

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ С АНТИБЛОКИРОВОЧНЫМИ И ПРОТИБУКСОВОЧНЫМИ СИСТЕМАМИ

*Канд. техн. наук, доц. ГУРСКИЙ Н. Н., СЛАБКО Ю. И.,
докт. техн. наук, проф. ФУРУНЖИЕВ Р. И., канд. техн. наук, доц. ХОМИЧ А. Л.*

Белорусский национальный технический университет

Для обеспечения устойчивости и управляемости движения транспортных средств (автомобилей, самолетов, многоопорных колесных шасси и др.) в любых дорожных и погодных условиях независимо от квалификации и состояния водителя (пилота, механика-водителя), машины и внешней среды предназначены системы активной безопасности (САБ). Подсистемами САБ являются системы антиблокировочные (АБС) и противобуксовочные системы (ПБС). Совершенствование качества работы и снижение стоимости САБ является актуальной проблемой.

Эффективность САБ определяется алгоритмами управления и свойствами используемых

силовых исполнительных приводов. В [1] приведен обзор конструкций антиблокировочных и противобуксовочных систем различных фирм, даны характеристики элементов, а также описаны алгоритмы их работы. В [2] приведены теория и результаты исследования эффективности антиблокировочной системы грузовых автотранспортных средств.

В [3] рассмотрен комплекс вопросов по автоматизации процесса торможения автомобиля. В [4] приведен обзор конструкций антиблокировочных и противобуксовочных систем легковых автомобилей. В [5] рассмотрена специфика использования микрокомпьютеров для управления АБС и ПБС.

По проблеме активной безопасности автомобилей имеется большое количество патентов, которые рассматривают САБ кинематического типа. В [6, 7] коэффициенты сцепления колес с дорогой $\mu_{il}(K)$, $i = 1, \dots, n$; $l = 1, 2$, характеризующие состояние системы «дорога – шина – автомобиль», рассчитываются в последовательные моменты времени $(T - 1)$, T , $(T + 1)$, ..., на основании измеренных величин угловых скоростей колес ω_{il} , расчетной курсовой скорости машины, тормозного давления и некоторых других величин, с помощью различных уравнений и алгоритмов идентификации. Полученные таким образом коэффициенты сцепления $\mu_{il}(K)$ используются для определения наклона $K_{\mu il}$ кривых $\mu - s$: $K_{\mu il} = d\mu_{il}/ds_{il}$, которые в свою очередь используются для оптимального управления угловой скоростью каждого колеса.

Для дальнейшего повышения качества функционирования САБ предложен силовой подход к ее созданию [8]. В САБ нового типа используются фактически реализуемые в контакте пневматика с дорогой продольные/поперечные силы/моменты (или их производные).

Способ адаптивного управления свойствами движения транспортных средств, оснащенных САБ как нового поколения на основе силовых факторов, так и классического типа, разработан и описан в патенте [9]. В [10] задача управления САБ сформулирована как нестационарная задача автоматического управления, описаны теоретические основы синтеза алгоритмов управления на основе концепций решения обратных задач динамики управляемых систем, а также приведены синтезированные управления в зависимости от фазовых координат управляемой системы, т. е. в форме регуляторов.

Обзор принципов работы и конструкций известных систем активной безопасности легковых и грузовых автомобилей широко представлен в справочнике [11], созданном специалистами компании Bosch. Динамика автомобилей семейства «МАЗ» с АБС классического типа рассмотрена в [12]. Сравнительный анализ качества работы ABS/EBS приведен в [13].

В [14] рассмотрены теория, свойства и технические решения автоматизированных тормозных систем, а в [15] – теория эксплуатационных свойств и компьютерное моделирование

динамики движения автомобилей и автопоездов с АБС классического типа.

Существенному развитию теории и практики САБ нового поколения способствовали создание адаптивных регуляторов [16, 17].

Силовой принцип создания САБ получил дальнейшее развитие в виде алгоритмов и устройств управления в патентах [18–24 и др.]. В [25] приведены конструкции датчиков для измерения сил и моментов, фактически реализуемых в контакте колеса с дорогой, конструкции тормозных механизмов и некоторые эвристические приемы регулирования режимов движения мобильных машин на основе измеренных сил и моментов.

В [26, 27] рассмотрены методы идентификации, управления и компьютерного моделирования интеллектуальных САБ. В результате анализа известных работ [14, 15] были установлены характеристики нарастания и спада тормозного давления в приводе, поведение коэффициента сцепления в продольном и поперечном направлениях, изменения коэффициентов скольжений колес, угловых скоростей и замедлений колес, закономерность поведения фактической силы и ее производной в контакте «колесо – дорога» для различных типов дорог и их состояний.

При моделировании изменение фактических сил/моментов $x(t)$ в контакте колес с дорогой нарастание/убывание силы в тормозном приводе, а также изменение коэффициента сцепления в продольном направлении могут быть описаны функциями вида:

$$x(t) = c \exp^{-at^2} - \text{при убывании величины } x(t);$$

$$x(t) = c(1 - \exp^{-at^2}) - \text{при возрастании величины } x(t),$$

где $a = (t_{pp}, \varphi)$ – параметр, зависящий от времени переходного процесса t_{pp} и максимального коэффициента сцепления в продольном направлении φ ; c – некоторая константа, соответствующая максимальному значению при возрастании функции $x(t)$ и снижении значения функции $x(t)$ на величину c за время переходного процесса t_{pp} .

Результаты компьютерного моделирования тормозной динамики легкового автомобиля без АБС представлены на рис. 1, а с АБС – на рис. 2.

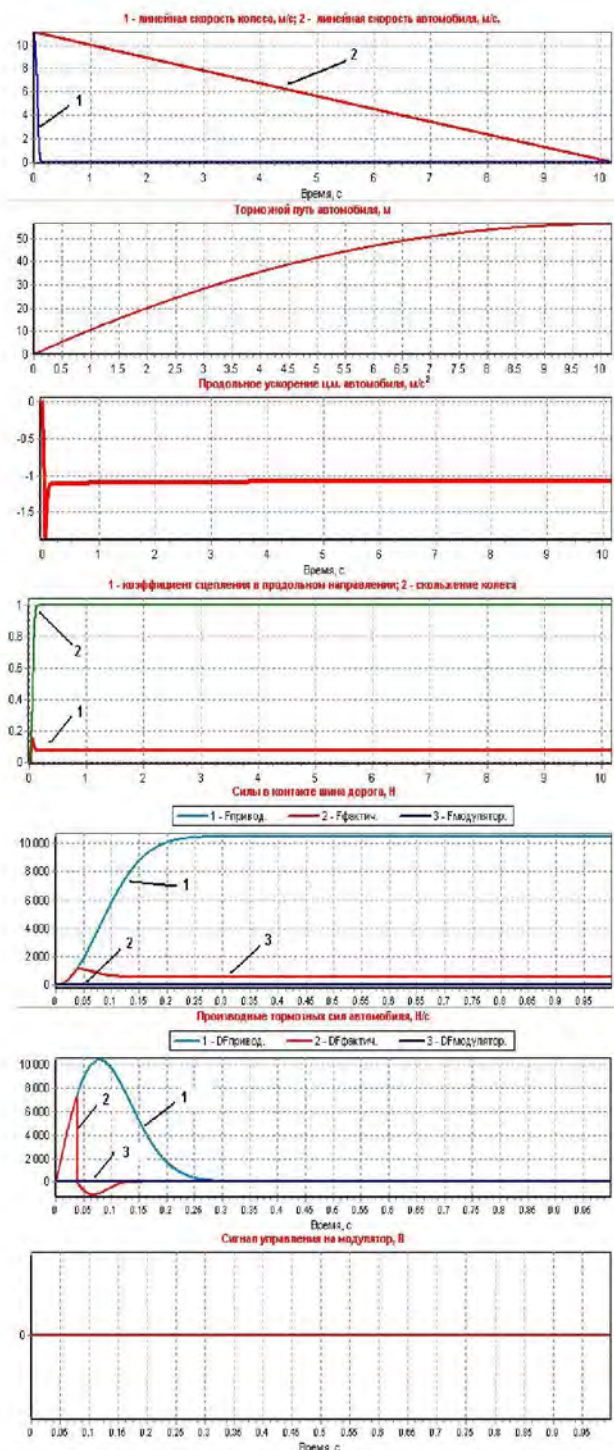


Рис. 1. Переходные процессы при торможении ТС без ABS, начальная скорость движения $v_0 = 40$ км/ч (11,11 м/с)

Из рис. 1 видно, что тормозной путь автомобиля без ABS составил 56,89 м, установившееся замедление – 1,1 м/с². Из рис. 2 очевидно, что тормозной путь автомобиля с ABS нового поколения составил 34,81 м и сократился на 22,09 м, что на 40 % меньше, чем при тор-

можении без ABS, установившееся замедление равно 1,8 м/с². При этом продольные коэффициенты скольжения колес находились в «устойчивой» области кривой «коэффициент сцепления – скольжение» и составляли 18–20 % скольжения колеса, обеспечивая тем самым максимум коэффициента сцепления в продольном направлении.

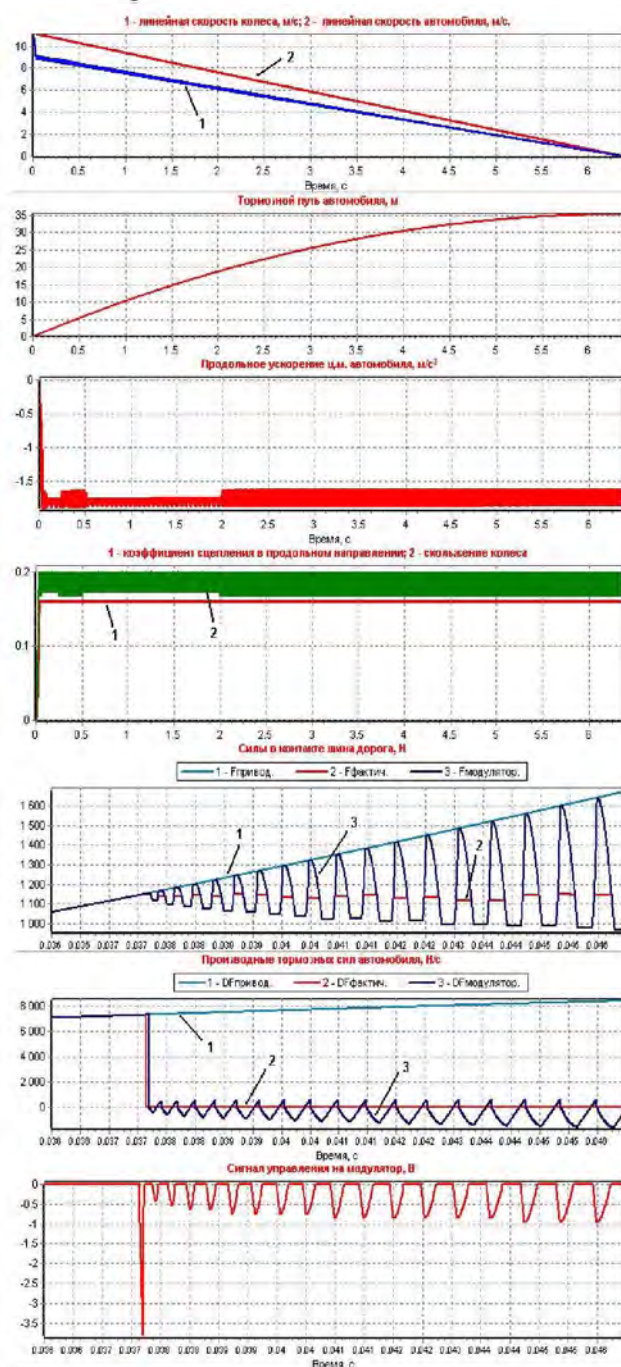


Рис. 2. Переходные процессы при торможении транспортного средства с ABS; быстродействие двухпозиционного модулятора $t_M = 50$ мкс

Как видно из рис. 2 и 3, при увеличении быстродействия модулятора в 2 раза тормозной путь составляет 33,55 м и сокращается на 3,6 % за счет более эффективной работы системы в области экстремума кривой «коэффициент сцепления – скольжения», установившееся замедление уменьшилось на $0,05 \text{ м/с}^2$. Обеспечивается поддержание продольного коэффициента сцепления в диапазоне 19–20 % скольжения колеса. При этом также обеспечиваются более высокое среднее значение поперечного коэффициента сцепления.

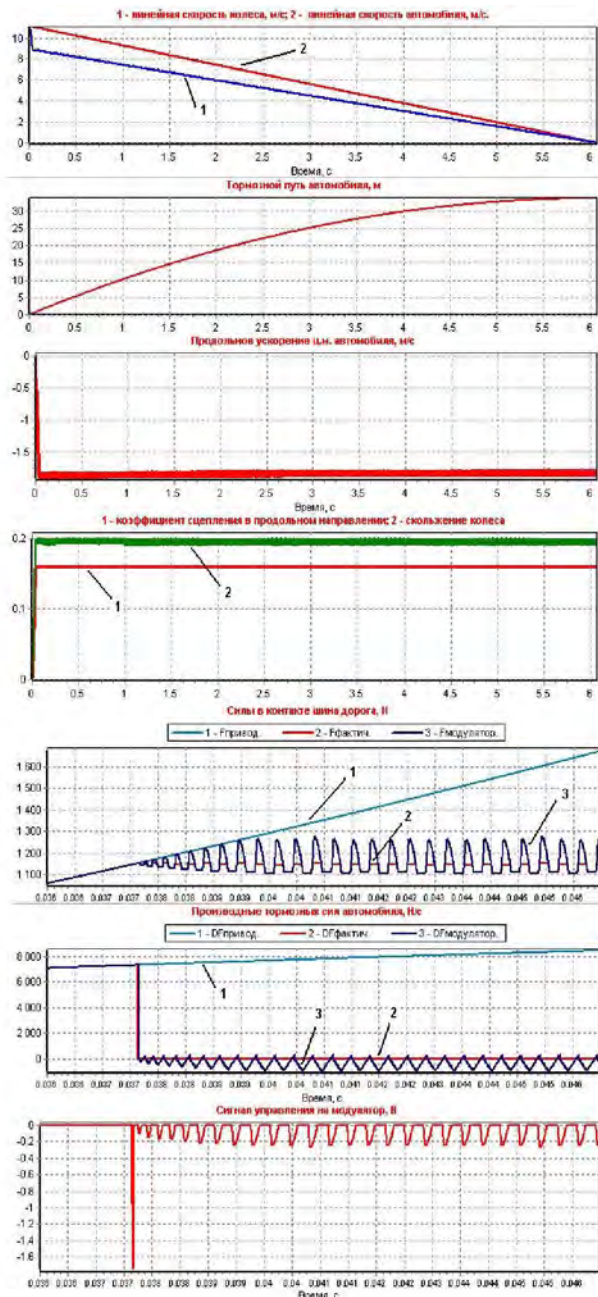


Рис. 3. Переходные процессы при торможении ТС с АБС; быстродействие двухпозиционного модулятора $t_M = 25 \text{ мкс}$

ВЫВОД

Разработана математическая модель пространственного движения транспортного средства с САБ, и произведен анализ влияния отдельных параметров исполнительного привода на эффективность торможения при обеспечении устойчивости его движения. Результаты компьютерного моделирования показали высокую эффективность работы АБС/ПБС нового типа по всем оценочным показателям: тормозной путь, величины продольного и поперечного замедления, исключение блокирования колес. Созданные математические и программные средства виртуального проектирования позволяют сократить сроки и стоимость проектирования, повысить качество принимаемых решений при создании АБС/ПБС.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Нефедьев, Я. Н.** Конструкции и характеристики электронных антиблокировочных систем: обзорная информация / Я. Н. Нефедьев. – М.: ЦНИИТЭИАвтопром, 1979. – 60 с.
2. **Нефедьев, Я. Н.** Теория, разработка и исследование унифицированной системы автоматического управления антиблокировочным торможением грузовых автотранспортных средств: дис. ... д-ра техн. наук: 05.05.03 / Я. Н. Нефедьев. – М., 1987. – 307 с.
3. **Ломако, С. И.** Автоматизация процесса торможения автомобиля: уч. пособие / С. И. Ломако, Е. М. Гецович. – Киев: УМК ВО, 1988. – 88 с.
4. **Фрумкин, А. К.** Антиблокировочные и противобуксовочные системы легковых автомобилей: обзорная информация / А. К. Фрумкин, И. И. Альшев, А. И. Попов. – М.: ЦНИИТЭИАвтопром, 1989. – 52 с.
5. **Автоэлектроника за рубежом:** инф. сб. – М.: НПО «Автоэлектроника», 1992. – Вып. 1. – 124 с.
6. **Method to Control the Operation of Wheels of a Vehicle to Prevent Slipping or Skidding, and Brake Locking:** Pat. USA 4,794,538 Dec. 27, 1988.
7. **Cao Chi-Thuan.** An Automatic Control System for Antilocking and Antiskid Applications: Pat. USA 5,135,290 Aug. 4, 1992 and DE-OS 35 35 843.
8. **Противоблокировочная** тормозная система транспортного средства: пат. 1408 Респ. Беларусь / Р. И. Фурунжиев, В. А. Ким; заявл. 01.07.1993.
9. **Способ** Фурунжиева управления движением транспортного средства: пат. 5182 Респ. Беларусь / Р. И. Фурунжиев; заявл. 10.03.1999.
10. **Фурунжиев, Р. И.** Методы, алгоритмы и программы управления движением в системах мобильных машин / Р. И. Фурунжиев, А. Л. Хомич // Механика машин на пороге III десятилетия: материалы междунар. науч. конф.: – Минск: НИРУП «Белавтотракторостроение», 2001. – С. 282–291.

11. **Автомобильный** справочник; пер. с англ. – М.: ЗАО КЖИ «За рулем», 2002. – 896 с.
12. **Активная** безопасность автомобиля / В. Г. Бутылин [и др.]. – Минск: НИРУП «Белавтоагропромстрой», 2002. – 183 с.
13. **Ракомсин, А. П.** Коэффициент качества работы ABS/EBS / А. П. Ракомсин, В. В. Корсаков, Н. Г. Мальцев // Автомобильная промышленность. – 2002. – № 4. – С. 17–18.
14. **Ревин, А. А.** Автомобильные автоматизированные тормозные системы: техническое решение, теория, свойства / А. А. Ревин. – Волгоград: Изд-во Ин-та качеств, 2002. – 320 с.
15. **Ревин, А. А.** Теория эксплуатационных свойств автомобилей и автопоездов с АБС в режиме торможения / А. А. Ревин. – Волгоград: РПМ «Политехник», 2002. – 372 с.
16. **Регулятор** Фурунжиева: пат. 3160 Респ. Беларусь / Р. И. Фурунжиев; заявл. 19.04.1996.
17. **Способ** и регулятор для управления системами: пат. 2153697 Респ. Беларусь / Р. И. Фурунжиев; заявл. 24.04.1997.
18. **Способ** управления антиблокировочной системой торможения транспортного средства: пат. 2103191 Респ. Беларусь / Р. И. Фурунжиев [и др.]; заявл. 01.07.1993.
19. **Стенд** для испытаний транспортных средств: пат. 1903 Респ. Беларусь / Р. И. Фурунжиев, В. А. Ким; заявл. 30.07.1994.
20. **Противоблокировочное** устройство транспортного средства: пат. 1415 Респ. Беларусь / Р. И. Фурунжиев [и др.]; заявл. 16.02.1995.
21. **Pat.** Cooperation Treaty (PCT/BY 96/00005). 1211 Geneva 20, Switzerland. Способ управления антиблокировочной системой торможения транспортного средства / Р. И. Фурунжиев [и др.]; заявл. 03.07.1996.
22. **Устройство** управления процессом торможения транспортного средства: пат. 2695 Респ. Беларусь / Р. И. Фурунжиев [и др.]; заявл. 7.02.1996.
23. **Способ** управления антиблокировочной системой торможения транспортного средства: пат. 2103191 Респ. Беларусь / Р. И. Фурунжиев [и др.]; заявл. 03.09.1996.
24. **Устройство** измерения тормозного момента: пат. 2131365 Респ. Беларусь / Р. И. Фурунжиев [и др.]; заявл. 13.06.1997.
25. **Ким, В. А.** Методология создания систем активной безопасности автотранспортных средств на основе анализа сил / В. А. Ким. – Могилев: Белорусско-Российский университет, 2003. – 320 с.
26. **Fourounjiev, R.** New Conception and Method of Identification and Control of the Intelligent Vehicle Safety Systems / R. Fourounjiev, Y. Slabko // Vibroengineering-2006: 6th International conference / Kaunas University of Technology. – Lithuania: Technologija, 2006. – P. 173–178.
27. **Fourounjiev, R.** Computer-aided Modeling of the Adaptive Intelligent Vehicle Safety Systems / R. Fourounjiev, Y. Slabko // Mechatronic Systems and Materials (MSM-2007): 3rd International conference 27–29 september, 2007, Kaunas. – Lithuania, 2007. – P. 139–140.

Поступила 24.04.2008

УДК 621.034

ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЬЮТЕРНЫХ МЕТОДОВ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Канд. техн. наук СТЕПАНЕНКО Д. А.

Белорусский национальный технический университет

Одним из эффективных методов проектирования элементов ультразвуковых колебательных систем (УЗКС), входящих в состав различных технологических установок, например ультразвуковых станков для обработки хрупких материалов, является применение САЕ-систем (САД и САЕ – акронимы от английских выражений Computer Aided Design (компьютерное

проектирование) и Computer Aided Engineering (компьютерное моделирование)). Наибольшее распространение при моделировании электро-механических (мехатронных) устройств получили САЕ-системы, основанные на применении метода конечных элементов (МКЭ). Для моделирования УЗКС могут использоваться как универсальное программное обеспечение (ПО)