управления автомобилем.

Для выполнения перечисленных функциональных требований необходимо решить следующие ключевые задачи:

- формирования динамической цифровой карты окружающего пространства;
- взаимодействия динамической цифровой карты окружающего пространства с подробной навигационной картой облачного сервиса (решение проблем нечитаемой дорожной разметки или знаков, мониторинга состояния дорожной сети и информирования других участников движения – двусторонний обмен данными инструментариями, в том числе, интеллектуальных транспортных систем);
- адаптации модели управления в зависимости от условий движения, а также свойств управляемости и устойчивости автомобиля;

- прогнозирования развития дорожной ситуации и анализа рисков ДТП;
- алгоритмизации управления автомобилем на тактическом уровне;
- адаптации поведенческой стратегии управления к социотипам других участников дорожного движения;
- создания адаптивной модели предикторного управления движением автономного колесного транспортного средства на исполнительном уровне;
- соблюдения правил дорожного движения;
- мониторинга состояния систем автомобиля для контроля условий эксплуатации и непосредственно состояния систем автомобиля (диагностика неисправностей);
- обеспечения безопасной передачи управления от системы автономного вождения человеку, обусловленной, в т.ч. психофизиологическими особенностями последнего;
- обеспечения приведения автомобиля в состояние «минимального риска» при возникновении нештатных ситуаций;
- взаимодействия с другими участниками движения и элементами дорожной инфраструктуры посредством технологий ИТС;
- записи параметров движения, в т.ч. управляющих воздействий со стороны водителя и со стороны системы управления движением, для последующего определения причин возникновения ДТП, необходимо обеспечить надежность и безопасность хранения данных.

3. Модуль управления системами автомобиля (действия)

Ввиду того, что автономным автомобилем в разные моменты времени может управлять и водитель, и система автономного вождения, необходимо обеспечить преимущество действий водителя, в то время, как процесс и безопасность передачи управления должны отслеживаться модулем автономного вождения. На Рисунке 5 показана принципиальная схема управления узлами и агрегатами автономного колесного транспортного средства.

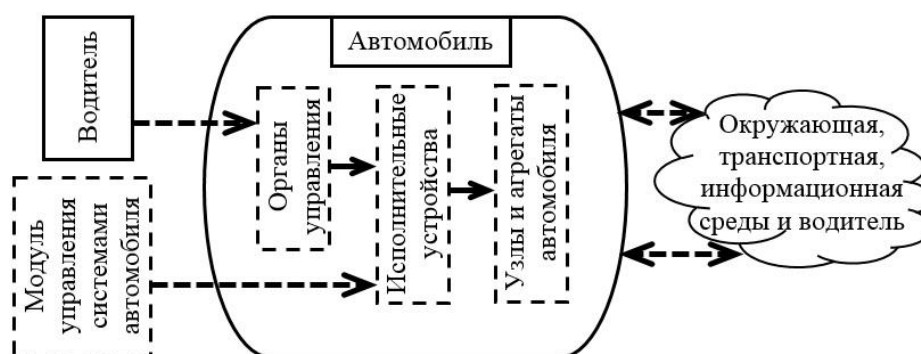


Рисунок 5. Схема управления узлами и агрегатами автомобиля

В общем случае, при рассмотрении процесса создания автономных колесных транспортных средств возможно два варианта: 1) разработка и производство нового автономного КТС; 2) дооснащение автомобиля, находящегося в эксплуатации.

Как в первом, так и во втором случаях необходимо решить задачи стороннего управления основными системами автомобиля: рулевым управлением; тормозной системой; силовой установкой (ДВС, электрические и гибридные силовые установки); трансмиссией; электрооборудованием автомобиля (указатели поворотов, звуковой сигнал, стеклоочистители и пр.). Мониторинг состояния систем автомобиля

функционально относится к модулю автономного вождения, но технически реализуется через модуль управления системами автомобиля. Обобщенная схема создания системы управления движением КТС представлена на Рисунке 6.

При разработке и производстве нового автономного КТС оптимальным будет являться выбор программного управления всеми перечисленными системами, в то время, как при дооснащении автомобиля, находящегося в эксплуатации, выбор способа управления той или иной системой будет зависеть от конструктивных особенностей рассматриваемого образца.

На основании разработанной концепции создания системы управления движением автономного колесного транспортного средства и проведенного анализа исследований в сфере автоматизации управляемого движения была разработана архитектура сети и принципиальная схема минимально необходимого состава системы автономного вождения, изображенная на Рисунке 7.



Рисунок 6. Обобщенная схема создания системы управления движением КТС

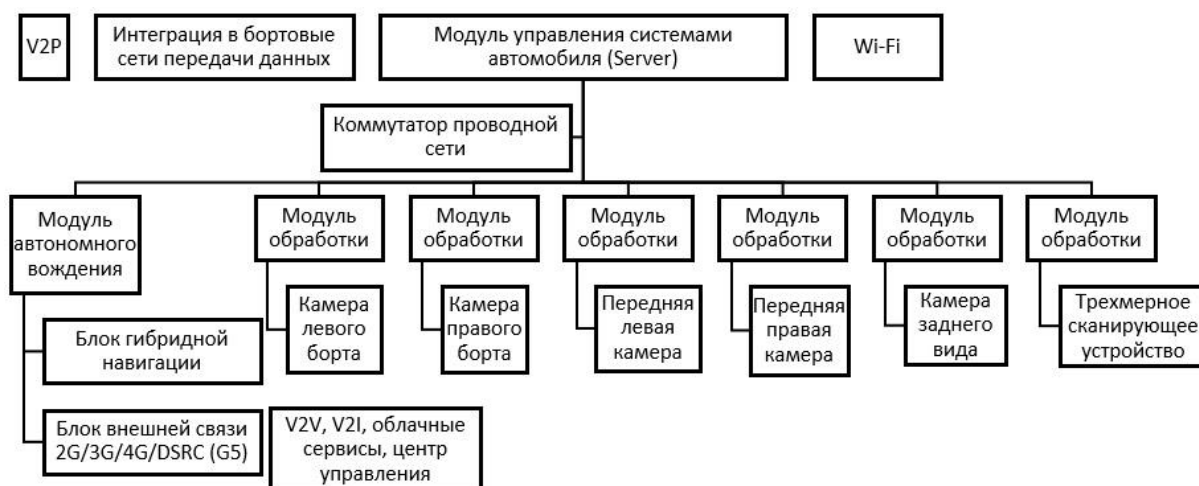


Рисунок 7. Архитектура сети и схема состава системы автономного вождения

Под «центром управления» на Рисунке 7, в общем случае, понимается центр управления дорожным движением, который может обеспечить управление автономным КТС на стратегическом уровне (выбор маршрута движения) с учетом загруженности дорог, светофорного регулирования, прогнозируемых маршрутов других участников движения и пр. Также под «центром управления» может пониматься любая система более высокого уровня управления.

Помимо создания системы автономного вождения для того, чтобы на дорогах общего пользования появились автономные колесные транспортные средства, необходимо решить следующие важные проблемы:

- 1) законодательно определить статус автономных КТС, области применения, условия эксплуатации, процедуры регистрации, учета и технического обслуживания;
- 2) стандартизовать ключевые технологии систем автономного вождения;
- 3) разработать процедуры и методы сертификационных испытаний;
- 4) законодательно разграничить юридические ответственности между собственником автономного КТС, водителем (оператором или службой управления), автопроизводителем, дорожными службами (например, неправомерно установленный дорожный знак и отсутствие дорожной разметки привели к ДТП с участием автономного КТС);
- 5) разработать условия страхования автономных КТС и методы разбора ДТП;
- 6) внести поправки в процедуры подготовки водителей;
- 7) определить квалификационные требования к водителю/пассажиру, дистанционному оператору и системе более высокого уровня, которые могут задавать маршрут движения автономного КТС и вмешиваться в процесс управления автомобилем (должны ли быть водительские права и какой категории, применимы ли возрастные ограничения, ограничения по состоянию здоровью и пр.);
- 8) обеспечить неприкосновенность частной жизни;
- 9) гармонизировать законодательства всех стран по теме автономных КТС, т.к. перемещения подобных автомобилей потенциально не ограничиваются территориальными пределами государств;
- 10) организовать интеграцию автономных КТС в интеллектуальную транспортную среду, разработать методы взаимодействия с дорожной инфраструктурой и различными службами (дорожные службы, полиция, МЧС и пр.), обеспечив правовое регулирование;
- 11) разработать меры обеспечения кибернетической безопасности автономных колесных транспортных средств;
- 12) разрешить вопросы принятия обществом автономно движущихся автомобилей.

В третьей главе формулируются предложения по созданию системы управления движением автономного колесного транспортного средства: разрабатывается комплексная математическая модель, подробно описывающая неустановившиеся, а также режимы движения с высокими скоростями на разных типах опорных поверхностей, и методика определения (верификации) параметров автомобиля; проводятся дорожные испытания трех АТС (GAZ-322132, Land Rover Discovery 3, Chevrolet Orlando) и проверка адекватности математических моделей; выполняется адаптация модели для применения в модуле автономного вождения.

На Рисунке 8 стрелками показаны степени свободы моделируемого автомобиля, а также положительные направления осей подвижных систем координат и угловых перемещений. В общей сложности модель имеет 18 степеней свободы.

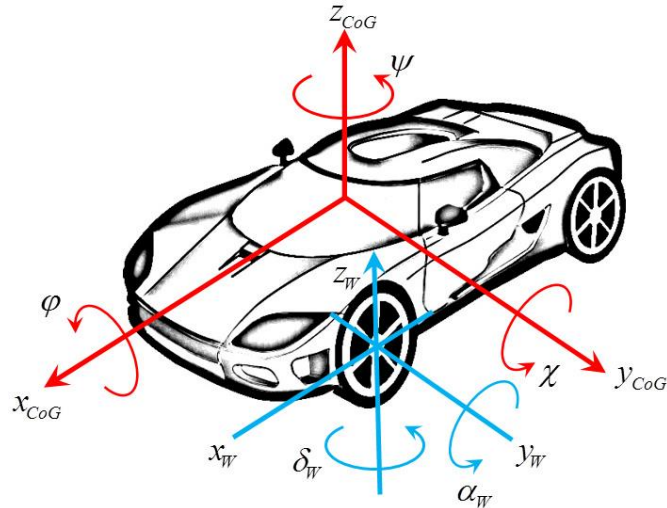


Рисунок 8. Степени свободы модели автомобиля

Для описания процесса взаимодействия пневматической шины с опорной поверхностью используется модель Буркхарда [Burckhardt], соответственно коэффициент сцепления μ_{Res} определяется следующей зависимостью:

$$\mu_{Res}(S_{Res}) = (c_1 \cdot (1 - \exp(-c_2 \cdot S_{Res})) - c_3 \cdot S_{Res}) \cdot \exp(-c_4 \cdot S_{Res} \cdot V_{CoG}) \cdot (1 - c_5 \cdot F_z^2), \quad (1)$$

где: коэффициенты c_1 , c_2 и c_3 задают тип опорной поверхности (см. Рисунок 9); c_4 описывает условия движения автомобиля с высокими скоростями; c_5 учитывает повышенную вертикальную нагрузку; V_{CoG} - скорость центра масс автомобиля; S_{Res} - общее относительное проскальзывание; F_z - вертикальная реакция, действующая в пятне контакта пневматической шины с опорной поверхностью.

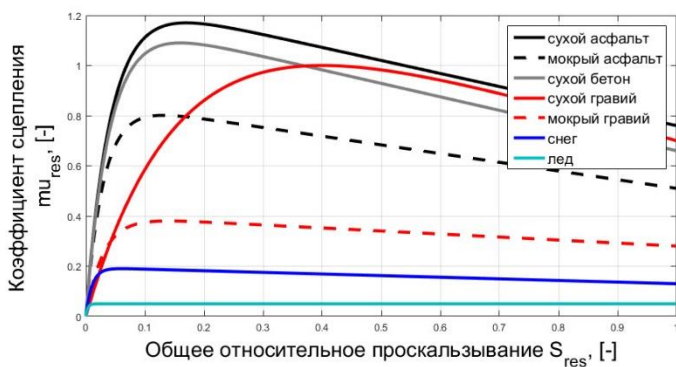


Рисунок 9. $\mu_{Res}(S_{Res})$ диаграмма

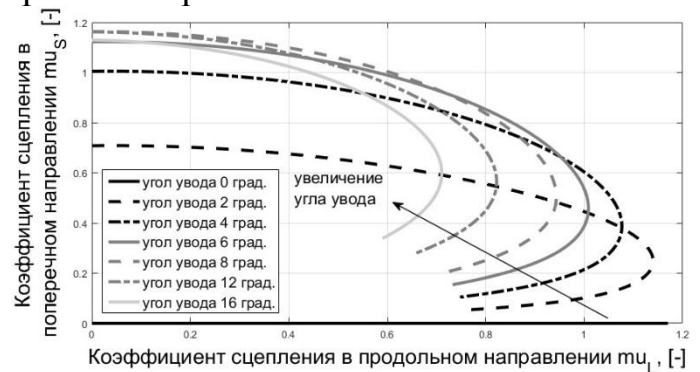


Рисунок 10. $\mu_S(\mu_L)$ от угла увода

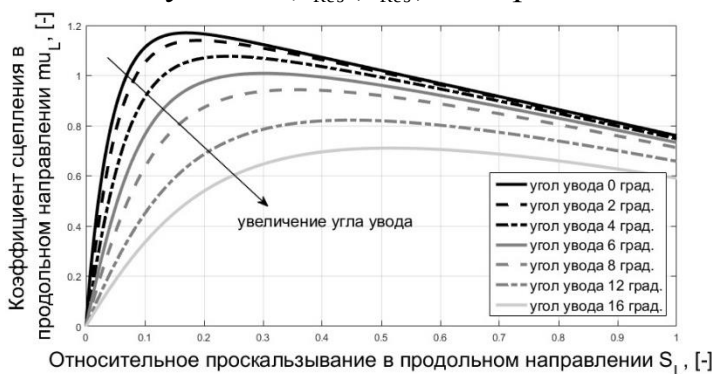


Рисунок 11. $\mu_L(S_L)$ от угла увода

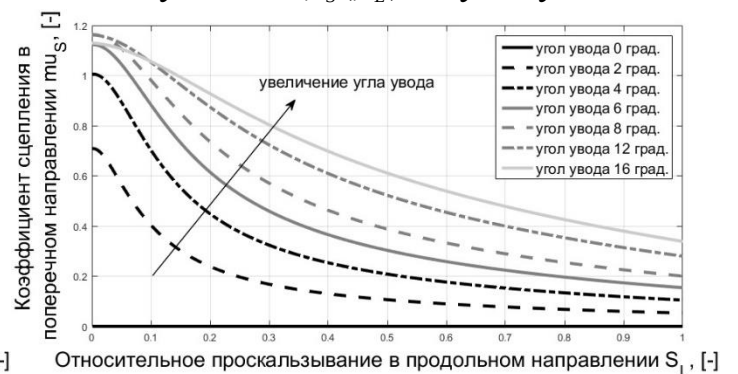


Рисунок 12. $\mu_S(S_L)$ от угла увода

Графики функций, изображенные на Рисунках 9-12, построены аналитическим способом по общепринятым зависимостям для выбранной модели колеса и отражают физические особенности взаимодействия пневматической шины с опорной поверхностью (индексы L обозначают продольное направление, S – поперечное).

Для расчета динамики движения кузова автомобиля используется следующая система дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} m_{CoG} \cdot \begin{bmatrix} \ddot{x}_{In} \\ \ddot{y}_{In} \\ \ddot{z}_{In} \end{bmatrix} = T_{UIn} \cdot \begin{bmatrix} F_{XFL} + F_{XFR} + F_{XRL} + F_{XRR} + F_{windX} + F_{GX} + F_{RR} \\ F_{YFL} + F_{YFR} + F_{YRL} + F_{YRR} + F_{windY} + F_{GY} \\ F_{ZFL} + F_{ZFR} + F_{ZRL} + F_{ZRR} + F_{windZ} + F_{GZ} \end{bmatrix} \\ I_X \cdot \ddot{\phi} + (I_Z - I_Y) \cdot \dot{\chi} \cdot \dot{\psi} = (F_{ZFL} - F_{ZFR}) \cdot 0.5 \cdot b_F + (F_{ZRL} - F_{ZRR}) \cdot 0.5 \cdot b_R - m_{CoG} \cdot \ddot{y}_{CoG} \cdot h_{CoG}, \\ I_Y \cdot \ddot{\chi} + (I_X - I_Z) \cdot \dot{\phi} \cdot \dot{\psi} = -(F_{ZFL} + F_{ZFR}) \cdot l_F + (F_{ZRL} + F_{ZRR}) \cdot l_R + m_{CoG} \cdot \ddot{x}_{CoG} \cdot h_{CoG} \\ I_Z \cdot \ddot{\psi} + (I_Y - I_X) \cdot \dot{\phi} \cdot \dot{\chi} = (F_{YFR} + F_{YFL}) \cdot (l_F - 0.5 \cdot (n_{LFL} + n_{LFR}) \cdot \cos \delta_W) - \\ - (F_{YRL} + F_{YRR}) \cdot (l_R + 0.5 \cdot (n_{LRL} + n_{LRR}) \cdot \cos \delta_W) + (F_{XRR} - F_{XRL}) \cdot 0.5 \cdot b_R + \\ + F_{XFR} \cdot (0.5 \cdot b_F + n_{LFR} \cdot \sin \delta_W) - F_{XFL} \cdot (0.5 \cdot b_F + n_{LFL} \cdot \sin \delta_W) \end{cases}, \quad (2)$$

где: m_{CoG} - масса автомобиля; $\ddot{x}_{In}, \ddot{y}_{In}, \ddot{z}_{In}$ - проекции ускорения центра масс автомобиля в инерциальной (неподвижной) системе отсчета; $\ddot{x}_{CoG}, \ddot{y}_{CoG}, \ddot{z}_{CoG}$ - проекции ускорения центра масс автомобиля в подвижной системе координат, связанной с ЦМ автомобиля; T_{UIn} - матрица поворота для переноса соответствующих векторов из системы координат, связанной с неподрессоренными массами автомобиля, в инерциальную систему отсчета; индексы X, Y, Z - определяют направленность вектора относительно осей системы координат, связанной с неподрессоренными массами автомобиля; $F_{windX}, F_{windY}, F_{windZ}$ - силы аэродинамического сопротивления; F_{GX}, F_{GY}, F_{GZ} - проекции вектора силы тяжести автомобиля на оси системы координат, связанной с неподрессоренными массами автомобиля; I_X, I_Y, I_Z - главные моменты инерции автомобиля; h_{CoG} - высота центра масс автомобиля.

Общая матрица поворота T_{UIn} является произведением трех матриц поворота вокруг каждой из декартовых координатных осей. В свою очередь, матрицы $T_{RotX}, T_{RotY}, T_{RotZ}$ находятся из выражений:

$$T_{RotX} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \varphi & -\sin \varphi \\ 0 & \sin \varphi & \cos \varphi \end{bmatrix}; T_{RotY} = \begin{bmatrix} \cos \chi & 0 & \sin \chi \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \chi & 0 & \cos \chi \end{bmatrix}; T_{RotZ} = \begin{bmatrix} \cos \psi & -\sin \psi & 0 \\ \sin \psi & \cos \psi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

Отметим, что порядок перемножения матриц поворота будет оказывать влияние на конечный результат, поэтому в технической литературе распространена следующая последовательность – Z - Y - X . Соответственно, для обратного переноса вектора, например, из инерциальной системы отсчета в систему координат, связанную с центром масс автомобиля, необходимо выполнить повороты осей в обратной последовательности, т.е. X - Y - Z и, благодаря геометрической особенности матриц поворота, будет справедливо следующее выражение:

$$T_{InCoG} = T_{RotX} \cdot T_{RotY} \cdot T_{RotZ} = T_{RotZYX}^{-1} = T_{RotZYX}^T = T_{RotZYX}(\psi = -\psi, \chi = -(\chi - \chi_{road}), \varphi = -(\varphi - \varphi_{road})), \quad (4)$$

где: χ_{road} - продольный угол наклона профиля опорной поверхности (дорожного полотна); φ_{road} - поперечный уклон профиля опорной поверхности.

Силы аэродинамического сопротивления, входящие в состав системы уравнений (2), определяются следующим образом:

$$\begin{bmatrix} F_{windX} \\ F_{windY} \\ F_{windZ} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0.5 \cdot c_{airX} \cdot A_L \cdot \rho \cdot (V_{CoGX} - V_{windX} \cdot \cos \psi - V_{windY} \cdot \sin \psi)^2 \\ -0.5 \cdot c_{airY} \cdot A_S \cdot \rho \cdot (V_{CoGY} + V_{windX} \cdot \sin \psi - V_{windY} \cdot \cos \psi)^2 \cdot \text{sign}(V_{windX} \cdot \sin \psi - V_{windY} \cdot \cos \psi) \\ 0 \end{bmatrix}, \quad (5)$$

где: c_{airX}, c_{airY} - коэффициенты аэродинамического сопротивления в продольном и боковом направлениях соответственно; A_L, A_S - лобовая и боковая площади поверхности автомобиля; V_{windX}, V_{windY} - составляющие скорости ветра в продольном и боковом направлениях инерциальной системы координат; ρ - плотность воздуха.

Распределение вертикальных реакций $F_{ZFL}, F_{ZFR}, F_{ZRL}, F_{ZRR}$ определяется следующими зависимостями:

$$\begin{cases} F_{ZFL} = m_{CoG} \cdot \left(\frac{l_R}{l} \cdot g - \frac{h_{CoG}}{l} \cdot \ddot{x}_{CoG} \right) \cdot \left(\frac{1}{2} - \frac{h_{CoG} \cdot \ddot{y}_{CoG}}{b_F \cdot g} \right) \\ F_{ZFR} = m_{CoG} \cdot \left(\frac{l_R}{l} \cdot g - \frac{h_{CoG}}{l} \cdot \ddot{x}_{CoG} \right) \cdot \left(\frac{1}{2} + \frac{h_{CoG} \cdot \ddot{y}_{CoG}}{b_F \cdot g} \right) \\ F_{ZRL} = m_{CoG} \cdot \left(\frac{l_F}{l} \cdot g + \frac{h_{CoG}}{l} \cdot \ddot{x}_{CoG} \right) \cdot \left(\frac{1}{2} - \frac{h_{CoG} \cdot \ddot{y}_{CoG}}{b_R \cdot g} \right) \\ F_{ZRR} = m_{CoG} \cdot \left(\frac{l_F}{l} \cdot g + \frac{h_{CoG}}{l} \cdot \ddot{x}_{CoG} \right) \cdot \left(\frac{1}{2} + \frac{h_{CoG} \cdot \ddot{y}_{CoG}}{b_R \cdot g} \right) \end{cases} \quad (6)$$

Расчет проекций вектора силы тяжести автомобиля на оси системы координат, связанной с неподдрессоренными массами автомобиля:

$$\begin{bmatrix} F_{GX} \\ F_{GY} \\ F_{GZ} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\chi_{road}) & \sin(\chi_{road}) \cdot \sin(\varphi_{road}) & \sin(\chi_{road}) \cdot \cos(\varphi_{road}) \\ 0 & \cos(\varphi_{road}) & -\sin(\varphi_{road}) \\ -\sin(\chi_{road}) & \cos(\chi_{road}) \cdot \sin(\varphi_{road}) & \cos(\chi_{road}) \cdot \cos(\varphi_{road}) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ m_{CoG} \cdot g \end{bmatrix} \quad (7)$$

На основе анализа отечественных и зарубежных источников литературы, собственных исследований и проведенных дорожных испытаний различных колесных транспортных средств была предложена следующая зависимость для расчета боковой реакции, действующей в пятне контакта пневматической шины с опорной поверхностью:

$$\frac{\partial F_{Sij}}{\partial t} = \frac{V_w}{L_{y0}} \cdot \left(k_{red,ij} \cdot \left(1 - \frac{F_{Zij}}{k_{y1}} \right) \cdot F_{Zij} \cdot \arctan(k_{y2} \cdot \alpha(t)) - F_{Sij} \right), \quad (8)$$

где: V_w - скорость колеса; α - угол увода; L_{y0} - длина релаксации пневматической шины; k_{red} - искусственный коэффициент, ограничивающий при моделировании рассчитываемые усилия пределом по сцеплению; k_{y1}, k_{y2} - динамические коэффициенты сопротивления боковому уводу.

Предложенная зависимость (8) описывает снижение амплитуд боковой реакции при динамично изменяющихся внешних воздействиях, а также запаздывание нарастания боковой реакции, обусловленное эластичностью шины.

Реализация комплексной математической модели расчета динамики движения автомобиля осуществляется в среде Matlab Simulink и позволяет моделировать неустановившиеся режимы движения, а также режимы движения с высокими

скоростями на опорных поверхностях задаваемого профиля с выбором (автоматическим определением) 7 различных типов дорожных покрытий под каждым колесом.

Методика верификации математической модели на основе результатов дорожных испытаний состоит в том, что для конкретного автомобиля проводится ряд дорожных тестов, результаты которых используются в модифицированных математических моделях движения автомобиля при оптимизационном поиске неизвестных параметров.

Для уточнения параметров математической модели движения конкретного автомобиля необходимо выполнить следующее (дорожные испытания проводятся на сухом, ровном асфальтобетонном покрытии):

- 1) взвешивание объекта испытаний (определение развесовки в статическом состоянии);
- 2) заезд, предполагающий разгон с последующим прямолинейным движением накатом. Для условий автополигона – это испытание «разгон-выбег» (с тем отличием, что для автоматической трансмиссии остается активированным режим «Drive»). При использовании дорог общего пользования обязательным является соблюдение правил дорожного движения. Замеры, следующие один за другим, выполняются по одному разу в обоих направлениях движения, соответственно попутном и обратном. В результате обработки экспериментальных данных определяются коэффициенты c_{airX} , f_{01} (приведенный коэффициент сопротивления движению) и k_f (коэффициент, учитывающий увеличение сопротивления качению с ростом скорости движения);
- 3) прямолинейное движение с последующим торможением (определяется характеристика хода педали тормоза от реализуемого замедления);
- 4) максимально динамичный заезд с движением по криволинейной траектории. Для условий автополигона предпочтительными являются испытания «Переставка» и/или «Змейка» с максимально реализуемыми скоростями движения. На дорогах общего пользования и/или закрытых территориях допустимо выполнение произвольного маневрирования (резкие повороты в разные стороны, предпочтительны высокие скорости движения). В результате обработки экспериментальных данных определяются коэффициенты k_{y1} (характеризует изменение боковой реакции в зависимости от вертикальной нагрузки), k_{y2} (характеризует изменение боковой реакции в зависимости от угла увода), L_{y0} (определяет время запаздывания при нарастании боковой реакции), k_s (коэффициент эллипсности окружности трения).

Далее проводятся дорожные испытания трех автотранспортных средств (ГАЗ-322132, Land Rover Discovery 3, Chevrolet Orlando) на автополигоне МАДИ и дорогах общего пользования для верификации комплексных математических моделей и последующих проверок на адекватность.

На Рисунке 13 показан пример сопоставления результатов расчета с данными эксперимента при оптимизационном поиске коэффициентов c_{airX} , f_{01} и k_f для автомобиля Land Rover Discovery 3.

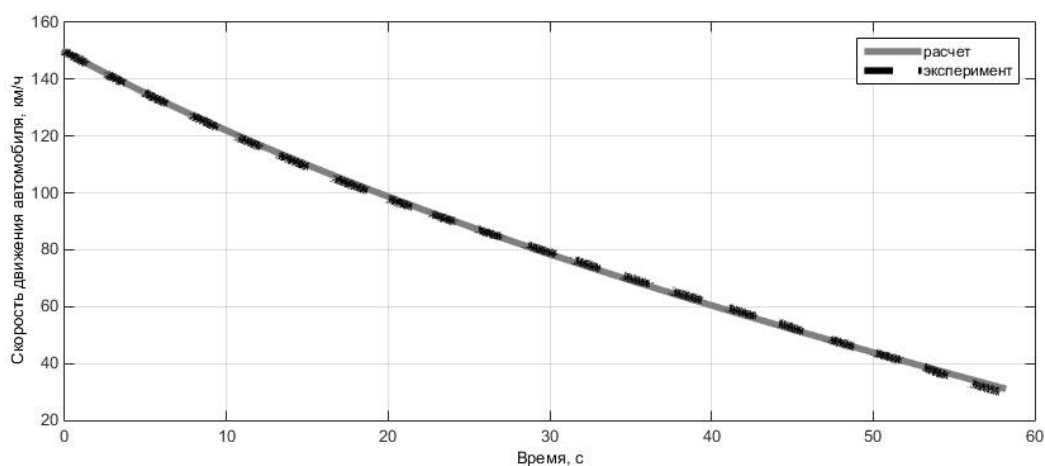


Рисунок 13. Сопоставление результатов расчета с данными эксперимента при решении задачи оптимизации (Land Rover Discovery 3)

В Таблице 2 приведены уточненные параметры математических моделей движения испытанных автотранспортных средств, полученные в результате применения разработанной методики.

Таблица 2.

Уточненные параметры математической модели

№	Параметр	ГАЗ-322132	LR Discovery 3	Chevrolet Orlando
1	Коэффициент лобового аэродинамического сопротивления, c_{airX} (-)	0.60	0.41	0.32
2	Приведенный коэффициент сопротивления движению (для сухого асфальта), f_{01} (-)	0.03	0.04	0.03
3	Коэффициент, учитывающий увеличение сопротивления качению с ростом скорости движения, k_f ($\text{м}^2/\text{с}^2$)	$5.54 \cdot 10^{-6}$	$5.41 \cdot 10^{-6}$	$5.29 \cdot 10^{-6}$
4	Динамический коэффициент сопротивления боковому уводу, k_{y1} (Н)	15746	18729	13808
5	Динамический коэффициент сопротивления боковому уводу, k_{y2} (рад^{-1})	16.39	25.42	20.38
6	Длина релаксации шины, L_{y0} (м)	1.19	0.18	0.36
7	Коэффициент эллипсности окружности трения, k_s (-)	0.80	0.97	0.98

Проверка адекватности разработанной математической модели осуществляется путем сопоставления результатов дорожных испытаний с результатами имитационного моделирования с последующим статистическим анализом функций ошибок. Погрешность расчетных параметров движения не превысила 8% при уровне доверительной вероятности 95%.

В качестве примера на Рисунках 14 и 15 показаны сопоставления расчетных и экспериментальных данных боковых ускорений и угловых скоростей рысканья при выполнении произвольного маневрирования на автомобиле Land Rover Discovery 3 (представленный заезд состоит из постоянного маневрирования при выполнении интенсивного разгона до 65 км/ч и последующего экстренного торможения).

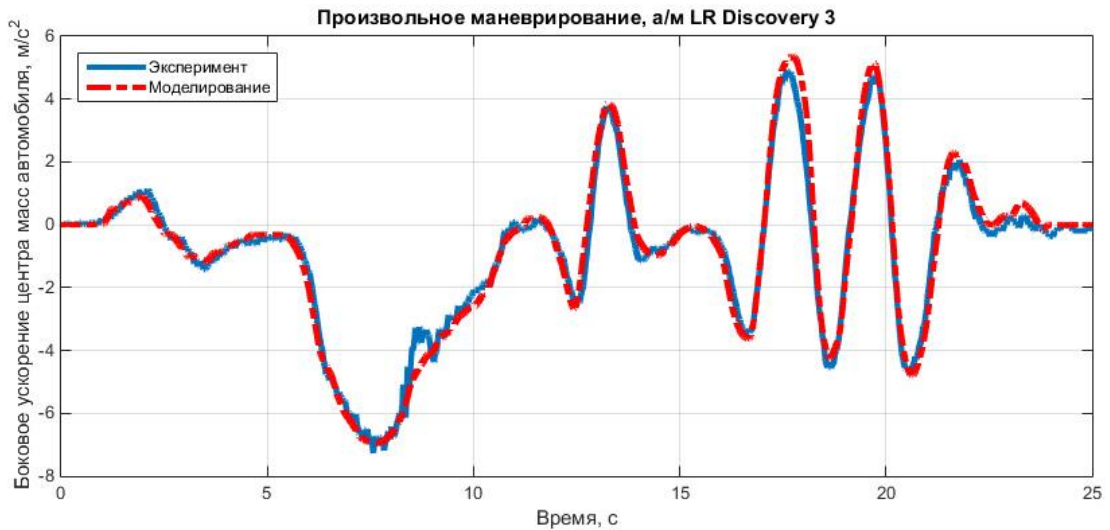


Рисунок 14. Боковые ускорения, сравнение

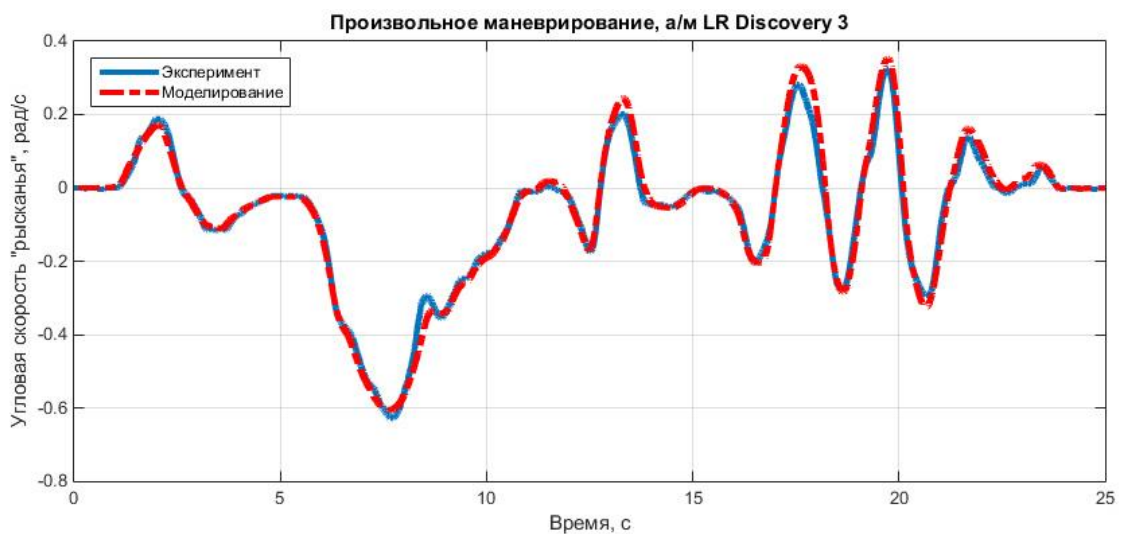


Рисунок 15. Угловая скорость рысканья, сравнение

Далее проводится адаптация разработанной математической модели управляемого движения для использования в составе системы автономного вождения. Входными параметрами разработанного блока являются: 1) дискретный набор параметров движения за последнюю секунду (скорость автомобиля, угол поворота руля, продольное и боковое ускорения, угловая скорость рысканья, координаты положения центра масс); 2) комплекс прогнозируемых функций управляющих воздействий во времени; 3) тип опорной поверхности под каждым колесом; 4) адаптируемые в процессе движения коэффициенты модели, уточняемые на основе постоянного анализа связи управляющих воздействий и кинематических параметров движения автомобиля. Выходным параметром является прогнозируемая траектория движения, которая далее сравнивается с желаемой и, в случае не совпадения, меняются функции управляющих воздействий и расчет повторяется до тех пор, пока траектории не совпадут с доверительной точностью, после чего рассчитанные управляющие воздействия передаются в модуль управления системами автомобиля. Подбор функций изменения управляющих воздействий осуществляется инструментарием нечеткой логики.

Отличительной особенностью разработанной предикторной системы управления является отказ от рассмотрения отдельно продольной и боковой динамики движения

автомобиля и использование оригинальной математической модели, описывающей неустановившиеся режимы движения и режимы движения с высокими скоростями.

В четвертой главе раскрывается методология организации потока передачи данных между бортовой мультимплексной сетью автомобиля и сетью системы автономного вождения, а также динамической беспроводной сетью интеллектуальных транспортных систем: разрабатывается методика декодирования данных, передаваемых по бортовым мультимплексным сетям современных автотранспортных средств; проводятся дорожные испытания двух автомобилей (Nissan X-Trail III, Chevrolet Orlando) для оценки точности данных штатных мультимплексных сетей, обосновывается применимость использования данных; определяется перечень обязательных параметров (40 шт.), передаваемых от автономного КТС в динамическую сеть ИТС, и требования к скорости передачи данных (не менее 2,53 Кбит/с); проводятся натурные испытания подсистемы межобъектного взаимодействия.

Экспериментально определены запасы пропускной способности шин HS и MS CAN (от 68% и выше) на примерах двух легковых автомобилей (Land Rover Discovery 3, Ford Focus 2), определены уровни дополнительной нагрузки на шины HS и MS CAN от внешних устройств в диапазоне от 0,1% до 4% пропускной способности соответствующих шин.

На Рисунке 16, в качестве примера, показано сравнение значений бокового ускорения, полученного с бортовой шины HS CAN легкового автомобиля Chevrolet Orlando, со значениями датчика TANS3 (CorrsysDatron/Kistler) внешнего измерительного комплекса IMC/Kistler, при выполнении произвольного маневрирования на сухом, ровном асфальтобетонном покрытии.

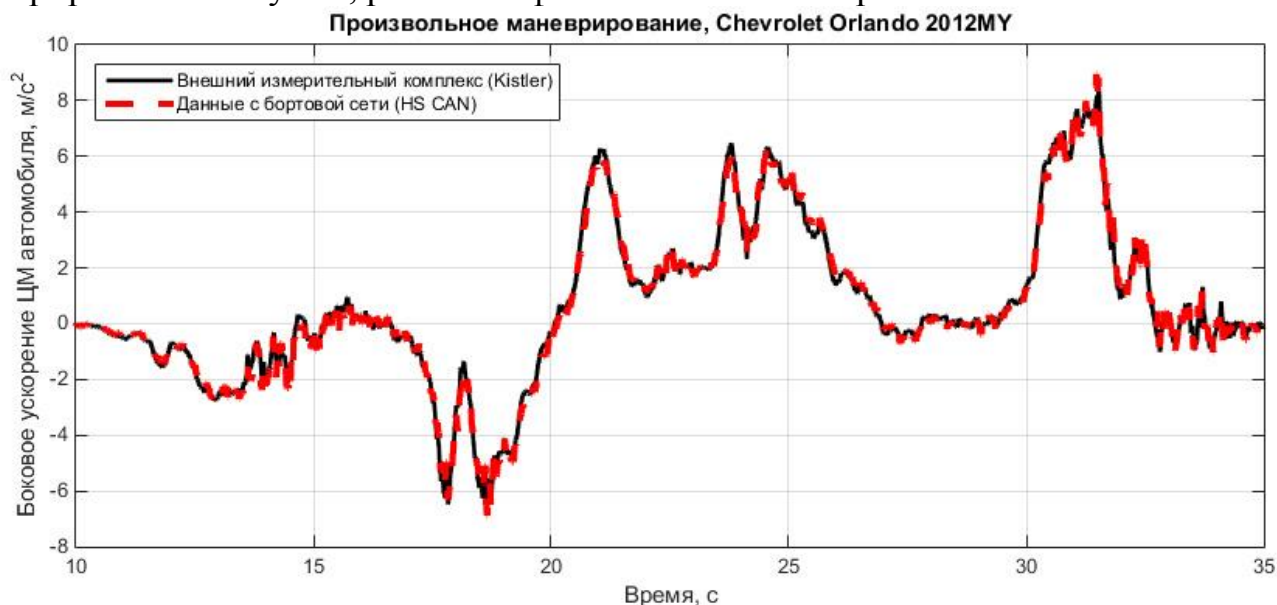


Рисунок 16. Сравнение значений бокового ускорения

Относительная погрешность бортовых (штатных) средств измерения составила для определения:

- угла поворота рулевого колеса – 1%;
- бокового и продольного ускорений центра масс автомобиля – 1%;
- угловой скорости рысканья – 10%.

Таким образом, была обоснована применимость использования данных, получаемых с бортовых мультимедийных сетей современных транспортных средств при решении исследовательских задач, проведении дорожных испытаний, разработке устройств интеллектуальных транспортных систем, а также систем управления движением автономных колесных транспортных средств.

В пятой главе проводятся разработки и испытания опытных образцов автономных колесных транспортных средств.

Создан опытный образец автономного колесного транспортного средства на базе маршрутного такси ГАЗ-322132 с реализацией функций:

- автоматического управления сцеплением;
- автоматического торможения;
- управления переключением передач;
- управления процессом разгона;
- автоматического движения по криволинейной траектории.

На экспериментальном автомобиле дополнительно были установлены: лазерный дальномер NOPTEL CMP3-30, контроллер OMRON CP1H-XA40DR-A, два гидроблока ESP, электромотор рулевого вала, сервоприводы переключения передач, силовая плата управления, логическая плата управления на базе микропроцессора STM8S208S8TC с беспроводным интерфейсом Wi-Fi, видеокамера. Дорожные испытания, проходившие на автополигоне МАДИ, подтвердили применимость разработанной методологии создания систем управления движением автономных колесных транспортных средств, автомобиль может быть классифицирован как автотранспортное средство третьего уровня автоматизации SAE.

Создан опытный образец автономного колесного транспортного средства на базе легкового автомобиля Chevrolet Orlando (Рисунок 17) с реализацией функций:

- автоматического торможения и поддержания дистанции;
- высокоточного позиционирования и записи маршрута движения;
- контроля и удержания автомобиля в полосе дорожной разметки;
- движения по заданной траектории;
- прогнозирования траектории движения в режиме реального времени;
- отслеживания действий водителя при функционировании системы автономного вождения, аварийного отключения системы автономного вождения и приведения автомобиля в «состояние минимального риска».



Рисунок 17. Опытный образец автономного колесного транспортного средства

На Рисунке 18, представляющем собой общий алгоритм оборудования автомобилей системой автономного вождения, цветом выделены фактически примененные на экспериментальном автомобиле технологические решения.

На Рисунке 19 представлена архитектура сети и уточненная схема состава системы автономного вождения экспериментального автомобиля, учитывающая разработанные требования и методы их выполнения.

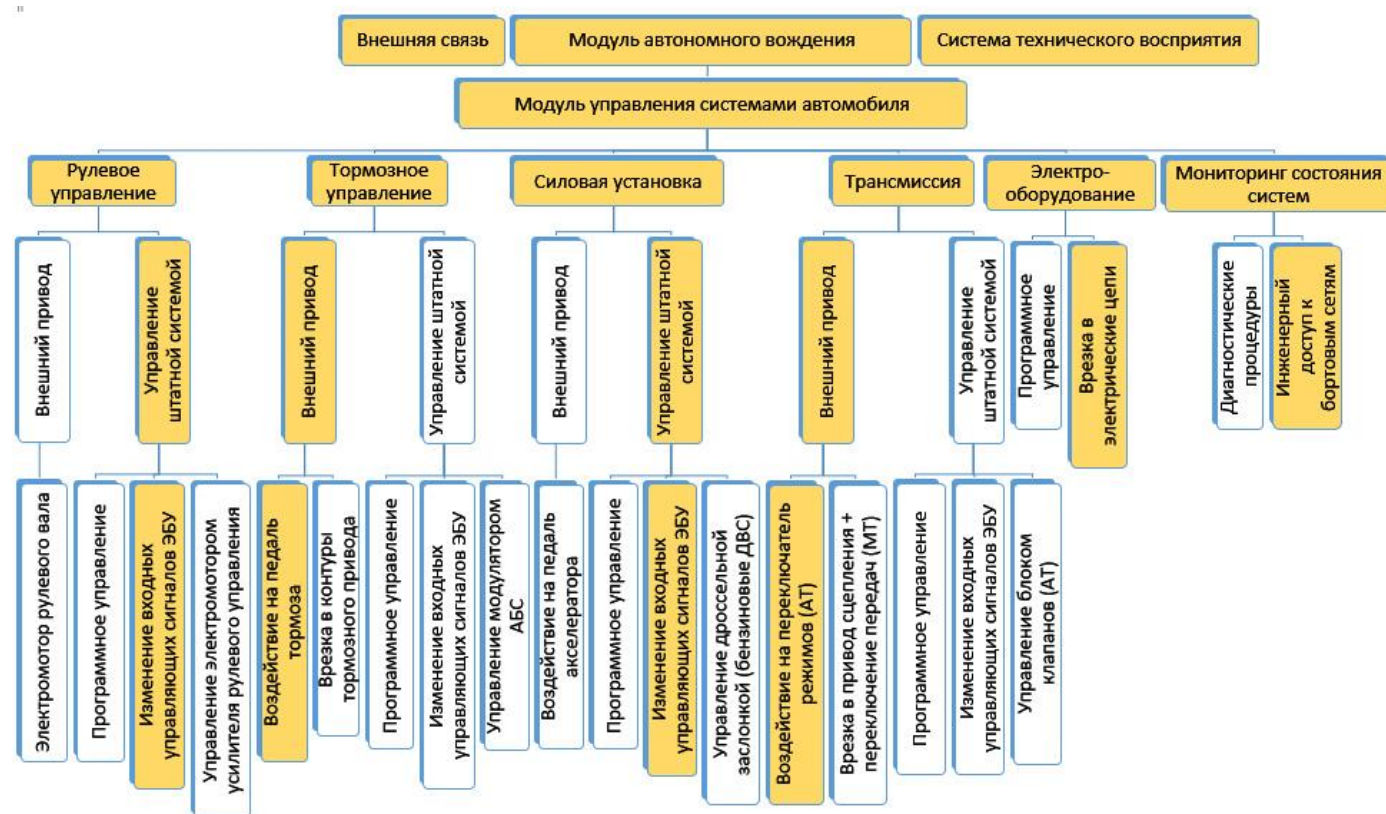


Рисунок 18. Схема переоборудования экспериментального автомобиля

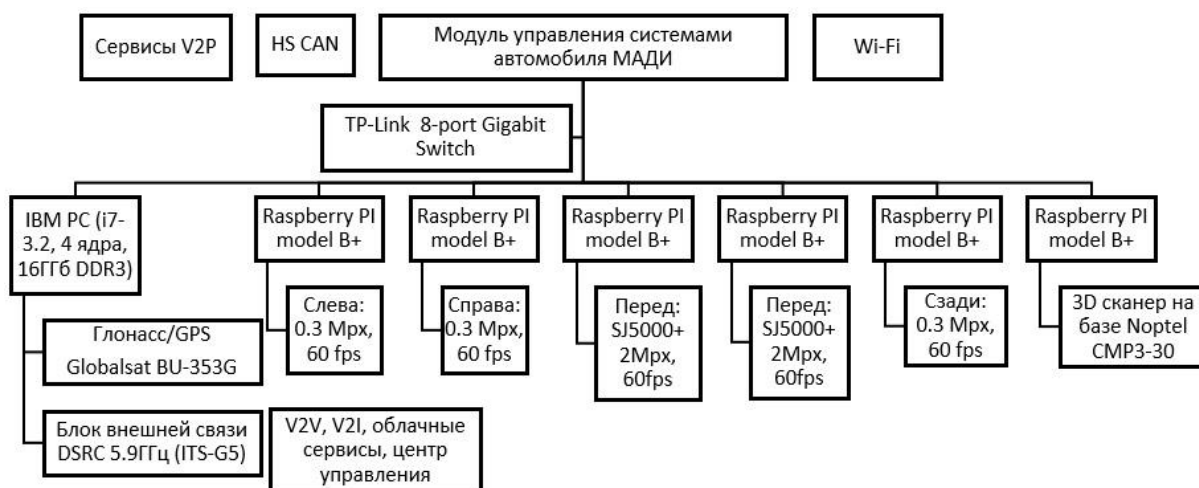


Рисунок 19. Архитектура сети и схема состава системы автономного вождения

Таким образом, на экспериментальном автомобиле, в соответствии с разработанной архитектурой сети, были установлены:

- модуль управления системами автомобиля (Рисунок 20);
- сервопривод педали тормоза (Рисунок 21);
- механизм переключения режимов работы АКП (Рисунок 22);

- компьютерная сеть Ethernet с соответствующим коммутатором (Рисунок 23);
- 2 внешние боковые видеокамеры, размещенные в специальных корпусах, напечатанных на 3D-принтере, системы контроля движения в полосе (Рисунок 24);
- 1 видеокамера сзади (Рисунок 25);
- 2 высокоскоростные фронтальные видеокамеры (Рисунок 26);
- 6 модулей промежуточной обработки данных (мини-компьютеры);
- трехмерное авторское сканирующее устройство (Рисунок 26);
- модуль автономного вождения (высокопроизводительный компьютер) (Рисунок 27);
- навигационный приемник Глонасс/GPS (Рисунок 26);
- точка доступа к сетям LTE/4G (Рисунок 26).



Рисунок 20. Модуль управления системами автомобиля



Рисунок 21. Сервопривод педали тормоза



Рисунок 22. Механизм АКП



Рисунок 23. Монтаж сети Ethernet, коммутатор сети



Рисунок 24. Внешние видеокамеры



Рисунок 25. Задняя камера с модулем обработки видео



Рисунок 26. Видеокамеры, 3D-сканер, Глонасс, LTE



Рисунок 27. Модуль автономного вождения

Внешнее управление рулем на экспериментальном автомобиле было реализовано путем изменения входных сигналов электронного блока управления (ЭБУ)

электроусилителя рулевого управления (ЭРУ), т.е. сигналов штатного датчика момента, размещенного на рулевом валу.

На Рисунке 28 показана интерпретация расшифрованного протокола обмена данными между датчиком момента и ЭБУ ЭРУ. Красным «крестиком» отмечена точка, координаты которой соответствуют значениям каналов, передаваемым в цифровом протоколе, и означающим, что внешний крутящий момент к рулевому валу не прикладывается.

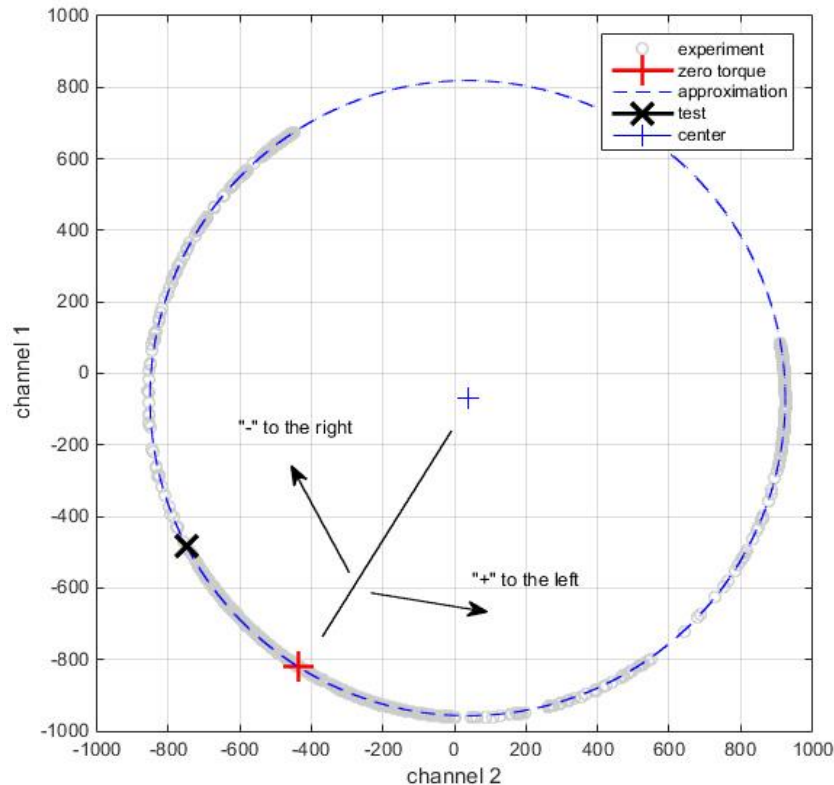


Рисунок 28. Анализ данных протокола датчика момента рулевого вала

Внешний крутящий момент, прикладываемый к рулевому колесу, прямо пропорционален углу, образованному радиусом аппроксимирующей окружности (Рисунок 28), проходящим через точку нулевого момента (красный «крестик») и радиусом, проходящим через текущую точку с координатами (channel2, channel1). Далее рассматриваемый угол называем эквивалентным моментом рулевого вала. И тогда, крутящий момент, прикладываемый водителем через рулевое колесо к рулевому валу, будет определяться зависимостью:

$$M_{SW} = k_{SW} \cdot M_{SWE}, \quad (9)$$

где: M_{SW} - крутящий момент на рулевом валу, [Н*м]; k_{SW} - коэффициент пропорциональности, [Н*м/рад]; M_{SWE} - эквивалентный момент рулевого вала, [рад].

Тогда, эмпирическая формула эквивалентного момента рулевого вала примет вид:

$$M_{SWE} = \left(\arccos \left(\frac{2 \cdot 888^2 - (\lambda_2 + 437)^2 - (\lambda_1 + 820)^2}{2 \cdot 888^2} \right) \right) \cdot \text{sgn}(\lambda_2 - \lambda_1 - 368), \quad (10)$$

где: λ_1 - преобразованное значение, передаваемое в первом канале протокола датчика; λ_2 - преобразованное значение, передаваемое во втором канале протокола датчика.

Для управления штатным мотором электроусилителя руля в ЭБУ необходимо подавать в модулируемом протоколе расчетные значения каналов, определяемые следующими эмпирическими расчетными зависимостями:

$$\lambda_1 = -69 + 888 \cdot \sin\left(M_{SWE} - \arccos\left(-\frac{474}{888}\right)\right) \quad (11)$$

$$\lambda_2 = 37 + 888 \cdot \cos\left(M_{SWE} - \arccos\left(-\frac{474}{888}\right)\right) \quad (12)$$

Для того, чтобы ЭБУ электроусилителем рулевого управления успешно проходил процедуры самодиагностики и не переходил в аварийный режим, в «шлюзовое устройство», интегрированное в модуль управления системами автомобиля, были заложены соответствующие алгоритмы инициализации.

На физическом уровне функции «шлюзового устройства» системы рулевого управления выполнял отдельный процессор – STM32F105RCT6 LQFP64. Основным процессором модуля управления системами автомобиля являлся STM32F407VGT6 LQFP100. В модуле управления системами автомобиля использовался драйвер CAN шины TJA1042T.118 и Wi-Fi модуль связи HLK-RM04 с интерфейсом UART. Связь между процессорами осуществлялась по шине SPI со скоростью 1 Мбит/с. В качестве внешних приводов педали тормоза и переключателя режимов работы АКП использовались электромоторы LA12 GoMotorWorld.

Для системы автоматического торможения были получены экспериментальные зависимости хода педали тормоза от реализуемого замедления для сухого асфальтобетонного покрытия, применимые к объекту испытаний и установленной системе привода:

$$a_x = (-0.0004721 \cdot br_{ped}^2 - 0.06702 \cdot br_{ped} + 2.975) \cdot (a_x \leq 0) \quad (13)$$

$$br_{ped} = (-0.2251 \cdot a_x^2 - 9.364 \cdot a_x + 36.05) \cdot (a_x \leq 0), \quad (14)$$

где: a_x - замедление автомобиля, [м/с²]; br_{ped} - положение педали тормоза, [%].

Применение разработанного трехмерного сканирующего устройства (Рисунок 24, под зеркалом заднего вида) позволило с частотой два раза в секунду (2 Гц) получать дистанции до объектов по ходу следования автомобиля (горизонтальный угол зрения 60°, вертикальный – 45°, дальность – 90 м). Также была реализована возможность перенаправления потока излучения в зоны интересов.

В качестве модуля автономного вождения экспериментального автомобиля выступал персональный компьютер (Рисунок 28) со следующими характеристиками: процессор Intel Core i7 - 4790S Socket 1150, 4-ядерный, 3200 МГц, Turbo: 4000 МГц, Haswell, Кэш L2 - 1024 Кб, Кэш L3 - 8192 Кб, Intel HD Graphics 4600, 22 нм, 65 Вт; оперативная память 2x8Gb DDR-III 1600Mhz Kingston SO-DIMM (KVR16S11/8); блок питания Chieftec IX-03B 90W; кулер Noctua NH-L9I; материнская плата Gigabyte GA-N81TN.

Программной средой для разработки и отладки алгоритмов управления элементов системы автономного вождения, а также записи и анализа результатов стендовых и дорожных испытаний являлся программный комплекс MatLab (лицензия МАДИ № 925024). Отладочная программа MatLab Simulink запускалась на компьютере, представляющим собой модуль автономного вождения экспериментального автомобиля.

Для организации связи между модулем автономного вождения и модулем управления системами автомобиля был разработан специальный протокол связи.

В соответствии с рекомендациями стандартов SAE J3018 и SAE J3092 в экспериментальном автомобиле предусмотрена аварийная кнопка («emergency

button»), помимо этого, реализовано программное отслеживание управляющих воздействий со стороны водителя, при наличии которых система автономного вождения отключается.

Для исследовательских, а также демонстрационных целей было разработано специальное приложение для операционной системы Android дистанционного управления движением экспериментального автомобиля с планшета/смартфона пользователя (Wi-Fi), в т.ч. удаленно по сетям LTE.

Была разработана гибридная навигационная система, представляющая собой симбиоз спутниковой, инерциальной и расчетно-аналитической навигации. На Рисунке 29 показана траектория движения, построенная в реальном времени, т.е. в процессе движения, расчетно-аналитическим блоком гибридной навигации экспериментального автомобиля.

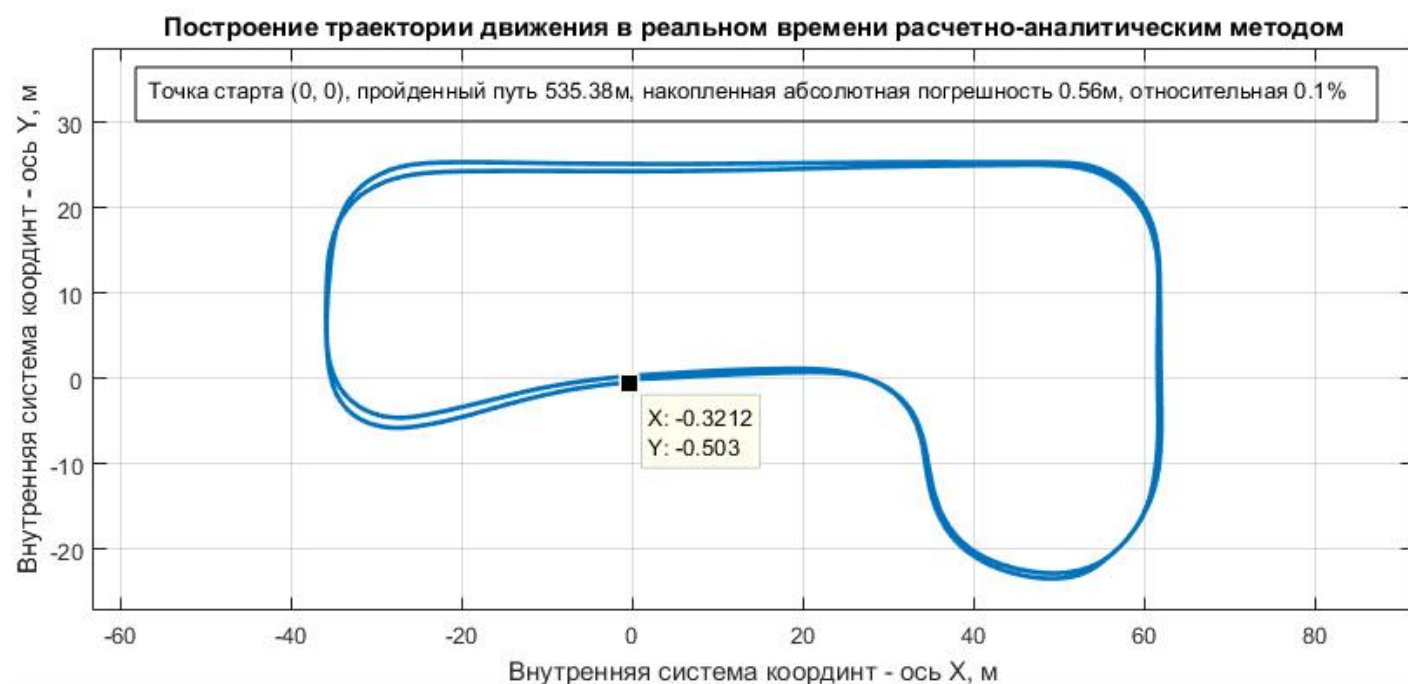


Рисунок 29. Траектория движения экспериментального автомобиля

Проведенные экспериментальные исследования установили, что накапливаемая относительная погрешность построения траектории пройденного пути разработанным расчетно-аналитическим блоком гибридной навигации не превышает 1% от пройденного пути в независимости от условий и режимов движения экспериментального автономного колесного транспортного средства.

Далее была разработана система удержания экспериментального автомобиля в полосе движения (LKAS). Два модуля обработки видеоизображений с камер левого и правого борта, распознавая количество полос и расстояние до ближайшей, отправляли рассчитываемые данные по протоколу UDP в модуль автономного вождения. Калибровочные данные боковых видекамер:

$$dist = 0.0007136 \cdot pixelX^2 + 0.2313 \cdot pixelX, \quad (15)$$

где: $dist$ - расстояние до левого/правого борта экспериментального автомобиля, [см];
 $pixelX$ - координата пикселя на кадре видеопотока по оси X, [-].

Для распознавания дорожной разметки впереди автомобиля использовалась одна из фронтальных видекамер.

На Рисунке 30 синей пунктирной линией показана фактическая траектория центра масс экспериментального автомобиля во внутренней системе координат гибридной навигации при движении на развороте в центр по Ленинградскому проспекту в г.Москве. В целях безопасности автомобилем управлял человек, обработка данных осуществлялась после эксперимента. Красными линиями показаны прогнозируемые траектории движения, если бы управляющие воздействия, актуальные для начальных точек расчетов, оставались бы неизменными в течение следующих 3 секунд движения. Черными линиями показаны прогнозируемые траектории движения при подаче на входы адаптированной математической модели предикторной системы управления движением действительных управляющих воздействий, записанных во время испытаний.

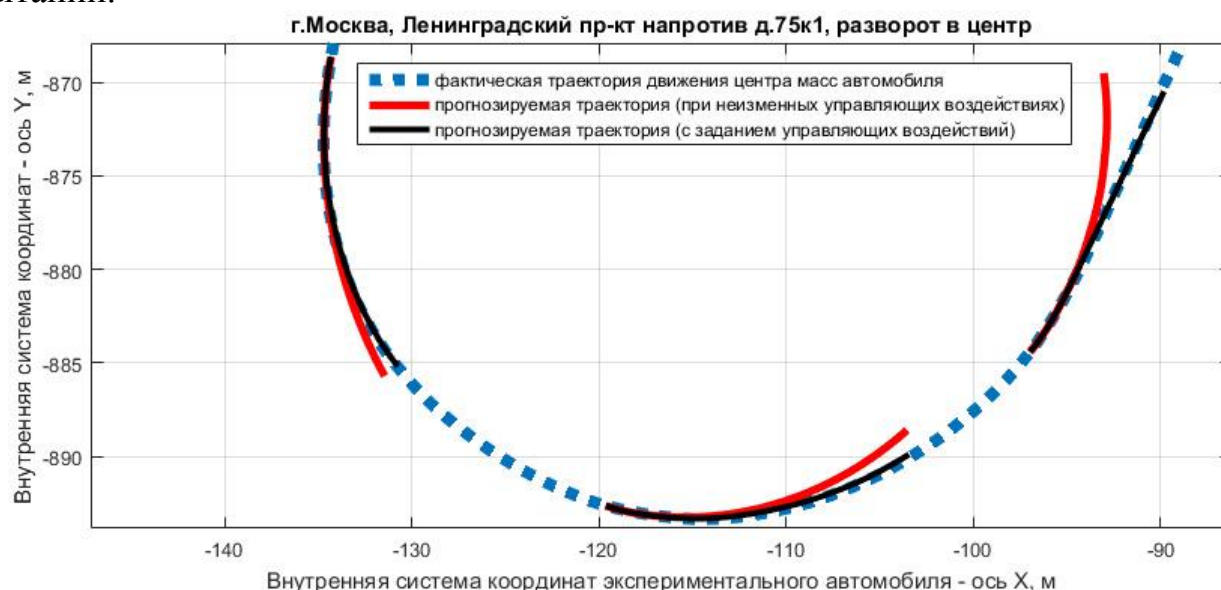


Рисунок 30. Прогнозирование траектории движения экспериментального автомобиля

Прогнозируемые участки траектории движения (черные линии) совпадают с фактической траекторией движения с доверительной точностью, что подтверждает применимость разработанной подсистемы.

В экспериментальном автомобиле реализована разработанная концепция создания систем управления движением автономных колесных транспортных средств и подтверждена работоспособность предложенной методологии. Автомобиль может быть классифицирован как автотранспортное средство четвертого уровня автоматизации SAE.

Основные результаты и выводы

1. Проведен обзор и анализ работ в области автоматизации движения автомобиля, установлены особенности создания зарубежных опытных образцов автономных КТС, тенденции развития ИТС, рассмотрены вопросы стандартизации технологий.

2. Разработана концепция создания систем управления движением автономных колесных транспортных средств, направленная на радикальное повышение безопасности дорожного движения путем предотвращения возможных столкновений. Концепция включает в себя:

- сформулированный и обоснованный состав системы автономного вождения;
- функциональные и технические требования к системе и элементам системы, а также методы выполнения требований;

- методологию оборудования новых и дооснащения находящихся в эксплуатации колесных транспортных средств для выполнения задач автономного движения;
- методы интеграции автономных КТС в интеллектуальную транспортную среду.

3. Установлены проблемы организационно-экономического характера, требующие решения для повсеместного распространения и внедрения технологий автономных колесных транспортных средств.

4. Разработана комплексная математическая модель расчета динамики движения автомобиля, подробно описывающая неустановившиеся режимы движения (экспериментально доказана новая зависимость расчета реакций опорного основания в пятне контакта пневматической шины с дорогой), а также режимы движения с высокими скоростями на разных типах опорных поверхностей, отличающаяся тем, что пригодна к использованию в системе управления движением автономного колесного транспортного средства.

5. Разработана, доказана и применена на практике методика верификации комплексной математической модели на основе анализа результатов дорожных испытаний. Установлены минимальный набор испытаний и возможность автоматического уточнения параметров в процессе эксплуатации.

6. Выполнена оценка адекватности математической модели с проведением дорожных испытаний трех автомобилей. Погрешность расчетных параметров движения не превысила 8% при уровне доверительной вероятности 95%.

7. Разработана и применена на практике методика декодирования данных, передаваемых по CAN-шинам транспортных и технологических машин.

8. Установлена применимость использования данных, получаемых с бортовых мультимедийных сетей современных транспортных средств при решении исследовательских задач, проведении дорожных испытаний, разработке устройств интеллектуальных транспортных систем, а также систем управления движением автономных транспортных средств. Проведены дорожные испытания двух автомобилей для оценки точности данных штатных мультимедийных сетей.

9. В задаче интеграции автономных колесных транспортных средств в интеллектуальную транспортную среду установлен перечень параметров (40 шт.), состоящий из групп географических данных текущего и прогнозируемого положений, кинематических параметров движения, данных об управляющих воздействиях, условиях движения, состоянии опорной поверхности и идентификаторах автономного КТС, передаваемых в динамическую сеть ИТС, а также требования к скорости передачи данных (не менее 2,53 Кбит/с).

10. Созданы и испытаны опытные образцы автономных колесных транспортных средств на базе микроавтобуса (третий уровень автоматизации SAE) и легкового автомобиля (четвертый уровень автоматизации SAE) с реализацией функций автоматического торможения и поддержания дистанции, высокоточного позиционирования и записи маршрута движения, контроля и удержания автомобиля в полосе дорожной разметки, движения по заданной траектории, прогнозирования траектории движения в режиме реального времени, отслеживания действий водителя при функционировании системы автономного вождения. Доказана работоспособность разработанной методологии создания систем управления движением автономных колесных транспортных средств, интегрированных в интеллектуальную транспортную среду, направленной на повышение безопасности дорожного движения.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

Рецензируемые научные издания перечня ВАК РФ

1. Экспериментальная проверка методов оценки эффективности систем динамической стабилизации АТС / С.С. Шадрин [и др.] // Автомобильная промышленность. 2009. №7. С. 31-33. (0,25 п.л. / 0,03 п.л.).
2. Иванов А.М., Шадрин С.С. Обоснование выбора ключевых технологий функционирования системы межобъектного взаимодействия интеллектуальных транспортных средств при движении по скоростным автомагистралям // Вестник МАДИ. 2013. Вып. 1(32). С. 7-13. (0,63 п.л. / 0,56 п.л.).
3. Фадин А.М., Иванов А.М., Шадрин С.С. Методика оценки алгоритмов управления автомобилем в автоматическом режиме // Вестник МАДИ. 2013. Вып. 3(34). С. 3-7. (0,44 п.л. / 0,22 п.л.).
4. Фадин А.М., Иванов А.М., Шадрин С.С. Методика расчета углов поворота рулевого колеса по координатам движения автомобиля // Естественные и технические науки. 2013. Вып. 4. С. 198-201. (0,38 п.л. / 0,19 п.л.).
5. Шадрин С.С. Расчетно-экспериментальный метод определения углов поворота управляемых колес транспортного средства при проведении полигонных испытаний // Вестник МАДИ. 2013. Вып. 4(35). С. 13-17. (0,44 п.л.).
6. Разработка системы автоматического торможения колесного транспортного средства / С.С. Шадрин [и др.] // Журнал Автомобильных Инженеров. 2013. №6(83). С. 36-39. (0,38 п.л. / 0,19 п.л.).
7. Шадрин С.С. Идентификация параметров сопротивления движению колесных транспортных средств в эксплуатации // Известия МГТУ «МАМИ». 2013. Т. 1, №2(16). С. 248-251. (0,38 п.л.).
8. Иванов А.М., Шадрин С.С., Карпухин К.Е. Интеллектуальное транспортное средство. Адаптация подсистемы определения взаимного положения движущихся транспортных средств // Известия МГТУ «МАМИ». 2013. Т. 1, №2(16). С. 57-62. (0,5 п.л. / 0,45 п.л.).
9. Иванов А.М., Шадрин С.С. Разработка системы межобъектного взаимодействия интеллектуальных транспортных средств // Известия ВолгГТУ. Серия «Наземные транспортные системы». Вып. 7 : Межвуз. сб. науч. статей. 2013. № 21 (124). С. 74-77. (0,38 п.л. / 0,34 п.л.).
10. Шадрин С.С., Иванов А.М. Возможности использования бортовых сетей передачи данных автотранспортных средств в задачах интеллектуальных транспортных систем // Автотранспортное предприятие. 2014. № 5. С. 43-46. (0,38 п.л. / 0,34 п.л.).
11. Разработка системы автоматизированного движения в «пробках» городского транспортного средства / С.С. Шадрин [и др.] // Вестник МАДИ. 2014. Вып. 3(38). С. 106-112. (0,63 п.л. / 0,31 п.л.).
12. Разработка индирективной системы контроля давления в пневматических шинах / С.С. Шадрин [и др.] // Естественные и технические науки. 2014. Вып. 5(73). С. 104-106. (0,25 п.л. / 0,18 п.л.).
13. Экспериментально-расчетная методика определения сцепных свойств пневматических шин в эксплуатации / С.С. Шадрин [и др.] // Естественные и технические науки. 2014. Вып. 5(73). С. 107-109. (0,25 п.л. / 0,2 п.л.).

14. Иванов А.М., Шадрин С.С. Разработка дополнительных сервисов с использованием интерфейса Vehicle-to-Person (V2P) // Автотранспортное предприятие. 2014. № 9. С. 16-18. (0,25 п.л. / 0,23 п.л.).
15. Иванов А.М., Шадрин С.С., Карпухин К.Е. Разработка внешней косвенной системы контроля давления в пневматических шинах // Известия МГТУ «МАМИ». 2014. Т. 1, №3(21). С. 16-19. (0,38 п.л. / 0,34 п.л.).
16. Шадрин С.С., Иванов А.М. Экспериментально-расчетная методика определения сцепных свойств пневматических шин легкового автомобиля в эксплуатации // Известия МГТУ «МАМИ». 2014. Т. 1, №3(21). С. 65-68. (0,38 п.л. / 0,34 п.л.).
17. Шадрин С.С., Иванов А.М. Использование смартфонов в образовательном процессе МАДИ при проведении дорожных испытаний автотранспортных средств // Известия ВолгГТУ. Серия «Наземные транспортные системы». Вып. 9 : Межвуз. сб. науч. статей. 2014. № 19 (146). С. 81-85. (0,44 п.л. / 0,39 п.л.).
18. Шадрин С.С., Иванов А.М., Солнцев А.Н. Разработка автомобильной системы V2I мониторинга состояния дорожного покрытия // Естественные и технические науки. 2015. Вып. 6(84). С. 312-314. (0,25 п.л. / 0,23 п.л.).
19. Разработка программного обеспечения штурманского прибора для ралли третьей категории с использованием технологии ИТС V2P (Vehicle-to-Person) / С.С. Шадрин [и др.] // Естественные и технические науки. 2015. Вып. 6(84). С. 297-300. (0,38 п.л. / 0,26 п.л.).
20. Шадрин С.С., Иванов А.М. Аналитический обзор стандарта SAE J3016 «Системы автоматизированного управления движением АТС. Классификация, термины и определения» // Естественные и технические науки. 2015. Вып. 6(84). С. 305-308. (0,38 п.л. / 0,34 п.л.).
21. Шадрин С.С., Иванов А.М., Невзоров Д.В. Автономное колесное транспортное средство в составе интеллектуальных транспортных систем // Естественные и технические науки. 2015. Вып. 6(84). С. 309-311. (0,25 п.л. / 0,23 п.л.).
22. Иванов, А.М., Шадрин С.С., Невзоров Д.В. Разработка трехмерного сканирующего устройства системы технического зрения автономного колесного транспортного средства // Естественные и технические науки. 2015. Вып. 6(84). С. 301-304. (0,38 п.л. / 0,19 п.л.).
23. Шадрин С.С., Иванов А.М., Карпухин К.Е. Использование данных бортовых мультиплексных сетей автотранспортных средств при дорожных испытаниях, разработке ИТС и автоматизации управления движением // Вестник машиностроения. 2016. № 7. С. 25-29. (0,44 п.л. / 0,39 п.л.).

Зарубежные рецензируемые научные издания Scopus и Web of Science

24. Prikhodko V.M., Ivanov A.M., Shadrin S.S. The development of additional services using Vehicle-to-Person (V2P) interface // Life Sci J. 2014. №11(12s). P. 862-864. (0,25 п.л. / 0,23 п.л.).
25. Ivanov A.M., Prikhodko V.M., Shadrin S.S. Development of the external indirect pressure control system in pneumatic tires // Life Sci J. 2014. №11(12s). P. 336-338. (0,25 п.л. / 0,23 п.л.).
26. Sergey Sergeevich Shadrin, Andrey Mikhailovich Ivanov, Vyacheslav Mikhailovich Prikhodko. Experimental and calculated procedure for determining the adhesion properties of

the vehicle pneumatic tires in use // Adv. Environ. Biol. 2014. №8(13). P. 294-297. (0,38 п.л. / 0,34 п.л.).

27. Sergey Sergeevich Shadrin, Andrey Mikhailovich Ivanov, Vyacheslav Mikhailovich Prihodko. Usage of Smartphones in the Education Process of MADI during Vehicle Road Tests Conduction // Modern Applied Science. 2015. Vol. 9, No. 1. P. 83-88. (0,5 п.л. / 0,45 п.л.).

28. Sergey Sergeevich Shadrin, Andrey Mikhailovich Ivanov. Technical Aspects of External Devices into Vehicles' Networks Integration // International Journal of Applied Engineering Research. 2016. Vol. 11, No. 10. P. 7003-7006. (0,38 п.л. / 0,34 п.л.).

29. Sergey Sergeevich Shadrin, Andrey Mikhailovich Ivanov. Algorithm of Autonomous Vehicle Steering System Control Law Estimation while the Desired Trajectory Driving // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2016. Vol. 11, No. 15. P. 9312-9316. (0,44 п.л. / 0,39 п.л.).

Зарегистрированные объекты интеллектуальной собственности

30. Спинов А.Р., Иванов А.М., Шадрин С.С. Программа управления гидравлическим тормозным приводом для обеспечения автоматического торможения автомобиля : Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014610891 , РФ ; заявл. 21.11.2013 ; опубл. 17.01.2014. (299 Кб).

31. Шадрин С.С., Иванов А.М., Невзоров Д.В. Программа V2P контроля давления в шинах : Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015614186 , РФ ; заявл. 20.02.2015 ; опубл. 08.04.2015. (1534 Кб).

32. Иванов А.М., Солнцев А.Н., Шадрин С.С. Программа имитационного моделирования динамики движения двухзвенного автопоезда (тягач с полуприцепом) : Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015614464 , РФ ; заявл. 04.03.2015 ; опубл. 20.04.2015. (161 Кб).

33. Невзоров Д.В., Шадрин С.С., Иванов А.М. Программа внешнего управления штатным электроусилителем руля автомобиля : Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2016617706 , РФ ; заявл. 18.05.2016 ; опубл. 20.08.2016. (19,6 Кб).

34. Шадрин С.С., Иванов А.М., Невзоров Д.В. Программное обеспечение модуля управления системами автомобиля : Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2016617387 , РФ ; заявл. 18.05.2016 ; опубл. 20.07.2016. (33 Кб).

35. Шадрин С.С., Иванов А.М. Программа прогнозирования траектории движения автомобиля : Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2016617707 , РФ ; заявл. 18.05.2016 ; опубл. 20.08.2016. (2,08 Мб).