

## ДОЭКСТРЕМАЛЬНЫЕ АНТИБЛОКИРОВОЧНЫЕ СИСТЕМЫ АВТОМОБИЛЕЙ

Канд. техн. наук ИВАНОВ В. Г.

Белорусский национальный технический университет

Характерной чертой перспективных систем активной безопасности (САБ) автомобилей является использование элементов интеллектуального управления. Введение в структуру антиблокировочных (АБС) и других устройств активной безопасности таких операций, как прогнозирование развития дорожной ситуации и ее распознавание, самообучение и самоконфигурирование алгоритма, позволяет значительно повысить эффективность и надежность работы систем. В то же время интеллектуальные функции требуют применения новых принципов управления колесом и автомобилем как объектов регулирования САБ. Определенные перспективы здесь имеет стратегия доэкстремального управления [1, 2], которая может быть реализована через семейство алгоритмов. В рамках настоящей работы рассматриваются возможности порогового и градиентного алгоритмов работы АБС как функциональной основы любой системы активной безопасности автомобиля.

В структуре доэкстремальной АБС (рис. 1) необходимой и достаточной сенсорной частью системы являются:

- индивидуальные колесные датчики, вырабатывающие информацию о частоте вращения колеса  $v_i$ ;
- аппаратные или виртуальные датчики нагрузки, фиксирующие изменение массы автомобиля  $m_i$ , приходящейся на колесо;
- датчики давления, фиксирующие давление в рабочих тормозных цилиндрах или камерах тормозных механизмов  $p_i$ .

По информации о частоте вращения колес определяются их угловые скорости  $\omega_{ki}$  и производные  $d\omega_{ki}/dt$ , а также опорная скорость автомобиля  $v_{ref}$  и ее производная  $dv_{ref}/dt$  для вычисления проскальзывания колес. Одновременно определяется информация о коэффициенте

сцепления колеса с дорогой (удельной силе в контакте колеса с дорогой)  $\mu$ , проскальзывании колес  $s$ , скорости проскальзывания колес  $v_s$  и силах в контакте колес дорогой  $F_{\mu}$ .



Рис. 1. Доэкстремальная АБС с переменными порогами срабатывания:  $v$  – частота вращения колеса;  $\omega_k$  – угловая скорость колеса;  $m$  – масса автомобиля, приходящаяся на колесо;  $M_{br}$  – тормозной момент;  $p$  – тормозное давление;  $v_a$  – линейная скорость автомобиля;  $v_{ref}$  – расчетная скорость автомобиля;  $v_s$  – скорость проскальзывания колеса;  $F_c$  – усилие управления отдельным тормозным механизмом

В данной схеме присутствует параллельная обработка информации, имеющая следующие особенности. Основные параметры регулирования – проскальзывание колеса и сила в контакте колеса с дорогой, определяющие пороги срабатывания в доэкстремальной области для  $\mu(s)$ - или  $F_{\mu}(F_c)$ -зависимости. Дублирующими порогами срабатывания являются уставки по проскальзыванию и замедлению колес, как и в обычной АБС, главное назначение которых со-

стоит в обеспечении регулирования при сбое основного информационного канала.

Дозэкстремальные пороги срабатывания не являются постоянными, а корректируются в процессе регулирования по информации о перераспределении нагрузок по колесам  $m_i$  и гистерезисе исполнительных частей через рабочее давление в исполнительных аппаратах  $p_i$ . По результатам принятых решений электронный блок определяет необходимое управляющее усилие для тормозных механизмов  $F_{ci}$ , которые подводят тормозные моменты  $M_{bri}$  к колесам.

**Пороговое регулирование в доэкстремальной АБС.** Наиболее простой вариант организации доэкстремальной АБС состоит в использовании принципов порогового управления. В этом случае доэкстремальная область регулировочной характеристики АБС (либо зависимость удельной силы в контакте колеса с дорогой  $\mu$  от коэффициента относительного проскальзывания  $s$ , либо зависимость силы в контакте колеса с дорогой  $F_\mu$  от усилия управления тормозным механизмом  $F_c$ ) оценивается только по проскальзыванию колеса. Для режимов понижения и повышения давления в тормозном приводе задаются некоторые уставки по  $s_{1,2}$ , удовлетворяющие условию:

$$s_{1,2} \leq s_3, \quad (1)$$

где  $s_3$  – проскальзывание колеса, соответствующее экстремуму регулировочной характеристики.

Выбор порогов срабатывания применительно к зависимости  $\mu(s)$  представлен на рис. 2. Основной («main») порог на уменьшение тормозного давления  $s_1^m$  выбирается в доэкстремальной области с таким расчетом, чтобы с учетом инерционности элементов тормозной системы растормаживание колеса началось не позже точки экстремума  $\mu(s)$ -кривой (либо  $F_\mu(s)$ -кривой, в зависимости от выбора рабочей характеристики). В процессе растормаживания порог на очередное увеличение давления  $s_2^m$  выбирается таким образом, чтобы сохранялся требуемый уровень использования коэффициента сцепления  $\Delta\mu$  за цикл регулирования.

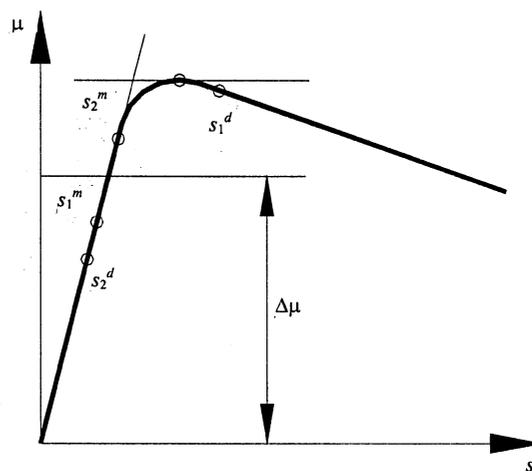


Рис. 2. Выбор порогов срабатывания для доэкстремальной АБС

Если основным информационный канал не смог достоверно обработать ситуацию или вышел из строя, то в работу вступают дублирующие («double») пороги срабатывания. В самом крайнем случае аварийный порог для уменьшения давления  $s_1^d$  выбирается таким образом, чтобы не допустить полного скольжения колеса, а порог для увеличения рабочего давления  $s_2^d$  – чтобы не допустить полного растормаживания колеса.

Из представленной структуры можно сделать вывод о том, что в данном случае САБ имеет вид комбинированной системы с управлением как по возмущению, так и по обратной связи. Помехи, вызванные работой тормозного механизма, учитываются в алгоритме, а помехи из-за замедления колеса могут быть оценены по прямому информационному каналу для  $d\omega_k/dt$ .

**Градиентное регулирование в доэкстремальной АБС.** Градиентный принцип управления основывается на допущении, что в доэкстремальной области  $\mu$ - $s$ -кривых первоначально наблюдается практически линейный подъем характеристики [3]. Таким образом, для алгоритма можно использовать информацию об изменении знака производной  $d\mu/ds$ . В первом приближении точку перехода от линейного к криволинейному участку  $\mu$ - $s$ -кривой (рис. 2) можно принять за порог срабатывания системы на сброс давления. Аналитически подобный доэкстремальный алгоритм описывается сле-

дующим образом. Сигнал на растормаживание АБС подается при выполнении условий:

$$dF_{\mu} / ds > 0; \quad (2)$$

$$\left| \left( \frac{dF_{\mu}}{ds} \right)_i - \left( \frac{dF_{\mu}}{ds} \right)_{i-1} \right| \leq \chi_1, \quad (3)$$

где  $\chi_1$  – регулировочное отклонение для сброса давления. Достижение системой значения  $\chi_1$  свидетельствует об окончании линейного участка  $\mu(s)$ -кривой и появлении тенденции приближения к экстремуму.

В зависимости от инерционности системы растормаживание колеса может начаться как в доэкстремальной, так и в пост-экстремальной области  $\mu(s)$ -кривой, однако в любом случае будет происходить уменьшение проскальзывания  $s$ . При этом системой контролируется выполнение соотношений:

$$dF_{\mu} / ds < 0; \quad (4)$$

$$\left| \left( \frac{dF_{\mu}}{ds} \right)_i - \left( \frac{dF_{\mu}}{ds} \right)_{i-1} \right| \leq \chi_2, \quad (5)$$

где  $\chi_2$  – регулировочное отклонение для повышения давления, свидетельствующее о предельно допустимом отклонении от экстремума. Далее описанные процессы повторяются до прекращения критической ситуации.

Основной порог на понижение рабочего давления  $(d\mu/ds)_1^m$  выбирается при изменении наклона характеристики. За счет инерционности тормозной системы растормаживание начинается около экстремума. Основной порог на очередное затормаживание колеса  $(d\mu/ds)_2^m$  в предельном случае находится в экстремальной области. Как и в рассмотренном ранее случае, параллельно имеются и дублирующие пороги срабатывания  $s_1^d$  и  $s_1^d$ .

**Результаты моделирования торможения автомобиля с доэкстремальной АБС.** Для исследования доэкстремальных алгоритмов было проведено моделирование торможения городского автобуса (аналог автобуса МА3-104) с различными типами АБС с помощью программного обеспечения «Полигон» [4], состав-

ленного группой специалистов, включая автора, лабораторией «Интегрированные системы управления мобильных машин» Института механики и надежности машин НАН Беларуси.

Для сравнительного анализа были выбраны антиблокировочные системы со следующими алгоритмами:

- регулированием по проскальзыванию (реализован в переходных вариантах систем WABCO – ArvinMeritor);
- комбинированным регулированием по проскальзыванию и замедлению (реализован в системах WABCO и Knorr-Bremse [5]);
- доэкстремальным пороговым регулированием;
- доэкстремальным градиентным регулированием.

Торможение автобуса с АБС моделировалось при различных начальных скоростях маневра на сухой, влажной дорогах (толщина водяного слоя 0,1; 1 и 3 мм), льду (температура поверхности составляла  $-0,5$  и  $-8$  °С) и смешанной дороге (сухое покрытие под левым бортом автомобиля и влажное покрытие или лед – под правым). На рис. 3 даны примеры диаграмм торможения автобуса с доэкстремальными АБС. По результатам проведенного моделирования могут быть сделаны следующие выводы:

1. На сухой дороге все алгоритмы обеспечили уменьшение тормозного пути, за исключением торможения с большим углом бокового увода колес ( $6^\circ$ ). В остальных ситуациях применение каждой из рассматриваемых АБС позволило сократить тормозной путь на 5...47 %.

2. Доэкстремальный градиентный алгоритм на всех режимах обеспечил торможение автомобиля без наступления временного блокирования колес.

Максимальные значения проскальзывания, достигнутые при работе АБС (без учета временного блокирования), составили:

- до 0,92 – для алгоритмов с регулированием по проскальзыванию и комбинированным регулированием;
- до 0,53 – для порогового доэкстремального алгоритма;
- до 0,34 – для доэкстремального градиентного алгоритма.

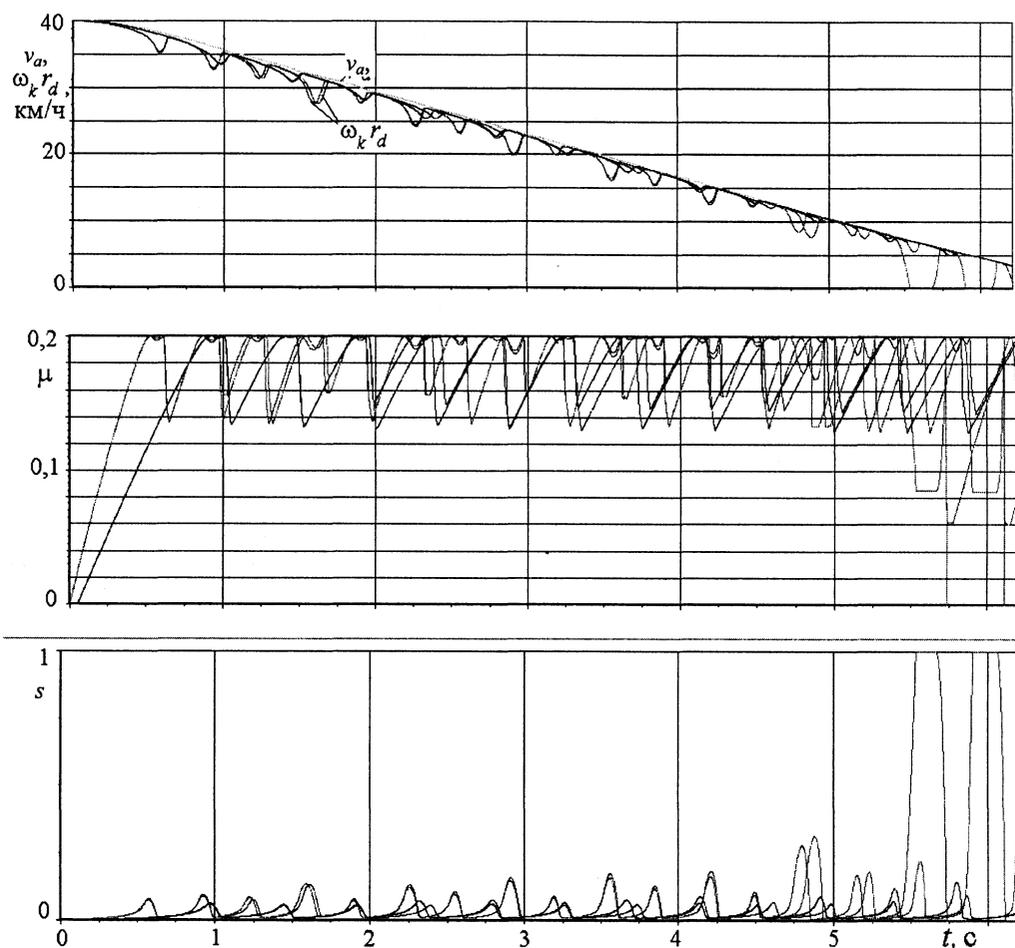


Рис. 3. Зависимость скорости автомобиля  $v_a$ , окружных скоростей колес  $\omega_k r_d$ , удельных сил в контакте колеса с дорогой  $\mu$  и коэффициента относительного проскальзывания  $s$  при торможении автобуса с АБС: условия – доэкстремальная пороговая АБС, груженный автомобиль, начальная скорость торможения – 40 км/ч, лед, температура поверхности составляла  $-8^\circ\text{C}$

Значения максимального проскальзывания составили:

- обледенелое дорожное покрытие:
  - 0,06...0,13 – для доэкстремального градиентного алгоритма;
  - 0,23...0,50 – для доэкстремального порогового алгоритма;
  - 0,44...0,92 – для комбинированного алгоритма;
  - до 1,00 – для алгоритма с регулированием по проскальзыванию;
- влажная дорога:
  - 0,08...0,18 – для доэкстремального градиентного алгоритма;
  - 0,12...0,52 – для доэкстремального порогового алгоритма;
  - 0,54...0,92 – для комбинированного алгоритма;
  - до 1,00 – для алгоритма с регулированием по проскальзыванию.

3. Уменьшение длины тормозного пути при торможении на миксте:

- 0,9...8,6 % – для алгоритма с регулированием по проскальзыванию;
- 3,3...15,2 % – для алгоритма с комбинированным регулированием;
- 3,2...14,2 % – для доэкстремального порогового алгоритма;
- 2...11,6 % – для доэкстремального градиентного алгоритма.

Максимальные значения проскальзывания при торможении на миксте составили:

- 0,89 – для алгоритма с регулированием по проскальзыванию;
- 0,92 – для алгоритма с комбинированным регулированием;
- 0,53 – для доэкстремального порогового алгоритма;
- 0,13 – для доэкстремального градиентного алгоритма.

Таким образом, наилучшими алгоритмами можно считать доэкстремальный градиентный и доэкстремальный пороговый алгоритмы. При сопоставимых результатах в обеспечении тормозной эффективности они гарантируют более высокий запас по устойчивости автомобиля, так как не позволяют колесу работать в области большого проскальзывания.

Следует ожидать, что стратегия доэкстремального управления работой колеса может быть положена в основу перспективных интеллектуальных систем активной безопасности автомобиля.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. **Бутылин В. Г., Иванов В. Г., Карпиевич Ю. Д.** О доэкстремальных алгоритмах для интеллектуальных антиблокировочных систем автомобилей // Мехатрони-

ка, автоматизация и управление. – 2002. – № 6. – С. 30–35.

2. **The theoretical concepts for pre-extreme ABS / V. Ivanov, M. Vysotsky, V. Boutylin, J. Lepeshko // SAE Technical paper series. – 2002-01-2185. – Warrendale: SAE, 2002. – 8 p.**

3. **Лещинский А. И., Бутылин В. Г., Иванов В. Г.** Доэкстремальный способ автоматического управления торможением транспортного средства // Известия НАН Беларуси. Сер. физ.-техн. наук. – 2000. – № 1. – С. 45–49.

4. **Развитие теории и экспериментальных исследований систем безопасности мобильных машин на основе математического и физического моделирования: Отчет о НИР (заключит.) / Научный центр проблем механики машин НАН Беларуси; рук. М. С. Высоцкий; № ГР 19974606; Инв. № 20. – Мн., 2000. – 110 с.**

5. **Фрумкин А. К., Попов А. И., Альшев И. И.** Современные антиблокировочные и противобуксовочные системы грузовых автомобилей, автобусов и прицепов: Обзорная информация. – М.: ЦНИИТЭИавтопром, 1990. – 56 с.

УДК 656.13

## ПОЛУЧЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ ЗАГРУЗКИ АВТОПОЕЗДА

*Канд. техн. наук, доц. РОЖАНСКИЙ Д. В.*

*Белорусский национальный технический университет*

Одна из важных проблем, возникающих при перевозке грузов автомобильным транспортом, – размещение груза на платформе таким образом, чтобы не допустить превышения осевых масс, поскольку в случае невыполнения указанного требования следуют штрафные санкции. В то же время необходимо обеспечить максимальную загрузку транспортного средства в пределах, допустимых его технической характеристикой. В настоящее время получено решение данной задачи для случая перевозки однородного груза, размещенного на поддонах, а также, если каждая единица штучного груза имеет одинаковые форму и размеры в плане.

Суть разработанной расчетной методики состоит в моделировании размещения груза на платформе с постоянным контролем положения

его центра тяжести. Для того чтобы осевая нагрузка не превышала допустимую, центр тяжести груза должен находиться внутри определенного интервала, величина которого зависит от массы груза: чем больше масса груза, тем уже интервал. Когда масса груза становится равной максимально допустимой, интервал размещения центра тяжести вырождается в точку. На рис. 1 представлен график, иллюстрирующий процесс моделирования загрузки автопоезда в составе двухосного тягача и трехосного полуприцепа однородным грузом на поддонах. Масса каждой единицы груза – 680 кг. По вертикальной оси графика откладывается расстояние от переднего края платформы до центра тяжести груза. Загрузка начинается от переднего края платформы путем раз-