

УДК 629.3.027.5:629.016

Характеристики широкопрофильной автомобильной шины на крупных неровностях

Фоминых А. Б.¹, Жеглов Л. Ф.^{1,*}

^{*}tereza@bmstu.ru

¹МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Определение динамических нагрузок в трансмиссии колесной машины при преодолении инженерных сооружений требует моделирования взаимодействия шины со структурами, имеющими большие габариты. Особое внимание следует уделять оценке нагрузочных характеристик шины при ее взаимодействии с единичными неровностями. Размеры единичных неровностей должны соответствовать геометрическим характеристикам пятна контакта шины с опорной поверхностью. В работе представлены результаты экспериментального определения в стендовых условиях коэффициентов радиальной и крутильной жесткости широкопрофильной шины модели И-247 на треугольных и пороговых неровностях при различном сочетании параметров нагрузочного режима шины.

Ключевые слова: колесная машина, шина, треугольная неровность, пороговая неровность, коэффициент радиальной жесткости шины, коэффициент крутильной жесткости шины, давление воздуха в шине, радиальная нагрузка на колесо, крутящий момент

Введение

Эксплуатационные параметры современных многоосных автомобилей высокой проходимости [1, 2] позволяют преодолевать им различные инженерные сооружения: кюветы, окопы, насыпи и т.д. Теоретическое исследование процесса нагружения трансмиссии в этих условиях предполагает наличие характеристик всех элементов силовой передачи, а также нагрузочных характеристик шины при её взаимодействии как с плоской поверхностью, так и с единичными неровностями различной формы и размеров.

Известны исследования [3–7] нагрузочных характеристик некоторых моделей шины на различных по форме коротких неровностях. Длина таких неровностей устанавливалась меньше длины отпечатка шины на плоской поверхности при статической нагрузке на колесо.

Экспериментальное определение характеристик шины в радиальном и окружном направлениях

В настоящей работе приводятся результаты экспериментального определения нагрузочных характеристик широкопрофильной автомобильной шины модель И-247 (1200х500-508) на неровностях большой длины при статическом приложении силовых факторов в радиальном и окружном направлениях. Фиксация неровности относительно опорной плиты осуществлялась упорами с датчиками 4 (рис. 1).

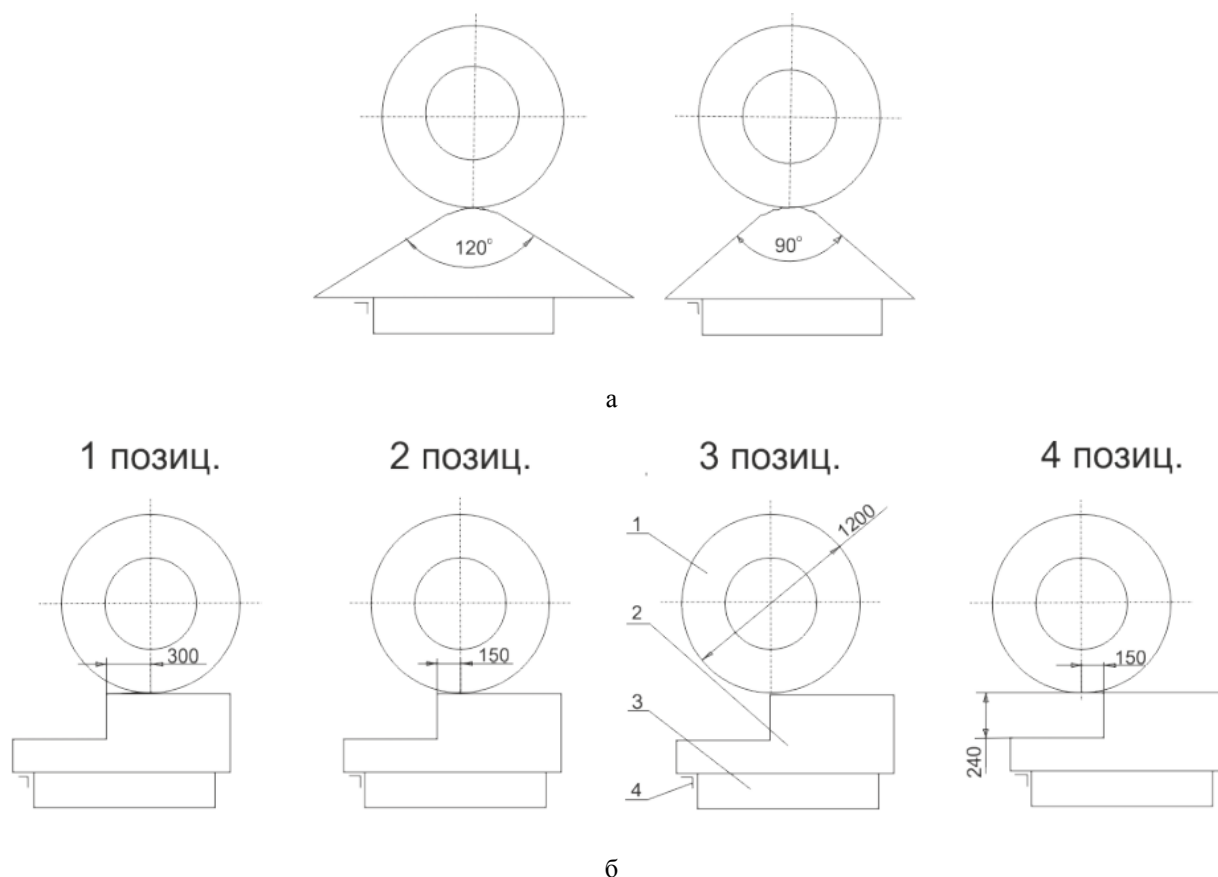


Рис. 1. Схемы установки колеса на неровностях: а- треугольных; б – пороговых

В качестве неровностей использовались: треугольные неровности (рис. 1, а) - две трехгранных призмы с углами при вершине, равными 120° и 90° и скругленными радиусом 100 мм; пороговые неровности, размеры которых были выбраны так, чтобы при всех измерениях шина 1 имела контакт только с неровность 2 (рис. 1, б). Поверхность контакта шины с неровностями – гладкая поверхность, выполненная из стального листа.

Испытания проводились на специальном стенде (рис. 2). Ось колеса 1 устанавливалась в подшипниковых опорах, закрепленных неподвижно на раме стенда. Радиальная нагрузка создавалась подъемом опорной плиты 2 с помощью

электродвигателя и механизма винт-гайка и измерялась тензодатчиками 3, установленными в углах опорной плиты. Вертикальное перемещение опорной плиты и угловые перемещения ступицы колеса измерялись соответственно с помощью рейки и угломера. Крутящий момент $M_k = M$ создавался силой P , которая генерировалась гидравлической системой, вычислялся как произведение горизонтальной силы, измеренной с помощью датчиков 4, и статического радиуса колеса.

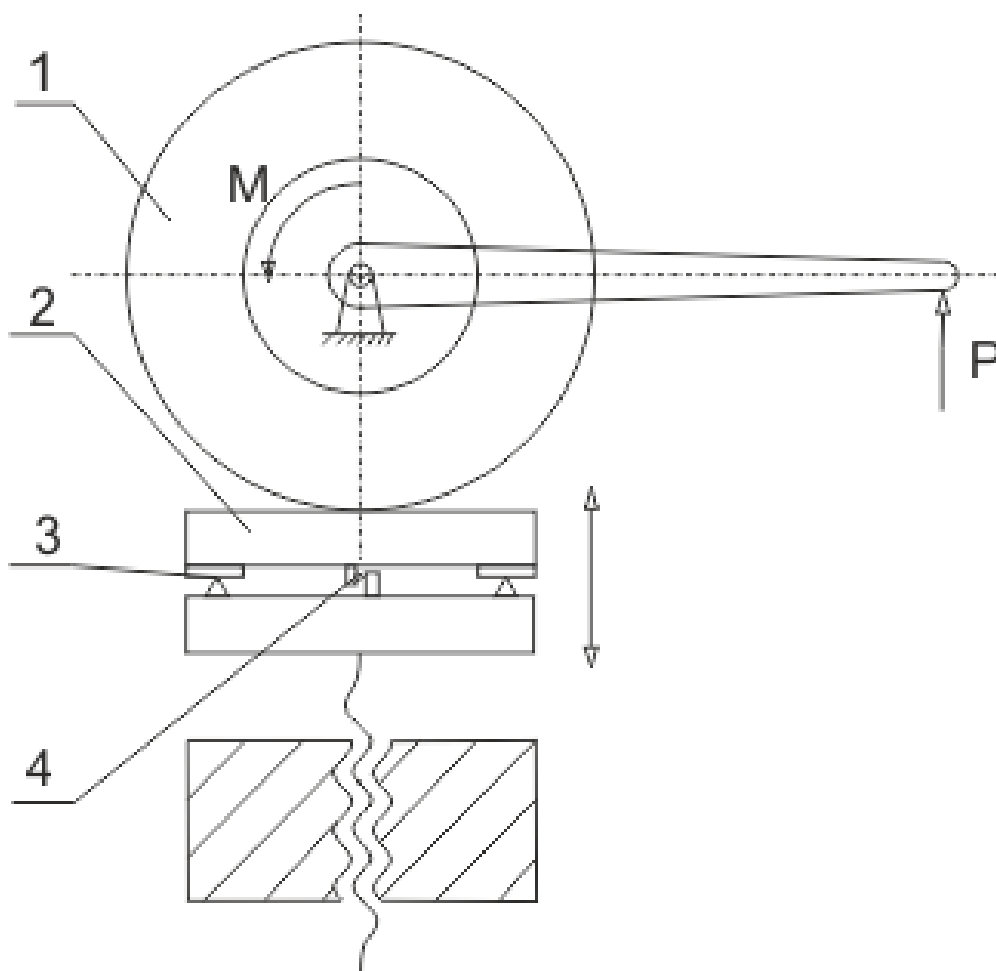


Рис. 2. Схема стенда для снятия характеристик шины

При экспериментах на треугольных неровностях за статический радиус принималось расстояние от оси вращения колеса до центра тяжести линии пересечения отпечатка шины на неровности с продольной плоскостью симметрии колеса. При этом дополнительно предполагалось, что указанный центр тяжести совпадает с центром отпечатка шины на неровности (если рассматривать отпечаток как поверхность в трехмерном пространстве). Учет данного обстоятельства, как показали испытания, в большинстве случаев, не является существенным (измерения проводились при внутреннем давлении воздуха в шине, равном 0,35 и 0,20 МПа). Превышение

вычисленного таким образом значения статического радиуса над расстоянием от оси вращения колеса до скругленной вершины треугольной неровности составляло 4...8 мм (1 - 2 %), в некоторых случаях при $p_w=0,05$ МПа – 20...40 мм (6 -12 %). Для сравнения определялись нагрузочные характеристики шины на плоской опорной стальной плите.

В случае испытаний на пороговой неровности за статический радиус колеса принималось расстояние от оси вращения колеса до верхней горизонтальной грани неровности, так как при всех измерениях отсутствовал контакт шины с передней вертикальной стенкой неровности. Однако, имело место при определенных условиях значительное опускание части шины ниже верхней горизонтальной грани пороговой неровности.

На рис. 3 - 4 представлены нагрузочные характеристики $P_k(h)$ (P_k – радиальная сила, h – радиальная деформация) шины при ее радиальном деформировании. Каждая точка на графиках определена усреднением по трем измерениям. Дополнительно производилось усреднение между измеренными показателями при режимах нагрузки и разгрузки.

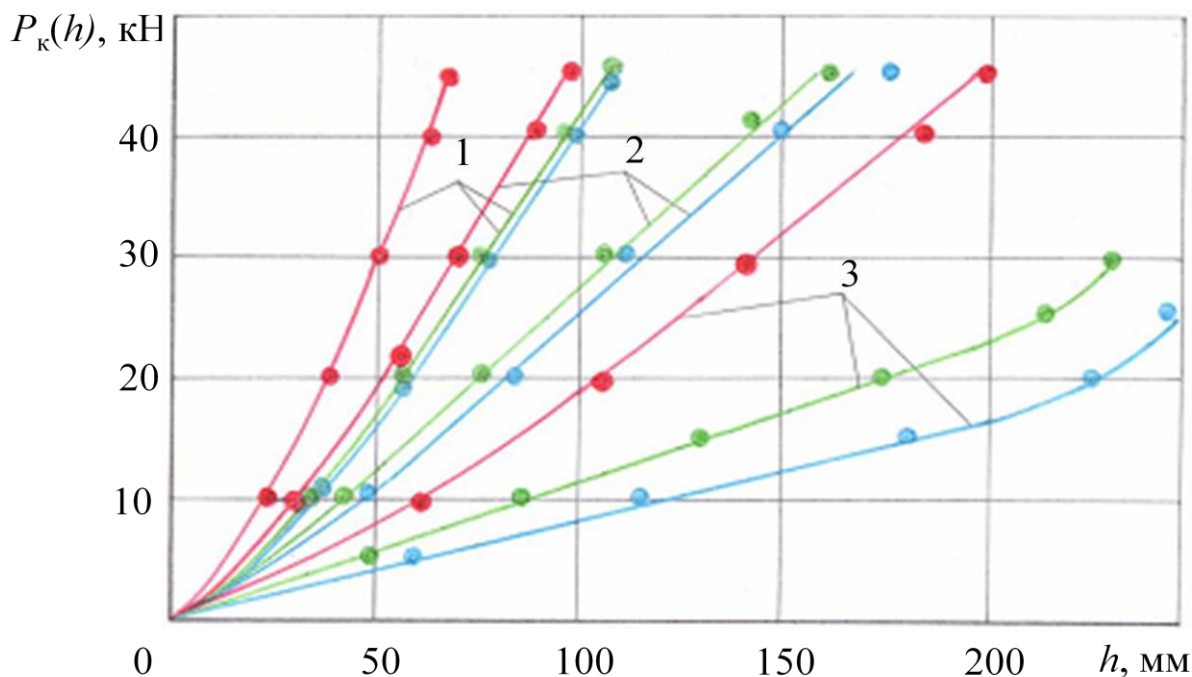


Рис. 3. Нагрузочные характеристики $P_k(h)$ шины на треугольных неровностях: ● - плоскость, ● - угол 120°, ● - угол 90°; 1- 0,35 МПа, 2 – 0,1 МПа, 3- 0,05 МПа

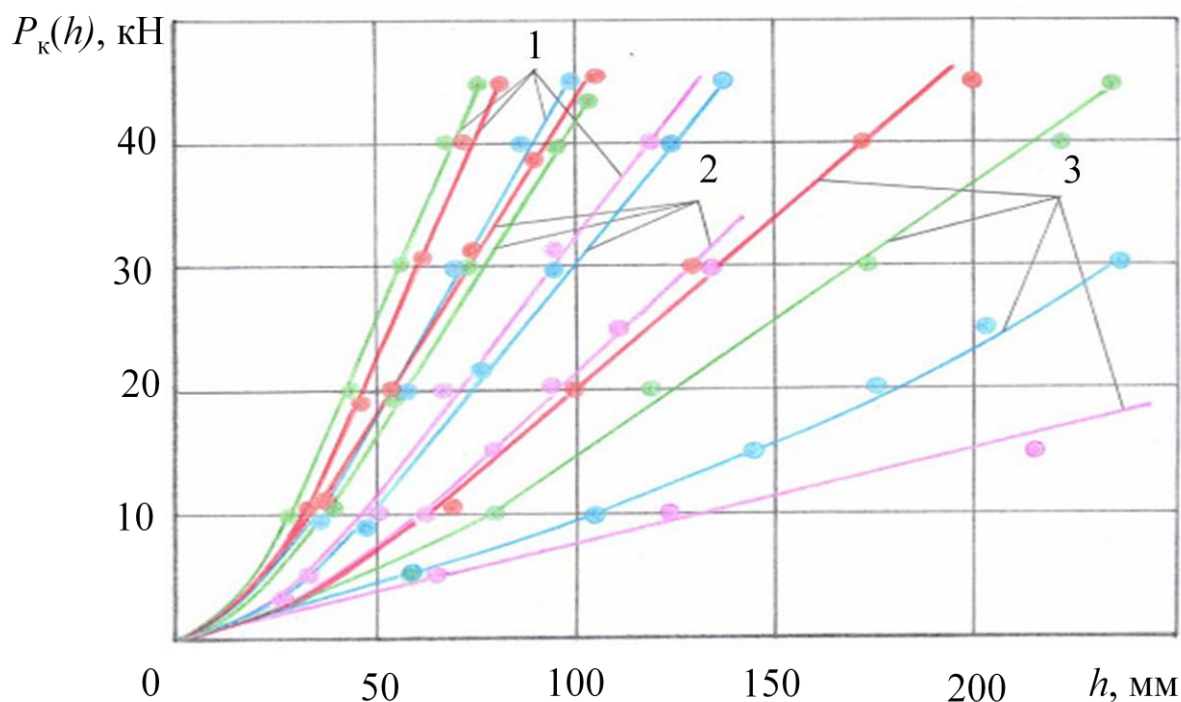


Рис. 4. Нагрузочные характеристики $P_k(h)$ шины на пороговых неровностях: ● - 1 позиция, ● - 2 позиция, ● - 3 позиция, ● - 4 позиция; 1- 0,35 МПа, 2 – 0,1 МПа, 3- 0,05 МПа

Отметим, что аналогично испытаниям на плоской опорной поверхности, определяемые на неровностях нагрузочные характеристики шины, имеют в зоне, близкой к началу координат, нелинейный характер. Исключение составляют нагрузочные характеристики на треугольных неровностях при внутреннем давлении воздуха в шине $p_w=0,05$ МПа. В зоне близкой к началу координат они имеют линейную аппроксимацию. При больших нагрузках наблюдается резкое увеличение жесткости шины. Это вызвано смятием боковины шины и повышенным сопротивлением резинокордной оболочки, зажатой между ободом колеса и неровностью.

В табл.1 приведены значения коэффициентов радиальной жесткости шины на различных неровностях на линейном участке нагрузочной характеристики в абсолютных и относительных величинах (в сравнении с контактом на плоскости при одинаковом внутреннем давлении воздуха в шине).

Результаты проведенных испытаний показывают, что при переходе от плоского контакта к контакту с представленными неровностям максимальное уменьшение коэффициент радиальной жесткости шины составляет 50% при $p_w= 0,20$ МПа и $p_w=0,35$ МПа, 71% - при $p_w= 0,05$ МПа.

Таблица 1. Зависимость коэффициента радиальной жесткости, кН/м (%), широкопрофильной шины модели И-247 от вида опорной поверхности и внутреннего давления воздуха в шине

Вид опорной поверхности	Характеристика опорной поверхности	p_w , МПа		
		0,05	0,20	0,35
Плоскость		260 (100)	570 (100)	820 (100)
Треугольная неровность	120°	115 (44)	300 (53)	500 (61)
	90°	85 (33)	290 (51)	500 (61)
Пороговая неровность	1-я позиция	260 (100)	520 (91)	760 (93)
	2-я позиция	220 (85)	545 (96)	760 (93)
	3-я позиция	130 (50)	380 (67)	550 (67)
	4-я позиция	75 (29)	310 (54)	410 (50)

На рис. 5 - 6 показаны нагрузочные характеристики $M_k(\beta)$ (M_k – крутящий момент, β – угловая деформация) шины при ее угловом деформировании. Исходные данные для построения рассматриваемых нагрузочных характеристик были получены усреднением измерений аналогично представленным ранее.

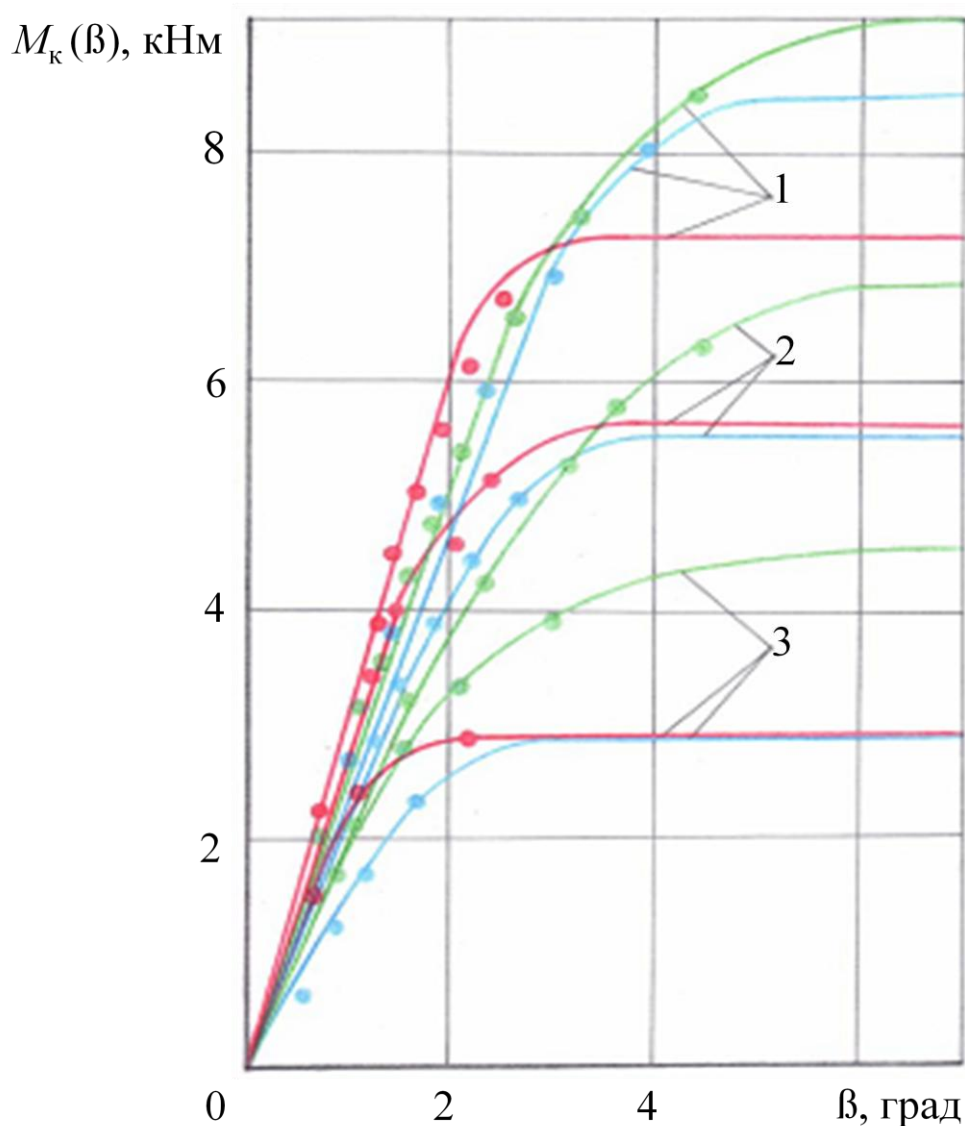


Рис. 5. Нагрузочные характеристики $M_k(\beta)$ шины на треугольных неровностях при давлении $p_w=0,35$ МПа:
● - плоскость, ● - угол 120° , ● - угол 90° ; 1 - 30 кН, 2 - 20 кН, 3 - 10 кН

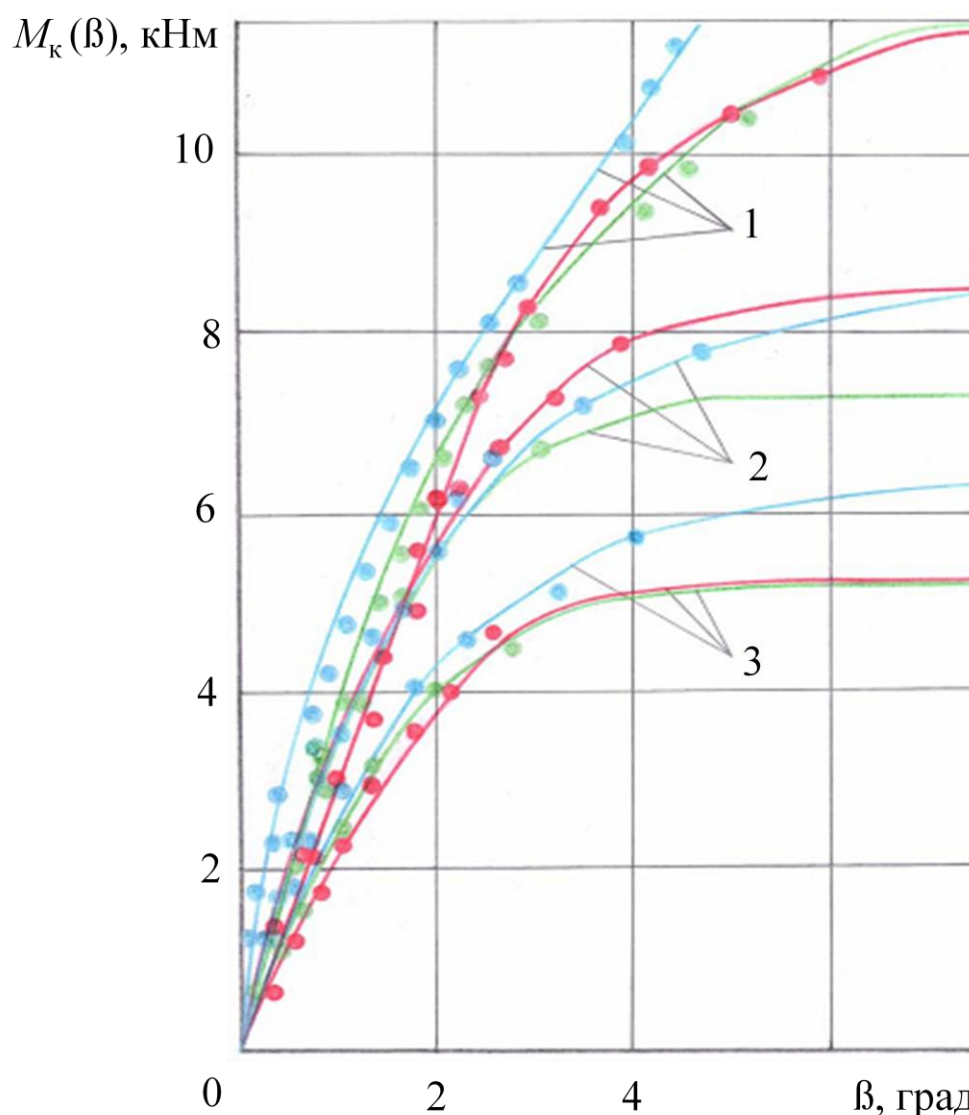


Рис.6. Нагрузочные характеристики $M_k(\beta)$ шины на пороговых неровностях при $p_w=0,35$ МПа: ● - 1 позиция, ● - 2 позиция, ● - 3 позиция; 1 - 30 кН, 2 - 20 кН, 3 - 10 кН

Вид нагрузочных характеристик $M_k(\beta)$ шины, полученных на неровностях, аналогичен их изменению при контакте с плоскостью. Особенности стенда не позволили во всех случаях проводить измерения при скольжении колеса вследствие подъема передней части неровности вместе с опорной плитой.

В таблице 2 приведены значения коэффициента крутильной жесткости шины на начальном линейном участке характеристики в зависимости от вида опорной поверхности, внутреннего давления воздуха в шине и радиальной нагрузки на колесо. Относительные величины показывают в процентах изменение крутильной жесткости шины при контакте с неровностями и плоскостью.

Таблица 2. Зависимость коэффициента крутильной жесткости, кНм/рад (%), широкопрофильной шины модели И-247 от вида опорной поверхности, радиальной нагрузки на колесо и внутреннего давления воздуха в шине

Вид опорной поверх- ности	Характе- ристика опорной поверх- ности	p_w , МПа								
		0,05			0,20			0,35		
		P_k , кН								
		10	20	30	10	20	30	10	20	30
Плос- кость		86 (100)	86 (100)	76 (100)	137 (100)	150 (100)	150 (100)	129 (100)	156 (100)	172 (100)
Тре- угольная неров- ность	120 ⁰	66 (77)	70 (81)	72 (95)	80 (58)	103 (69)	112 (74)	80 (62)	124 (80)	142 (82)
	90 ⁰	53 (61)	41 (48)	36 (47)	108 (78)	113 (75)	99 (66)	109 (85)	115 (74)	146 (85)
Порого- вая неров- ность	1–я позиция	86 (100)	80 (93)	69 (91)	131 (95)	140 (93)	140 (93)	125 (97)	166 (107)	178 (103)
	2–я позиция	78 (91)	77 (90)	69 (91)	126 (92)	145 (96)	137 (92)	137 (107)	175 (112)	189 (110)
	3–я позиция	72 (83)	57 (67)	---	95 (69)	95 (69)	119 (79)	140 (109)	168 (108)	176 (103)

Приведенные в таблице 2 результаты испытаний показывают, что при переходе от контакта шины с плоскостью к контакту с неровностями происходит уменьшение крутильной жесткости шины, причем более значительно на треугольных неровностях – до 52%, чем на пороговых – до 33%. Исключение составляют характеристики крутильной жесткости на пороговых неровностях при $p_w=0,35$ МПа. Здесь имеет место обратная тенденция – увеличение крутильной жесткости шины до 12%.

Заключение

Приведенные результаты экспериментальных исследований позволяют дать следующее заключение:

- современные условия эксплуатации полноприводных многоосных автомобилей определяют особенности моделирования динамики трансформации ходовой частью и трансмиссией детерминированного возмущения от дорожной поверхности;
- результаты измерений дают возможность выполнить полноценную аппроксимацию нагрузочных характеристик шины для математического моделирования не стационарности процесса сглаживания шиной единичной неровности;
- для оценки максимальных нагрузок и расчетных нагрузочных режимов агрегатов и систем конструкции при преодолении автомобилем инженерных сооружений и крупных неровностей полученные экспериментальные данные обеспечивают возможность учитывать нелинейные особенности изменения характеристик шины при ее радиальном и крутильном деформировании.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках договора №9905/17/07-к-12 между ОАО «КАМАЗ» и МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Список литературы

1. Жилейкин М.М. Разработка статического алгоритма управления подвеской многоосных колесных машин: автоматизированное преодоление эскарпа // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2011. № 8. Режим доступа: <http://technomag.edu.ru/doc/347058.html> (дата обращения 01.10.2015).
2. Жилейкин М.М. Разработка статического алгоритма управления подвеской многоосных колесных машин: автоматизированное преодоление траншеи // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2011. № 9. Режим доступа: <http://technomag.edu.ru/doc/347098.html> (дата обращения 01.10.2015).
3. Рзаев А.Р. Исследование движения автомобильного колеса по коротким неровностям дороги: дис. ... канд. техн. наук. М., МАДИ, 1970.
4. Воронин В.В., Кондрашов В.Н., Тимаев Д.М. Механические характеристики автомобильных шин // Известия МГТУ «МАМИ». 2010. № 2. С. 19-23.
5. Левенков Я.Ю., Вольская Н.С. Сглаживающая способность пневматической шины автомобильного колеса при взаимодействии с твердой неровной поверхностью // Технология колесных и гусеничных машин. 2015. № 1. С. 20-26.
6. Рахубовский Ю.С., Кельман И.И., Лакатош Ю.А., Хомин В.Ф., Рахубовская И.Ю. Прибор для определения жесткости пневматической шины: пат. RUS 2042936. 1995.
7. Вольская Н.С., Левенков А.Ю., Русанов О.А. Моделирование взаимодействия автомобильного колеса с неровной опорной поверхностью // Машиностроение и инженерное образование. 2011. № 4 (29). С. 40-46.

Wide-section Tire Features on Large Bumps

A.B. Fominyh¹, L.F. Jeglov^{1,*}

[*tereza@bmstu.ru](mailto:tereza@bmstu.ru)

¹Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

Keywords: wheeled vehicle, tire, triangular roughness, threshold roughness, the ratio of radial stiffness of the tire, the ratio of torsion stiffness of the tire, the air pressure in the tire, the radial l wheel load, torque

Operating characteristics of modern multi-axle off-road vehicles allow them to overcome successfully various engineering structures such as ditches, trenches, embankments, etc. A theoretical study of the transmission loading process under these conditions requires knowledge of characteristics of all power train elements, including those of the tire when it contacts the plane and large bump.

The paper presents research results of wide-section tire characteristics of the model I-247 (1200x500-508) on the long length bumps under static loading by radial force and torque at the internal air pressure in the tire of 0.35, 0.20, and 0.05 MPa. The research has been conducted on a special stand. As the bumps, were used two triangular prisms with the rounding vertex angles of 120 ° and 90 ° having radius of 100 mm. The threshold bumps were used as well. Their sizes were selected so that in all measuring options a tire was in contact with bump.

The nature of tires load behavior on the bumps with radial and angular deformation and in contact with the plane, essentially, does not differ. With such shapes and sizes of bumps a contact surface appearance has less impact on the tire torsion stiffness than on the radial one. Thus, at a nominal internal tire pressure of 0.35 MPa, a torsion stiffness of the tire is decreased, in average, by 5%, while the radial one is reduced by 25% when there is a transition from the contact on the plane to the contact with bumps.

It should be noted that at the transition from the plane contact to the that of with bumps the limit values of the tire radial stiffness ratio are significantly reduced, namely: up to 50% at internal tire pressure of 0.20 and 0.35 MPa, and up to 71% at internal tire pressure of 0.05 MPa.

The results of experimental research enable the following mathematical modeling: full approximation of tire load characteristics in case of instability of its smoothing a single bump; maximum loads and calculation of load modes of units and systems when a vehicle overcomes engineering structures and large bumps, taking into account the nonlinear features of tire behavior in its radial and torsion deformation.

References

1. Zhileikin M.M. Static algorithm of control of a suspension bracket of multi-wheeled vehicles: the automated overcoming of the escarp. *Nauka i obrazovanie MGTU im. N.E. Baumana = Science and Education of the Bauman MSTU*, 2011, no. 8. Available at: <http://technomag.edu.ru/doc/347058.html> , accessed 01.10.2015. (in Russian).
2. Zhileikin M.M. Static algorithm of control of a suspension bracket of multi-wheeled vehicles: the automated overcoming of the trench. *Nauka i obrazovanie MGTU im. N.E. Baumana = Science and Education of the Bauman MSTU*, 2011, no. 9. Available at: <http://technomag.edu.ru/doc/347098.html> , accessed 01.10.2015. (in Russian).
3. Rzaev A.R. *Issledovanie dvizheniya avtomobil'nogo koleasa po korotkim nerovnostyam dorogi. Kand. dis.* [Study of movement of road wheels on short road bumps. Cand. dis.], Moscow, MADI, 1970. (in Russian, unpublished).
4. Voronin V.V., Kondrashov V.N., Timaev D.M. Mechanical properties of automotive tyres. *Izvestiya MGTU "MAMI"*, 2010, no. 2, pp. 19-23. (in Russian).
5. Levenkov Ya.Yu., Vol'skaya N.S. The smoothing ability of an automobile wheel pneumatic tyre in its interaction with hard and rugged bearing surface. *Tekhnologiya kolesnykh i gusenichnykh mashin = Technology of Wheeled and Tracked Machines*, 2015, no. 1, pp. 20-26. (in Russian).
6. Rakhubovskii Yu.S., Kel'man I.I., Lakatosh Yu.A., Khomin V.F., Rakhubovskaya I.Yu. *Pribor dlya opredeleniya zhestkosti pnevmaticheskoi shiny* [Device for determining the hardness of tire]. Patent RF, no. 2042936, 1995. (in Russian).
7. Vol'skaya N.S., Levenkov A.Yu., Rusanov O.A. Modelling of automobile wheel interaction with uneven ground contact area. *Mashinostroenie i inzhenernoe obrazovanie = Mechanical engineering and engineering education*, 2011, no. 4, pp. 40-46. (in Russian).