

УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по научной работе

Д.т.н., проф. Жанказиев С.В.



2016 г.

## ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертацию Ендачева Дениса Владимировича  
на тему: «Прогнозирование характеристик криволинейного движения  
беспилотного автомобиля», представленной на соискание ученой степени  
кандидата технических наук по специальности 05.05.03 – Колесные и  
гусеничные машины.

### Актуальность выбранной темы

Развитие современного автостроения свидетельствует об активной разработке беспилотных автотранспортных средств (АТС) ведущими зарубежными автопроизводителями уже более 30 лет. Объекты исследований данного направления весьма разнообразны: это легковые автомобили, грузовой транспорт, сельскохозяйственная техника, техника военного назначения, технологический (внутризаводской) транспорт и другие.

Особое внимание созданию беспилотных АТС уделяют США, Германия, Япония, Италия, Китай, Великобритания, Франция, Корея. Следует отметить, что значительный объем этих работ проводится по закрытой тематике и по этой причине результаты исследований практически не публикуются в открытой печати. Сложные наукоемкие технические решения, программное обеспечение, датчики систем управления беспилотных АТС во многих странах отнесены к продукции двойного назначения и также не раскрываются.

Основными преимуществами беспилотных АТС являются: снижение затрат на транспортировку грузов и пассажиров; снижение затрат на топливо

за счет более эффективного использования пропускной способности дорог посредством централизованного управления транспортным потоком;

- расширение возможностей использования автомобиля для людей с ограниченными физическими возможностями;
- возможность перевозки грузов в опасных зонах, связанных со сложными природно-климатическими условиями или военными действиями;
- потенциальное уменьшение ДТП и тяжести их последствий.

В настоящее время развиваются два основных направления создания систем автоматизации движения АТС:

- комплексная автоматизация возможных режимов движения;
- автоматизация отдельных режимов движения АТС(парковка, движение в пробках, движение в колонне и т.д.).

Анализ существующих систем управления беспилотных АТС выявил большое число проблем, возникающих в процессе их разработки и при определении требований, предъявляемых к системе управления. Это обусловлено, в частности, существенной погрешностью, вызванной непрерывно изменяющимися в процессе движения внешними условиями, а также функциональной ограниченностью систем управления в связи с использованием внешних источников информации, определяющих положение транспортного средства в пространстве. В то же время очевидно, что качество работы системы управления напрямую определяет безопасность движения, и разработчики на стадии проектирования техники обязаны определить эксплуатационный скоростной диапазон, в котором вероятность возникновения аварийной ситуации минимальна.

В этой связи задача прогнозирования характеристик криволинейного движения беспилотных АТС на стадии проектирования с учетом задержек по времени измерительных, вычислительных и исполнительных устройств является актуальной.

## **Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации**

Научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации, обоснованы аргументированным выбором расчетных моделей на основе современных положений теории движения АТС. Проведен широкий спектр расчетных и экспериментальных исследований, направленных на доказательство основных научных положений, выводов и рекомендаций.

## **Достоверность и новизна исследования полученных результатов, выводов и рекомендаций**

Достоверность основных положений, изложенных в диссертации, основана на фундаментальных законах и уравнениях теории движения АТС. Результаты расчетных исследований подтверждены большим объемом экспериментальных исследований, выполненных на современном испытательном и измерительном оборудовании.

Научная новизна результатов диссертационного исследования заключается в следующем:

1)Создана математическая модель криволинейного движения беспилотного АТС по ровному горизонтальному недеформируемому опорному основанию, предназначенная для исследования влияния задержек в работе систем управления на безопасность движения. Модель отличается от известных учетом работы регистрирующей и вычислительной аппаратуры, а также исполнительных устройств.

2)Разработан метод выбора рациональных параметров систем управления движением беспилотными АТС, позволяющий определить границы безопасного выполнения маневров на стадии проектирования.

3)Получены результаты и выполнен анализ теоретических и экспериментальных исследований криволинейного движения беспилотного АТС при заданных управляющих воздействиях, соответствующих

выполнению стандартизованных испытаний (маневр «переставка»), а также оригинальных (движение по заранее заданному маршруту), на опорных основаниях с различными сцепными свойствами и при различных задержках по времени выработка и исполнения управляющего сигнала.

### **Значимость для науки и практики полученных автором результатов**

В диссертации изложены научные основы выбора рациональных параметров системы управления движением. Использование на практике этих методов и рекомендаций позволит создавать современные беспилотные АТС, выполняющие требования по безопасности движения.

Созданный комплекс программ для ЭВМ позволяет имитировать динамику беспилотного АТС и проводить оценку влияния задержки управляющего воздействия на безопасность движения в различных дорожных условиях, в результате чего возможно обосновано подходить к формированию технических требований к системам управления движением, что позволяет обеспечить безопасность при эксплуатации беспилотных АТС.

### **Конкретные рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации.**

Разработанные математические модели и методы выбора рациональных параметров представляют собой несомненный практический интерес в практической работе по созданию беспилотных АТС.

Основные технические решения по конструкции беспилотных систем подтверждены экспериментальными исследованиями.

Результаты теоретических и экспериментальных исследований, полученные в диссертационной работе, используются в учебном процессе и при разработке перспективных колесных транспортных средств, что подтверждено актами внедрения.

## **Содержание диссертации и ее завершенность.**

Диссертация состоит из введения, четырех глав, общих результатов и выводов, списка литературы из 93 наименований. Тема диссертационного исследования соответствует ее содержанию. Поставленные задачи последовательно раскрываются в исследовании. Диссертация изложена на 183 страницах машинописного текста, содержит 95 рисунков и 7 таблиц. Область исследования соответствует паспорту научной специальности 05.05.03 – колёсные и гусеничные машины.

**Во введении** дана общая характеристика работы, обоснована актуальность решаемой научной задачи, дается краткая характеристика выполненных исследований и полученных результатов.

**В первой главе** диссертации приведен обзор и анализ отечественных и зарубежных работ, посвященных созданию беспилотных АТС. Исследован опыт отечественных и зарубежных разработчиков по созданию систем управления движением, рассмотрены основные преимущества и недостатки известных программных, адаптивных и автономных систем управления, применяемых при создании беспилотных АТС.

**Во второй главе** представлена математическая модель криволинейного движения беспилотного АТС, в состав которой входит система управления движением. Движение беспилотного АТС рассматривается в горизонтальной плоскости на ровной недеформируемой опорной поверхности и складывается из поступательного движения центра масс и вращательного движения вокруг центра масс. Система уравнений, описывающая данное движение, позволяет рассчитать текущие ускорения по значениям сил и моментов, действующим на транспортное средство.

Модель учитывает силы сопротивления воздуха, сопротивления качению и силы инерции, а также перераспределение нормальных реакций по колесам АТС.

Приведена система уравнений, описывающая работу трансмиссии переднеприводного беспилотного АТС с симметричным дифференциалом.

Подробно рассмотрена математическая модель рулевого колеса.

**В третьей главе** приведены результаты теоретических исследований криволинейного движения беспилотного АТС на различных типах опорного основания. Разработана методика проведения имитационных испытаний по оценке управляемости и устойчивости беспилотного АТС. В качестве типового маневра для исследования характеристик криволинейного движения беспилотного АТС выбран маневр «Переставка S=20 м».

При проведении теоретических исследований по выполнению манёвра «Переставка S=20 м» для беспилотного АТС для каждой скорости уточнялись максимальные углы поворота задающего (рулевого) колеса, момент времени, соответствующий началу управляющего воздействия, а также время задержки сигнала управляющего воздействия, обусловленное характеристикой системы управления беспилотным АТС.

Оценочным параметром для данного маневра является предельно возможная скорость выполнения (при заданной величине задержки) управляющего воздействия.

**В четвертой главе** приведены результаты экспериментальных исследований. Представлено подробное описание объекта исследований, аппаратурно-измерительного комплекса, условий и методики проведения экспериментов. На основании сравнения полученных результатов с расчетными данными произведена оценка качества математической модели и определена ее точность.

Объектом экспериментальных исследований являлось беспилотное АТС на базе серийного автомобиля «LADA-Kalina», разработанное в ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ» под руководством соискателя.

В состав исполнительных устройств системы управления беспилотным АТС входят: автоматизированное рулевое управление, управление приводом дроссельной заслонки, управление тормозной системой, управление трансмиссией.

**В основных результатах и выводах по работе** приведены основные научные и практические результаты выполненных работ.

В целом диссертационная работа является законченным научным исследованием. Автореферат и публикации отражают содержание диссертации.

### **Недостатки в содержании и оформлении диссертации.**

По диссертационной работе имеются следующие замечания:

1. Недостаточно обоснованы допущения, сделанные при разработке математической модели движения беспилотного АТС.
2. В математической модели автомобиля при расчете вертикальных реакций принимается допущение о том, что характеристика подвески каждого колеса эквивалентна идеальной линейной пружине с постоянной жесткостью. Не ясно при этом каким образом была обеспечена сходимость основных оценочных показателей в пределах 8% относительной погрешности при сопоставлении результатов полигонных испытаний автомобиля «LADA-Kalina», выполняющего маневр «Переставка  $S_p=20\text{м}$ », с результатами моделирования.
3. Предложенная и используемая при моделировании зависимость расчета момента сопротивления повороту не учитывает скорость движения, стабилизирующий момент, кинематику подвески. В состав уравнения, описывающего динамику рулевого управления, не входит переменный момент сопротивления повороту и, в общем случае, момент, прикладываемый водителем.
4. Предложенная стратегия управления процессом руления при движении по задаваемой траектории, не учитывающая ошибку смещения фактической траектории от задаваемой, ставит под сомнения объективность полученных данных.

5. Работа выглядела бы убедительнее, если бы автор привел исследования большего количества маневров, помимо маневра «Переставка  $S_{\Pi}=20\text{м}$ »,

Сделанные замечания не снижают общей положительной оценки диссертационной работы, которая выполнена на высоком научном уровне и на актуальную для автомобилестроения тему.

### **Общее заключение по работе**

Рассматриваемая диссертация Ендачева Д.В. является завершённой научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований решена научная задача прогнозирования траектории движения беспилотного АТС, имеющая важное значение в отношении обеспечения безопасности его движения. Диссертация соответствует требованиям п.9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, а ее автор – Ендачев Денис Владимирович – заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.05.03 – Колесные и гусеничные машины.

Диссертация и отзыв рассмотрены, а отзыв единогласно утвержден на заседании кафедры «Автомобили» от «07» ноября 2016г, протокол № 9.

Зав. кафедрой автомобили МАДИ  
Д.т.н., профессор



Иванов А.М.

#### Справочные данные:

Иванов Андрей Михайлович,  
д.т.н., профессор, заведующий кафедрой  
«Автомобили»,  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего  
образования «Московский автомобильно-  
дорожный государственный технический  
университет (МАДИ)»,  
125319, Москва, Ленинградский проспект, 64.  
8 (499) 155-03-84, ivanov-am@madi.ru

Жанказиев Султан Владимирович,  
д.т.н., профессор, проректор по научной  
работе,  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего  
образования «Московский автомобильно-  
дорожный государственный технический  
университет (МАДИ)»,  
125319, Москва, Ленинградский проспект, 64.  
8 (499) 346-01-68, nauka@madi.ru