

А. П. Федин, В. М. Зотов, Т. Н. Зотова, В. В. Бумагин

ИССЛЕДОВАНИЕ ПУТЕЙ ИСКЛЮЧЕНИЯ НЕУСТОЙЧИВОСТИ ПРОЦЕССА ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В ЗАДАЧАХ ДИНАМИКИ ДВИЖЕНИЯ АВТОМОБИЛЯ*

Волгоградский государственный технический университет

Необходимость решения задач в реальном времени объясняется расширением области применения устройств механотроники при разработке и эксплуатации установок комплексного моделирования, и, наконец, при создании автомобилей, эксплуатируемых на обычных дорогах, но полностью управляемых автоматически.

В настоящей работе для снижения процесса неустойчивости предлагается использование эмпирического коэффициента для корректировки начальных значений угловой скорости, что, как будет показано, позволяет исключить неустойчивость численного расчета параметров торможения при использовании относительно больших шагов интегрирования и существенно снизить время моделирования.

При моделировании задач динамики автомобилей для описания процесса торможения

автомобильного колеса обычно принимается традиционная расчетная схема [1], [2], [3], [4], [5], [6], [7], [8], [9], при этом считается, что при $t = 0$, то есть в начальный момент $\omega_0 = v_0/r$.

В представленной системе уравнений присутствуют дифференциальные уравнения общего вида, для решения которых необходимо применять численные методы. Значения параметров торможения находятся через определенные интервалы времени – шаги интегрирования, причем, чем меньше шаг – тем меньше погрешность определения искомых параметров. Таким образом, снижение вычислительных затрат возможно за счет увеличения шага интегрирования, то есть снижения точности результатов моделирования. При решении представленной расчетной схемы с шагом интегрирования $\geq 0,01$ с время расчета процесса меньше времени его реального протекания, однако, возникает явление неустойчивости решения, которое приводит к неверному (с точки зрения физики) решению.

* Работа выполнена при участии канд. техн. наук, доцента Н. М. Зотова

В настоящем исследовании проводится анализ влияния значений исходных данных на результаты моделирования торможения автомобильного колеса с целью исключения из расчета явления неустойчивости без увеличения вычислительных затрат.

На неустойчивость и погрешность расчета параметров торможения оказывает влияние множество различных факторов, в том числе и значения исходных данных для расчета. При расчете параметров торможения автомобильного колеса в качестве исходных данных обычно имеются следующие: угловые и линейные скорости и ускорения, коэффициенты сцепления и относительного проскальзывания, закон изменения тормозного момента, параметры колеса и тип дорожного покрытия. Исследования показали, что наибольшее влияние на неустойчивость процесса расчета оказывает начальное значение угловой скорости колеса. Было предложено использовать поправку Δ для корректировки начального значения угловой скорости колеса следующим образом: $\omega_0^A = \omega_0 - \Delta$, где ω_0^A – скорректированное значение начальной угловой скорости, ω_0 – действительное значение начальной угловой скорости, Δ – предлагаемая поправка.

Установлено, что значение поправки Δ зависит от величины линейной начальной скорости колеса и типа дорожного покрытия. В ходе исследования были проведены тестовые расчеты и определена зависимость поправки Δ от линейной скорости колеса для покрытия типа "сухой асфальт", что представлено на рис. 1.

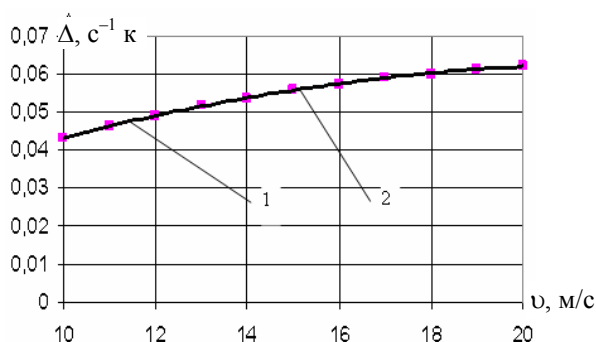


Рис. 1. Зависимость поправки Δ от линейной скорости колеса при торможении на поверхности типа "сухой асфальт":

1 – зависимость, полученная экспериментально; 2 – зависимость, полученная в результате аппроксимации экспериментальной зависимости

По полученным экспериментальным данным значений поправки Δ проводилась аппроксимация этих значений. Наименьшее расхождение между аппроксимирующей кривой и экспериментальной удалось получить, используя полиномиальную зависимость, которая представлена ниже:

$$\Delta = -0,00012037033799532400 \cdot v^2 + 0,00548608769169397000 \cdot v + 0,00057060233100557400,$$

где v – значение начальной линейной скорости оси колеса.

Расхождения между аппроксимирующей кривой и экспериментальной не превышают 0,1 % во всем диапазоне значений. Расхождения между начальной угловой скоростью колеса и ее скорректированным значением составляют от 0,08 до 0,12 %. Погрешность измерения начального значения угловой скорости составляет 5–7 % [10], поэтому можно сделать вывод, что корректировка начального значения угловой скорости на такую малую величину поправки Δ практически не искажает физическую сущность исследуемого процесса, а значит и не вносит значимой погрешности в расчет параметров торможения.

На рис. 2 представлены зависимости параметров торможения автомобильного колеса от времени для традиционного расчета и с использованием предлагаемого коэффициента с одним и тем же шагом интегрирования – 0,01 с. Произведена оценка погрешности рассчитываемых параметров торможения с использованием предложенной в [10], [11] методики эталонного решения.

С учетом вышесказанного, анализируя представленные на рис. 2 зависимости, можно сделать следующие выводы о влиянии предлагаемой поправки Δ на расчет параметров торможения автомобильного колеса:

1) использование предлагаемой поправки Δ позволяет исключить явление неустойчивости из расчета и позволяет вести расчет параметров торможения с шагом 0,01 с, что существенно приближает время расчета процесса ко времени его реального протекания, а в некоторых случаях обеспечивает работу моделирующей установки в реальном масштабе времени;

2) значения погрешностей расчета параметров имеют значения не большие, чем при использовании традиционной расчетной схемы (1);

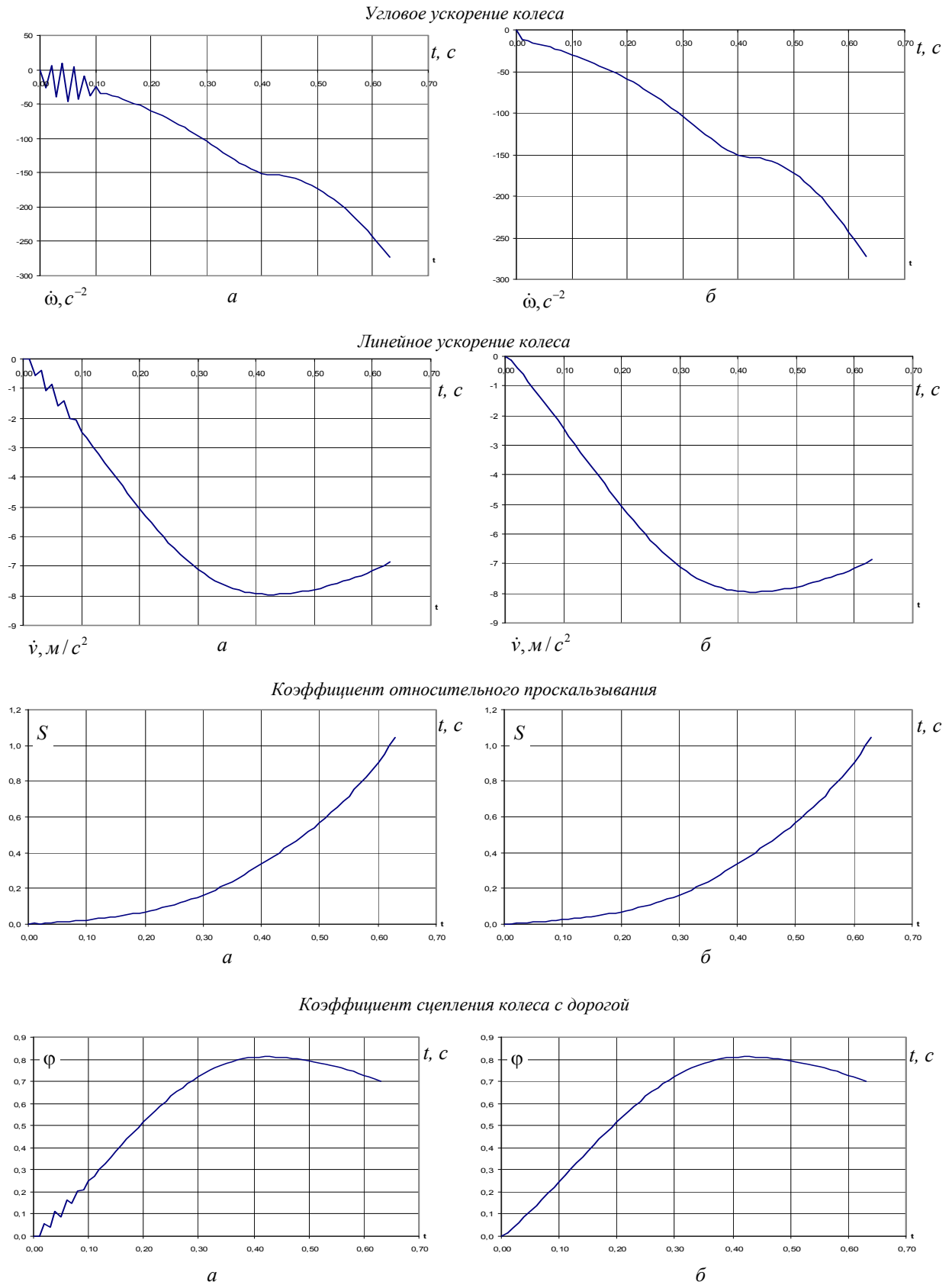


Рис. 2. Зависимость параметров торможения автомобильного колеса от времени (тип дорожного покрытия – "сухой асфальт", начальная линейная скорость колеса 20 м/с:

a – зависимости, полученные с использованием традиционной расчетной схемы (1), *б* – зависимости, полученные с использованием предлагаемой поправки Δ

3) значение времени расчета с использованием предлагаемого коэффициента остается таким же, как и при традиционном расчете с одним и тем же шагом интегрирования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Балакина, Е. В. Система "колесо-подвеска" и устойчивость движения автомобиля в режиме торможения: монография / Е. В. Балакина, А. А. Ревин; ВолгГТУ. – Волгоград, 2004. – 306 с.
2. Григоренко, Л. В. Динамика автотранспортных средств / Л. В. Григоренко, В. С. Колесников. – Волгоград: Комитет по делам печати и информации, 1998. – 544 с.
3. Дыгало, В. Г. Разработка средств и методов лабораторной оценки активной безопасности автомобиля с АБС с учетом действий водителя: дис. ... канд. техн. наук / В. Г. Дыгало. – Волгоград, 2003. – 181 с.
4. Иванов, В. В. Колебания автомобиля с антиблокировочной системой при торможении: дис. ... канд. техн. наук / В. В. Иванов. – Волгоград, 1986. – 172 с.
5. Котов, В. С. Совершенствование автоматизированных тормозных систем трехосных автомобилей: дис. ... канд. техн. наук / В. С. Котов. – Волгоград, 1989. – 182 с.
6. Кранцов, Г. П. Оценка тормозных свойств автомо-

биля с автоматизированным приводом модельным методом: дис. ... канд. техн. наук / Г. П. Кранцов. – Волгоград, 1994. – 146 с.

7. Мартинсон, П. Н. Исследование динамики торможения трехосного автомобиля с антиблокировочной системой: дис. ... канд. техн. наук / П. Н. Мартинсон. – Волгоград, 1982. – 182 с.

8. Ревин, А. А. Автомобильные автоматизированные тормозные системы: техническое решение, теория, свойства: монография / А. А. Ревин; ВолгГТУ. – Волгоград: изд-во Института качеств, 1995. – 160 с.

9. Хачатурова, А. А. Динамика системы дорога – шина – автомобиль – водитель / А. А. Хачатуров, В. Л. Афанастев, В. С. Васильев, Г. В. Гольдин, Б. М. Додонов, В. П. Жигарев, В. И. Кольцов, В. С. Юрик, Е. И. Яковлев / под ред. А. А. Хачатурова. – М.: Машиностроение, 1976. – 539 с.

10. Федин, А. П. Обеспечение адекватности моделирования рабочих процессов элементов автомобиля при испытаниях на виртуально-физических стендах-тренажерах: дис. ... канд. техн. наук. – Волгоград, 2006. – 239 с.

11. Зотов, Н. М. Условия обеспечения моделирования процессов торможения автомобиля в реальном времени. Ч. 1. / Н. М. Зотов, А. П. Федин // Творчество молодых в науке и образовании: тезисы интернет-конференции 19–23 мая 2003 г., г. Москва. – М.: МГУИЭ, 2003. – 129 с.