

На правах рукописи

АНДРИКОВ Денис Анатольевич

**ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА
ПОВЫШЕНИЯ УПРАВЛЯЕМОСТИ
КОЛЕСНОГО ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА
ПРИ ТОРМОЖЕНИИ НА ОСНОВЕ H_{∞} -ОПТИМИЗЦИИ**

05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва 2008

Работа выполнена на кафедре системы автоматического управления
Московского Государственного Технического Университета им.
Н.Э. Баумана

Научный руководитель: кандидат технических наук, доцент
Коньков Виктор Григорьевич

Официальные оппоненты: Магомедов Магомед Хабибович

д.ф.-м.н., ООО «НПФ «САУНО»»

Рыбин Владимир Васильевич

к.т.н., доцент МАИ

Ведущая организация: Институт проблем управления РАН им. В.А.
Трапезникова, 117997, Москва, Профсоюзная, 65.

**Защита состоится “ 13 ” мая 2008 г., в 14:00 часов на заседании
диссертационного совета Д 212.141.02 Московского Государственного Технического
Университета им. Н.Э. Баумана: 105005, г. Москва, ул. 2-я Бауманская, 5.**

**С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Московского
Государственного Технического Университета им. Н.Э. Баумана.**

Автореферат разослан “ 7 ” апреля 2008 г.

Ученый секретарь

диссертационного совета, к.т.н., доц.

Иванов В.А.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы

Задачей построения интеллектуальной системы высокой точности и надежности фактически является создание компьютеризированной вычислительной среды, которая обладала бы возможностями, достаточным для решения неформализуемых задач. Достижения науки в микроэлектронике, теории информации, нейрофизиологии, информационных технологий и исследований в области искусственного интеллекта позволяют в настоящее время подойти к реализации интеллектуальных систем управления (ИСУ), которые должны не только, выбирать время начала работы и оптимальный способ реализации цели, но и её текущую коррекцию. В литературе в последнее время встречается множество взглядов на понятие интеллектуальные системы, которые по сути являются интеллектуализированными (интеллектными) системами. Впервые понятие интеллектуальной системы введено Пупковым К.А. Она имеет в виду объединенную информационным процессом совокупность технических средств и программного обеспечения, работающую во взаимосвязи с человеком (коллективом людей) или автономно, способную на основе сведений и знаний при наличии мотивации синтезировать цель, вырабатывать решение о действии и находить рациональные способы достижения цели.

Система повышения управляемости при торможении колесного транспортного средства (КТС) функционирует в условиях жесткой недостаточности информации. В задачи системы входит предотвращение вращения относительно вертикальной оси, возникающего при торможении, когда колеса КТС находятся в различных условиях (разный тормозной момент, разное покрытие дорожного полотна, разные характеристики пневматиков и т.д.). Не представляется возможным иметь в исходном арсенале средств алгоритма отображения начальных условий параметров системы и среды на конечный результат, т.о. необходимо осуществлять синтез закона оптимального управления для каждого объекта динамично развивающейся ситуации. Требование обеспечения высокой точности и надежности дополнительно увеличивает сложность создания такой системы управления.

Приведённые положения показывают актуальность разработки интеллектуальной системы управления торможением колесного транспортного средства на основе H_∞ -оптимизации и комплексирования алгоритмов.

Цель работы и задачи исследования

Цель работы – создание высоко эффективной интеллектуальной системы повышением управляемости торможением колёсного транспортного средства с антиблокировочной системой (АБС).

Задачи исследования:

- получение моделей движения КТС с АБС в различных режимах экстренного торможения;
- повышение управляемости при экстренном торможении с помощью регулятора в контуре управления тормозными колодками КТС с АБС;
- выявление и оценка основных факторов влияющих на процесс развития аварийной ситуации.

Объект и предмет исследования

Объект исследования – движение КТС с АБС в режиме экстренного торможения при различных дорожных условиях с учётом состояния водителя. Предметом исследования является возможность создания ИСУ повышающей безопасность экстренного торможения КТС с АБС.

Постановка задачи

Синтезировать интеллектуальную систему управления, повышающую управляемость КТС с АБС в процессе экстренного торможения, под которым понимается снижение скорости угла закрутки корпуса КТС, скорости бокового сноса, препятствие возникновению режима блокировки колёс. Управляющими воздействиями объекта управления считать добавочные к воздействиям базовой АБС тормозные воздействия на каждое колесо. В качестве примера моделирования принимается легковой автомобиль со следующими параметрами: масса четырёхколёсного КТС 2 т, радиус каждого колеса 35 см, габаритные размеры 3,5×2 м. Допускается пренебречь влиянием аэродинамических сил и моментов. Параметры КТС, интересующие потребителя: угол и скорость рысканья, величина и скорость бокового сноса. Считается, что измерению доступны: угол и угловая скорость вращения каждого колеса, продольная и поперечная скорость движения КТС. В виду сложной и не дающей удовлетворительной точности процедуры оценки характеристик сцепления колеса с дорогой, разрабатываемая система должна быть робастной (в этой работе предлагается подход, основанный на H_∞ -теории).

Методы исследования

Для получения модели движения используются уравнения Лагранжа II рода, принцип Даламбера. Уравнения Аппеля позволяют получить не только уравнения движения колеса как в режиме проскальзывания, так и режиме качения и блокировки, но и условия перехода и передачи начальных условий от одного режима к другому. С помощью H_∞ -теории строится оптимальный робастный регулятор, позволяющий как бороться с боковым сносом, так и улучшать условия ABS-управляемости (– управляемости с помощью тормозных колодок (а не с помощью рулевого механизма)) на основе измерения скорости вращения колёс. Для выявления доли влияния различных составляющих на полную картину движения объекта проводится анализ погрешностей упрощённых моделей. Анализ динамических свойств объекта управления и модели выбора целей в динамической экспертной системе создают хорошие технические предпосылки для синтеза интеллектуальной системы управления. Моделирование и расчеты проводятся при помощи математического программного обеспечения Maple, Mathcad, Matlab.

Научная новизна

- формирование структуры и синтез регулятора для интеллектуальной системы управления, в частности использующего комплексирование алгоритмов и целей управления;
- формирование критериев качества, учитывающих влияние характеристик водителя и воздействий внешней среды на возникновение и характер протекания аварийной ситуации;
- исследование результатов применения робастных линейного и нелинейного оптимальных регуляторов в случае потери управляемости КТС при экстренном торможении;
- создание семейства разной степени точности моделей движения КТС с ABS и обоснование условий применимости каждой из них.

Практическая ценность работы

Практические и теоретические результаты диссертационной работы используются в курсе «Основы теории управления» на кафедре «Системы автоматического управления» МГТУ им. Н.Э. Баумана и в лабораторном практикуме курса «Теория автоматического управления» в РУДН. Основные положения диссертации, касающиеся теории и практики построения интеллектуальной системы управления, использованы в научном отчёте по проекту РНП.2.1.2.7740.

Практическая значимость результатов работы

Диссертационная работа включена в план научных исследований кафедры «Системы автоматического управления» МГТУ им. Н.Э. Баумана. Реализация результатов исследования на практике способна обеспечить:

1) Создание научно-практической базы синтеза интеллектуальных систем управления, ориентированной на управление конкретным объектом заданного класса.

2) Повышение активной безопасности движения КТС путём введения добавочных воздействий управления торможением каждого колеса (индивидуальное управление) к воздействиям базовой АБС.

3) Оценку риска развития аварийной ситуации при торможении КТС на поверхностях с различным коэффициентом сцепления колёс с дорогой.

Апробация работы

Результаты исследований, включённые в диссертацию, докладывались на следующих научных мероприятиях: Международная конференция Intel'S 2004, 2006, 2008, конференция молодых учёных в НПЦ АП им. Н.А. Пилюгина, научных конференциях МГТУ им. Н.Э. Баумана. Основные положения исследования были включены в работу, получившую на конкурсе федерального агентства по образованию медаль «Лучшая студенческая научная работа». Материалы работы использованы в проектах ФГУП «ИТМиВТ», что подтверждается соответствующим актом внедрения.

Публикации

Результаты диссертации опубликованы в 10 печатных работах. Из них: 3 статьи в научных журналах одобренных ВАК, 4 статьи в сборниках научных трудов и сборниках докладов на конференциях, 3 тезиса докладов на международных конференциях. Материалы опубликованы общим количеством на 5 печатных страницах.

Структура и объем работы

Диссертационная работа состоит из введения, общей характеристики работы, 4 глав основной части, списка использованных источников количеством 118 наименований, 5 приложений на 14 страницах. Основная часть работы содержит 50 рисунков и 120 страниц. Полный объём диссертации – 156 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении даётся оценка современного состояния и предпосылок развития теории и практики создания ИСУ. Рассматриваются вопросы построения систем, повышающих управляемость КТС при торможении.

Первая глава посвящена анализу теоретических принципов построения ИСУ. Здесь приводится определение ИСУ и рассматривается её структурная схема.

Интерес к решению задач управления всё более сложными системами известен с давних времен. Богданов А.А. в 1913-1917 гг. опубликовал работу "Всеобщая организационная наука". В 1930 г. Берталанфи Л. разработал проект общей теории систем. В 1935 г. П.К.Анохин применил разработанный им системный подход к изучению и пониманию функций живого организма, опираясь на предложенную им же оригинальную теорию функциональной системы.

Прогресс в развитии дискретной математики, нейрофизиологии, микропроцессорной вычислительной техники, информационных технологий и теории управления позволил на практическом уровне возвратиться к системным глобальным задачам кибернетики, активно развивается новое поколение систем – интеллектуальных систем, функционирование которых соответствует структурной схеме рис. 1.



Рис. 1
Структурная схема ИСУ

Динамическая экспертная система (ДЭС) (выбирая цель управления автоматически, практически полностью исключает человека из участия в управлении). Она оценивает полноту информации, доступной ИСУ в текущий момент и выбирает наиболее подходящий метод синтеза управления (например, в условиях, когда имеется лишь предположение об ограничениях на норму возмущающего сигнала, ДЭС выбирает робастный метод управления, основанный на H_∞ -теории). Используется ДЭС функционального типа в виде информационной среды отображающей множество описаний объектов на множество возможных решений (иерархическое дерево целей).

Концепция синтеза целей состоит в выборе подцелей ГЦ (в данной работе – повышение управляемости при торможении) (см. рис. 2), являющихся определяющими в данный момент времени, с позиций которых определяется методика синтеза оптимального закона управления (например, робастный, основанный на H_∞ -теории, или классический (базовый) алгоритм работы АБС). Попутно решается задача повышения полноты базы знаний.



Рис. 2
Синтез целей ИСУ торможением КТС с АБС

Поддержание траектории движения при торможении связано с выполнением определённых подцелей нижнего уровня, таких как определение нарушения связи колеса в контакте с дорогой, повышения управляемости при торможении в условиях микста (наиболее опасная ситуация в процессе торможения) и повышения безопасности при низком сцеплении. Нижний уровень целей реализуется в первую очередь.

Во второй главе приведена совокупность моделей объекта управления, различной точности и рассматриваются условия их применимости.

Одной из главных тенденций в развитии современной науки об автомобиле является исследование всё более сложных математических моделей, разработанных на основе системного подхода и отражающих сложную взаимосвязь отдельных узлов и агрегатов автомобиля.

Движение колесного транспортного средства с проскальзыванием колес – сложный динамический процесс, на основании которого составлен

ряд упрощенных моделей, достаточный для его использования в рамках исследуемых режимов. На рис. 3 представлена расчетная схема КТС, где принят ряд упрощений:

- масса подрессоренной части (РЧ) m_p сосредоточена в одной точке C , масса неподрессоренной части (НЧ) m_n , при этом рессоры не имеют массы;
- стержни, которые вместе с колесами представляют неподрессоренную часть (НЧ), не имеют массы и являются абсолютно жёсткими;
- центры масс колёс расположены в точках A_{ij} на осях их вращения, причём индекс i задаёт переднюю ($i=1$) и заднюю ($i=2$) оси, а индекс j - левую ($j=1$) и правую ($j=2$) стороны по ходу движения КТС, ℓ, q - продольная, поперечная оси его корпуса;
- масса каждого колеса и его радиус в ненагруженном состоянии, соответственно, m_{ij} и R ;
- конструкция КТС такова, что $B_1 = B_2$, $A_1 \neq A_2$;
- вращение ij -го колеса вокруг оси вращения задаётся абсолютной угловой скоростью ω_{ij} ;
- центр масс КТС – точка C_{KTC} ;

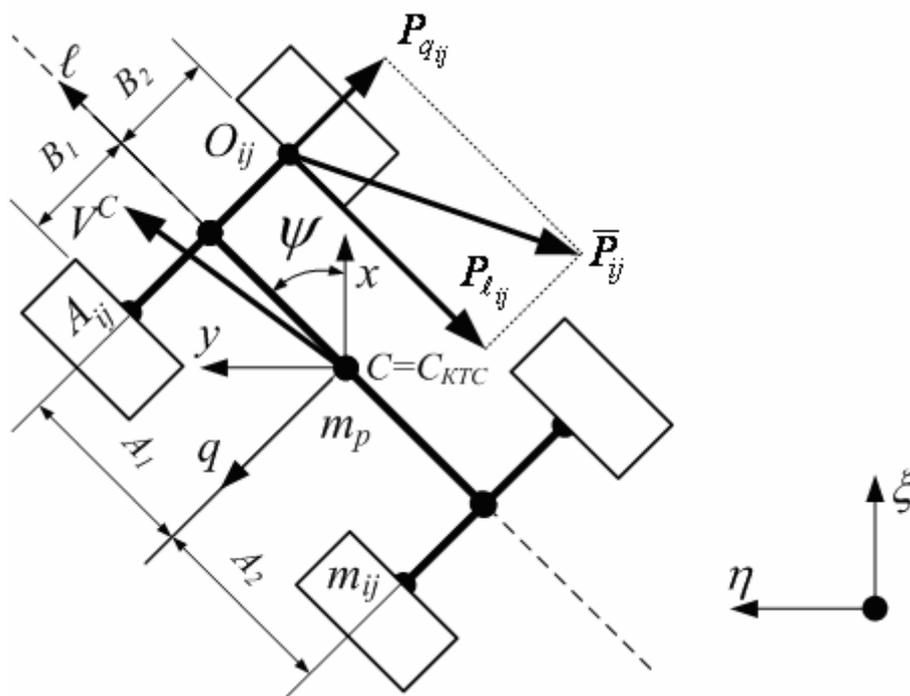


Рис. 3.
Упрощенная расчетная схема КТС. Вид сверху

Система координат $O\xi\eta\zeta$ – неподвижная система отсчёта. Точка O – проекция C_{KTC} на опорную плоскость (плоскость $O_{11}O_{12}O_{22}$) в начальный момент времени. Плоскость $O\xi\eta$ принадлежит опорной плоскости, ось $O\xi$ вертикальна, а ось $O\zeta$ направлена по ходу движения, вдоль проекции начального вектора скорости центра масс.

Полные уравнения объекта получились громоздкими (26 порядка). Для синтеза H_∞ -робастного оптимального регулятора необходимо иметь описание в пространстве передаточных функций, что требует упрощений. Упрощённая модель описывается линейными дифференциальными уравнениями 5 порядка:

$$\dot{V}_x^C = \frac{1}{m_p + 4 \cdot m_n} \cdot \left(-\sum_{ij} P_{\ell ij} - \psi \cdot \sum_{ij} P_{qij} \right);$$

$$\dot{V}_y^C = \frac{1}{m_p + 4 \cdot m_n} \cdot \left(-\psi \cdot \sum_{ij} P_{\ell ij} - \sum_{ij} P_{qij} \right);$$

$$J_{ij} \frac{d\omega_{ij}}{dt} = -M_{Tij} + P_{\ell ij} R;$$

$$\begin{aligned} J \cdot \ddot{\psi} - 2 \cdot (A_1 - A_2) \cdot m_n \cdot \dot{V}_x^C \cdot \psi + 2 \cdot (A_1 - A_2) \cdot m_n \cdot \dot{V}_y^C = \\ = P_{q11} \cdot A_1 + P_{q12} \cdot A_1 - P_{q21} \cdot A_2 - P_{q22} \cdot A_2 + B \cdot \sum_{i,j=1}^2 (-1)^{j+1} \cdot P_{\ell ij}, \end{aligned}$$

где V_x^C, V_y^C – проекции скорости центра масс, J – момент инерции КТС относительно вертикальной оси; J_{ij} – полярный момент инерции ij -колеса; ψ – угол рысканья; M_{Tij} – тормозной момент на ij -колесе.

$$P_{qij} = \Delta_{ij} N_{ij} v_{qij} p_q \left(V_y^C + \psi A_i - \psi \left(V_x^C + \psi B_j \right) \right),$$

$$P_{\ell ij} = \Delta_{ij} N_{ij} v_{\ell ij} p_\ell \left(V_x^C + \psi B_j + \psi \left(V_y^C + \psi A_i \right) + \omega_{ij} R \right)$$

где $P_{ijq}, P_{ij\ell}, v_{\ell ij}, v_{qij}, p_q, p_\ell$ – поперечная и продольная сила, коэффициент трения между ij -колесом и дорогой в режиме блокировки, нормированная функция проскальзывания, соответственно; Δ_{ij} – коэффициент, учитывающий возможное изменение сцепления ij -го колеса с дорогой; N_{ij} – нормальная реакция.

Рис. 4, 5 позволяет оценить влияние на $\dot{\psi}$ различных источников сил. Результаты моделирования представлены для торможения при миксте $\mu=0.3$, который определяется как $\mu = \Delta_{12} - \Delta_{11}$, учитывая, что принято $\Delta_{11} = \Delta_{21}; \Delta_{12} = \Delta_{22}$.

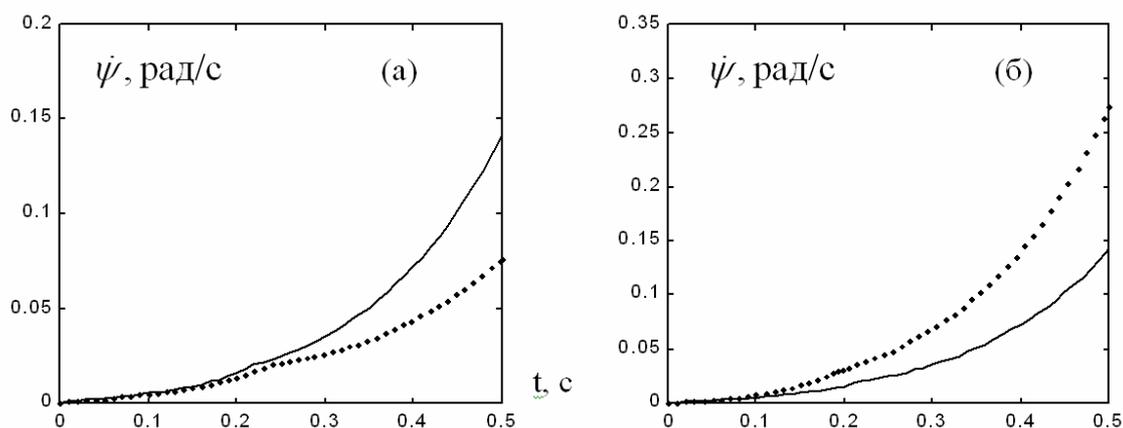


Рис. 4.

Влияние параметров конструктивных особенностей КТС:

а) влияние рессор: – без рессор и пневматиков, ——— – полная модель;

б) влияние смещения центра масс: – без смещения, ——— – со смещением

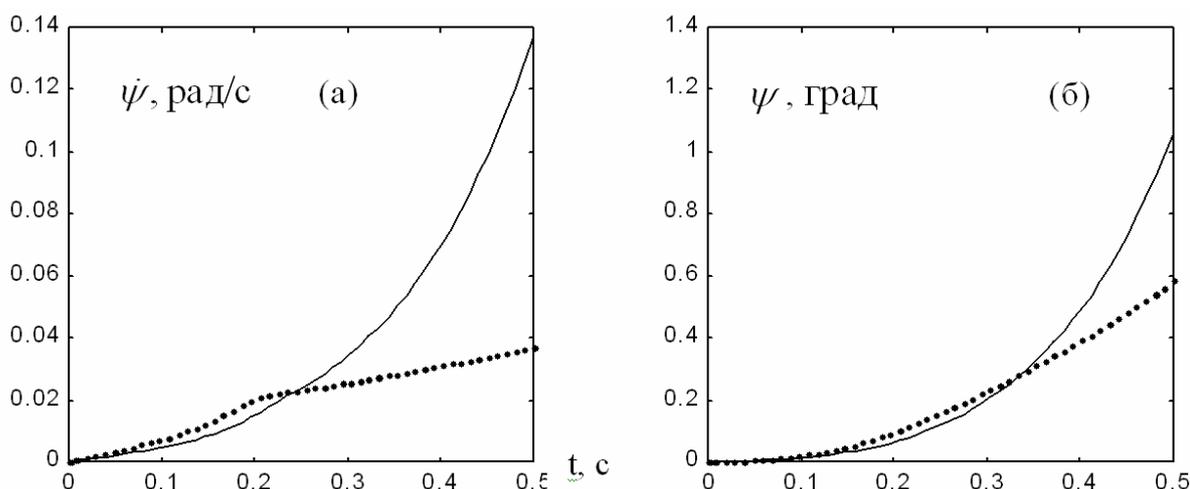


Рис. 5.

Различия полной и упрощенной модели

а) различие угловых скоростей; б) Различие углов поворота

..... –упрощенная модель ——— – полная модель

Упрощенная и исходная системы с определенной степенью точности совпадают в начале движения (угол ψ ещё достаточно мал), чего и следовало ожидать при сделанных упрощениях.

На рис. 6 представлены различные варианты движения колеса. В зависимости от того, в каком режиме движения находится колесо, изменяются и его уравнения движения. При качении колеса порядок уравнений, описывающих его движение, снижается на единицу в виду того, что угловая скорость перестает быть независимой переменной.

Условие качения колеса без скольжения:

$$P_{ijq} \leq \sqrt{(\varphi_{ij})^2 (N_{ij})^2 - (P_{ij\ell})^2}, \quad (1)$$

где φ_{ij} - коэффициент сцепления ij -колеса с дорогой, (имеющий смысл сопротивления качению) ij -колеса с дорогой, зависящий от типа покрытия.

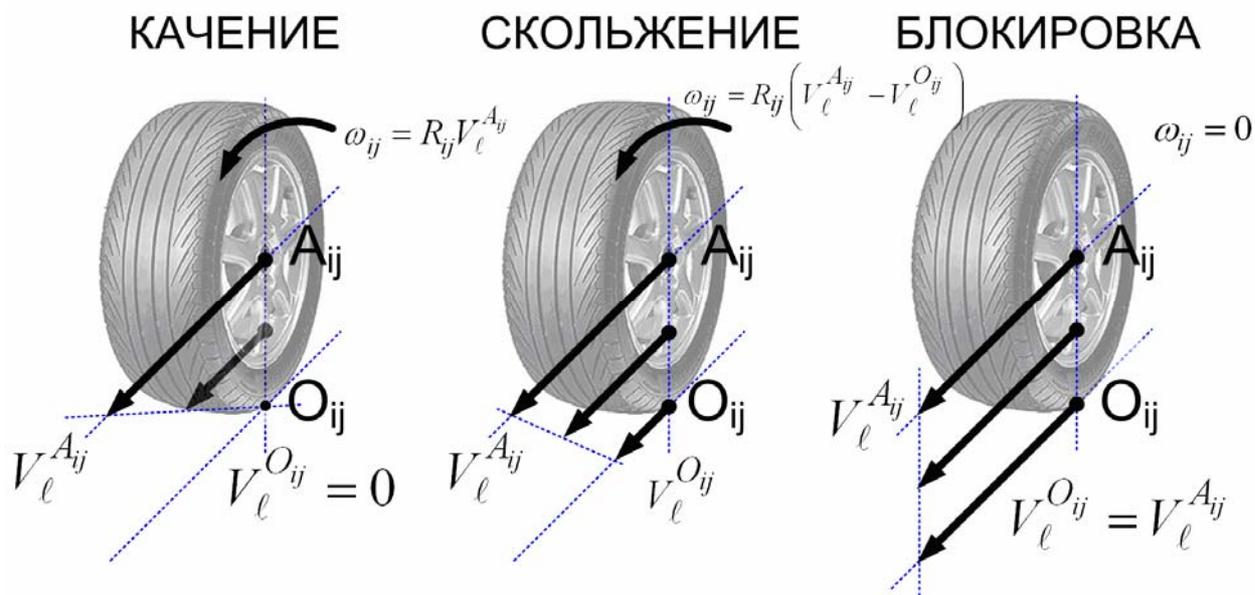


Рис. 6.

Режимы движения колеса

Если условие (1) нарушается, то колесо движется с проскальзыванием относительно дорожного полотна. Скольжение – промежуточный вариант, позволяющий совместить качество торможения с сохранением ABS-управляемости. Эпюры скоростей показывают распределение скорости по профилю колеса, в том числе и в точке контакта с дорогой. При блокировке колеса угловая скорость вращения колеса равняется нулю. В этом режиме КТС неуправляемо.

Влияние рулевого управления не учитывается, т.к. предполагается добиваться улучшения характеристик движения КТС путём формирования воздействий в тормозной системе при индивидуальном управлении на каждом колесе. Повышать степень влияния ABS на курсовую устойчивость нужно при рекомендации:

$$\frac{\varphi_{high}}{\varphi_{low}} \geq 2, \varphi_{low} \geq 0.3. \quad (2)$$

В (2) обозначено: под колесами справа покрытие с низким сцеплением (φ_{low}), а под левыми – с высоким (φ_{high}).

Для эффективного функционирования ИСУ необходимо иметь стратегию действия не только для рекомендации (2), но и, желательно, для всего разнообразия имеющихся типов поверхности, для этого промоделируем характер поведения КТС при его торможении на различных микстах,

вызванных попаданием одного колеса на снег ($\mu = 0.7$), воду ($\mu = 0.5$), изморось ($\mu = 0.3$), сухую дорогу с неравномерным покрытием ($\mu = 0.1$).

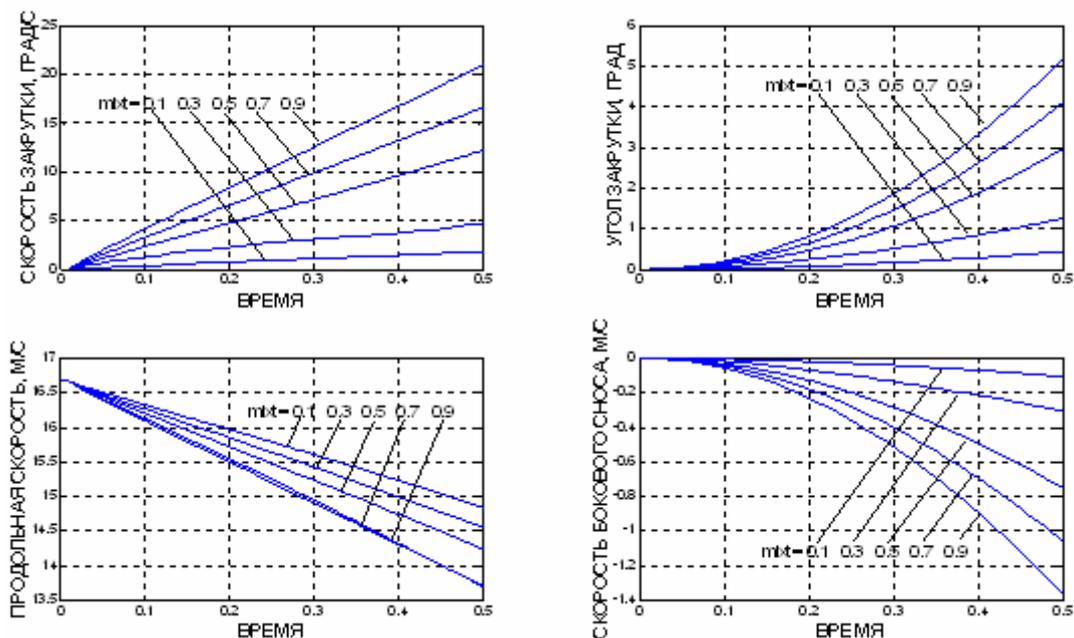


Рис. 7.

Влияние микста на развитие аварийной ситуации при торможении без регулятора на различных поверхностях

Параметры исследуемого КТС: $m_p = 2$ т, $m_{nij} = 35$ кг $\forall ij$, $R = 35$ см, тормозной момент, приводящий к блокировке колеса $M_{br} = 1463$ Н·м², $A_1 = 2$ м, $A_2 = 1,5$ м, $B_1 = B_2 = 1$ м; значения аэродинамических сил и моментов полагаем равным нулю. В силу наличия АБС, относительное проскальзывание принимаем для всех колес равным 12%. Начальные условия движения КТС: $V_{x_0}^C = 60$ км/ч; $V_{y_0}^C = 0$ км/ч; $\omega_{ij_0} = 42$ рад/с; $\psi_0 = 0$ рад; $\dot{\psi}_0 = 0$ рад/с.

Из рис. 7 видно, что происходит снижение АБС-управляемости и увеличивается опасность возникновения дорожно-транспортного происшествия.

В третьей главе рассматриваются различные способы синтеза робастного закона управления торможением на основе теории H_∞ -оптимизации.

Для сравнения торможения КТС под управлением ИСУ и без такого управления (без добавочных воздействий к базовой АБС) рассмотрим алгоритм работы такой базовой АБС. Например, в АБС фирмы Бош сигнал к уменьшению давления на тормозные колодки подается при достижении отношения углового ускорения колеса к его угловой скорости, равной

некоторому пороговому значению A , где $A < 0$. Если $\frac{\ddot{\Omega}_{ij}}{\dot{\Omega}_{ij}} = A$, тогда $\dot{M}_{T_{ij}} < 0$.

Сигнал к увеличению давления подается, если $\frac{\ddot{\Omega}_{ij}}{\dot{\Omega}_{ij}} = B$, тогда $\dot{M}_{T_{ij}} > 0$, где $B > 0$. Коэффициенты A и B подбираются экспериментальным путём.

Моделирование торможения в данном случае приведено на рис. 8, относительный тормозной момент там – это отношение прикладываемого к колесу тормозного момента к моменту, приводящему к блокировке колеса.

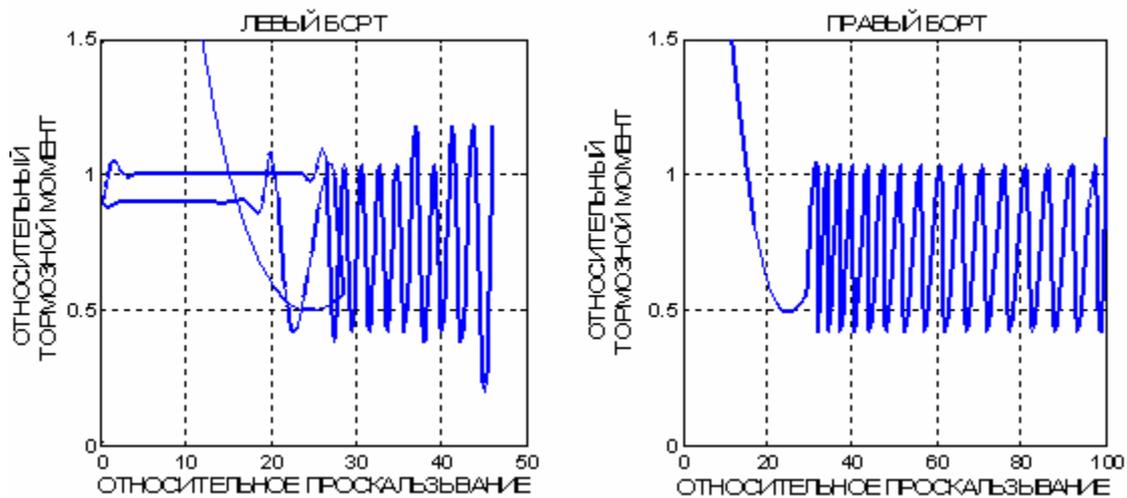


Рис. 8.

Изменение относительного тормозного момента при торможении КТС с базовым алгоритмом работы АБС при миксте = 0,3

Важной составной частью алгоритмического блока ИСУ является робастный алгоритм, который минимизирует H_∞ -норму передаточной функции от внешнего возмущения к контролируемому выходу. Синтезируемая система представляется структурной схемой, изображённой на рис. 9.

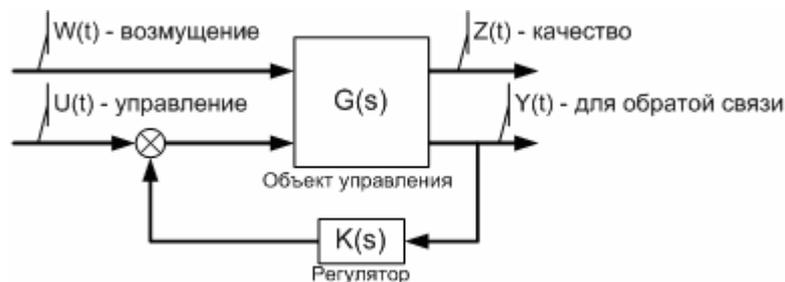


Рис. 9.

Структурная схема синтезируемой системы

$$G(s) = \begin{bmatrix} G_{11}(s) & G_{12}(s) \\ G_{21}(s) & G_{22}(s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} G_z^w(s) & G_z^u(s) \\ G_y^w(s) & G_y^u(s) \end{bmatrix} \quad - \quad \text{многомерная}$$

передаточная функция (МПФ) объекта оптимизации от вектора $\begin{bmatrix} w(t)^T & u(t)^T \end{bmatrix}^T$ до вектора $\begin{bmatrix} z(t)^T & y(t)^T \end{bmatrix}^T$. Например, $G_{11}(s) \equiv G_z^w(s)$ – МПФ объекта от возмущения $w(t)$ до контролируемой переменной $z(t)$. Задачей H_∞ -оптимизации является синтез такого регулятора K , который бы минимизировал H_∞ -норму матричной передаточной функции $T_z^w(s)$ от $w(t)$ до $z(t)$. Оптимальное значение показателя качества:

$$J(K_{opt}) = \inf_K \|T_z^w(s)\|_\infty = \gamma_{opt}.$$

В случае синтеза нелинейного оптимального робастного регулятора решается уравнение, вытекающее из уравнения Гамильтона-Якоби:

$$\frac{\partial V(x)}{\partial x} A(x) - \frac{1}{2} \frac{\partial V(x)}{\partial x} \left[B_2(x) B_2(x)^T - \frac{1}{\gamma^2} B_1(x) B_1(x)^T \right] \frac{\partial^T V(x)}{\partial x} + \frac{1}{2} H(x)^T H(x) = 0$$

Тогда, оптимальная обратная связь формирует управление в виде:

$$u(x) = -B_2^T(x) \frac{\partial^T V(x)}{\partial x} \quad (3)$$

Применение нелинейного регуляторов в контуре управления КТС с АБС даёт следующий результат (см. рис. 10). Недостатком линейного регулятора (в случае объекта управления с существенными нелинейностями) является необходимость линеаризации модели.

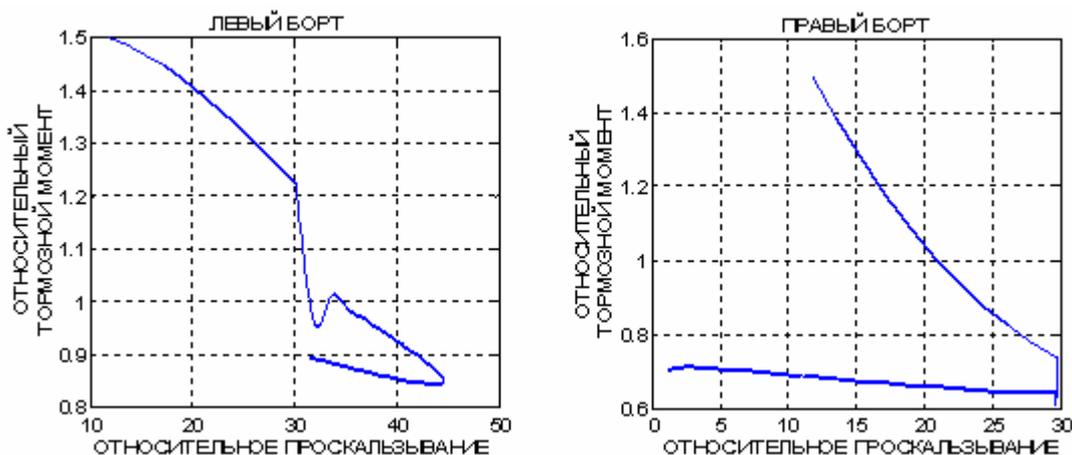


Рис. 10.

Изменение относительного тормозного момента при торможении КТС с нелинейным робастным регулятором под управлением ИСУ при миксте = 0,3

Оценка внешней среды, проводимая ИСУ, способствует повышению управляемости КТС при торможении, а при помощи H_∞ -оптимизации удаётся синтезировать робастную систему, функционирующую в условиях неопределённости.

Высокая точность оценки микста μ , – важная задача, напрямую влияющая на эффективность торможения, а, следовательно, и на ослабление развития (вплоть до предотвращения возникновения) аварийной ситуации. Следует заметить, что μ входит параметром в процедуру синтеза робастного нелинейного регулятора и изменения μ практически не влияют (0,1-0,5% от случая точного определения микста) на скорость рысканья и боковой снос.

Четвёртая глава диссертации посвящена разработке непосредственно ИСУ торможением КТС. Здесь рассматриваются алгоритмы моделирования работы ДЭС. Вводится понятие степени риска развития аварийной ситуации для процедуры принятия решения

Факторами, влияющими на эффективность торможения, принято считать риски возникновения аварийной ситуации связанные с действиями водителя, обусловленными:

1) собственными внутренними предпосылками $f(T_c)$ его рабочего тонуса, включающими психологическое состояние, физическую усталость, стиль вождения и т.п. Его принято назначать следующим образом:

$$f(T_c) = 1 + \frac{\alpha T_c}{\max(T_c)} \quad (4)$$

где T_c - значение степени риска от внутренних предпосылок текущего тонуса водителя.

2) Внешними предпосылками $f_v(T_{вн})$ его рабочего тонуса, включающими в данном случае характер взаимодействия колёс с дорожным покрытием, загруженность трассы, погодные условия, освещённость и т.п.)

$$f(T_{вн}) = 1 - \frac{\beta T_{вн}}{\max(T_{вн})} \quad (5)$$

В (4) и (5) $\alpha \in [0.. \infty)$, $\beta \in [0..1)$ - весовые коэффициенты, отражающие информацию о водителе и обстановке на дороге в базе знаний (чем больше информации в базе, тем меньше весовой коэффициент), $T_{вн}$ - значение степени риска от внешних причин.

3) В качестве самостоятельного фактора, влияющего на эффективность торможения, связанную с действиями водителя, обусловленными собственными причинами его рабочего тонуса выделяется время реакции (r) водителя на опасность. Время реакции зависит от многих причин и их взаимное влияние еще не достаточно изучено, однако существуют модели, позволяющие в первом приближении оценить его значение.

В результате комплексирования алгоритмов выделяется различие применяемых подходов к управлению торможением КТС (плавный процесс при нелинейном регуляторе (3) и циклический, в случае базового алгоритма АБС). Благодаря работе ИСУ КТС при торможении с микст = 0,3 водитель парировал развитие аварийной ситуации: скорость и угол закрутки минимизированы, боковой снос не достиг критической величины (КТС не вышло на полосу встречного движения). ИСУ также отреагировала снижением безопасного тормозного пути (необходимый достаточный запас тормозного пути, исключающий столкновение с препятствием) до неподвижного препятствия. Таким образом, повышение управляемости КТС с АБС в результате работы ИСУ снизило риск развития аварийной ситуации.

Структурная схема ИСУ торможением КТС подразумевает обратную афферентацию, которая осуществляется с учётом оценки дорожной ситуации и состояния водителя. Обратная связь ИСУ строится на основе информации от датчиков о внешних и внутренних источниках возмущений, через синтез регулятора и комплексирование алгоритмов управления. Тем самым обеспечивается своевременная коррекция цели и ослабление развития вплоть до предотвращения аварийной ситуации.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1) Синтезирована интеллектуальная система повышения управляемости колёсного транспортного средства при торможении на основе H_∞ -теории оптимизации.

2) Разработаны математические модели движения КТС в режиме торможения на поверхностях с различным коэффициентом сцепления. Выявлена доля влияния рессор, пневматиков, смещения центра масс КТС, действующих на изменение бокового сноса и закрутки. Проведено сравнение упрощённых моделей с полными. Это позволяет прогнозировать развитие аварийных ситуаций с требуемой точностью.

3) Предложена методика улучшения характеристики торможения, таких как боковой снос, а также угол и скорость закрутки в условиях информационной неопределённости на основе робастных методов управления теории H_∞ -оптимизации. Это повышает шансы водителя выйти из аварийной ситуации с помощью руля.

4) В среде Matlab создан и исследован прототип ДЭС, организованный по принципу деревьев решений, ветви которого определены из анализа частично упорядоченных множеств содержащих оценки риска развития аварийной ситуации по причине внешних и внутренних факторов, влияющих на водителя. Таким образом, определено место ИСУ повышения управляемости при торможении в парадигме управления КТС и определены теоретические и практические предпосылки её создания.

5) Реализация ДЭС на базе принципа деревьев фактически позволила осуществить идею комплексирования алгоритмов в синтезированной ИСУ

повышения управляемости КТС с АБС. Таким образом, применение точных или робастных методов является функцией полноты базы данных и меры неопределённости присущей в данный момент процессу торможения.

СПИСОК РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Андриков Д.А. Робастные методы управления на основе H_∞ -теории оптимизации в интеллектуальной системе повышения управляемости колёсного транспортного средства при торможении//ВКСС connect. – 2007. – №1. – С. 127–133.
2. Интеллектуальная система управления КТС с АБС / Д.А. Андриков, В.Г. Коньков, Б.Б. Кулаков, К.А. Пупков//Вестник РУДН. – 2007. – №1. – С. 36–47.
3. Андриков Д.А., Коньков В.Г., Кулаков Б.Б. К решению задачи построения нелинейного робастного регулятора//Труды 7-го Международного симпозиума Intel's2006/Под ред. К.А. Пупкова. – Краснодар. – 2006. – С. 46–49.
4. Андриков Д.А., Коньков В.Г. Робастная стабилизация космического аппарата//Актуальные проблемы развития отечественной космонавтики. Труды XXIX академических чтений по космонавтике. – М., 2005. – С. 386–387.
5. Андриков Д.А. Оптимальный робастный H_2 и H_∞ регулятор. – М.: Информатика и системы управления в XXI веке, 2005. – С. 10–11.
6. Андриков Д.А., Коньков В.Г. H_∞ -оптимальный робастный регулятор транспортного средства с антиблокировочной системой в аварийном режиме движения с проскальзыванием колес//Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Приборостроение. – 2004. – Т.57, –№ 4. – С. 44–57.
7. Андриков Д.А., Коньков В.Г. Робастный регулятор транспортного средства с АБС //Труды 6-го Международного симпозиума Intel'2004/Под ред. К.А. Пупкова. – Саратов, 2004. – С.112–115.
8. Андриков Д.А. Модель движения колесного транспортного средства с антиблокировочной системой с H_∞ -оптимальным робастным регулятором в режиме с проскальзыванием колес//Студенческий научный вестник. Сборник научно-исследовательских работ студентов/Под ред. К.Е. Демихова. – М.: НТА АПФН, 2004. – № 1. – С. 102–110.
9. Андриков Д.А., Коньков В.Г. Модель движения колесного транспортного средства с антиблокировочной системой в режиме с проскальзыванием колес //Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Приборостроение. – 2003.– Т.53, –№ 4. – С. 103–119.
10. Андриков Д.А., Коньков В.Г. База знаний интеллектуальной системы управления торможением транспортного средства с антиблокировочной системой в режиме с проскальзыванием колёс//Труды 5-го международного симпозиума Intels'2002/Под ред. К.А. Пупкова. – Калуга, 2002. – С. 342–345.