

УДК 629.113.012.5

Безвоздушные шины. Опыт разработки и результаты испытаний

С.П. Рыков^a, В.В. Мазур^b, С.Н. Тетерин^c

Братский государственный университет, ул. Макаренко 40, Братск, Россия

^aRSP7-8-48@rambler.ru, ^bmazurvv@yandex.ru, ^cTSN@mail.ru

Статья поступила 13.09.2013, принята 16.11.2013

Колесо с пневматической шиной имеет существенный недостаток, заключающийся в прекращении движения машины при потере в шине избыточного давления воздуха, что может привести к дорожно-транспортному происшествию с тяжелыми последствиями. Другими недостатками пневматических шин являются сложность технологических процессов и большие энергозатраты на их утилизацию. Достижения химии полимеров позволяют создавать автомобильные шины новой конструкции, работоспособность которых обеспечивается не давлением сжатого воздуха, а физико-механическими свойствами применяемых конструкционных материалов, например, эластичных полиуретанов. На кафедре «Автомобильный транспорт» Братского государственного университета были разработаны конструкции и изготовлены экспериментальные образцы колес с безвоздушными шинами. Для изготовления безвоздушных шин применялись двухкомпонентные литьевые полиуретаны горячего отверждения. Испытания шин проводились на стендах кафедры и на легковом автомобиле. Оценка упругих и демпфирующих свойств безвоздушных шин осуществлялась по характеристикам нормальной жесткости, построенным в режиме квазистатического нагружения. Влияние новых конструкций безвоздушных колес на эксплуатационные свойства автомобиля оценивалось с помощью экспертных критериев по уровню вибраций, шуму, устойчивости движения, управляемости, держанию дороги. Результаты экспериментальных исследований позволили отобрать наиболее соответствующую рецептуру полиуретана, отработать технологию изготовления шин и колес, внести рациональные изменения в конструкцию шин и усовершенствовать их технико-эксплуатационные характеристики. Применение эластичных полиуретанов позволяет решить, пусть и частично, задачу повторного использования выведенных из эксплуатации автомобильных шин и тем самым снизить остроту проблемы их утилизации. Предлагаемое решение основывается на замещении сжатого воздуха упругими полимерными элементами, выполняемыми в виде незамкнутых колец прямоугольного сечения, которые монтируются внутрь изношенной или некондиционной покрышки. Для обоснования размеров сечения упругих элементов и их количества для колеса конкретного транспортного средства выполнены расчетные исследования. Для опытной проверки конструктивных решений и расчетов был изготовлен опытный образец колеса на базе изношенной на 90 % шины Dunlop 235/75 R15 с установленными полиуретановыми кольцами. Экспериментальные исследования колеса проводились на шинных стендах кафедры, результаты представлялись в виде характеристик нормальной жесткости и зависимостей амплитудных значений силы неупругого сопротивления от прогиба шины для оценки упругих и поглощающих свойств. В статье показано, что новые конструкции безвоздушных шин, параметры которых обоснованы расчетом и подтверждены экспериментом, являются вполне работоспособными и позволяют решить проблемы утилизации некондиционных покрышек и безопасности движения автомобилей.

Ключевые слова: колесный движитель, безвоздушная шина, эластичный полиуретан, эксперимент, расчет.

Airless tires. Development practice and testing results

S.P. Rykov^a, V.V. Mazur^b, S.N. Teterin^c

Bratsk State University, 40 Makarenko St, Bratsk, Russia

^aRSP7-8-48@rambler.ru, ^bmazurvv@yandex.ru, ^cTSN@mail.ru

Received 13.09.2013, accepted 16.11.2013

A wheeled running gear is a simple and most effective mechanism for converting rotary motion into linear one for a ground wheeled vehicle. However, a pneumatic tire has a significant disadvantage consisting in stopping the vehicle due to the loss of excessive air pressure in a tire that may lead to a serious traffic accident. Another drawback is the complexity of the pneumatic tire manufacturing processes and large amounts of energy to utilize them. Advances in polymer chemistry allow you to develop a new design of tires, and their performance is ensured not by the compressed air pressure but the physical and mechanical properties of structural materials used, for example, elastic polyurethanes. At the Motor Transport Department of Bratsk State University, the airless tire designs and experimental models have been developed and manufactured. To manufacture the airless tires, the two-component injection molding hot curing polyurethanes were used. The tire tests were carried out both at the test desks of the department and on a car. The assessment of elastic and damping properties of the airless tires was performed by the normal stiffness characteristics constructed in the quasi-static loading mode. The impact of new airless tire designs on the vehicle performance characteristics was assessed using the expert criteria in terms of vibration level, noise, motion stability, steering response, road holding. The experimental results allowed selecting the most appropriate polyurethane compounding, developing the technology for manufacturing tires and wheels, making rational changes in tires design and improving their technical performance. Application of elastic polyurethanes allows solving the problem of the decommissioning of used tires.

sioned tires reuse and, thereby, making the problem of their disposal less urgent. The proposed solution is based on replacing the compressed air with elastic polymeric elements in the form of non-closed rectangular in cross section rings, which are mounted inside the worn or substandard tires. In order to justify the size of the elastic elements cross section and their number for a particular vehicle wheels, the computational studies have been conducted. For experimental verification of the design decisions and calculations, a prototype was made based on the worn by 90% Dunlop 235/75 R15 tire with the installed polyurethane rings. Experimental studies were carried out at the wheel test desks of the Department, the results being reported in the form of the normal stiffness characteristics and dependencies between the inelastic resistance force amplitude and tire deflection to assess elastic and absorption properties. The paper shows that new designs of the airless tires are quite efficient and allow us to solve the problem of disposing of sub-standard tires and vehicles safety, their characteristics being substantiated by calculation and proved experimentally.

Keywords: wheeled running gear, airless tire, flexible polyurethane, experiment, calculation.

Введение. Колесо с традиционной пневматической шиной имеет существенный недостаток: в случае потери избыточного давления воздуха в шине движение колесной машины прекращается, а при движении машины с высокой скоростью возможно дорожно-транспортное происшествие с тяжелыми последствиями.

Другими недостатками пневматической шины являются сложность технологических процессов и большие энергозатраты на ее утилизацию, в результате чего в мире и России, в частности, скопилось огромное число выведенных из эксплуатации и некондиционных автомобильных покрышек.

Современные достижения химии полимеров позволяют создавать автомобильные шины новой конструкции, работоспособность которых обеспечивается не давлением сжатого воздуха, а физико-механическими свойствами применяемых конструкционных материалов, например, эластичных полиуретанов.

Созданием безвоздушных полиуретановых шин активно занимаются ведущие мировые компании – производители автомобильных шин, такие, как Michelin, Amerityre, Yokohama, Bridgestone, Hankook, Resilient Technologies и Polaris. В России над созданием автомо-

бильных шин без избыточного давления воздуха работает НИИ шинной промышленности. Следует отметить, что основные эксплуатационные свойства большинства современных автомобильных безвоздушных шин из эластичных полимерных материалов практически не отличаются от эксплуатационных свойств традиционных резинокордных пневматических. Кроме того, их применение позволяет повысить безопасность гражданских автомобилей и «живучесть» военной автомобильной техники, а также снизить трудоемкость обслуживания ходовой части колесных машин.

При финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках научно-исследовательской работы «Создание безвоздушных шин для наземных транспортных средств» на кафедре «Автомобильный транспорт» Братского государственного университета были разработаны конструкции и изготовлены экспериментальные образцы колес с безвоздушными шинами для легкового автомобиля малого класса [1, 2, 3, 4, 5], фотографии которых представлены на рис. 1, а технические показатели – в табл. 1.



Рис. 1. Экспериментальные образцы колес с безвоздушными шинами: а) – при квазистатическом нагружении на испытательном стенде, образец № 5; б) – в процессе качения в ведущем режиме, образец № 6

Разработка технологии. Для изготовления безвоздушных шин применялись двухкомпонентные литьевые полиуретаны горячего отверждения производства ООО «СУРЭЛ» (г. Санкт-Петербург) и ФКП «Пермский пороховой завод». Изготовление экспериментальных образцов колес с безвоздушными шинами осуще-

ствлялось в лабораториях кафедры «Автомобильный транспорт» методом литья в матрицы с последующим отверждением в полимеризационной камере собственной конструкции. Фотографии литейных матриц представлены на рис. 2.



Рис. 2. Матрицы для изготовления колес с безвоздушными шинами

Испытания. Испытания экспериментальных образцов колес с безвоздушными шинами проводились на стендах кафедры «Автомобильный транспорт» и на легковом автомобиле ВАЗ-2115 [6].

Оценка упругих и демпфирующих свойств экспериментальных образцов безвоздушных шин осуществ-

лялась по характеристикам нормальной жесткости, построенным в режиме квазистатического непрерывного нагружения колес, опирающихся на плоское основание испытательного стенда [7].

Таблица 1

Технические показатели экспериментальных образцов колес с безвоздушными шинами

Наименование показателя	Экспериментальные образцы колес с безвоздушными шинами					
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6
1. Форполимер спиц	СУРЭЛ ТФ-235	СУРЭЛ ТФ-682	СКУ-ПФЛ-100, марка В	СУРЭЛ ТФ-228	СКУ-ПФЛ-100, марка А	СКУ-ПФЛ-100, марка А
2. Форполимер протектора	СУРЭЛ ТФ-228	СУРЭЛ ТФ-228	СУРЭЛ ТФ-235	СУРЭЛ ТФ-682	СКУ-ПФЛ-100, марка А	СУРЭЛ ТФ-228
3. Количество спиц	30					
4. Толщина спиц, мм	5	8	4,5	8	5	
5. Длина спиц, мм	55				60	
6. Ширина профиля шины, мм	120					
7. Высота профиля шины, мм	100					105
8. Свободный радиус колеса, мм	265					275
9. Высота протектора, мм	25				30	
в том числе высота рисунка протектора, мм	10					5
10. Толщина кольца, соединяющего гибкие спицы: – в местах крепления гибких спиц, мм – максимальная, мм			7 8	3 5		13...23 25
11. Масса, кг	13	14	13,5	14	12,5	16
12. Особенности конструкции	Неразборное. Протектор с рисунком повышенной проходимости				Неразборное. Протектор 70 % полиуретана и 30 % резинового порошка	Неразборное. Гибкие спицы армированы капроновыми нитями. Дорожный рисунок протектора

Таблица 2

Результаты обработки характеристик нормальной жесткости автомобильных шин

Наименование показателя	Экспериментальные образцы автомобильных шин						
	№1	№2	№3	№4	№5	№6	БЛ-85 175/70R13
1. Коэффициент нормальной жесткости, кН/м	57...63	540	512	250...180	150	145	135
2. Максимальная сила неупругого сопротивления, Н	250	330	350	500	770	780	210

Измерение и регистрация нормальной силы осуществлялись с помощью тензометрической ступицы [8] в комплексе с усилителем DN-10W, аналого-цифровым преобразователем ЛА-20USB и ЭВМ. Нормальные прогибы безвоздушных шин измерялись датчиком линейных перемещений LPS. На рис. 3 приведены полу-

ченные согласно ОСТ 37.001.252-82 «Автотранспортные средства. Методы определения основных параметров, влияющих на плавность хода» характеристики нормальной жесткости экспериментальных образцов автомобильных безвоздушных шин.

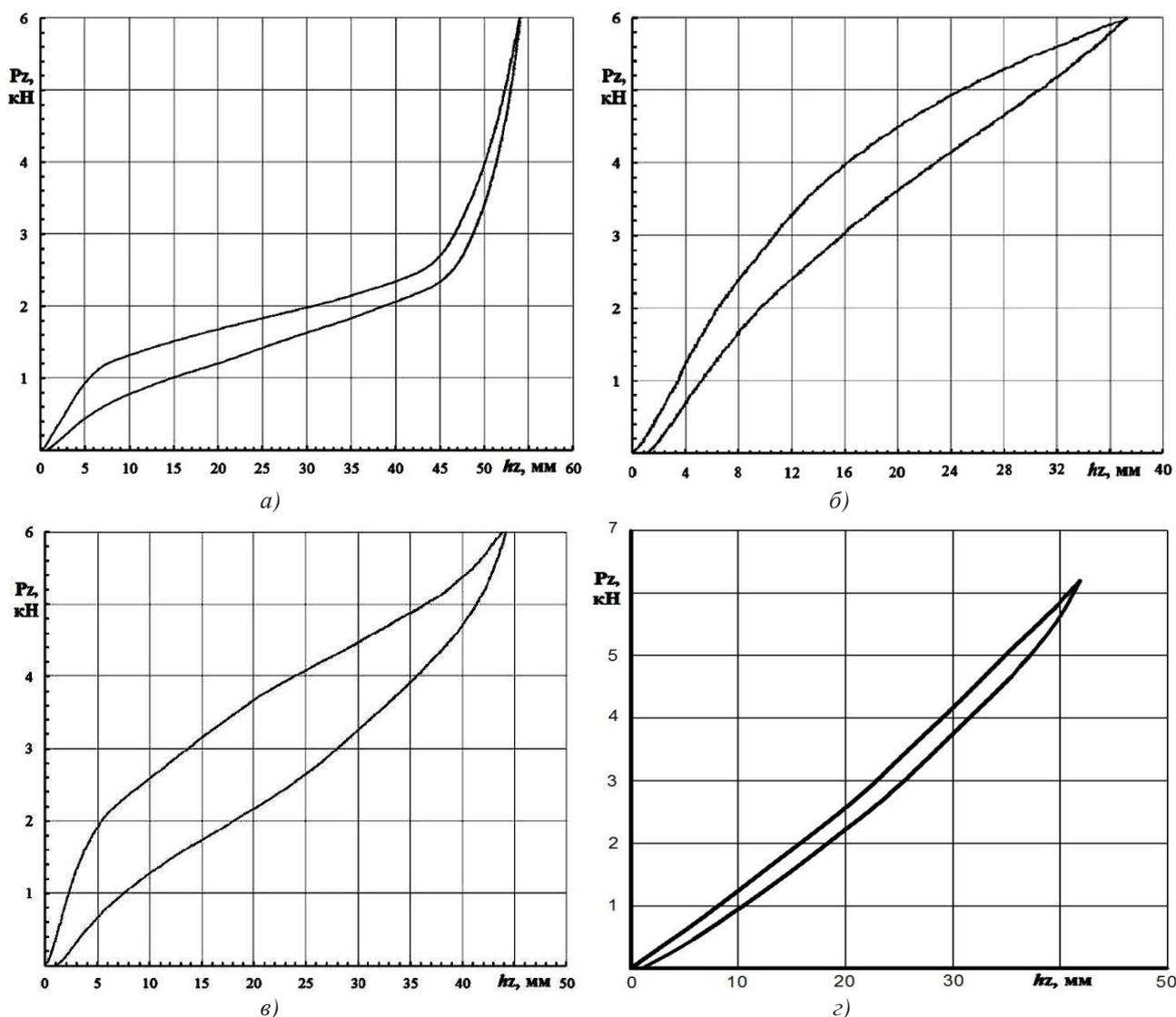


Рис. 3. Характеристики нормальной жесткости автомобильных шин: а) – экспериментального образца безвоздушной шины № 1; б) – экспериментального образца безвоздушной шины № 4; в) – экспериментального образца безвоздушной шины № 5; г) – пневматической шины БЛ-85 175/70R13

Результаты обработки характеристик, в том числе испытанной для сравнения традиционной пневматической шины БЛ-85 175/70R13, приведены в табл. 2.

В ходе лабораторных испытаний было установлено, что образец шины № 1, изготовленный из эластичных полиуретанов СУРЭЛ ТФ-228 и СУРЭЛ ТФ-235, рекомендуемых заводом-изготовителем для производства массивных шин, колес роллеров и скейтбордов, имеет очень низкую несущую способность и не может быть применен на автомобилях. При этом гистерезисные потери, которые можно оценивать максимальным значением силы неупругого сопротивления F_a , превыша-

ют гистерезисные потери пневматической шины БЛ-85 175/70R13 незначительно.

Спицы экспериментальных образцов №№ 2 и 3, установленных для испытаний на передней оси легкового автомобиля ВАЗ-2115, не теряют устойчивость под действием вертикальной нагрузки, соответствующей полной массе транспортного средства. Однако при качении колес по ровной недеформируемой поверхности возникает значительная вибрация, вследствие чего приходилось снижать скорость движения автомобиля до 20 км/ч.

Коэффициенты жесткости образцов безвоздушных шин №№ 5 и 6 близки к коэффициенту жесткости

пневматической шины при номинальном давлении воздуха. Вместе с тем, эти образцы шин имеют сравнительно большие гистерезисные потери энергии, что, в свою очередь, увеличивает сопротивление качению колес и ухудшает топливную экономичность автомобиля. Кроме того, при качении в тормозном режиме наблюдалось произвольное изменение направления стрел прогиба гибких спиц. Но при испытании экспериментального образца шины № 5 на задней оси автомобиля ВАЗ-2101 в снаряженном состоянии этот эффект отсутствовал.

При качении экспериментального образца колеса с безвоздушной шиной № 4 по ровной недеформируемой

поверхности заметного повышения уровня колебаний и вибраций со скоростями движения автомобиля до 90 км/ч не ощущалось. Силовая неоднородность не превышала 16 %. Установлено, что силовая неоднородность не зависит от точки приложения нормальной силы, деформирующей безвоздушную шину, по периметру колеса, а обусловлена произвольным направлением стрел прогибов гибких спиц. Следует также отметить, что из-за высокой твердости материала беговой дорожки безвоздушной шины незначительно повысился уровень шума при качении колеса по твердой недеформируемой поверхности дороги.

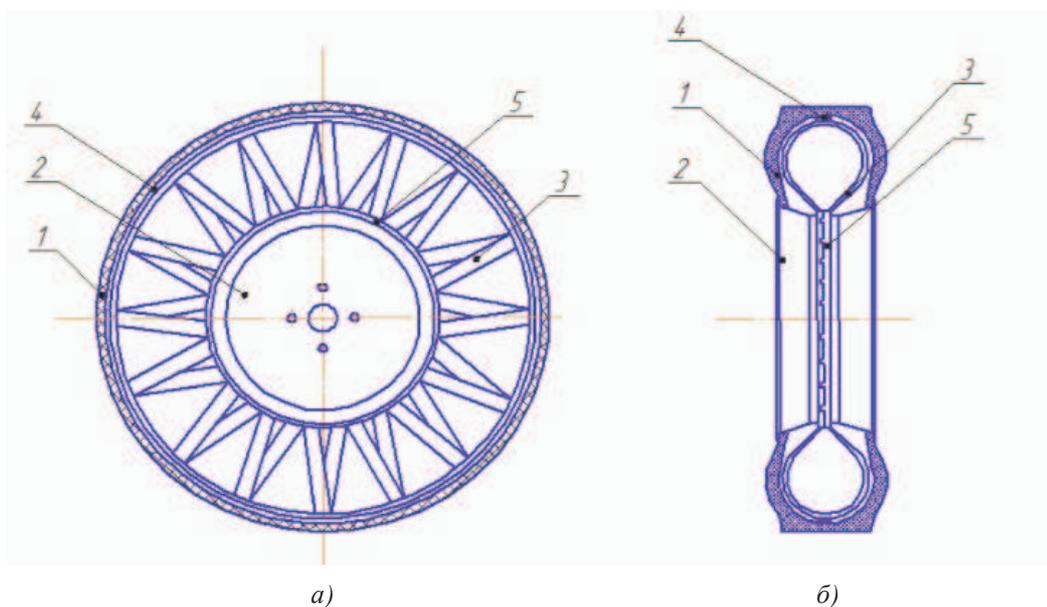


Рис. 4. Колесо с внутренней полимерной пружиной: а) – вид в продольном разрезе; б) – вид в поперечном разрезе

Разработка конструкции. Применение эластичных полиуретанов позволяет решить, пусть и частично, задачу повторного использования выведенных из эксплуатации автомобильных шин и тем самым снизить остроту проблемы их утилизации. Предлагаемое решение основывается на замещении сжатого воздуха упругими полимерными элементами, выполняемыми в виде незамкнутых колец прямоугольного сечения, которые монтируются внутрь изношенной или некондиционной покрышки так, как это показано на рис. 4 [8, 9].

Колесо состоит из покрышки 1 (можно с изношенным протектором, пробитой боковиной и другими дефектами), металлического диска 2 (можно бывшего в эксплуатации, с небольшими повреждениями) и упругих элементов 3. Внутри покрышки 1, смонтированной на диск 2 колеса, размещаются кольцеобразные полимерные пружины (кольца) 3, количество которых и размеры поперечного сечения достаточны для обеспечения несущей способности колесного движителя конкретного транспортного средства. В экваториальном сечении внутри покрышки и на ободе колеса установлены полимерные ленты 4 и 5, предназначенные для фиксации колец 3 в определенном сечении по периметру покрышки. Кроме того, ленты 5, размещенные на ободе колеса, могут смещаться друг относительно друга на некоторый угол, что позволяет развести ветви

колец в разные стороны и тем самым изменить их жесткость и, следовательно, жесткость колеса.

Расчет элементов. Для обоснования размеров сечения упругих элементов и их количества для колеса конкретного транспортного средства выполнены расчетные исследования. В качестве расчетной схемы было принято тонкое кольцо, в плоскости которого лежит одна из главных осей сечения и действует внешняя нагрузка. Замкнутое кольцо при действии произвольной нагрузки является статически неопределимой системой. Для получения статически определимой системы кольцо разрежем в некотором сечении $\theta = 0$, а возникающие силовые факторы обозначим X_1 – растягивающая (сжимающая) сила, X_2 – перерезывающая сила, X_3 – изгибающий момент.

Пренебрегая влиянием нормальных и перерезывающих сил на деформацию кольца, можно записать обобщенное перемещение с помощью интеграла Мора:

$$\delta = \int_1 \frac{M_p M_1}{EJ} dS, \quad (1)$$

где M_p – изгибающий момент в сечении кольца от действия внешних нагрузок; M_1 – изгибающий момент в

сечении кольца от единичной нагрузки; EJ – жесткость сечения на изгиб.

Из условия равенства нулю относительных перемещений получаем систему канонических уравнений метода сил:

$$\begin{cases} \delta_{11}X_1 + \delta_{12}X_2 + \delta_{13}X_3 + \delta_{1P} = 0 \\ \delta_{21}X_1 + \delta_{22}X_2 + \delta_{23}X_3 + \delta_{2P} = 0, \\ \delta_{31}X_1 + \delta_{32}X_2 + \delta_{33}X_3 + \delta_{3P} = 0 \end{cases} \quad (2)$$

где δ_{ij} – коэффициенты влияния: $i = 1, 2, 3$; $j = 1, 2, 3, P$.

Изгибающие моменты в сечении кольца от единичных сил равны:

$$\begin{aligned} M_{1(1)}(\theta) &= I \cdot R (1 - \cos \theta); M_{1(2)}(\theta) = \\ &= I \cdot R \sin \theta; M_{1(3)}(\theta) = 1 \end{aligned} \quad (3)$$

где R – радиус кольца, θ – угол положения сечения.

Подставляя уравнения (3) в интеграл (1), при условии постоянства размеров сечений кольца, определяем коэффициенты влияния δ_{ij} . Затем из уравнений системы (2) определяем единичные усилия X_i .

Тогда для симметричного нагружения кольца:

$$M(\theta) = M_P(\theta) - \frac{\cos \theta}{\pi} \int_0^\pi M_P(\theta) \cos \theta d\theta - \frac{1}{\pi} \int_0^\pi M_P(\theta) d\theta. \quad (4)$$

Если принять, что нагружение кольца осуществляется сосредоточенной силой P со стороны покрышки через полимерную ленту 4 (рис. 1), то уравнение изгибающего момента примет вид:

$$M(\theta) = PR \left(\frac{1}{\pi} - \frac{1}{2} \sin \theta \right). \quad (5)$$

Схема нагружения и эпюра изгибающего момента в сечениях кольца представлены на рис. 5.

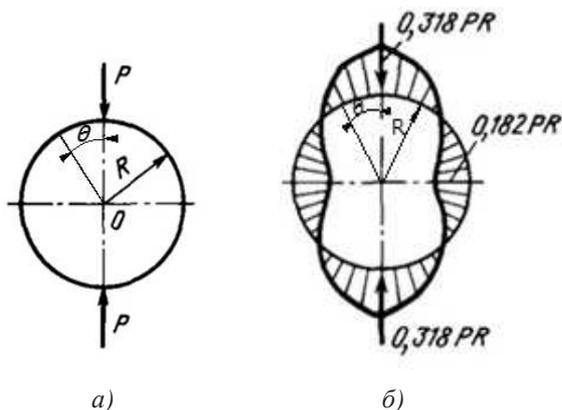


Рис. 5. Схема нагружения упругого элемента колесного движителя а) и эпюра изгибающего момента в его сечениях б)

Количество упругих элементов, устанавливаемых внутри покрышки для обеспечения несущей способности колеса, определяется из условия, чтобы в зоне контакта шины с опорной поверхностью находилось не менее трех колец (рис. 6). Данное условие выполняется, если расстояние между кольцами в зоне контакта будет равно $L_k/4$, при этом длина пятна контакта L_k не должна превышать четверти диаметра колеса.

На рис. 6 в зоне контакта формально расположено пять упругих элементов, но при этом крайние кольца не деформируются и нагрузку не воспринимают. При вращении колеса могут одновременно нагружаться и четыре упругих элемента, однако изображенный случай является предельным по нагружению центрального кольца.

В первом приближении можно принять $R_{z0} = 0,2 P_z$, а также $R_{z1} = R_{z3}$. Будем считать нагруженность упругих элементов (колец) пропорциональной их деформации.

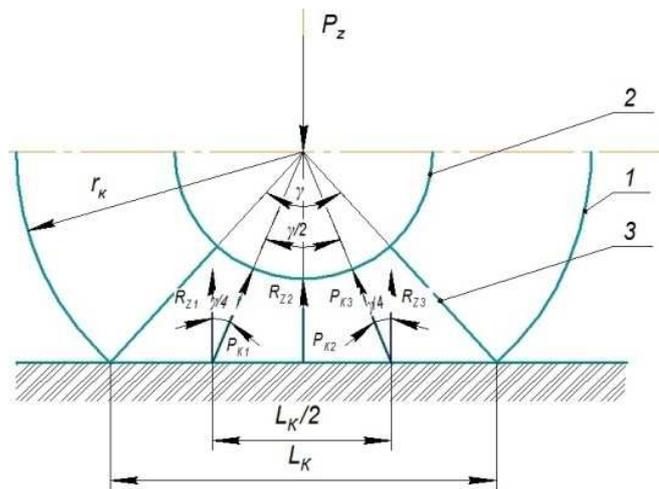


Рис. 6. Схема взаимодействия упругих элементов с опорной поверхностью дороги: P_z – нагрузка на колесе; r_k – радиус качения колеса; L_k – длина пятна контакта с дорогой; γ – угол охвата контакта; R_{zi} – нормальная реакция от взаимодействия с опорой i -го упругого элемента; P_{ki} – нагрузка в плоскости i -го кольца; 1 – покрышка; 2 – диск; 3 – упругий элемент (кольцо)

При медленном вращении колеса силами инерции и силой сопротивления качению можно пренебречь. Тогда уравнение равновесия покрышки с упругими элементами запишется в виде:

$$P_z = R_{z0} + \sum_{i=1}^3 R_{zi}, \quad (6)$$

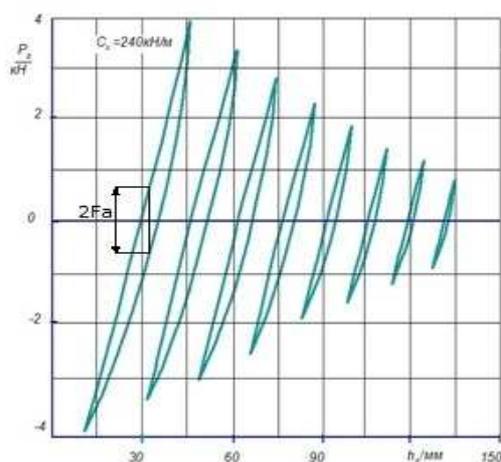
где R_{z0} – нормальная реакция от взаимодействия с опорой только покрышки; R_{zi} – нормальная реакция от взаимодействия с опорой i -го упругого элемента.

С учетом указанных допущений и геометрии положения колец в покрышке колеса нагрузка на центральное кольцо будет определяться следующим выражением:

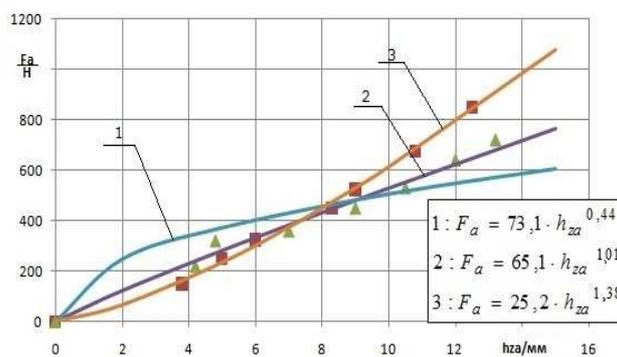
$$P_{k2} = \frac{0,8}{1 + 2 \frac{\cos \gamma/2}{1 - \cos \gamma/2} \cdot \frac{1}{\cos \gamma/4}} P_z. \quad (7)$$

Для опытной проверки конструктивных решений и расчетов был изготовлен экспериментальный образец колеса на базе изношенной на 90 % шины Dunlop 235/75 R15 с установленными полиуретановыми кольцами с размером сечений 30x40 мм, наружным диаметром 180 мм, в количестве 24 штук. Кольца фиксировались внутри покрышки равномерно по ее периметру, без разведения ветвей.

Результаты экспериментальных исследований колеса на шинных стендах кафедры «Автомобильный транспорт» БрГУ [7] представлены на диаграммах рис. 7 в виде характеристик нормальной жесткости, построенных в квазистатическом режиме нагружения, и зависимостей амплитудных значений силы неупругого сопротивления от прогиба шины для оценки упругих и поглощающих свойств нового колеса согласно эллиптическо-степенной модели.



а)



б)

Рис. 7. Экспериментальные характеристики жесткости колеса с тремя кольцами в зоне контакта а) и зависимость амплитудных значений силы неупругого сопротивления F_a от прогиба шины h_z б): 1 – традиционная пневматическая шина Dunlop 235/75 R15; 2 – изношенная шина Dunlop 235/75 R15 с тремя полимерными кольцами в контакте; 3 – та же шина R15 с двумя полимерными кольцами в контакте; c_z – коэффициент нормальной жесткости колеса

Таким образом, новая конструкция колеса, параметры которой обоснованы расчетом и подтверждены экспериментом, является вполне работоспособной и позволяет решить часть проблемы утилизации выведенных из эксплуатации и некондиционных покрышек путем их повторного использования (с установкой внутрь полимерных упругих элементов) на тихоходном транспорте.

Обобщая опыт создания и результаты испытаний безвоздушных полиуретановых шин, можно сделать следующие выводы.

Во-первых, кафедра автомобильного транспорта БрГУ, располагая хорошо оснащенной производственной базой, современным экспериментальным оборудованием и подготовленными специалистами, вполне способна разрабатывать, изготавливать и исследовать опытные образцы безвоздушных шин для легковых автомобилей и тихоходного транспорта, ориентируясь только на полиуретаны с приведенными в табл. 1 характеристиками. Во-вторых, для создания действительно конкурентоспособных безвоздушных шин требуется, чтобы эластичные полиуретаны, разрабатываемые отечественной химической отраслью, сочетали в себе низкие гистерезисные потери при деформировании с высоким значением модуля упругости. И, в-третьих, необходимо совершенствовать методы расчета конструктивных элементов безвоздушных шин.

Литература

1. Мазур В.В., Гайлиш А.В. Автомобильные колёса с безвоздушными шинами // Автотранспортное предприятие. 2011. № 12. С. 36-38.
2. Мазур В.В. Технология изготовления автомобильных шин с упругими деформируемыми спицами из эластичного полиуретана // Там же. 2010. № 5. С. 27-29.
3. Мазур В.В., Гайлиш А.В., Енаев А.А. Автомобильные колёса с безвоздушными шинами // Там же. 2012. №7. С.10-12.
4. Mazur W.W. Samochodowe koła z bezpowietrznymi szynami // Nauka i studia. 2013. №7. С. 5-9.
5. Mazur V.V. Automobile wheels with airless tires // Papers of the 3rd International Scientific Conference "European Applied Sciences: modern approaches in scientific researches". Stuttgart, 20-21 May 2013. С. 38-40.
6. Mazur V.V. Experimental determination of characteristics elasticity of car wheels with airless tyres // The collection includes 3rd International Conference on Science and Technology. London, 2013. 17-18 June. С. 40-46.
7. Рыков С.П. Экспериментальные исследования поглощающей и сглаживающей способности пневматических шин: Испытательный комплекс, методики проведения экспериментов и обработки результатов. Братск: БрГТУ, 2004. 322 с.
8. Способ определения жёсткости и неупругого сопротивления автомобильной шины и стенд для испытаний автомобильных шин: пат. 2382346 Рос. Федерация. № 2008148407/11; заявл. 08.12.08; опубл. 20.02.10, Бюл. № 5.
9. Рыков С.П., Хозяшев И.А., Тетерин С.Н., Сницарев А.В. Колесо с внутренней полимерной пружиной. Заявка № 2012129401/20.
10. Рыков С.П., Хозяшев И.А., Тетерин С.Н., Сницарев А.В. Бескамерное колесо с элементами поддрессоривания. Заявка № 2012129400/20.

11. Рыков С.П., Сапега М.В. Колесо повышенного демпфирования: пат. 2190539 С2 Рос. Федерация. № 2000122815/28; заявл. 01.09.00; опубл. 10.10.02, Бюл. № 2. 2 с.
 12. Расчет на прочность деталей машин: справочник / И.А. Биргер, Б.Ф. Шорр, Г.Б. Иосилевич. 4-е изд., доп. и перераб. М.: Машиностроение, 1993. 640 с.
 13. Рыков С.П. Моделирование и оценка поглощающей и сглаживающей способности пневматической шины в расчетах подвески, плавности хода и поддрессирования автомобиля: моногр. Братск: БрГТУ, 2004. 124 с.
 14. Рыков С.П. Разработка методов оценки поглощающей и сглаживающей способности пневматических шин при расчетах колебаний автомобиля: дис. ... канд. техн. наук. М., НАМИ, 2000. 318 с.
 15. Рыков С.П. Методы моделирования и оценки поглощающей и сглаживающей способности пневматических шин в расчетах подвески и колебаний колесных машин: дис. ... д-ра техн. наук. М.: НАТИ, 2005. 430 с.

References

1. Mazur V.V., Gaylish A.V. Automobile wheels with airless tires // Avtotransportnoe predpriyatie. 2011. № 12. S. 36-38.
 2. Mazur V.V. Technology of manufacturing the automobile tires with flexible deformable spokes made of flexible polyurethane // Avtotransportnoe predpriyatie. 2010. № 5. S. 27-29.
 3. Mazur V.V., Gaylish A.V., Enev A.A. Automobile wheels with airless tires // Avtomobil'naya promyshlennost'. 2012. № 7. S. 10-12.
 4. Mazur W.W. Samochodowe koła z bezpowietrznymi szynami // Nauka i studia, 2013. № 7. С. 5-9.
 5. Mazur V.V. Automobile wheels with airless tires // Papers of the 3rd International Scientific Conference «European Applied Sciences: modern approaches in scientific researches». - Stuttgart, 20-21 May 2013. С. 38-40.

6. Mazur V.V. Experimental determination of characteristics elasticity of car wheels with airless tyres // The collection includes 3rd International Conference on Science and Technology. London. 17-18 June, 2013. С. 40-46.
 7. Rykov S.P. The experimental studies of the absorbing and smoothing ability of pneumatic tires: a testing system, experimental techniques and data processing: monogr. Bratsk: BrGTU, 2004. 322 s.
 8. Mazur V.V. The technique to determine stiffness and non-elastic resistance of the automobile tire and the stand to test tires: pat. 2382346 Ros. Federatsiya. № 2008148407/11, заявл. 08.12.08; opubl. 20.02.10, Byul. № 5.
 9. Rykov S.P., Khozyashev I.A., Teterin S.N., Snitsarev A.V. A wheel with internal polymer spring: zayavka na pat. Ros. Federatsii. № 2012129401/20.
 10. Rykov S.P., Khozyashev I.A., Teterin S.N., Snitsarev A.V. An airless wheel with cushioning elements: zayavka na pat. Ros. Federatsii. № 2012129400/20.
 11. Rykov S.P., Sapega M.V. A high damping wheel: pat. № 2190539 Ros. Federatsiya. 2000122815/28, заявл. 01.09.00; opubl. 10.10.02, Byul. № 2. 2 s.
 12. Birger I.A., Shorr B.F., Iosilevich G.B. Stressing calculation of machine parts: spravochnik. M.: Mashinostroeniye, 1993. 640 s.
 13. Rykov S.P. Modeling and estimation of the absorbing and smoothing ability of a pneumatic tyre in the calculations of a car's suspension, ride and cushioning: monogr. Bratsk: BrGTU, 2004. 124 s.
 14. Rykov S.P. The development of the methods to evaluate the absorbing and smoothing ability of pneumatic tires while calculating a car's fluctuations: diss. ... kand. tekhn. nauk. M., 2000. 318 s.
 15. Rykov S.P. The methods to simulate and assess the absorbing and smoothing ability of pneumatic tires while calculating the wheeled vehicles suspension and fluctuations: diss. ... d-ra. tekhn. nauk. M., 2005. 430 s.

УДК 629.11.012.813

Моделирование и оценка демпфирующей способности гидравлических амортизаторов

С.П. Рыков^a, В.Н. Тарасюк^b, В.С. Коваль^c, А.П. Куприянов^d

Братский государственный университет, ул. Макаренко 40, Братск, Россия
^aRSP7-8-48@rambler.ru, ^bTVN66@yandex.ru, ^ckoval.supra@yandex.ru, ^dkupriyanov@mail.ru
 Статья поступила 14.08.2013, принята 10.11.2013

Гидравлический амортизатор в подвеске автомобиля выполняет функции основного гасящего элемента, поэтому от точности моделирования его способности демпфировать колебания в значительной степени будет зависеть качество оценки плавности хода и вибронегруженности автомобиля и, следовательно, сходимость результатов расчетов к данным натурных испытаний. В статье построение модели неупругого сопротивления в гидравлическом амортизаторе осуществляется с использованием математического аппарата эллиптической-степенной модели поглощающей способности пневматической шины, ранее разработанной и всесторонне теоретически и экспериментально апробированной. Это обосновывается анализом рабочих диаграмм различных амортизаторов, который позволяет выявить существенное сходство замкнутой кривой диаграммы с линией эллипса как на ходе сжатия, так и отдачи амортизатора. Причем, полуэллипсы совмещаются с осями координат, а их значения будут зависеть как от максимальной скорости, так и от амплитуды перемещения поршня. Оценка параметров модели неупругого сопротивления образца амортизатора осуществлялась путем статистической обработки замеров с экспериментальных диаграмм, построенных с различными размахами и скоростями поршня, в количестве, достаточном для обеспечения статистической достоверности результатов, с использованием методов регрессионного анализа. Эксперимент проводился на гидропульсационном стенде кафедры «Автомобильный транспорт» Братского государственного университета. Анализ экспериментальных диаграмм показывает, что амплитудное значение силы сопротивления гидравлического амортизатора как на ходе сжатия, так и отдачи, практически не зависит от амплитудных значений хода поршня. Т. е. можно принять, что соответствующие показатели степени равны нулю, а зависимость амплитудного значения силы сопротивления амортизатора от амплитудных значений скорости поршня носит характер степенной функции. Это подтверждает правильность положений, принятых при разработке математической модели.