DOI: 10.58168/AutTraInd2026_4-13
УДК 629.621.43.018

Быстров И.Р.
студент 5 курса автомобильного факультета Воронежского государственного лесотехнического университета имени Г.Ф. Морозова, РФ
Артёмов А.В.
кандидат техн. наук, доцент кафедры автомобилей и сервиса Воронежского государственного лесотехнического университета имени Г.Ф. Морозова, РФ

Поздеев И.А.
студент 5 курса автомобильного факультета Воронежского государственного лесотехнического университета имени Г. Ф. Морозова, РФ
Прядкин В.И.
доктор техн. наук, профессор кафедры автомобилей и сервиса Воронежского государственного лесотехнического университета имени Г.Ф. Морозова, РФ

Bystrov I.R.
5th year student of the Automobile Faculty of Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Russian Federation
Artemov A.V.
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of cars and service, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Russian Federation
Pozdeev I.A.
5th year student of the Automobile Faculty of Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Russian Federation
Pryadkin V.I.
Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of cars and service, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Russian Federation

УВЕЛИЧЕНИЕ ПЛОЩАДИ КОНТАКТА ШИНЫ С ДОРОГОЙ КАК СПОСОБ РЕАЛИЗАЦИИ ТЯГОВО-СЦЕПНЫХ СВОЙСТВ АВТОМОБИЛЯ

INCREASING THE CONTACT AREA BETWEEN THE TIRE AND THE ROAD AS A WAY TO IMPROVE A VEHICLE’S TRACTION AND GRIP PROPERTIES

Аннотация. В статье приведены известные ранее и инновационные методики измерения площади пятна контакта автомобильной шины с дорогой, Рассмотрены методы, которые также предполагают получение информации о распределении нормальной нагрузки или сопротивления качению.

Abstract. The article presents previously known and innovative methods for measuring the contact area between a car tire and the road surface. It also examines methods that involve obtaining information about the distribution of normal load or rolling resistance.

Ключевые слова: пятно контакта, шина, площадь пятна контакта, тягово-сцепные свойства, оптические методы, метод цифровой корреляции, оптоволоконный датчик, автомобиль.

Keywords: contact patch, tire, contact patch area, traction properties, optical methods, digital correlation method, fiber-optic sensor, automobile.

Введение

Первой ассоциацией слову «автомобильная шина» в большинстве случаев становятся те задачи, выполняя которые она решает проблемы, являющиеся

© Быстров И. Р., Артёмов А. В., Поздеев И. А., Прядкин В. И., 2026

предпосылками к ее созданию. В голове визуализируется то, что именно шина связывает автомобиль с дорожной поверхностью, именно шина принимает на себя сильнейшие удары с ее стороны и позволяет водителю управлять автомобилем с комфортом. Более того, шина позволяет реализовать все качества автомобиля, характеризующие его способность выполнять полезную работу: осуществлять перевозку пассажиров и грузов, обрабатывать почву, если речь идет о сельскохозяйственной технике и т.д. На данном этапе важно понимать, что целиком шина с дорожной поверхностью не контактирует. Все нагрузки шина воспринимает в пятне контакта, в нем же реализуются все тягово-сцепные и мощностные качества автомобиля. От его площади и формата зависит эффективность использования автомобиля, безопасность людей и грузов при его движении, расход топлива.

Первые методы определения площади пятна контакта шины с дорогой разрабатывались еще в середине XX века. Необходимость работ по исследованию пятна контакта шины с дорогой диктовалось стремительным внедрением автомобилей в жизнь. Требовалось обеспечить безопасность и более экономичный расход топлива при движении автомобиля. Главным «катализатором» в данном вопросе стала необходимость решения проблемы аквапланирования в 1960-х годах, ибо с ростом мощностей двигателей и появлением скоростных трасс полная потеря управления над автомобилем была для неподготовленного водителя фатальной.

В данной статье рассмотрим мировой прогресс в области разработок методов определения пятна контакта шин с дорогой.

История развития способов определения формы и площади пятна контакта шины с дорогой

Начало истории решения проблемы необходимости точного определения площади пятна контакта шины с дорогой было положено еще в 60-х годах прошлого века. Первым методом (рис. 1) стал, так называемый, «метод красящего вещества». Сущностью данного метода было покрытие шины красящим веществом, например краской, и ее прижатием к плоской поверхности, на которой лежал лист бумаги. Площадь полученного отпечатка определялась планиметром. Сама шина устанавливалась на стенде и нагружалась строго определенным весом без каких-либо движений. Это самый простой и «грубый» метод оценки параметров пятна контакта, тем не менее положивший основу для развития машиностроения в данном направлении.



а *б*

а – процесс снятия площади пятна контакта шины; *б* – пятно контакта шины на бумаге

Рисунок 1 – Метод определения параметров пятна контакта методом «красящего вещества»

К недостаткам данного метода можно отнести, во-первых, нечеткий контур получившегося отпечатка (поскольку краска могла растекаться), во-вторых, это очень трудоемкий сетод, потому что измерение площади полученного отпечатка планиметром – долгий процесс, требующий концентрации внимания. Кроме того, для объективного исследования работы шины требовалось снятие нескольких отпечатков под разной нагрузкой. Далее можно было построить график зависимости площади пятна контакта от вертикальной нагрузки [1, 2].

Помимо этого был разработан метод, суть которого заключалась в фиксации отпечатка шины на мягкой поверхности: на песке, снегу. Этот метод позволял оценить не только площадь, но и глубину колеи, тем не менее это все еще грубый и неточный метод [3].

В 70-80 годах XX века, когда уже был сделан вывод о том, что статических измерений параметров пятна контакта шины с дорогой недостаточно, были разработаны более прорывные методы работы по исследованию автомобильной шины. Распространение получил метод, предполагавший прижатие шины к прозрачной плоской поверхности (стеклянной) и фотографированием получившегося отпечатка снизу (рис. 2). Примером современного использования такого метода является испытание шины на стационарной системе фото и видеофиксации пятна контакта шины КУИДМ-2 (рис. 3). Данные способы менее трудоемки по сравнению с предыдущими, при том дают больше информации о взаимодействии шины с дорожными покрытием.

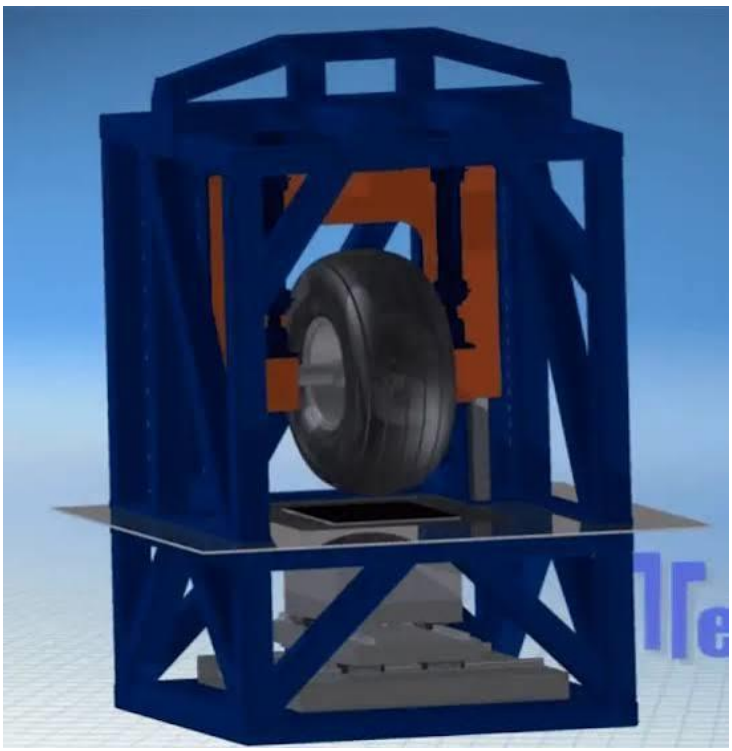


Рисунок 2 – Получение пятна контакта шины на оптическом стенда

Другой подобный метод, описанный в 2006 году, основан на нарушении полного внутреннего отражения света. Это так называемый метод стеклянного основания (Glass Plate Method).



Рисунок 3 – Отпечаток шины при ее исследовании на стационарной системе КУИДМ-2

В беговую дорожку стенда (рис. 4) монтируется стеклянная пластина, в торец которой подается мощный световой поток. Между шиной и стеклом помещается

тонкая пластиковая прослойка, из-за которой нарушается внутренее отражение света (между гранями стекла). Внизу установлена видеокамера, которая в реальном времени фиксирует формирующееся светящееся изображение через стекло. Таким образом, уровень яркости в каждом пикселе позволяет мало того, что получить форму и площадь пятна контакта, но и распределение по ней нормального давления

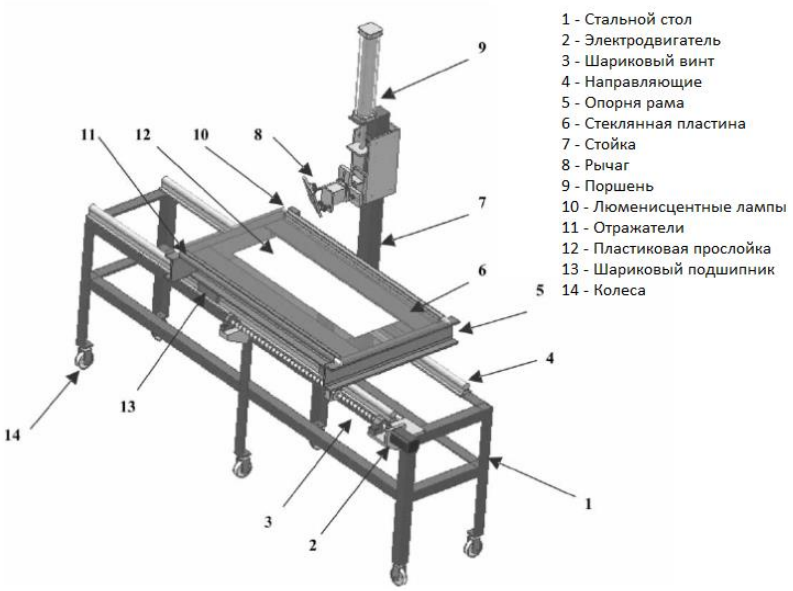


Рисунок 4 – Экспериментальный оптический стенд для определения пятна контакта

Явление нарушения полного внутреннего отражения (FTIR) света устанавливает, что когда свет проходит через среду и приближается к границе раздела с другой средой с другим показателем преломления, оптически менее плотной, чем первая, так что свет покидает ее, угол падения должен быть меньше критического (рис. 5).

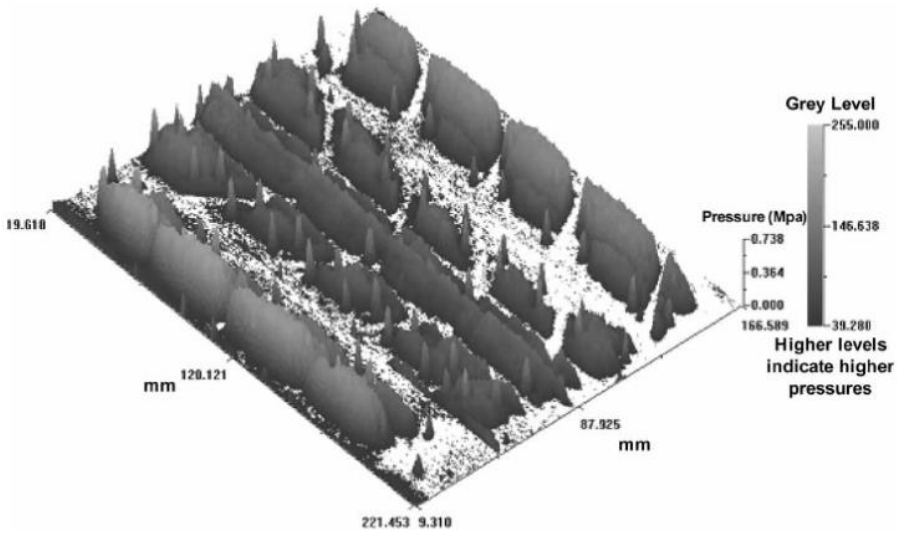
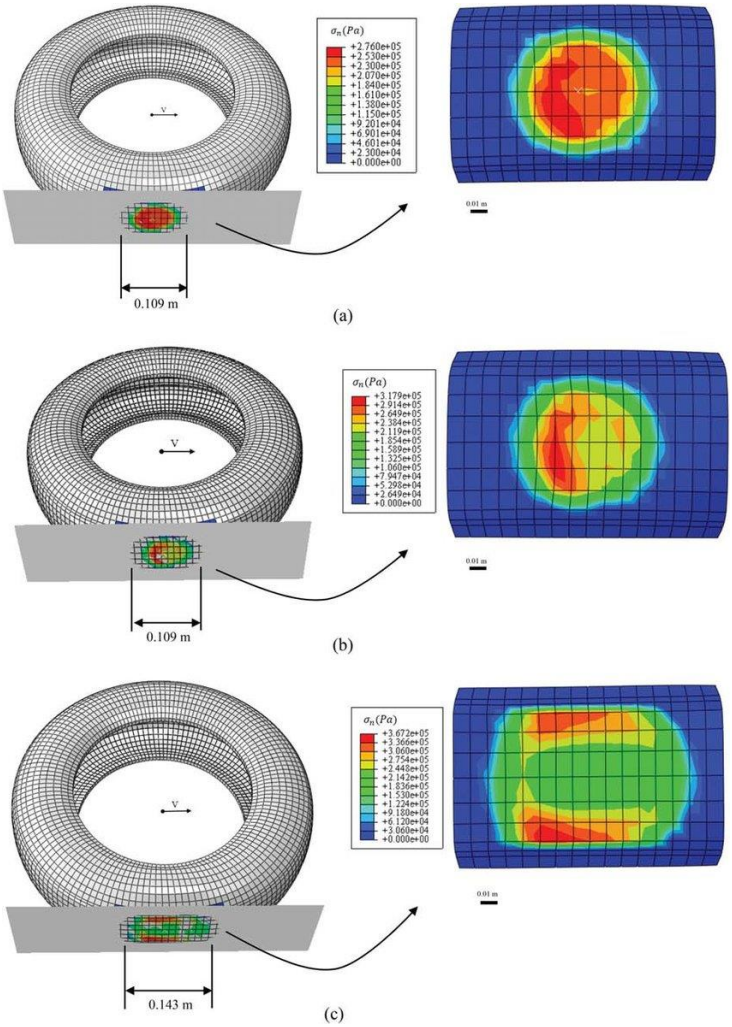


Рисунок 5 – Получившееся пятно контакта с учетом вертикальных нагрузок

Для угла падения больше критического свет оказывается запертым в более плотной среде и бесконечно отражается внутри нее. Если третья среда с большей оптической плотностью (например, тонкая пластиковая пленка) помещается в контакт со стеклом, и, если критический угол этого нового перехода больше, чем свет, который внутренне отражался под углом между и, теперь может выйти, нарушая полное внутреннее отражение. Таким образом, в точке контакта пластик-стекло появляется светящаяся точка, которую можно наблюдать с противоположной стороны стекла [4].

Итальянский шинный гигант Pirelli использует метод цифровой корреляции изображений (DIC) для изучения деформаций внутренней поверхности шины на стенде с плоской дорогой (рис. 6). Это дает возможность верифицировать компьютерные модели и понимать поведение шины в движении.



a – шина с нормальной нагрузкой 2000 Н и коэффициентом трения 0,4; *b* – шина с нормальной нагрузкой 2000 Н и коэффициентом трения 0,85; *c* – шина с нормальной нагрузкой 4000 Н и коэффициентом трения 0,4

Рисунок 6 – Распределение нормального контактного давления в зоне контакта

Работает это следующим образом: на поверхность шины наносится контрастный узор краской. 2 камеры снимают деформацию этого узора в реальном времени, а далее с предоставленной от них информации компьютер сравнивает миллионы точек до и после нагрузки, строя 3D карты деформаций [5].

Следующим является метод, предполагающий использование тензометрических матриц. Как правило, эти методы используются на заводах в исследовательских отделах. Суть метода заключается в том, что на панель со встроенными датчиками силы (пьезоэлеткрическими, например), нагружается шина, причем либо статически, либо же в движении на барабане. Каждый датчик на панели, взаимодействующий, в результате контакта, с шиной, измеряет вертикальные давления в отдельно взятых точках и продольные и поперечные силы, что позволяет более точно моделировать управляемость. В мировом опыте широко распространены достижения системы «TireScan» и «High Speed TireScan», которые позволяют наглядно уидеть эпюру давления и сравнить разные шины [6, 7].

Современные разработки – гибкие тензометрические матрицы, так называемые «коврики». Компания TecScan получила на эту технологию 18 патентов, став самым ярким представителем разработчиков данной технологии.

«Коврик» представляет собой тонкую, гибкую и, что особенно важно, портативную полоску материала (майлара) с напечатанным на ней массивом датчиков, располагающихся в линейку 1 x N (рис. 7). Ключевые преимущества этой разработки в том, что она позволяет исследовать пятно контакта колеса в динамике, причем на скорости до 265 км/ч, давая при этом информацию о размере, форме и профиле вертикальной нагрузки. К недостаткам же можно отнести сильную чувствительность к сдвигу и то, что «коврик» позволяет отследить только вертикальную нагрузку, не давая информации о продольных и поперечных силах [7].

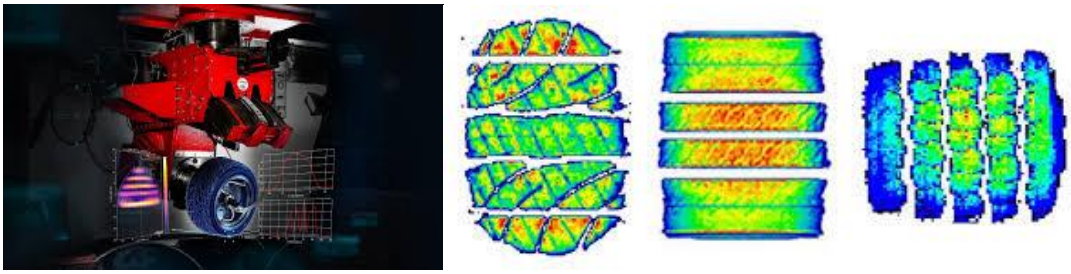


Рисунок 7 – Использование «коврика» для получения пятна контакта

В 2010-х годах начали развиваться методы, измеряющие пятно контакта напрямую с помощью лазера.

Римский университет Сапиенца разработал проект OPTYRE, ставший первым практическим применением волоконно-оптических датчиков на основе решеток Брэгга для измерения деформации шины в реальных условиях движения (рис. 8). В 2017 годы были проведены первые эксперименты поизмерению параметров внутренней деформации шины.



Рисунок 8 – Применение оптоволоконных датчиков для измерения деформации шины в реальных условиях

Инновация этой разработки заключается в возможности прямого доступа к поведению внутренней части шины с точки зрения напряжений при экспериментальном наблюдении качения в реальных условиях.

В процессе исследований и публикаций работ в данном направлении команда проекта сделала несколько ключевых выводов, среди которых: возможность в реальном времени четко разграничивать внутри одного и того же пятна контакта зону чистого сцепления и зону микропроскальзывания; вывод о том, что существующие методы измерения существенно занижали реальную длину пятна контакта, что приводило к общему снижению точности [8].

Заключение

Проблемой пятна контакта занялись инженеры еще в XX веке. Вопрос о недостаточной точности измерений стоит и сейчас, когда требования к шинам растет. передовые методы, позволяющие с высокой точностью исследовать пятно контакта, развиваются и по сей день. Опыт команды, работавшей над проектом Optyre вовсе показал, что традиционные и более распространенные методы определения пятна контакта существенно неточны и менее универсальны, поскольку не дают возможности оценить ряд параметров, которые метод, разработанный командой проекта, позволяет оценивать с достаточно высокой, на данный момент, точностью. От автомобилей требуется большая работа, а на

шины, соответственно, приходятся большие нагрузки, поэтому инновации, вводимые учеными и инженерами, высоко ценятся и, что еще более важно, дают толчок к развитию других направлений, поскольку интеграция оптоволоконных датчиков в шину открывает новые возможности. Тем не менее, классические оптические методы применяются до сих пор, обеспечивая приемлемую точность с точки зрения производства автомобильных шин.

Список литературы

1. Черепанов Л.А., Олейник А.А. Стенд для исследования влияния вертикальной нагрузки на площадь пятна контакта шины с опорной поверхностью // Транспортные системы. – 2017. – № 3 (6). – С. 27–31.

2. ГОСТ Р 58656-2019 Техника сельскохозяйственная мобильная. Методы определения воздействия движителей на почву. – Введ. 2020-08-01. – М. : Стандартинформ, 2019. – 24 с.

3. Кнороз В.И., Кленников Е.В., Петров И.П., Шелухин А.С., Юрьев Ю.М. Работа автомобильной шины / под общ. ред. В.И. Кнороза. – М. : Транспорт, 1976. – 238 с. : ил.

4. Magic Formula tyre model with transient properties / H. B. Pacejka, I. J. M. Besselink. – DOI 10.1080/00423119708969658 // Vehicle System Dynamics. – 1997. – Vol. 27, no. sup1. – P. 234–249.

5. An investigation towards intelligent tyres using finite element analysis / P. Behroozinia, S. Khaleghian, S. Taheri, R. Mirzaeifar. – DOI 10.1080/00423114.2018.1475734 // Vehicle System Dynamics. – 2019. – Vol. 57, no. 1. – P. 1–17.

6. Ермошин Н.А., Симчук А.Е. Оценка влияния геометрии и механики пятна контакта шины грузового автомобиля на дорожную одежду. – DOI 10.70991/1815-896X-2026-1-55-33-48. – EDN АКТРТР // Дороги и мосты. – 2026. – № 55/1. – С. 33–48.

7. Tire Footprint Pressure Mapping // Tekscan. – URL: https://www.tekscan.com/tire-footprint-pressure-mapping (дата обращения: 07.06.2026).

8. Roveri N., Pepe G., Mezzani F., Carcaterra A., Culla A., Milana S. OPTYRE — Real Time Estimation of Rolling Resistance for Intelligent Tyres. – DOI 10.3390/s19225119 // Sensors. – 2019. – Vol. 19, no. 22. – P. 5119.

References

1. Cherepanov L.A., Oleinik A.A. Stand for studying the effect of vertical load on the contact area between a tire and a supporting surface // Transport Systems. – 2017. – No. 3 (6). – Pp. 27–31.

2. GOST R 58656-2019 Mobile agricultural machinery. Methods for determining the impact of propulsion systems on soil. – Introduced. 2020-08-01. – Moscow: Standartinform, 2019. – 24 p.

3. Knoroz V.I., Klennikov E.V., Petrov I.P., Shelukhin A.S., Yuryev Yu.M. Operation of an Automobile Tire / edited by V.I. Knoroz. – Moscow: Transport, 1976. – 238 p.: ill.

4. Magic Formula tire model with transient properties / H.B. Pacejka, I.J.M. Besselink. – DOI 10.1080/00423119708969658 // Vehicle System Dynamics. – 1997. – Vol. 27, No. sup1. – pp. 234-249.

5. Investigation of intelligent tires using the finite element method / P. Behrouzinia, S. Khalegian, S. Taheri, R. Mirzaifar. – DOI 10.1080/00423114.2018.1475734 // Dynamics of transport systems. – 2019. – Vol. 57, No. 1. – Pp. 1–17.

6. Ermoshin N.A., Simchuk A.E. Assessment of the influence of the geometry and mechanics of the tire contact patch of a truck on the road surface. – DOI 10.70991/1815-896X-2026-1-55-33-48. – EDN AKTPTP // Roads and Bridges. – 2026. – No. 55/1. – pp. 33-48.

7. Determination of tire pressure // Tekscan. – URL: https://www.tekscan.com/tire-footprint-pressure-mapping (date of access: 06/07/2026).

8. Roveri N., Pepe J., Mezzani F., Carcaterra A., Kulla A., Milana S. OPTYRE — assessment of rolling resistance in the real–time for intelligent buses. – DOI 10.3390/s19225119 // Sensors. – 2019. – Vol. 19, No. 22. - p. 5119.