

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу

Чаплыгина Антона Владимировича

«Улучшение наблюдаемости параметров движения автомобиля в системах активной безопасности», представленную к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.05.03 – «Колесные и гусеничные машины».

Актуальность темы диссертации

Эффективность систем активной безопасности (САБ) в качестве средств снижения аварийности автомобильных перевозок подтверждена их многолетним применением в серийных автомобилях, исследованиями и статистическими данными. Для обеспечения работоспособности САБ они должны располагать информацией о переменных, характеризующих движение автомобиля. Сенсорные средства, входящие в состав серийного автомобиля, позволяют напрямую измерять только некоторые из этих переменных. Не измеряемые переменные, требуемые для работы САБ, определяются косвенными методами, используя математические конструкции, называемые наблюдателями. История применения наблюдателей в САБ берет свое начало с разработки первой серийной антиблокировочной системы (АБС), созданной фирмой Bosch. С тех пор подходы к построению САБ с использованием наблюдателей получили широкое распространение. Хотя существенный прогресс в данной области неоспорим, существующие алгоритмы идентификации с использованием наблюдателей обладают ограниченной точностью, которая может быть недостаточной при движении автомобиля по опорным поверхностям с низким или переменным сцеплением, а также, что немаловажно, обладают ограниченными возможностями в части прогнозирования характеристик сцепления шин с опорной поверхностью (такое прогнозирование позволило бы САБ планировать свои корректирующие или управляющие воздействия с упреждением). Рассмотренная диссертационная работа посвящена совершенствованию наблюдателей параметров движения автомобиля, используемых системами активной безопасности. В частности, она предлагает решения, устраняющие недостатки известных алгоритмов. Результатом применения предлагаемых в работе решений станет повышение эффективности и адекватности работы САБ, что позволяет говорить о высокой актуальности диссертационной работы.

Оценка структуры и содержания диссертации

Диссертационная работа Чаплыгина А.В. состоит из введения, 4 глав, заключения, списка использованных литературных источников (104 наименования) и 4 приложений. Объем диссертационной работы составляет 139 страниц текста без приложений, включая 57 рисунков и 5 таблиц.

Во введении обоснована актуальность выбранной темы исследования, сформулированы его цель и задачи, а также научная новизна и практическая значимость, перечислены результаты реализации и аprobации работы.

В первой главе проведен анализ известных исследований в предметной области, включающий в себя рассмотрение существующих наблюдателей переменных состояния динамических систем (различные модификации фильтра Калмана, наблюдатели на основе скользящих режимов, наблюдатели на основе метода Монте-Карло), алгоритмов идентификации сцепных характеристик шин, алгоритмов идентификации продольного наклона дороги, а также примеры научных работ, демонстрирующие использование этих алгоритмов в САБ. На основе проведенного анализа сделаны выводы о недостатках существующих решений и необходимости их устранения путем синтеза усовершенствованных алгоритмов-наблюдателей.

Во второй главе представлено описание предлагаемой автором системы идентификации параметров движения автомобиля, которая включает математическую модель движения автомобиля, систему бортовых датчиков, наблюдатели кинематических параметров автомобиля и угла наклона дороги, а также алгоритм идентификации сцепления шин с дорогой. Для каждого из наблюдателей приведено математическое описание и структурная схема. Наблюдатели функционально разделены в соответствии с задачами идентификации переменных продольной и курсовой динамики автомобиля. Наблюдатель параметров курсового движения основан на четырёхколёсной математической модели движения автомобиля и сигма-точечном фильтре Калмана, в наблюдателе продольной динамики используется математическая модель движения автомобиля с отдельными вращающимися массами колес и оценка коэффициентов сцепления с помощью скользящих режимов. Наблюдатель продольного угла наклона дороги основан на оригинальном дискретно-накопительном алгоритме. Предложенный алгоритм прогностической идентификации характеристик сцепления шин основан на накоплении оценок проскальзывания и коэффициентов сцепления с последующей их аппроксимацией с помощью нелинейной эмпирической модели шины, параметры которой определяются посредством градиентного алгоритма оптимизации.

Третья глава посвящена описанию математической модели автомобиля, используемой для расчета параметров его движения, которые в процессе работы алгоритмов корректируются наблюдателями. Представлены расчетные схемы движения автомобиля и системы уравнений, выведенные на их основе. Реализованная структура состоит из модели шины, модели вращательной динамики колеса, модели движения автомобиля в плоскости дороги и модели перемещений подрессоренной массы.

В четвертой главе описано исследование разработанной системы наблюдателей, в рамках которого были проведены дорожные испытания с использованием легкового автомобиля Лада Веста. Приведен перечень использованного при испытаниях измерительного оборудования и регистрирующей аппаратуры, описаны выполненные испытательные маневры. Представлены результаты работы наблюдателя параметров курсового движения на опорных поверхностях мокрый базальт, асфальтобетон и лед. Для наблюдателя параметров продольной динамики автомобиля примеры результатов идентификации приведены для опорных поверхностей сухой асфальтобетон, лед и обледенелый снег. Во всех примерах показаны характеристики сцепления шин с опорной поверхностью, идентифицированные при помощи разработанного прогностического алгоритма. Также рассчитаны погрешности идентификации основных параметров движения автомобиля, статистические критерии адекватности аппроксимации характеристик сцепления. Даны численные оценки прогностических свойств алгоритма определения максимального сцепления. В последнем разделе главы представлены результаты исследования наблюдателя продольного наклона дороги с использованием данных испытаний на дорогах с подъемами.

В заключительном разделе диссертации представлены основные результаты и выводы по работе. Структура и содержание выводов соответствуют задачам диссертационного исследования и позволяют сделать заключение о достижении поставленной в работе цели.

Содержание автореферата в достаточной мере отражает содержание диссертации, её научную новизну, практическую значимость и полученные результаты.

Соответствие содержания диссертации научной специальности

Содержание диссертационной работы соответствует формуле научной специальности 05.05.03 – «Колесные и гусеничные машины» и относится к двум областям исследований, определяемым паспортом специальности: п. 2 «математическое моделирование и исследование кинематики, статики и динамики, а также физико-химических процессов в транспортных средствах, их узлах и механизмах» и п. 4 «повышение качества, экономичности, долговечности и надежности, безопасности

конструкции, экологических характеристик и других потребительских и эксплуатационных параметров транспортного средства».

Научная новизна диссертации

В качестве научной новизны работы можно отметить новый метод идентификации параметров движения автомобиля, в котором используются оригинальные решения в части оценки переменных, характеризующих продольную и курсовую динамику автомобиля, с использованием нелинейных математических моделей, наблюдателей на основе сигматочечного фильтра Калмана и скользящих режимов. Также новизной обладает предложенный метод прогностической идентификации характеристик сцепления шины с дорогой, состоящий в накоплении оценок проскальзывания (или углов увода) и коэффициентов сцепления с последующей аппроксимацией накопленных данных с помощью нелинейной модели шины и метода градиентной оптимизации. Оригинальным решением также является алгоритм оценки угла наклона дороги, который реализован с использованием дискретно-накопительного метода расчета, использующего бортовые измерения и оценки, выполняемые наблюдателем параметров движения автомобиля.

Обоснованность и достоверность результатов и выводов

Предложенные в работе алгоритмы идентификации параметров движения автомобиля и прогностической идентификации характеристик сцепления шин с дорогой основаны на корректном и обоснованном использовании теории автомобиля, включая теорию качения эластичного колеса, и теории наблюдателей переменных состояния динамических систем.

Адекватность и корректность работы представленных в диссертации алгоритмов идентификации параметров движения автомобиля подтверждаются результатами экспериментального исследования, основанного на дорожных испытаниях автомобиля с использованием поверенной измерительной и регистрирующей аппаратуры. Рассчитанные по результатам исследования величины среднеквадратических ошибок, характеризующих точность оценки параметров движения, и коэффициентов детерминации, характеризующих адекватность регрессионных моделей, находятся в диапазонах, приемлемых как с точки зрения качества математических моделей, так и в смысле применимости алгоритмов в системах активной безопасности.

Выводы, представленные в главах и в заключении диссертации, отражают результаты проведенного анализа и исследований, включают численные значения оценок точности и прогностических свойств разработанных алгоритмов, а также показатели повышения эффективности САБ при использовании этих алгоритмов. Таким образом, достоверность и

обоснованность результатов диссертационного исследования и представленных в нём выводов не вызывает сомнений.

Теоретическая и практическая ценность результатов работы

Теоретическая ценность диссертационной работы заключается в предложенных в ней оригинальных математических структурах (наблюдателях и алгоритмах идентификации), улучшающих свойства наблюдаемости и прогнозируемости параметров движения автомобиля в системах активной безопасности.

Практическая значимость работы состоит в возможности реализации предложенных алгоритмов в составе программного обеспечения, используемого в контроллерах САБ.

Реализация результатов работы

Программная реализация разработанных алгоритмов идентификации параметров движения автомобиля использовалась при выполнении научно-исследовательских работ в области активной безопасности и автоматизации управления движением автомобилей в рамках контрактов ФГУП «НАМИ» с Минпромторгом РФ и Минобрнауки РФ. Математические описания алгоритмов, представленных в работе, нашли применение в учебно-методическом пособии, использующемся в образовательном процессе аспирантуры ФГУП «НАМИ», что подтверждено полученным актом о внедрении.

Публикация и апробация результатов диссертации

Основные результаты диссертации опубликованы в 4-х печатных работах в изданиях, рекомендованных ВАК РФ для публикации материалов диссертаций (2 публикации в изданиях, входящих в перечень ВАК, 2 публикации в изданиях, входящих в базу цитирования Scopus). Результаты работы были также представлены на международных научно-технических конференциях МАНФ в 2019-2021 гг. и 112-й конференции ААИ в 2022 гг.

Замечания по диссертационной работе

Положительно оценивая рассматриваемую работу в целом, необходимо отметить несколько недостатков и замечаний:

1. Приведённый автором вывод о возможном сокращении тормозного пути (увеличении эффективности действия АБС) на опорных поверхностях с низким коэффициентом сцепления при использовании предложенного наблюдателя коэффициента сцепления за счёт сокращения фазы адаптации (времени «настроек циклов») АБС сделан по результатам математического моделирования, но не подтвержден дорожными экспериментами. Правила ООН 13-Н, на которые ссылается автор

работы, не предусматривают подтверждения эффективности действия АБС расчётным путём. Кроме того, Правила ООН 13-Н предъявляют требования к поведению АБС на миксте и при переходах с опорной поверхности с высоким коэффициентом сцепления на опорную поверхность с низким коэффициентом сцепления, с опорной поверхности с низким коэффициентом сцепления на опорную поверхность с высоким коэффициентом сцепления. Однако исследования этих режимов торможения в работе не представлено. При этом наибольший выигрыш от использования предложенного автором метода следует ожидать не на опорных поверхностях с низким коэффициентом сцепления, а на опорных поверхностях с высоким коэффициентом сцепления при торможении с небольших начальных скоростей, так как именно в этом случае значительную долю времени торможения занимает фаза адаптации («настроочные циклы») АБС, что приводит к снижению использования сцепления и увеличению тормозного пути.

2. При создании наблюдателя угла продольного наклона дороги не учитывались возможные изменения сопротивления качению шин. Если в процессе движения автомобиля произойдет переход с ровного асфальтобетонного покрытия на песок, гравий или глубокий снег, алгоритм может ошибочно принимать это за подъём. Это, в частности, может привести к увеличению ошибки в прогнозировании тормозного пути. Однако в работе такие ситуации не нашли отражения. Исследование наблюдателя наклона дороги проведено на асфальтобетоне, где предложенный алгоритм показывает хорошие результаты.
3. В исследовании наблюдателя наклона дороги представлены только данные экспериментов на подъёмах, тогда как наиболее критичными являются спуски. Именно на спусках тормозной путь может оказаться больше прогнозируемого для горизонтальной опорной поверхности, что может отрицательно сказаться на эффективности действия некоторых САБ.

Заключение

Диссертация Чаплыгина А.В. «Улучшение наблюдаемости параметров движения автомобиля в системах активной безопасности» является научно-квалификационной работой, содержащей решение актуальной научно-технической задачи улучшения активной безопасности автомобиля посредством совершенствования алгоритмов идентификации параметров его движения. Работа выполнена на высоком научно-техническом уровне, содержит элементы новизны, характеризуется практической и теоретической значимостью, соответствует требованиям «Положения о

присуждении ученых степеней» и паспорту специальности 05.05.03 – «Колесные и гусеничные машины». Выводы и результаты диссертационной работы являются обоснованными и достоверными. Автореферат диссертации отражает ее содержание и соответствует требованиям ВАК РФ. Перечисленные выше замечания носят частный характер и не снижают общей положительной оценки работы.

Автор диссертации «Улучшение наблюдаемости параметров движения автомобиля в системах активной безопасности», Чаплыгин Антон Владимирович, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.05.03 – «Колесные и гусеничные машины».

Доцент кафедры
«Автомобили»
ФГБОУ ВО «Московский
автомобильно-дорожный
государственный технический
университет (МАДИ)», к.т.н.,
доцент

Кристалльный С.Р.

Научная специальность оппонента Кристального Сергея Робертовича – 05.05.03 – «Колесные и гусеничные машины». Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук защищена 27.04.2007 г. в МАДИ, г. Москва.

Подпись С.Р. Кристального заверяю:

безушибочно и чисто



С.А. Морина

ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)», 125319 Ленинградский проспект, д. 64.
Тел.: 8(499) 346-0168, e-mail: info@madi.ru, официальный сайт:
<https://madi.ru>