

## ОТЗЫВ

### **официального оппонента**

на диссертационную работу Ульченко Ивана Алексеевича «Повышение безопасности колесных машин на основе совершенствования алгоритмов работы системы предотвращения столкновений», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.05.03 – «Колесные и гусеничные машины».

### **Актуальность темы диссертационной работы**

Ежегодно в результате дорожно-транспортных происшествий во всем мире погибают порядка 1,3 млн. человек. Уменьшить количество аварий и жертв позволит более широкое применение систем активной безопасности, которые могут быть разделены на две группы: направленные на обеспечение управляемости и устойчивости автомобиля в экстремальных ситуациях и системы, работа которых направлена на предотвращение столкновение автомобиля с другими участниками дорожного движения посредством экстренного автоматического вмешательства в управление машиной. Первая группа указанных систем призвана облегчить / обеспечить возможность водителю предотвратить дорожно-транспортное происшествие самостоятельно, а вторая – предотвратить его в автоматическом режиме (в пределах своих технических возможностей и условий конкретной дорожной ситуации) даже в случае бездействия водителя.

Ко второй группе систем активной безопасности можно отнести, например, систему экстренного торможения и систему экстренного маневрирования, каждая из которых может продемонстрировать большую эффективность в зависимости от условий движения. Так, при движении на высоких скоростях при резко возникшем на пути препятствии в ряде случаев невозможно достаточно быстро остановить автомобиль и избежать столкновения можно только за счет выполнения экстренного траекторного маневра, например, перестроения в соседнюю полосу движения.

Таким образом, повышение активной безопасности автомобилей путем совершенствования алгоритмов предотвращения столкновений за счет экстренного маневрирования является актуальной научной задачей.

### **Оценка содержания диссертации и ее завершенности**

Диссертационная работа состоит из введения, 4 глав основного текста, основных результатов и выводов, списка литературы и 6 приложений. Общий объем диссертационной работы составляет 136 страниц машинописного текста (без приложений), включая 88 рисунков и 5 таблиц (29 таблиц в приложениях). Список литературы содержит 120 наименований.

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цель и задачи работы, научная новизна, а также основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе проводится оценка перспектив применения автоматических систем уклонения от столкновений и их эффективности по сравнению с возможностями водителя-человека при экстренном управлении автомобилем. Рассматривается общая архитектура систем предотвращения столкновений, а также регуляторы, применяемые в подобных системах для обеспечения движения автомобиля по опорной траектории.

В второй главе представлен анализ и оценка точности математических моделей движения автомобиля, применяемых для исследования и разработки систем активной безопасности и систем автоматического управления движением. Оценка точности осуществляется путем сравнения результатов моделирования с результатами натурного эксперимента. На основании представленного анализа делается обоснованный выбор модели для проведения дальнейших исследований. Также в рамках главы уделяется внимание математическому описанию рулевого управления. Оценивается влияние задержки выполнения сигнала поворота рулевого колеса, ограничения скорости его вращения и смещения нейтрального положения на точность моделирования маневра экстренной смены полосы движения.

В третьей главе представлен алгоритм управления, реализующий функцию уклонения от столкновений и основанный на применении нелинейного модельно-прогностического управления (NMPC). Использование указанного метода в режиме реального времени затруднено, однако автор предлагает использовать получаемые с его помощью результаты в качестве эталонных для построения регуляторов, основанных на «геометрическом» методе (подразумевающих расчет различных геометрических параметров, описывающих положение автомобиля относительно опорной траектории). Далее рассмотрен ряд известных регуляторов автоматического управления движением, основанных на «геометрическом» методе, а также предложены два регулятора разработанные автором. Также в главе сформирован перечень критериев, по которым предлагается оценивать качество работы регуляторов, осуществляющих экстренные маневры уклонения.

В четвертой главе проводится оценка качества разработанных автором алгоритмов уклонения от столкновений в сравнении с известными, а также с эталонным управлением, полученным с применением метода NMPC, для различных типов опорных поверхностей. Также в рамках главы представлено сравнение результатов моделирования маневров уклонения с результатами натурных испытаний, заключающихся в выполнении маневров объезда виртуального препятствия при помощи экстренного

перестроения в соседнюю полосу движения, выполняемых под управлением регуляторов, реализованных автором в контроллере автоматического движения автомобиля.

Главы диссертации логически связаны между собой и аккуратно оформлены. Работа имеет завершенный характер, а основные результаты и выводы соответствуют содержанию. Автореферат отражает основное содержание диссертационной работы.

Список опубликованных автором работ по теме диссертационного исследования достаточен и содержит 5 печатных работ, в том числе 1 публикацию в издании, рекомендованном ВАК РФ, и 3 – в изданиях, индексируемых в международных реферативных базах данных Scopus и WoS. В соответствии с «Положением о присуждении ученых степеней» к публикациям, в которых излагаются основные научные результаты диссертации, в рецензируемых изданиях приравниваются публикации в научных изданиях, индексируемых в международных базах данных Web of Science и Scopus (абзац введен Постановлением Правительства РФ от 20.03.2021 N 426).

### **Обоснованность, достоверность и новизна научных положений, выводов и рекомендаций**

Основными научными результатами, представленными в диссертационной работе и составляющими ее научную новизну, являются:

– метод исследования и разработки алгоритмов предотвращения столкновений на основе нелинейного модельно-прогностического управления, отличающийся использованием оригинального критерия оптимизации, обеспечивающего максимальную интенсивность маневров и учет снижения нормальных реакций на колесах автомобиля для предотвращения его опрокидывания;

– новые виды регуляторов («четырехконтурный» регулятор, «курсовый регулятор с  $\omega_z$ »), обеспечивающих предотвращение столкновений при помощи автоматического поворота рулевого колеса.

Эффективность указанного метода и регуляторов установлена с помощью дорожных испытаний автомобиля и вычислительных экспериментов с применением математической модели динамики автомобиля, точность которой доказана путем сравнения с экспериментальными данными.

Для оценки качества выполнения экстренных маневров при помощи автоматических алгоритмов управления применен новый набор критериев, сформулированный автором.

Таким образом, на основании вышеизложенного можно сделать вывод о том, что полученные автором научные положения достоверны, а выводы и рекомендации обоснованы.

## **Научная и практическая значимость работы**

Диссертант в работе решил научную задачу, имеющую важное значение для автомобильной отрасли страны, заключающуюся в повышении активной безопасности автомобилей путем совершенствования алгоритмов предотвращения столкновений за счет экстренного маневрирования.

Диссертация отличается высоким уровнем теоретических разработок в части имитационного математического моделирования и имеет достаточный объем экспериментальных исследований.

Практическая значимость работы заключается в разработанном автором программном обеспечении:

- реализующем автоматическое управление движением автомобиля в реальном времени с применением алгоритмов предотвращения столкновений с другими участниками дорожного движения.

- позволяющем формировать оптимальный закон движения автомобиля для выполнения автоматических экстренных маневров.

- позволяющем выполнять настройку параметров математических моделей на основе экспериментальных данных (с применением методов оптимизации).

- позволяющем выполнять настройку параметров траекторных регуляторов на основе критериев качества управления (с применением методов оптимизации).

Разработанное автором программное обеспечение, реализующее автоматическое управление движением автомобиля в реальном времени (уклонение от столкновений), было протестировано в рамках натурного эксперимента на автомобиле «Лада Веста», в ходе которого доказана его работоспособность.

Материалы диссертации внедрены в ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ», а также используются в учебном процессе на кафедре «Наземные транспортные средства» ФГБОУ ВО «Московский политехнический университет», что подтверждается соответствующими актами.

Апробация работы проходила на международных научно-исследовательских конференциях.

Таким образом, можно заключить, что диссертационная работа и результаты исследований Ульченко И.А. имеют существенное значение для науки и практики.

## **Замечания по диссертационной работе**

1. Пренебрежение продольным проскальзыванием и, соответственно, значением продольных реакций в математической модели движения автомобиля, предназначеннной для имитации экстренного маневрирования, недостаточно обосновано (страница 31). Кроме того, в ряде случаев это может быть недопустимо, что снижает область

применения модели, например, в случае имитации движения с блокированным типом привода или имитации работы систем стабилизации, осуществляющих «подтормаживание» каждого колеса по-отдельности;

2. Неясно почему в предлагаемой автором целевой функции  $J$  (страница 73), предназначеннной для формирования оптимального закона движения машины при экстренном маневрировании с помощью метода NMPC, а также используемой для оптимизации параметров регуляторов управления движением, присутствуют только модуль линейной траекторной ошибки  $\Delta$  и значения нормальных реакций по колесам, при этом никак не учитывается курсовой угол автомобиля;

3. На рисунке 4.4 (страница 96) представлено, что для ряда скоростей движения результаты, полученные в работе Hattori, превосходят результаты, полученные автором, по параметру минимального безопасного расстояния. Аналогичная картина представлена на рисунке 4.6 (страница 98) – результаты, полученные в работе Soubdakhsh, оказываются лучше в определенном диапазоне скоростей. В связи с этим неясно, в чем преимущество предлагаемых в работе алгоритмов управления по сравнению с известными в данных режимах движения?

4. В работе автором предложено два регулятора: «четырехконтурный» регулятор и «курсовой регулятор с  $\omega_z$ », обеспечивающих предотвращение столкновений при помощи автоматического поворота рулевого колеса, однако не дано заключение какой же из них предпочтительнее;

5. Неясно, почему в результатах работы представлено сравнение эффективности разработанных автором регуляторов уклонения от столкновения только с регулятором *pure pursuit*, который показал наихудшие результаты (из известных рассмотренных в работе алгоритмов) при проведении сравнительных вычислительных экспериментов?

6. Неясно, на основании каких данных в регуляторы, обеспечивающие экстренное маневрирования автомобиля, поступает информация о коэффициенте сцепления шин с опорной поверхностью, например, для изменения расстояния до точки обзора  $x_{obs}$  (страница 78) или для применения в блоке «Пересчет» (страница 83). Кроме того, неясно исходя из каких предпосылок сформированы именно такие законы изменения выходной величины в указанном блоке «Пересчет» (рисунок 3.14, страница 83);

7. В работе не обосновано применение метода Эйлера для численного интегрирования дифференциальных уравнений. Применение методов более высокого порядка хотя и потребует больших затрат вычислительной мощности на выполнение каждого шага интегрирования, но позволит его увеличить и, соответственно, уменьшить вектор управляющих параметров (страница 72) при оптимизации в рамках применения метода NMPC;

8. Из текста диссертации неясно как моделируется трансмиссия автомобиля (страница 37).

Представленные замечания не носят принципиального характера и не снижают общего положительного впечатления от представленной работы.

### Заключение

Диссертационная работа Ульченко Ивана Алексеевича, представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук, выполнена на актуальную тему и содержит решение научной задачи повышения активной безопасности автомобилей путем совершенствования алгоритмов предотвращения столкновений.

Содержание и тема диссертационного исследования соответствуют пункту 2 «Математическое моделирование и исследование кинематики, статики и динамики, а также физико-химических процессов в транспортных средствах, их узлах и механизмах», и пункту 4 «Повышение качества, экономичности, долговечности и надежности, безопасности конструкции, экологических характеристик и других потребительских и эксплуатационных параметров транспортных средств» паспорта специальности 05.05.03 – «Колесные и гусеничные машины».

Рассмотренная диссертация является завершенной научно-квалификационной работой и отвечает требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней» ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Ульченко Иван Алексеевич, достоин присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.05.03 – «Колесные и гусеничные машины».

Доктор технических наук (05.05.03),  
доцент кафедры «Колесные машины»  
ФГБОУ ВО «Московский  
государственный технический  
университет имени Н. Э. Баумана  
(национальный исследовательский  
университет)»

Почтовый адрес: 105005, г. Москва, ул. 2-я Бауманская, д. 5, к.1

Тел: 8(499)263-61-40

e-mail: kositsyn\_b@bmstu.ru



Косицын  
Борис  
Борисович