

Е. В. Балакина, Д. С. Сарбаев, И. К. Денисенко

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТРЕНИЯ
В ПЯТНЕ КОНТАКТА КОЛЕСА С ТВЕРДОЙ ОПОРНОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ
В РЕЖИМЕ ТОРМОЖЕНИЯ***

Волгоградский государственный технический университет, Волгоград, Россия

fahrgestell2011@yandex.ru, sards93@yandex.ru, i.k.denisenko@yandex.ru

Автор, ответственный за переписку: Дмитрий Сергеевич Сарбаев, sards93@yandex.ru

Экологичность автотранспортного средства зависит от многих факторов, в том числе от износа шин опорных колес. Износ шин является результатом процесса изнашивания и определяется работой силы трения в пятне контакта с опорной поверхностью. Величина этой работы зависит от соотношения площадей участков с трением покоя и скольжения в пятне контакта. Современные исследования как отечественных, так и зарубежных авторов в большей степени качественные, чем количественные. Также существуют разные мнения о взаимном расположении участков разного трения в пятне контакта колеса в режиме торможения. Одни считают, что участок с трением покоя всегда находится в передней части пятна контакта, другие – в задней части пятна контакта, в том числе и при торможении, а участок с трением скольжения распространяется в сторону передней части пятна контакта. В данной работе определены количественные характеристики участков трения покоя и скольжения в пятне контакта: их взаимное расположение, размеры при разных величинах тормозных моментов на колесе. Целью исследования является экспериментальное определение геометрических характеристик участков разного трения в пятне контакта эластичного колеса с твердой опорной поверхностью в режиме торможения.

Ключевые слова: эластичное колесо, твердая опорная поверхность, взаимодействие, пятно контакта, участки трения, характеристики, измерение

© Балакина Е. В., Сарбаев Д. С., Денисенко И. К., 2024.

* Исследование выполнено за счет средств программы развития ВолгГТУ «Приоритет 2030», в рамках научного проекта № 9/644-24.

E. V. Balakina, D. S. Sarbaev, I. K. Denisenko

EXPERIMENTAL STUDIES OF FRICTION IN THE CONTACT PATCH OF A WHEEL WITH A SOLID SUPPORTING SURFACE IN BRAKING MODE

Volgograd State Technical University, Volgograd, Russia

The environmental friendliness of a vehicle depends on many factors, including the wear of the support wheel tires. Tire wear is the result of the wear process and is determined by the work of the friction force in the contact patch with the supporting surface. The amount of this work depends on the ratio of areas with static and sliding friction in the contact patch. Modern research by both domestic and foreign authors is more qualitative than quantitative. There are also different opinions about the relative position of different friction areas in the contact patch of a wheel during braking mode. Some believe that the static friction area is always located in the front part of the contact patch, others – the static friction area is located in the rear of the contact patch, including braking mode, and the sliding friction area extends towards the front part contact patch. In this study, the quantitative characteristics of the static and sliding friction areas in the contact patch are determined: their relative location, sizes at different values of braking moments on the wheel. The purpose of the study is to experimentally determine the geometric characteristics of different friction areas in the contact patch of an elastic wheel with a solid supporting surface in braking mode.

Keywords: elastic wheel, solid supporting surface, interaction, contact patch, friction areas, characteristics, measurement

Введение

Шины различных транспортных средств (ТС) взаимодействуют с твердой опорной поверхностью, например, с дорогами или взлетно-посадочными полосами. Свойства устойчивости движения ТС определяются явлениями, происходящими в пятнах контакта эластичного колеса с твердой опорной поверхностью, поэтому производители шин стремятся обеспечить ряд их важных свойств: сцепные, упругие, прочностные [1–12].

Для улучшения устойчивости движения за счет повышения сцепных свойств шин, современные ТС, в том числе беспилотные, оснащаются системами контроля и управления движением. Их алгоритмы функционирования предусматривают управляемые исполнительные воздействия на колеса и шины. Несмотря на то что эти системы все время совершенствуются, их наличие не всегда способствует сохранению устойчивости ТС [5]. Например, известно, что в некоторых режимах движения работа этих систем приводит к потере устойчивости движения ТС. Это режимы при наличии боковой силы даже малой величины, составляющей 15...20 % от веса ТС. Предположительно это связано с недостаточной изученностью явлений, происходящих в пятнах контакта колес с дорогой, особенно при наличии боковой силы, что приводит к проблеме некорректности моделирования этих явлений.

В связи с этим возникает необходимость дальнейшего исследования процессов взаимодействия эластичного колеса с твердой опорной поверхностью, особенно при наличии боковой силы. Появляется ряд задач, одна из которых за-

ключается в расчете изменяющихся геометрических характеристик участков с трением покоя и трением скольжения в пятне контакта эластичного колеса с твердой опорной поверхностью, по-разному воспринимающих внешние силы и по-разному создающих реакции на колесо.

Методы и подходы

Целью исследования является экспериментальное определение геометрических характеристик участков разного трения в пятне контакта эластичного колеса с твердой опорной поверхностью в режиме торможения.

Для достижения цели исследования создана экспериментальная установка для определения взаимного расположения участков с трением покоя и скольжения в пятне контакта колеса с твердой опорной поверхностью (см. рисунок).

В данном эксперименте использовалась шина 4.10/3.50-5 (для аэродромной тележки), диагональная, производителя Omega (Тайвань), которая имеет давление по паспорту – 2,5 атм; нагрузку – 1100 Н. Давление создавалось компрессором ДС 12V 300 PSI, рассчитанным на максимальное давление до 3 атм, контролировалось манометром типа МТИ ГОСТ 2405-63.

Экспериментальная установка содержит шарнирно установленное в горизонтальном положении эластичное колесо, взаимодействующее с твердой опорной поверхностью из оптически прозрачного материала. Она является моделью дороги и обеспечивает возможность визуализации явлений в пятне контакта колеса. Установка позволяет нагружать колесо нормальной и продольной нагрузками до появления полного скольжения в пятне контакта.



Фотография экспериментальной установки

Производилось комбинированное нагружение шины: сначала радиальное (паспортная нагрузка), потом продольное. Измерялись нормальная и продольная силы и соответствующие деформации шины.

При проведении эксперимента изображение пятна контакта фиксировалось цифровой видеокамерой со скоростью съемки 60 кадров в секунду, что оказалось достаточным для визуализации явлений, происходящих в пятне контакта колеса. Съемка производилась в процессе продольного нагружения до наступления полного скольжения в пятне контакта, через оптическую линзу с фокусным расстоянием 0,2 м для зрительного увеличения размеров пятна контакта. Обработка видеозаписи производилась с использованием анализа изображений пятна контакта на компьютере с визуализацией на большом мониторе. Большой монитор и линза обеспечивают стократное увеличение размеров пятна контакта. Это исключает сопоставимость измеряемых величин параметров длины с величинами погрешности измерений.

Наличие трения покоя или скольжения в каждой исследуемой точке пятна контакта определялось по нарастанию, сохранению или убыванию продольных деформаций. Нарастание продольной деформации в i -й точке пятна контакта характеризует наличие трения покоя, а убывание – трения скольжения. Сохранение числового значения деформации свидетельствует о пограничном состоянии.

Выводы

1. В пятне контакта эластичного колеса с твердой опорной поверхностью в ведущем режиме колеса участок трения покоя смещается вперед относительно направления вектора поступательной скорости колеса, то есть в сторону передней части пятна контакта.

2. В пятне контакта эластичного колеса с твердой опорной поверхностью в тормозном режиме колеса участок трения покоя смещается назад относительно направления вектора поступательной скорости колеса, то есть в сторону задней части пятна контакта.

3. В пятне контакта эластичного колеса с твердой опорной поверхностью участок скольжения появляется на продольной оси пятна контакта, на расстоянии от центра приблизительно в $1/4$ часть от длины пятна контакта. Затем он распространяется в обе стороны.

4. Центр участка трения покоя в пятне контакта перемещается в сторону действующего момента на величину, пропорциональную моменту.

5. Максимальное перемещение центра участка трения покоя соответствует моменту, максимальному по условиям сцепления, и составляет $1/3$ длины пятна контакта для всех видов и состояний твердой опорной поверхности. При достижении этого перемещения наступает полное скольжение в пятне контакта, когда участок трения скольжения занимает всю его площадь.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Балабин, И. В. Механика колеса мобильной машины: учебное пособие / И. В. Балабин, И. С. Чабунин; под общ. ред. И. В. Балабина. – М. : Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2022. – 392 с.
2. Балакина, Е. В. Расчет коэффициента сцепления устойчивого эластичного колеса с твердой опорной поверхностью при наличии боковой силы / Е. В. Балакина // Трение и износ. – 2019. – Т. 40, № 6. – С. 756–765.
3. Зотов, В. М. Физический метод оценки коэффициента продольного проскальзывания автомобильного колеса на твердой поверхности / В. М. Зотов и др. // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2018. – № 3 (51). – С. 338–349.
4. Измерительный комплекс для определения эффективности действия электронных систем контроля устойчивости автомобилей / С. Р. Кристальный, М. А. Топорков, В. А. Фомичев, Н. В. Попов // Автотранспортное предприятие. – 2015. – № 6. – С. 37–41.
5. Работа автомобильной шины / Под ред. В. И. Кнороза. – М. : Транспорт, 1976. – 283 с.
6. Тарасик, В. П. Теория движения автомобиля: учебник для вузов / В. П. Тарасик. – СПб. : БХВ-Петербург, 2022. – 576 с.
7. Balakina, E. V. Qualitative Research of Combined Friction in Contact of Elastic Wheel with Solid Surface / E. V. Balakina, D. S. Sarbaev // Proceedings of the 4th International Conference on Industrial Engineering (ICIE 2018) (Moscow, Russia, 15–18 May, 2018). – Cham (Switzerland): Springer, 2019. – P. 773–779. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-95630-5_80.
8. Hans, B. Pacejka. Tire and Vehicle Dynamics. – Published by Elsevier Ltd, USA, 2012. – 632 p.
9. Kubba, A. I., Hall G. J., Varghese S., Olatunbosun O. A., Anthony C. J. (2018) Modeling of contact patch in dual-chamber pneumatic tires. Tire Science and Technology, USA. – Vol. 46(2). – P. 78–92.
10. Morris, de Beer, Colin Fisher, Louw Kannemeyer. Tyre - pavement interface contact stresses on flexible pavements – quo vadis? / 8th Conference on asphalt pavements for Southern Africa, June 2012.
11. Seyedmeysam KHALEGHIAN et al. A technical survey on tire-road friction estimation. Friction, USA, 2017. – Vol. 5. – No 2. – P. 123–146.
12. Svendenius, Jakob. Tire Modeling and Friction Estimation. – Department of Automatic Control Lund University, Lund, Sweden, 2007. – 194 p.