

## МАШИНОСТРОЕНИЕ И ТРАНСПОРТ: ТЕОРИЯ, ТЕХНОЛОГИИ, ПРОИЗВОДСТВО

УДК 629.33

Д.А. Бутин<sup>1</sup>, А.В. Тумасов<sup>1</sup>, А.С. Вашурин<sup>1</sup>, А.А. Аникин<sup>1</sup>, Ю.И. Палутин<sup>2</sup>

### ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ КАЧЕНИЯ ПНЕВМАТИЧЕСКОЙ ШИНЫ ПРИ ИСПЫТАНИЯХ УПРАВЛЯЕМОСТИ И УСТОЙЧИВОСТИ

Нижегородский государственный технический университет им. Р. Е. Алексеева<sup>1</sup>,  
Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия<sup>2</sup>

Современные сертификационные испытания управляемости автомобилей разработаны для оценивания управляемости автомобилей, оборудованных электронной системой курсовой устойчивости (ЭКУ). Общая оценка учитывает параметры управляемости автомобиля и работы системы ЭКУ. Современные методы основываются на реакциях автомобиля на стандартизованные управляющие воздействия.

Анализ результатов испытаний автомобиля современными методиками выявил продолжительный процесс качения колес с большими углами увода, что практически не наблюдалось при стандартных испытаниях. Факт влияния параметров сцепления шин при тяжелом скольжении был подтвержден исследованиями. Степень влияния характеристики шины на результаты испытания определялась для испытания «Усеченная синусоида».

*Ключевые слова:* угол бокового увода, управляемость, коэффициент сцепления шины, тяжелое скольжение шины, управляемость автомобиля.

Управляемость – это способность автомобиля сохранять или изменять направление движения. Эта способность влияет на безопасность автомобиля предупреждая ДТП. Поэтому управляемость оценивают и контролируют на уровне других систем безопасности. Для исследования управляемости автомобилей используются различные методики, которые основаны на выполнении автомобилем определенного маневра. Продолжительное время на территории РФ действует стандарт управляемости и устойчивости для автомобилей. Стандартные испытания, такие как «Вход в поворот» и «Переставка», выполняются водителем-испытателем, главным оценочным параметром является критическая скорость выполнения маневра. Внедрение электронных систем курсовой устойчивости привело к внедрению современных методик исследования. Современные методы основаны на единообразии управляющих воздействий и анализе реакций автомобиля по определенным параметрам.

Анализ результатов натурных испытаний, выполняемый водителем-испытателем, показал, что движение автомобиля при стандартных испытаниях происходит в зоне устойчивого движения. Исследование работы пневматических шин при проведении испытания происходило с помощью моделирования. Верифицированная имитационная модель автомобиля позволяет моделировать его движение и вычислять параметры качения шин. Для наглядности на рис. 1 представлены графики углов увода шин передней и задней оси при выполнении испытания «Вход в поворот» на критической скорости. Исследование было выполнено при помощи верифицированной модели легкого коммерческого автомобиля. На автомобиле используются шины, обладающие максимальным коэффициентом сцепления на сухом асфальтированном основании при угле увода от 9 до 14 градусов.

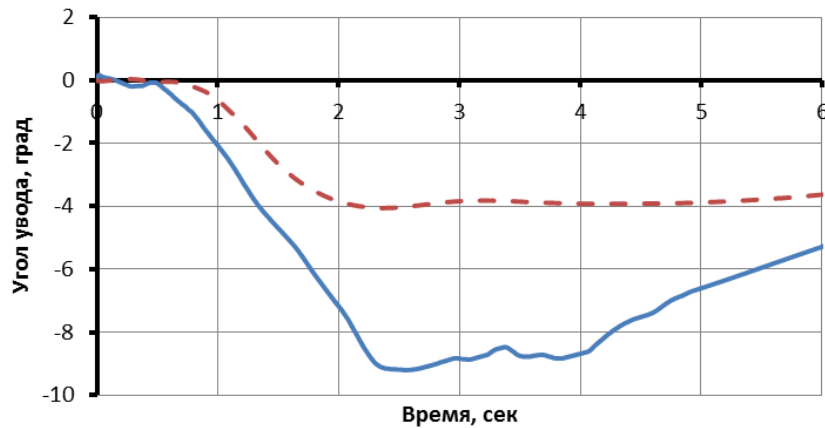


Рис. 1. Угол увода при испытании «Вход в поворот»:

— ось передняя; — — — — — ось задняя

Из графиков видно, что во время испытания угол увода шин передней оси достигает 9 градусов. Этот угол не превышает угол максимального сцепления шин. Для шин, используемых на исследуемом автомобиле, этот угол увода близок к углу с максимальным коэффициентом сцепления. Данный факт показывает, что автомобиль движется в повороте с полным использованием сцепных сил шин с дорогой.

При исследовании управляемости и устойчивости наибольшее значение имеет реакция шины в боковом направлении. Теория качения пневматической шины установила связь между углом увода и боковой реакцией шины [2, 3]. Эту зависимость принято разделять на две зоны. Зона линейной зависимости с максимальным коэффициентом сцепления называется зоной «трения скольжения». После пика, коэффициент сцепления уменьшается и остается почти постоянным при больших углах увода, это режим «тяжелого скольжения» [2].

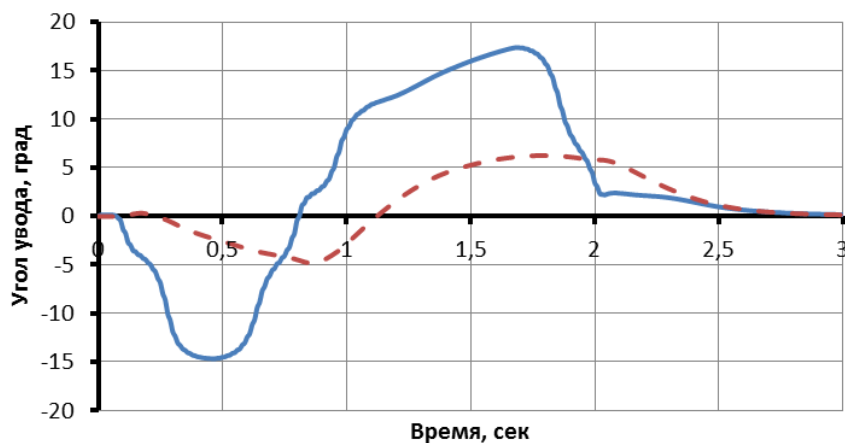


Рис. 2. Угол увода при испытании «Усеченная синусоида»:

— ось передняя, — — — — — ось задняя

Современные методы исследования управляемости автомобилей, оснащенных ЭКУ, проводятся с использованием устройства автоматического управления. Современные испытания, такие как *Усеченная синусоида*, *Рыболовный крючок*, выполняются со скоростью вращения рулевого колеса, достигающей 1200 град/с, что значительно превышает способности водителя-испытателя. Амплитуда поворота рулевого колеса подбирается для каждого автомобиля индивидуально и может достигать 300 градусов [4, 5]. Такие скорости поворота рулевого колеса и амплитуды способны вызвать качение шин с большими углами увода. Разница в углах увода шин передней и задней оси означает снос или занос автомобиля. При вы-

полнении современного маневра без системы ЭКУ установлено, что, даже без полной потери управляемости, углы увода колес значительно превышают углы увода при выполнении маневров водителем-испытателем (Вход в поворот, Переставка). На рис. 2 представлены графики углов увода колес передней и задней оси при испытании «Усеченная синусоида» на автомобиле без электронной системы курсовой устойчивости.

Во время испытания максимальный угол увода на передней оси достигал 17,3 градуса. При этом максимальный увод задней оси достигал 6,3 градуса. Из-за резкого поворота управляемых колес происходит качение колес с большим углом увода. Из графиков видно, что за время испытания, качение с углами увода, превышающими 10 градусов, составило 1,2 с, т.е. при 3-секундном маневре качение колес передней оси в режиме качения с большим углом увода составило 60%.

На основании изложенного было сделано предположение, что на показатели управляемости в современных методиках испытаний оказывает влияние коэффициент сцепления при тяжелом скольжении. Для проверки этого предположения были проведены исследования влияния коэффициента сцепления шины с опорной поверхностью при больших углах увода на результаты испытаний. Исследования были выполнены методом имитационного моделирования в программном пакете MSC ADAMS Car. Для этого были разработаны две модели с различными характеристиками сцепления шин при скольжении шин в боковом направлении, которые представлены на рис. 3 (модель №1 – коэффициент сцепления 0,8, модель №2 – коэффициент сцепления 0,6 при больших углах увода).

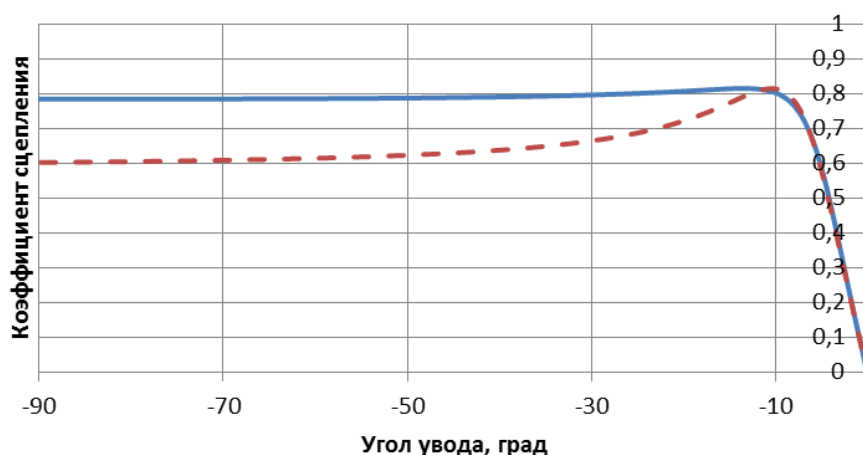


Рис. 3. Характеристики сцепления шины при поперечном скольжении:  
 — модель шины №1; — — — модель шины №2

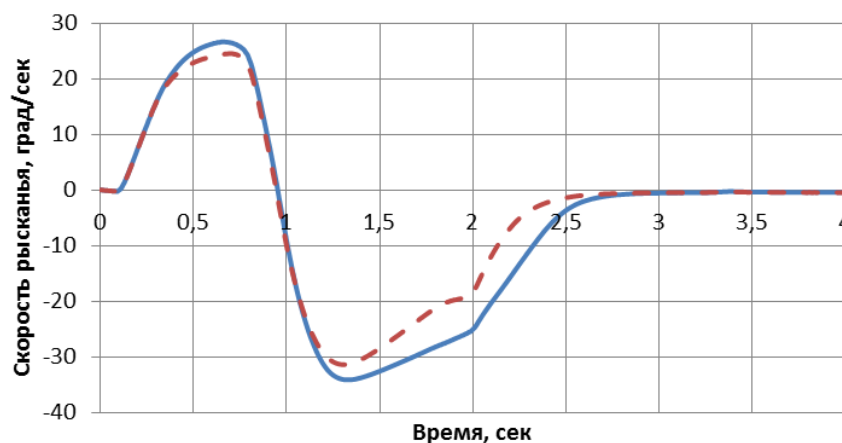


Рис. 4. Скорость рысканья при испытании «Усеченная синусоида»:

— модель автомобиля с шиной №1; — — — модель автомобиля с шиной №2

Исследования проводились по современной методике испытания «Усечённая синусоида». Результаты испытаний оценивались по скорости рысканья автомобиля, как это предписано в нормативном документе. Результаты испытаний представлены в виде графиков на рис. 4.

Угловая скорость автомобиля с шинами №2 в сравнении с шинами №1 в первом периоде увеличилась с 24 до 26 град/с, а во втором периоде угловая скорость увеличилась с 31 до 34 град/с. Время установления стационарного движения у модели с шинами №2 на 0,16 с меньше, чем у модели на шинах №1.

### Выводы

В результате исследования была выявлена и установлена зависимость влияния характеристик сцепления шин в боковом направлении на показатели управляемости автомобиля при испытании «Усеченная синусоида» для автомобиля без ЭКУ. Выявлена положительная связь между коэффициентом сцепления в режиме тяжелого скольжения и максимальной угловой скоростью. Уменьшение коэффициента сцепления шины в боковом направлении на 25% в зоне качения с большими углами увода привело к уменьшению пиков угловой скорости автомобиля в среднем на 8% при выполнении маневра «Усеченная синусоида». Так же уменьшение коэффициента сцепления привело к сокращению времени переходного процесса на 5,8%.

*Исследования выполнены в рамках исследований, реализуемых при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ по договору № 02.G25.31.0193 от 27.04.2016 г. (постановление Правительства Российской Федерации от 9 апреля 2010 года №218).*

### Библиографический список

1. ГОСТ 52302-2012
2. **Кгороза, В.И.** Работа автомобильной шины / В.И. Кгороза. – М.: Транспорт, 1976. – 238 с.
3. Механика контактного взаимодействия и физика трения. От нанотрибологии до динамики землетрясений [Электронный ресурс] / Попов В.Л. - М. : ФИЗМАТЛИТ, 2013. - <http://www.medcollegelib.ru/book/ISBN9785922114431.html>
4. Правила ЕЭК ООН N 13 Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения транспортных средств категорий М, N и O в отношении торможения"(с изменениями и дополнениями) (Докипедия: Правила ЕЭК ООН N 13"Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения транспортных средств категорий М, N и O в отношении торможения (с изменениями и дополнениями)).
5. Правила ЕЭК №13-Н Предложение по новым правилам, касающимся электронного контроля устойчивости (ЭКУ).

*Дата поступления  
в редакцию 15.06.2018*

**D. A. Butin<sup>1</sup>, A. V. Tumasov<sup>1</sup>, A. S. Vashurin<sup>1</sup>, A.A. Anikin<sup>1</sup>, Y.I. Palutin<sup>2</sup>**

### STUDY OF ROLLING OF A PNEUMATIC TIRE DURING TESTS OF CONTROLLABILITY AND STABILITY

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R. E. Alekseeva<sup>1</sup>,  
Nizhny Novgorod state agricultural academy<sup>2</sup>

**Purpose:** Demonstration of the influence of the characteristics of tire coupling in new tests of car handling  
**Design/methodology/approach:** The research was carried out by the method of simulation of the vehicle movement.  
**Findings:** As a result of the study confirmed the impact on the performance of the vehicle handling characteristics of the tire clutch when rolling with large angles of withdrawal  
**Originality/value:** The main significance of the research results can be for car testers. The characteristic of the tire grip that influences the test results can provide information on how to improve the vehicle's handling performance.

*Key words:* the angle of the slip, handling, traction tires, heavy tires slide, the car's handling, Sine with Dwell maneuver.