

УДК 625.7.8

Васильев Юрий Эммануилович

ФГБОУ ВПО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет»
Россия, Москва¹
Профессор, доктор технических наук
E-Mail: vashome@yandex.ru

Ивачёв Андрей Владимирович

ФГБОУ ВПО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет»
Россия, Москва
Аспирант
E-Mail: ivachevandrei@mail.ru

Царьков Дмитрий Сергеевич

ФГБОУ ВПО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет»
Россия, Москва
Аспирант
E-Mail: dimon21091991@mail.ru

Исследования параметров проскальзывания колеса при различных режимах вращения кругового универсального испытательного стенда дорожных материалов

Аннотация: В статье описаны исследования по определению проскальзывания автомобильного колеса при различных скоростных режимах, различных температуре и давлении в шине. Исследования по определению величины проскальзывания колеса проводились на круговом универсальном испытательном стенде дорожных материалов, с использованием энкодеров, что позволяет проводить испытания в условиях, приближенных к дорожным. С помощью установленных энкодеров на ведомых и ведущих колесах стенда, можно определить разницу между расстояниями, пройденными ведущими и ведомыми колесами. Такой способ позволяет определить проскальзывание колеса без установки датчиков в автомобильную резину, что обеспечивает первоначальный вид и целостность резины и обеспечивает качение колес по асфальтобетонному покрытию. Выполненные эксперименты и разработанная методика оценки проскальзывания колеса показывает, что опытное определение этого показателя на круговом универсальном испытательном стенде дорожных материалов обладает преимуществами по сравнению с другими известными методами. В частности, измерения выполняются в условиях, приближенных к реальным, не требуется сложного измерительного оборудования, кроме энкодеров, также при необходимости может оцениваться износ шин в процессе испытаний. Выполненные исследования показывают зависимость проскальзывания от скорости движения, а также от температуры и давления в автомобильной шине. Результаты экспериментов показывают, что измерение проскальзывания колеса может эффективно применяться при сравнительных испытаниях автомобильных шин на круговом универсальном испытательном стенде дорожных материалов.

Ключевые слова: Автомобильные шины; асфальтобетон; автомобильные дороги; дорожное покрытие; проскальзывание колеса; энкодеры; круговой универсальный испытательный стенд дорожных материалов; сравнительные испытания.

Идентификационный номер статьи в журнале 46TVN114

¹ 125319, Москва, Ленинградский проспект, 64

Yuri Vasiliev

Moscow Automobile And Road Construction State Technical University
Russia, Moscow
E-Mail: vashome@yandex.ru

Andrey Ivachev

Moscow Automobile And Road Construction State Technical University
Russia, Moscow
E-Mail: ivachevandrei@mail.ru

Dmitrij Tsarkov

Moscow Automobile And Road Construction State Technical University
Russia, Moscow
E-Mail: dimon21091991@mail.ru

Researches of parameters of a wheel slip at various modes of rotation of the circular universal test bench of road materials

Abstract: In article researches on definition of slipping of an automobile wheel are described at various high-speed modes, various temperature and pressure in the tire. Researches on determination of size of a wheel slip were conducted at the circular universal test bench of road materials, with use of encoder that allows to carry out tests in the conditions approached to the road. By means of the established encoder on conducted and driving wheels of the stand, it is possible to define a difference between the distances passed by leaders and conducted by wheels. Such way allows to define a wheel slip without installation of sensors in automobile rubber that provides an original form and integrity of rubber and provides swing of wheels on an asphalt concrete covering. The executed experiments and the developed technique of an assessment of a wheel slip shows that skilled definition of this indicator at the circular universal test bench of road materials has advantages in comparison with other known methods. In particular, measurements are carried out in the conditions approached to real, it isn't required the difficult measuring equipment, except enkoder, also if necessary wear of tires in the course of tests can be estimated tests. The executed researches show dependence of slipping on movement speed, and also on temperature and pressure in a car tire. Results of experiments show that measurement of a wheel slip can effect.

Keywords: Car tires; asphalt concrete; highways; paving; wheel slip; encoder; circular universal test bench of road materials; comparative tests actively be applied at comparative tests of car tires at the circular universal test bench of road materials.

Identification number of article 46TVN114

Качение эластичного колеса по твердой опорной поверхности, в частности, по асфальтобетонному покрытию, сопровождается некоторым проскальзыванием элементов протектора колеса в зоне его контакта с дорогой [1]. Это объясняется разностью длин участков колеса и дороги, вступающих в контакт. Элементы шины, находящиеся в контакте с опорной поверхностью, нагружены в тангенциальном направлении по-разному: элементы, входящие в контакт, сжимаются, а выходящие — растягиваются [2]. При увеличении передаваемого крутящего момента возрастает площадь, в пределах которой происходит проскальзывание шины относительно дороги. Это явление называют упругим проскальзыванием шины, в отличие от скольжения (буксования), когда все элементы протектора смещаются относительно опорной поверхности. Упругого проскальзывания не было бы при условии равенства этих участков. Но это возможно лишь в том случае, когда колесо и дорога имеют контакт по дуге. В действительности же, опорный контур деформированного колеса вступает в контакт с плоской поверхностью недеформированной дороги, и проскальзывание становится неизбежным.

Вследствие упругого проскальзывания или скольжения путь, проходимый колесом за один оборот, получается меньшим, чем путь, проходимый в ведомом режиме. При увеличении передаваемого крутящего момента возрастает тангенциальная деформация шины и скольжение, а путь, проходимый колесом за один оборот, уменьшается.

Величина упругого проскальзывания растет при одновременном увеличении эластичности (податливости) шины и жесткости дороги или, наоборот, при увеличении жесткости шины и мягкости дороги. Проскальзывание увеличивается при повороте автомобиля из-за боковых инерционных сил при заносе, при неправильном схождении или развале колес.

Проскальзывание колеса влияет на такую важную характеристику, как управляемость автомобиля и его сцепление с дорогой [3], а также на износ автомобильных шин [4], в частности шины на ведущих колесах подвергаются износу больше, чем ведомые.

Определение упругого проскальзывания возможно расчетным путём, а также экспериментально при помощи специальных стендов и комплексов. Необходимо отметить, что на данный момент не существует единой методики и оборудования для определения проскальзывания экспериментальным путём. Определение перемещения отдельных участков колеса возможна например, путём монтажа в шины магнитных датчиков. Но такой метод усложняет сравнительные испытания образцов автомобильной резины из-за необходимости монтажа датчиков в каждую шину [5].

Известно также устройство для измерения проскальзывания протектора шины относительно опорной поверхности, содержащее измерительный элемент, предназначенный для установки в опорной плите с возможностью контакта с наружной поверхностью протектора автомобильной шины, и видеокамеру. Измерительный элемент изготовлен из специального закаленного стекла с линиями масштабной сетки, нанесенной плавиковой кислотой [6]. Видеокамера и колесо, расположенные по разные стороны от опорной плиты, имеют возможность перемещаться относительно её плоскости. При качении колеса производится видеосъемка площади контакта шины с опорной поверхностью через закаленное стекло. Измерение проскальзывания протектора шины осуществляется путем покадрового определения расстояния от точки, отмеченной краской на выступе протектора шины, до линий масштабной сетки на измерительном стекле.

Недостатком метода является то, что точность измерения проскальзывания протектора шины относительно опорной поверхности достаточно низка из-за того, что, во-первых, изменяется коэффициент трения в зоне контакта вследствие установки измерительного элемента из закаленного стекла в опорной плите; во-вторых, отсутствует возможность точного

определения момента вхождения элемента протектора шины в контакт с опорной поверхностью и, соответственно, проскальзывания в этой части зоны контакта.

Для определения величины проскальзывания колеса в условиях, приближенных к дорожным, целесообразно проводить экспериментальные работы на универсальном комплексе для испытаний дорожных покрытий и автомобильных шин КУИДМ-2 «Карусель» (Рисунок 1, 2). Комплекс предназначен для ряда испытаний дорожных покрытий и автомобильных шин и эффективно используется при проведении научно-исследовательских работ [7, 8].



Рис. 1. Общий вид легкового стенда комплекса КУИДМ-2 «Карусель»

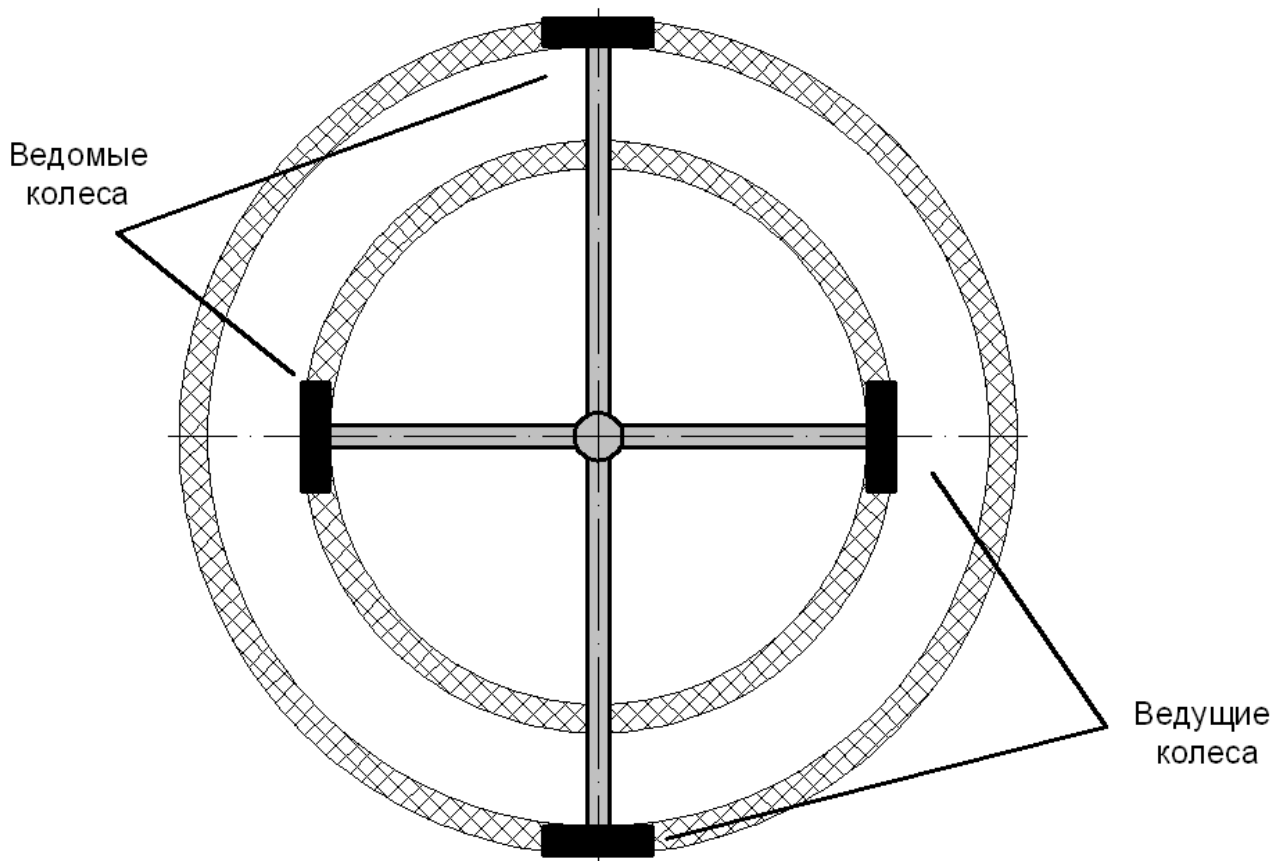


Рис. 2. Расположение ведущих и ведомых колес на стенде КУИДМ-2

В состав оборудования комплекса КУИДМ-2 входят энкодеры – устройства для определения положения вращающихся валов. Определение пройденного пути по сигналам от энкодера осуществляется путем подсчета количества сигналов с учётом масштабного коэффициента. Таким образом, с помощью установленных энкодеров на ведомых и ведущих колесах стенда КУИДМ-2, стало возможным определить разницу между расстояниями, пройденными ведущими и ведомыми колесами. Такой способ позволяет определить проскальзывание колеса без установки датчиков в автомобильную резину и обеспечивает качество колес по асфальтобетонному покрытию.

Для проведения экспериментальных работ был составлен план эксперимента с учетом факторов (Таблица 1), которые могут повлиять на величину проскальзывания.

Таблица 1

Факторы, влияющие на величину проскальзывания

Показатель	Грузовой стенд	Легковой стенд
Скорость движения, км/ч	20,40,60,80	40,60,80,100
Температура воздуха, t°C	20-30	20-30
Давление в шине (стандартное, повышенное, пониженное)	Стд, выс, низ	Стд, выс, низ
Температура в шине, t°C	20, 25, 30	20, 25, 30

При анализе факторов, влияющих на величину проскальзывания, необходимо учесть, что трение и деформация сопровождаются увеличением температуры элементов беговой

дорожки. Так как резина является термопластичным материалом, то увеличение температуры с 0 до 100 °С приводит к снижению прочности межмолекулярных связей в 2–3 раза [9].

Скорость движения транспортного средства оказывает большее влияние на проскальзывание, чем давление в шине. Процесс проскальзывания элементов шины носит прерывный характер, в зоне контакта происходят скачкообразные сдвиги элементов протектора. Основываясь на данной особенности, был проведен анализ показаний энкодеров на ведущих колесах при скорости движения 60 км/ч и исходных температуре и давлении. За величину угловой скорости принимался усредненный показатель за 5 минут (Таблица 2). Результаты на рисунке 3 подтверждают, что проскальзывание наблюдается в определенных моментах рассматриваемого временного интервала, в том числе при росте крутящего момента при начале движения. Рост показателя со временем также объясняется разогревом автомобильной шины, вызывающим рост податливости резины, поэтому в дальнейших экспериментах целесообразно выполнять измерения в интервале до 20 минут.

Таблица 2

Изменение угловой скорости колеса в процессе движения

Угловая скорость	0,869	0,866	0,87	0,876	0,871	0,875	0,877	0,873
Время, мин	5	10	15	20	25	30	35	40

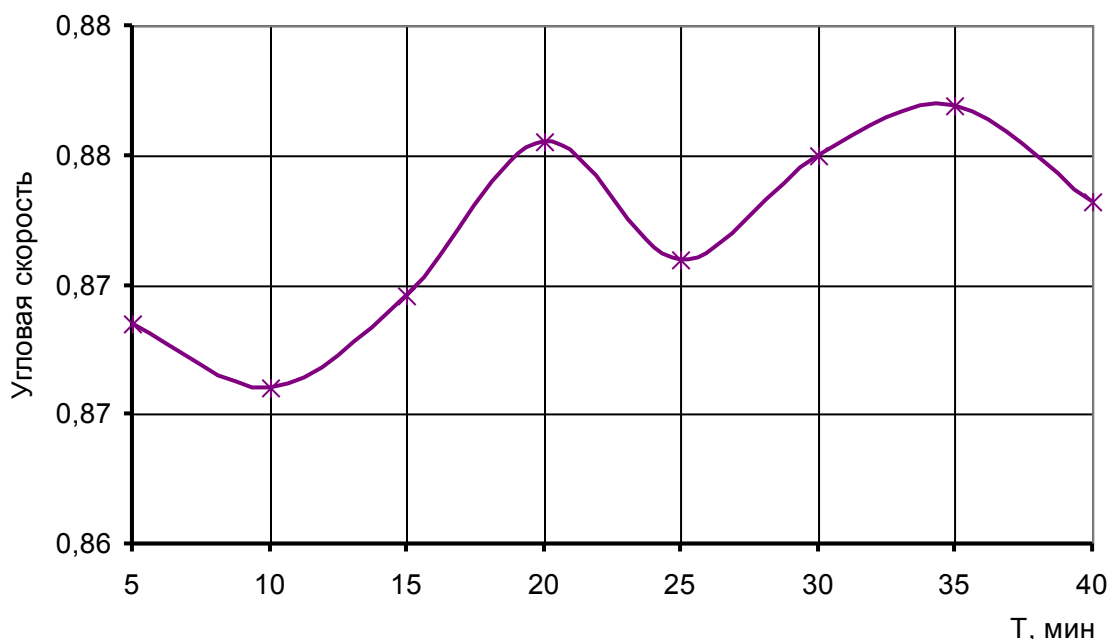


Рис. 3. Изменение угловой скорости в процессе движения

Увеличение интенсивности изнашивания протектора шины при возрастании величины радиальной нагрузки объясняется увеличением касательных напряжений и проскальзывания, а также повышением неравномерности распределения удельных давлений, действующих в плоскости контакта колеса с дорожным покрытием. Факторы, способствующие снижению величины проскальзывания, одновременно с этим уменьшают интенсивность изнашивания резины. Например, автомобильные шины с ребром в центре беговой дорожки, по сравнению с шинами с канавкой по центру имеют интенсивность изнашивания на 20—25% ниже вследствие большей устойчивости к боковому уводу [10]. При снижении величины удельного давления

шины на дорогу уменьшается сила трения в контакте, что может привести к уменьшению износа. Но при этом наблюдается увеличение проскальзывания в контакте.

Проведено исследование технической литературы по вопросам технического нормирования шероховатых поверхностей, влияющих на проскальзывание колес на дорожных покрытиях, в качестве наиболее актуальных выделены работы научной школы профессора А.В.Кочеткова [11-16].

Для определения проскальзывания колес были проведены испытания на кольцевом стенде КУИДМ-2 при различных температурных условиях и при разном давлении в автомобильной шине.

Эксперименты на легковом стенде выполнялись при скорости движения от 40 до 100 км/ч с шагом в 20 км/ч. В первой серии измерений в шине обеспечивалось стандартное (рекомендованное производителем) давление и температура 20°C. Осуществлялся запуск и разгон стенда до требуемой скорости, затем установившийся скоростной режим поддерживался в течение 20 минут, затем производилась остановка стенда. В процессе движения стенда при заданной скорости выполнялось непрерывное измерение пройденного ведущими и ведомыми колесами пути с помощью энкодеров. В период начала и завершения движения измерения не выполнялись в целях снижения ошибок, вызванных разгоном и замедлением. После выполнения измерений на всех рассмотренных скоростях движения при исходных значениях давления и температуре в шине, выполнялись испытания с изменением величины одного из указанных факторов. Выполнялись измерения при постоянной величине давления при температурах 25°C и 30°C, методика оставалась неизменной. В последующих экспериментах проводились измерения при температуре 20°C при повышенном и пониженном значениях давления в шине. Измерения при повышенном давлении и повышенной температуре одновременно не выполнялись из-за возможности повышенного износа шины, что могло вызвать ошибки в последующих экспериментах.

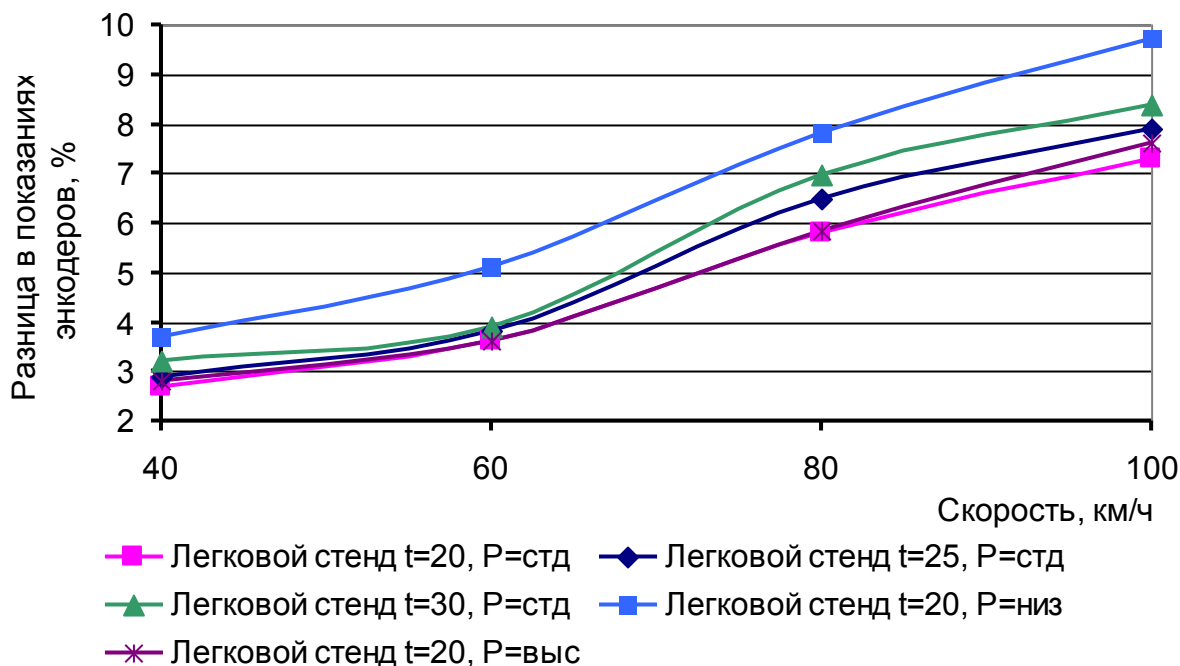


Рис. 4. Зависимость проскальзывания от скорости движения легкового стенда при изменении температуры и давления в шине (легковой стенд)

Обозначения: t – температура в шине; P – давление в шине

Анализ результатов (Рисунок 4) показывает, что наибольшее влияние на проскальзывание оказывает снижение давления в шине, при этом эффект наблюдается на всех скоростях движения. Это объясняется тем, что при снижении давления жесткость шины уменьшается, из-за чего её участки растягиваются сильнее. Рост расхождений в показаниях энкодеров наблюдается также при увеличении температуры в шине до 25-30°C, что в большей степени заметно при достижении скорости движения от 80 км/ч. Из результатов видно, что температура оказывает влияния на проскальзывание в случае, когда её рост способствует увеличению податливости автомобильной резины. Из анализа результатов можно сделать вывод о том, что увеличение температуры и снижения давления в шине обладают схожим механизмом воздействия на величину проскальзывания.

Были выполнены эксперименты по определению проскальзывания на грузовом стенде.

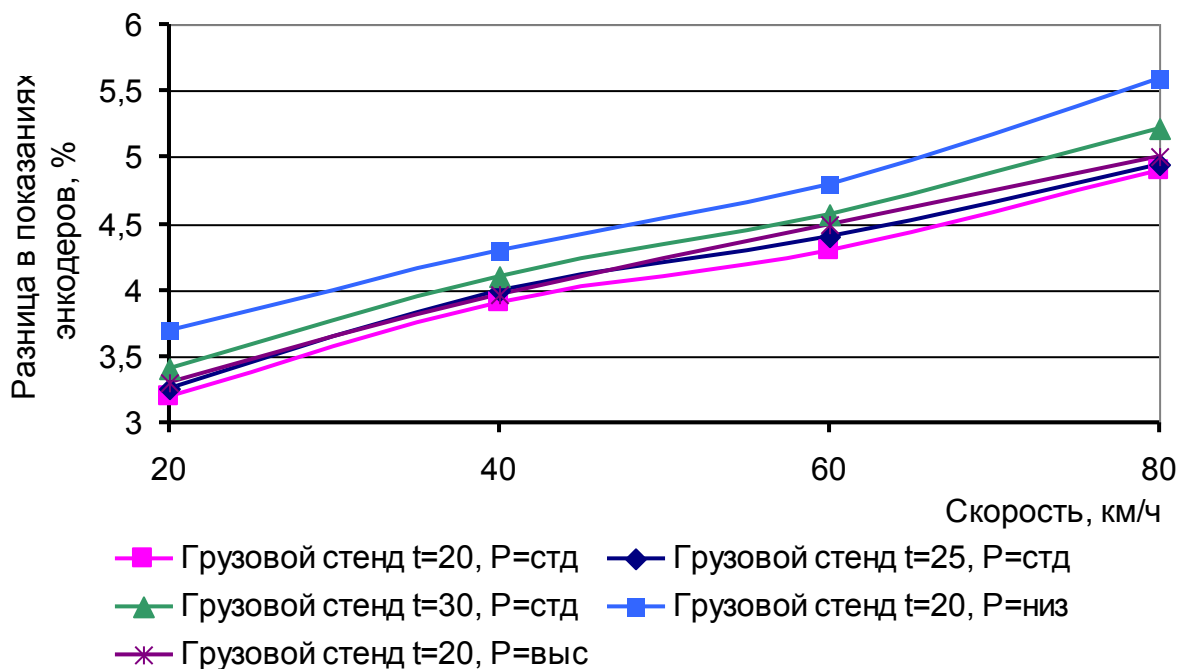


Рис. 5. Зависимость проскальзывания от скорости движения грузового стенда при изменении температуры и давления в шине (грузовой стенд)

Обозначения: t – температура в шине; P – давление в шине

Результаты аналогичных экспериментов на грузовом стенде показывают схожую зависимость (Рисунок 5). Наблюдается увеличение расхождения показателей энкодеров ведущих и ведомых колес при увеличении скорости движения. Однако, в силу более низких по сравнению с легковым стендом скоростей и большей площадью контакта грузового колеса с покрытием, характер изменения показателя более плавный. Наибольшее влияние на проскальзывание колеса на обоих стендах оказывает пониженное давление в шине. Нужно отметить, что численные значения проскальзывания могут использоваться при сравнительных испытаниях автомобильной резины различных производителей.

Выполненные эксперименты и разработанная методика оценки проскальзывания при двух переменных факторах показывает, что экспериментальное определение величины проскальзывания на стенде КУИДМ-2 обладает преимуществами по сравнению с другими методами. В частности, измерения выполняются в условиях, приближенных к реальным, не требуется сложного измерительного оборудования, кроме энкодеров, также при необходимости может оцениваться износ шин в процессе испытаний.

По выполненным работам сделаны следующие выводы:

- экспериментальное определение величины проскальзывания колеса может быть выполнено на комплексе КУИДМ-2 с использованием энкодеров;
- выполненные исследования показывают зависимость проскальзывания от скорости движения;
- на величину проскальзывания оказывают влияние температура и давление в автомобильной шине;
- разработанная методика измерения проскальзывания может эффективно применяться при сравнительных испытаниях автомобильных шин.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Работа автомобильной шины. Под ред. В.И. Кнороза. - М.: Транспорт. 1976. - 238 с.
- 2 Смирнов Г.А. Теория движения колесных машин. –М.: Машиностроение,1990.- 352 с.
- 3 Thomas Dieckmann. Assessment of road grip by way of measured wheel variables. In Proceedings of FISITA. Loudon. June 1992.
- 4 D.F. Moore. Friction and wear in rubbers and tyres. Wear, 61:273–282, 1980.
- 5 Павлюк, А.С. Определение проскальзывания пневматического колеса относительно опорной поверхности при качении с уводом [Текст] / А.С. Павлюк, В.И. Поддубный // Ползуновский вестник. Исследование, моделирование и управление в технических системах и природной среде. –2003г. – N1-2. – С.24 – 30.
- 6 Пат. 2212645 Российская Федерация, С1 7 G01 M17/02. Устройство для измерения проскальзывания протектора шины относительно опорной поверхности [Текст] / В.И. Поддубный, А.С. Павлюк А.В. Нарожный; заявитель и патентообладатель АлтГТУ им. И. И. Ползунова. – Заявл. 01.04.2002; опубл. 20.09.12.2003, Бюл. № 26.
- 7 Васильев Ю.Э., Беляков А.Б., Субботин И.В., Малофеев А.С. Шум, как показатель сцепных свойств дорожного покрытия // Интернет-журнал «Наукоедение». 2013 №6 (19) [Электронный ресурс].-М. 2013. – Режим доступа: <http://naukovedenie.ru/PDF/74TVN613.pdf>, свободный – Загл. с экрана.
- 8 Каменев В. В., Васильев Ю. Э., Беляков А. Б., Кольников И. В. Испытания на стационарной системе для фото и видео фиксации пятна контакта шины Кругового Универсального Испытательного стенда Дорожных Материалов (КУИДМ-2) // Интернет-журнал «Наукоедение». 2013 №6 (19) [Электронный ресурс].-М. 2013. – Режим доступа: <http://naukovedenie.ru/PDF/111TVN613.pdf>, свободный – Загл. с экрана.
- 9 Кузьмин Н. А. Техническая эксплуатация автомобилей : закономерности изменения работоспособности : учеб. пособие / Н.А. Кузьмин. – Москва: ФОРУМ, 2011. – 208 с.
- 10 Кислицин Н.М. Долговечность автомобильных шин в различных режимах движения. – Н.Новгород.: Волго-Вятское кн. изд-во, 1992. – 232 с.
- 11 Анализ срока службы современных цементных бетонов / П.Б.Рапопорт, Н.В.Рапопорт, В.Г.Полянский, Е.Р.Соколова, Р.Б.Гарибов, А.В.Кочетков, Л.В.Янковский // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 4. С. 92.
- 12 Методологические основы оценки технических рисков в дорожном хозяйстве / Н.Е.Кокодеева, В.В.Талалай, А.В.Кочетков, Л.В.Янковский, С.П. Аржанухина // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Урбанистика. 2011. № 3. - С. 38-49.
- 13 Стандартизация испытаний строительных, дорожных материалов и изделий / И.Б.Челпанов, С.М.Евтеева, В.В.Талалай, А.В.Кочетков, Б.С. Юшков // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета.

- Охрана окружающей среды, транспорт, безопасность жизнедеятельности. 2011. № 2. - С. 57-68.
- 14 Кочетков А.В. Шероховатые поверхности: нормирование, проектирование и устройство / А.В.Кочетков, Суслиганов П.С. // Автомобильные дороги. 2005. № 1. - С. 54.
- 15 Разработка принципов проектирования и программирования робототехнического комплекса поверхностной обработки / Р.Н.Абуталипов, А.В.Кочетков, В.И. Ермолаев // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2004. Т. 4. № 1 (5). - С. 27-33.
- 16 Статистические методы контроля качества при производстве цементобетона и цементобетонных смесей / Ю.Э.Васильев, В.Г.Полянский, Е.Р.Соколова, Р.Б.Гарибов, А.В.Кочетков, Л.В. Янковский // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 4. - С. 101.

Рецензент: Кочетков Андрей Викторович, профессор, доктор технических наук, Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.

REFERENCES

- 1 Rabota avtomobil'noj shiny. Pod red. V.I. Knoroza. - M.: Transport. 1976. - 238 s.
- 2 Smirnov G.A. Teorija dvizhenija kolesnyh mashin. –M.: Mashinostroenie,1990.- 352 s.
- 3 Thomas Dieckmann. Assessment of road grip by way of measured wheel variables. In Proceedings of FISITA. Loudon. June 1992.
- 4 D.F. Moore. Friction and wear in rubbers and tyres. Wear, 61:273–282, 1980.
- 5 Pavljuk, A.S. Opredelenie proskal'zyvaniya pnevmaticheskogo kolesa otnositel'no opornoj poverhnosti pri kachenii s uvodom [Tekst] / A.S. Pav-ljuk, V.I. Poddubnyj // Polzunovskij vestnik. Issledovanie, modelirovanie i upravlenie v tehniceskikh sistemah i prirodnoj srede. –2003g. – N1-2. – S.24 – 30.
- 6 Pat. 2212645 Rossijskaja Federacija, S1 7 G01 M17/02. Ustrojstvo dlja izmerenija proskal'zyvaniya protektora shiny otnositel'no opornoj poverhnosti [Tekst] / V.I. Poddubnyj, A.S. Pavljuk A.V. Narozhnyj; zajavitel' i patentoobladatel' AltGTU im. I. I. Polzunova. – Zajavl. 01.04.2002; opubl. 20.09.12.2003, Bjul. № 26.
- 7 Vasil'ev Ju.Je., Beljakov A.B., Subbotin I.V., Malofeev A.S. Shum, kak pokazatel' scepnyh svojstv dorozhnogo pokrytija // Internet-zhurnal «Naukovedenie». 2013 №6 (19) [Elektronnyj resurs].-M. 2013. – Rezhim dostupa: <http://naukovedenie.ru/PDF/74TVN613.pdf>, svobodnyj – Zagl. s jekrana.
- 8 Kamenev V. V., Vasil'ev Ju. Je., Beljakov A. B., Kol'nikov I. V. Ispytanija na stacionarnoj sisteme dlja foto i video fiksacii pjatna kontakta shiny Krugovogo Universal'nogo Ispytatel'nogo stenda Dorozhnyh Materialov (KUIDM-2) // Internet-zhurnal «Naukovedenie». 2013 №6 (19) [Elektronnyj resurs].-M. 2013. – Rezhim dostupa: <http://naukovedenie.ru/PDF/111TVN613.pdf>, svobodnyj – Zagl. s jekrana.
- 9 Kuz'min N. A. Tehniceskaja jekspluatacija avtomobilej : zakonomernosti izmenenija rabotosposobnosti : uceb. posobie / N.A. Kuz'min. – Moskva: FORUM, 2011. – 208 s.
- 10 Kislicin N.M. Dolgovechnost' avtomobil'nyh shin v razlichnyh rezhimah dvizhenija. – N.Novgorod.: Volgo-Vjatskoe kn. izd-vo, 1992. – 232 s.
- 11 Analiz sroka sluzhby sovremennyh cementnyh betonov / P.B.Rapoport, N.V.Rapoport, V.G.Poljanskij, E.R.Sokolova, R.B.Garibov, A.V Kochetkov., L.V. Jankovskij // Sovremennye problemy nauki i obrazovanija. 2012. № 4. - S. 92.
- 12 Metodologicheskie osnovy ocenki tehniceskikh riskov v dorozhnom hozjajstve / N.E.Kokodeeva, V.V.Talalaj, A.V.Kochetkov, L.V.Jankovskij, S.P. Arzhanuhina // Vestnik Permskogo nacional'nogo issledovatel'skogo politehnicheskogo universiteta. Urbanistika. 2011. № 3. - S. 38-49.
- 13 Standartizacija ispytanij stroitel'nyh, dorozhnyh materialov i izdelij / I.B.Chelpanov, S.M.Evteeva, V.V.Talalaj, A.V.Kochetkov, B.S. Jushkov // Vestnik Permskogo nacional'nogo issledovatel'skogo politehnicheskogo universiteta. Ohrana okruzhajushhej sredy, transport, bezopasnost' zhiznedateljnosti. 2011. № 2. - S. 57-68.
- 14 Kochetkov A.V. Sherohovatye poverhnosti: normirovanie, proektirovanie i ustrojstvo / A.V.Kochetkov, Susliganov P.S. // Avtomobil'nye dorogi. 2005. № 1. - S. 54.

- 15 Razrabotka principov proektirovanija i programmirovanija robototehničeskogo kompleksa poverhnostnoj obrabotki / R.N.Abutalipov, A.V.Kochetkov, V.I. Ermolaev // Vestnik Saratovskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta. 2004. T. 4. № 1 (5). - S. 27-33.
- 16 Statističeskie metody kontrolja kachestva pri proizvodstve cementobetona i cementobetonnyh smesej / Ju.Je.Vasil'ev, V.G.Poljanskij, E.R.Sokolova, R.B.Garibov, A.V.Kochetkov, L.V. Jankovskij // Sovremennye problemy nauki i obrazovanija. 2012. № 4. - S. 101.