

Транспортное и энергетическое машиностроение

УДК 629.113

Моделирование работы антиблокировочной системы легкового автомобиля

В.Н. Кравец, Р.А. Мусарский, А.В. Мотренко

Предложена модель работы антиблокировочной системы для отечественного легкового автомобиля. Разработана методика аналитической аппроксимации зависимости коэффициента скольжения автомобильного колеса с учетом участка отрицательного трения, исключая возникновение неустойчивых колебаний.

Ключевые слова: антиблокировочная система, торможение, легковой автомобиль, моделирование, алгоритм.

The model of operation for an antiskid braking system of a domestic car has been offered. The technique of analytical approximation of the relation between the adhesion and slip factors of an automobile wheel taking into consideration a negative friction section excluding the occurrence of unstable oscillations is developed.

Keywords: antiskid braking system, domestic car, modelling, algorithm.

Одним из наиболее эффективных путей повышения активной безопасности автомобилей является применение антиблокировочных систем (АБС) торможения. Положительный сорокалетний опыт применения АБС на автомобилях различных типов позволил законодательно закрепить их использование на транспортных средствах полной массой более 3,5 т в соответствии с Правилами ЕЭК ООН № 13. Тенденция к расширению применения АБС на автомобилях де-



Кравец
Владислав Николаевич
доктор технических наук,
профессор кафедры
«Автомобили и тракторы»
(НГТУ им. Р.Е. Алексеева)



Мусарский
Роман Абрамович
доктор технических наук,
профессор кафедры
«Прикладная теория
вероятностей»
(НГУ
им. Н.И. Лобачевского)

ляет необходимой разработку методики моделирования работы АБС для легковых автомобилей, доля которых в автомобильном парке высокоразвитых стран неуклонно возрастает.

В отечественной автомобильной промышленности широкое применение АБС сдерживалось отсутствием производства подобных систем. В настоящее время на российских автомобилях применяются системы управления, состоящие из импортных комплектующих, включая блок управления АБС. Это позволяет применять проверенные, высококачественные решения, хорошо зарекомендовавшие себя в мировой автомобильной промышленности, но вместе с тем означает, что приходится закупать и оплачивать инженерные работы по АБС, тем самым вкладывая денежные средства в развитие науки и промышленности другой страны.

В данной публикации предлагается алгоритм функционирования АБС, разработанный на кафедре «Автомобили и тракторы» Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева для легкового автомобиля ГАЗ-31105 «Волга», без использования иностранных технических решений.

В соответствии с требованиями Правил ЕЭК ООН № 13 на современных автомобилях АБС следует устанавливать в приводе рабочей тормозной системы. АБС обеспечивает работу тормозной системы при оптимальном коэффициенте скольжения колеса по опорной поверхности $s_{\text{опт}}$, при котором коэффициент продольного сцепления φ_x достигает максимального значения $\varphi_{x \text{ max}}$.

При моделировании работы АБС необходимо иметь аналитическую зависимость коэффициента сцепления от коэффициента скольжения колеса. В настоящее время отсутствует общепринятая аппроксимация этой зависимости. На основании физических измерений указанная зависимость должна содержать участок с отрицательной производной. Изучение таких систем с «отрицательным трением», приводящим к появлению неустойчивости, представ-

ляет специальный раздел теории нелинейных колебаний [1].

Необходимо было подобрать аппроксимацию зависимости коэффициента сцепления от коэффициента скольжения колеса, которая позволила бы адекватно описать экспериментальные данные, учитывающие участок отрицательного спада, но не привела бы к возникновению неустойчивых колебаний. На основании анализа данных, содержащихся в литературных источниках [2–4], и накопленного опыта авторами настоящей статьи предложена аппроксимация функции $\varphi_x = f(s)$ следующего вида:

$$\varphi_x = Ae^{-\left(\frac{s+B}{0,4}\right)^2} - Ae^{-\left(\frac{B}{0,4}\right)^2} + C \arctg(50s),$$

где A, B, C — коэффициенты, зависящие от $\varphi_{x \text{ max}}$.

Эти коэффициенты вычисляются по формулам:

$$A = 0,11 + 0,1\varphi_{x100};$$

$$B = -0,186\varphi_{x100} + 0,049,$$

$$C = \varphi_{x100} + Ae^{-\left(\frac{B}{0,4}\right)^2} / \arctg(50s),$$

где φ_{x100} — коэффициент продольного сцепления при полном юзе колеса ($s = 100\%$).

На рис. 1 приведена аппроксимирующая функция коэффициента сцепления при трех типах дорожного покрытия: 1 — сухой асфальт; 2 — мокрый асфальт; 3 — лед.

Авторами предложен алгоритм работы АБС и выполнено его моделирование с применением программного обеспечения MATLAB, приложения Simulink. Для реализации алгоритма работы АБС созданы блок-схемы: 1) расчета параметров вращения колеса; 2) расчета нормальных реакций, действующих на колеса автомобиля при торможении; 3) расчета замедления и тормозного пути; 4) модулятора АБС; 5) управления модулятором АБС; 6) расчета функции зависимости коэффициента продоль-

Таблица 2

Показатели эффективности торможения на мокром асфальте

Начальная скорость, км/ч	Без АБС		С АБС	
	Тормозной путь, м	Установившееся замедление, м/с ²	Тормозной путь, м	Установившееся замедление, м/с ²
50	24,29	4,44	21,32	5,10
80	60,06	4,44	52,10	5,12
100	92,47	4,44	80,35	5,11
Среднее отклонение	—	—	13,10%	15,09%

Представленные данные свидетельствуют о том, что установка АБС позволила сократить тормозной путь и повысить установившееся замедление на 13...15%.

Сравнение показателей эффективности торможения легкового автомобиля на сухом асфальте, полученных при моделировании и при испытаниях, показало, что отклонение расчетных данных от экспериментальных не превышает 5,7% по тормозному пути и 1,3% — по установившемуся замедлению. Это свидетельствует о высокой точности моделирования процесса торможения автомобиля, оснащенного АБС.

Выводы

1. Разработана аппроксимирующая функция зависимости коэффициента сцепления от коэффициента скольжения тормозящего колеса.
2. Предложен алгоритм работы АБС и проведено его моделирование с применением программного обеспечения MATLAB, приложения Simulink.
3. По результатам моделирования показана эффективность применения АБС на легковом автомобиле: это позволило увеличить величину установившегося замедления и снизить тормозной путь по сравнению с тормозной системой без АБС.
4. Высокая сходимость результатов расчетов и испытаний реального автомобиля свидетельствует об адекватности предложенной модели.

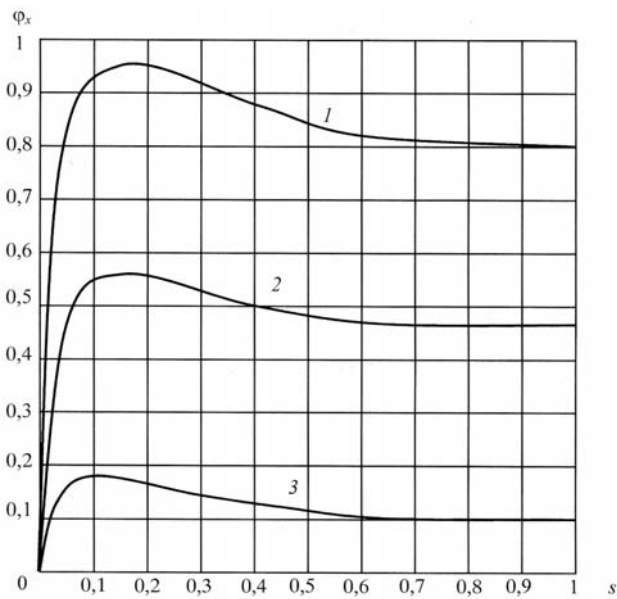


Рис. 1. Зависимость коэффициента сцепления от коэффициента скольжения при различных дорожных покрытиях

ного сцепления от коэффициента скольжения тормозящего колеса.

Для оценки эффективности функционирования АБС на модели были рассчитаны тормозной путь и установившееся замедление автомобиля ГАЗ-31105 в процессе торможения на сухом и мокром асфальте при различных начальных скоростях. Результаты расчетов представлены в табл. 1 и 2.

Таблица 1

Показатели эффективности торможения на сухом асфальте

Начальная скорость, км/ч	Без АБС		С АБС	
	Тормозной путь, м	Установившееся замедление, м/с ²	Тормозной путь, м	Установившееся замедление, м/с ²
50	15,28	7,9	13,20	8,93
80	36,20	7,9	31,54	8,92
100	55,04	7,9	48,09	8,92
Среднее отклонение	—	—	13,04%	12,95%

Список литературы

1. Андронов А.А., Витт А.А., Хайкин С.Э. Теория колебаний. М.: Физматгиз, 1959. 915 с.
2. Кравец В.Н. Теория автомобиля. Н. Новгород: НГТУ, 2007. 368 с.
3. Машиностроение: Энциклопедия / Ред. совет: К.В. Фролов (предс. [и др.]). Т. IV—V. Колесные и гусеничные машины / В.Ф. Платонов [и др.]; Под общ. ред. В.Ф. Платонова. М.: Машиностроение, 1997. 688 с.

4. Wong J.V. Theory of Ground Vehicles / J.V. Wong. New York: John Wiley and Sons, 2001. Pp. 130—131.
5. Автомобильный справочник Bosch / Пер. с англ. М.: ЗАО КЖИ «За рулем», 2002. 896 с.

Статья поступила в редакцию 14.05.2009 г.

8-я ежегодная конференция «Эффективные методы автоматизации технологической подготовки и планирования производства» состоялась 2–3 февраля 2011 г. в МГТУ им. Н.Э. Баумана. Организаторами конференции выступили МГТУ им. Н.Э. Баумана и компания «СПРУТ-Технология» — ведущий разработчик программного обеспечения для автоматизации подготовки и управления производством.

Цель конференции — обмен опытом внедрения, эксплуатации и интеграции информационных систем на предприятиях, совместный поиск ответов на вопросы, как эффективно автоматизировать подготовку производства, планировать и контролировать производственный процесс, как достигнуть максимального эффекта от работы станков с ЧПУ, как интегрировать системы в общее информационное пространство предприятия.

В конференции приняли участие представители более 110 отечественных промышленных предприятий (среди них — Роскосмос (ОАО «НПО Энергомаш им. академика В.П. Глушко», ФГУП «НПО им. С.А. Лавочкина», ФГУТ «НПП ВНИИЭМ»), Алмаз-Антей (ОАО «ММЗ «Авангард», ОАО «ГОЗ Обуховский завод»), Русэлпром (ОАО НИПТИЭМ, ОАО СЭЗ), Росатом (ОАО «НИКИЭТ»)) и технических университетов, а также представители предприятий Беларуси, Украины, Франции.

Открыл конференцию первый проректор — проректор по научной работе МГТУ им. Н.Э. Баумана, доктор технических наук, профессор С.С. Гаврюшин, который рассказал о государственной поддержке развития инновационной инфраструктуры, о том, как участвует МГТУ им. Н.Э. Баумана в реализации постановлений Правительства РФ от 9 апреля 2010 г. № 218 и № 219.

На пленарном заседании прозвучали интересные доклады. Так, тема выступления представителя «СЭЙВУР Консалтинг» М.С. Шермана — инновационные инструменты в управлении производством предприятий и опыт их внедрения; докладчик привел такие цифры: реализация грамотной управленческой модели дает рост производственных показателей на 20–60% и снижение издержек производства на 15–30%. А.С. Кобелев (ОАО «НИПТИЭМ») рассказал о консолидировании разработок нескольких предприятий в области электромашиностроения для создания мощного инструмента расчетов.

Представитель крупнейшего станкостроительного концерна Франции Forest-Line рассказал об уникальных характеристиках производимых станков, а также о совместном проекте Forest-Line, ЗАО «Техно-Экспресс» и ООО «Центр СПРУТ» по внедрению высокопроизводительного оборудования и современной технологии для РКК «Энергия» им. С.П. Королёва.

На конференции работали секции: «Технологическое проектирование», «Планирование и диспетчеризация производства», «Проектирование УП для станков с ЧПУ», «Информационные технологии», «САПР в электротехнике», «Подготовка кадров в области автоматизации производства». На секциях было представлено более 30 научных докладов по направлениям: интеллектуализации процессов проектирования, управления, применения высокотехнологичных решений, подготовки кадров.

Конференция прошла в атмосфере плодотворных дискуссий и обсуждений, что способствовало созданию дальнейших предпосылок для развития дружеских связей и деловых контактов между предприятиями и организациями. Конференция получила еще одно «измерение»: из практической она переросла в научно-практическую. По материалам конференции планируется выпустить сборник научных трудов.