

Расчет и конструирование

УДК 629.3.032

DOI: 10.14529/engin160401

МНОГОСПИЦЕВАЯ БЕЗВОЗДУШНАЯ ШИНА ИЗ КОМПОЗИТА: ПРОЧНОСТЬ И ЖЕСТКОСТЬ

Р.Р. Абдрахимов, В.А. Цитцер, С.Б. Сапожников

Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск

Представлена многоспицевая модель безвоздушного колеса, обладающая характеристиками прочности и жесткости, сравнимыми с традиционными пневматическими шинами. В качестве начальной схемы была выбрана конструкция колеса с наклонными спицами, отличающаяся надёжностью и универсальностью за счет возможности изменения формы и угла наклона спиц. Для обоснования конструкции безвоздушного колеса были выполнены предварительные аналитические исследования. Начальные параметры конструкции колеса и действующие нагрузки выбраны на основе аналога – пневматической шины 7,50–20. Были определены зависимости жесткости и прочности гибких спиц от их геометрических параметров и физико-механических свойств конструкционного материала методом сопротивления материалов. Работоспособность полученной конструкции была проверена с помощью анализа напряженно-деформированного состояния методом конечных элементов (МКЭ), при двух основных режимах нагружения транспортного средства: максимальная сила тяги и максимальная статическая нагрузка. МКЭ позволил уточнить параметры спиц, принимая во внимание неравномерность нагружения спиц по окружности колеса, получить нелинейную нагрузочную характеристику безвоздушного колеса (аналогично пневматическому колесу) учитывая возможность контакта спиц между собой при превышении определенного уровня нагрузки. Таким образом, обеспечены размеры необходимого пятна контакта колеса с опорной поверхностью и высокая жесткость при повышенных нагрузках.

Полученные результаты позволяют считать предложенную многоспицевую конструкцию безвоздушной шины вполне работоспособной, обладающей повышенной надежностью и возможностью применения в гражданских и военных транспортных средствах.

Ключевые слова: безвоздушная шина, стеклопластик, прочность, жёсткость, пятно контакта.

Введение. В течение последнего столетия основным двигателем наземных транспортных средств является пневматическое колесо, достигнувшее высокого уровня совершенства по упругим и прочностным свойствам, тем не менее, по-прежнему остается уязвимым к незначительным механическим повреждениям, что приводит к полной потере работоспособности транспортного средства.

Для сохранения мобильности после падения давления воздуха в шине применяют специальные внутренние опоры (вставки безопасности) или усиленные боковины шины [1–4]. Большинство конструкций безопасных колес предназначены для монтажа внутри шины и обеспечивают сохранение подвижности колесной машины, при ограниченной скорости (до 60 км/ч) и расстоянии (50–200 км) [3, 4].

Другой альтернативой являются новые конструкции – безвоздушные колеса, работоспособность которых обеспечивается не давлением сжатого воздуха, а физико-механическими свойствами применяемых материалов. Созданием безвоздушных колес активно занимаются ведущие мировые компании – производители автомобильных шин, такие, как Michelin, Amerityre, Yokohama, Bridgestone, Hankook, Resilient Technologies и Polaris. В России над созданием автомобильных шин без избыточного давления воздуха работает НИИ шинной промышленности, Братский Государственный университет [5]. Анализ конструкций ведущих производителей (Michelin Tweel, Resilient Technologies NTP и Bridgestone AirFree) [6–10] показывает, что у каждого варианта есть свои достоинства и недостатки. С точки зрения прочности наиболее выигрышным являет-

Расчет и конструирование

ся вариант конструкции, состоящий из V-образных спиц. Наибольшую вертикальную жесткость также имеет эта конструкция. С точки зрения минимума массы колеса и сопротивления качению, наиболее выгодной оказывается конструкция, состоящая из шестиугольных сотовых ячеек [9]. Конструкция из криволинейных спиц показывает средние результаты, однако она позволяет сделать жесткость колеса нелинейной. При повышенных нагрузках из-за больших перемещений, спицы начинают контактировать между собой, тем самым уменьшая длину спицы, что позволяет увеличить жесткость и прочность конструкции. Такая конструкция, благодаря большому количеству независимых несущих элементов, обладает повышенной надёжностью при возникновении повреждений.

Основной проблемой при проектировании безвоздушных шин является создание структуры, которая бы за счет своей конструкции показывала бы удовлетворяющие требованиям характеристики жесткости и прочности. Поэтому создание новых конструкций автомобильных безвоздушных шин с высокими эксплуатационными показателями невозможно без расчетного обоснования их геометрических параметров, обеспечивающих требуемые несущую способность и упругие свойства колеса. Аналитические модели [10–14] в большинстве случаев применимы для расчета определенной конструкции колеса, позволяя определить толщины и жесткости упругих элементов, не учитывая поведение конструкции в целом. Кроме того, для многих вариантов конструкций на данный момент не существует аналитических решений, так как область безвоздушных колес начала активно развиваться лишь в последние годы. Использование конечно-элементного метода (МКЭ) расчета [7, 12, 15–18] позволяет более точно учесть все нюансы конструкции.

Данная работа посвящена созданию конструкции колеса, обладающей повышенной надежностью, способной не терять работоспособность при проколе, что является актуальной задачей для гражданского и, в особенности, военного транспорта.

Проектирование безвоздушного колеса. Проведенный анализ разработок безвоздушных колес показал, что наиболее популярны конструкции с прямыми спицами (рис. 1, а) [5] и шестиугольными сотами (рис. 1, б) [7, 9], но наиболее надежным и универсальным вариантом является многоспицевая конструкция (рис. 1, в) [6, 9]. Повреждения нескольких спиц в такой конструкции не приведут к потере работоспособности, а за счет изменения формы и наклона спицы можно регулировать жесткость колеса.

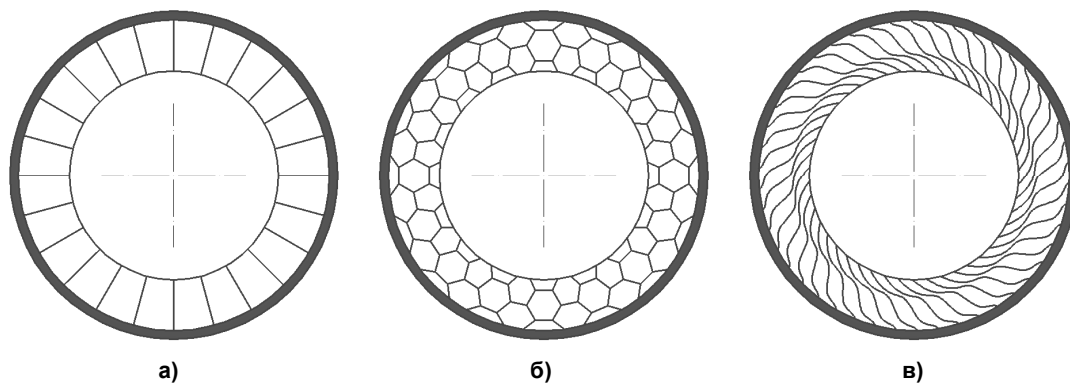


Рис. 1. Конструкции колеса: а – прямые спицы; б – шестиугольные соты (Resilient Technologies); в – криволинейные спицы (Bridgestone AirFree)

В качестве аналога для расчета безвоздушного колеса была выбрана пневматическая шина 7,50–20, ГОСТ 5513-97. Параметры шины 7,50–20: радиус $r = 450$ мм, ширина $b = 200$ мм, рабочая нагрузка на колесо $P_y = 12,5$ кН, максимальная – 50,0 кН. В качестве материала спиц безвоздушного колеса выбран однонаправленный стеклопластик $E = 50$ ГПа, $\sigma_B = 1000$ МПа.

Для назначения основных параметров конструкции безвоздушного колеса были выполнены предварительные расчетные исследования. Простейшая конструкция колеса с прямыми наклонными спицами представлена на рис. 2, а. На рис. 2, б изображена упрощенная схема работы колеса с одной наклонной спицей, опирающейся на поверхность. Жесткая балка 1 представляет собой внутреннюю часть колеса (обод колеса, либо мотор-колесо), балка 2 – рассматриваемая спица безвоздушного колеса, 3 – прямоугольное сечение спицы. Граничные условия в опоре A (ось

вращения колеса) допускают вертикальные перемещения и поворот от действия ведущего момента со стороны двигателя. Опора B – контакт колеса с дорогой, не учитывающая проскальзывание и жесткость внешней части колеса.

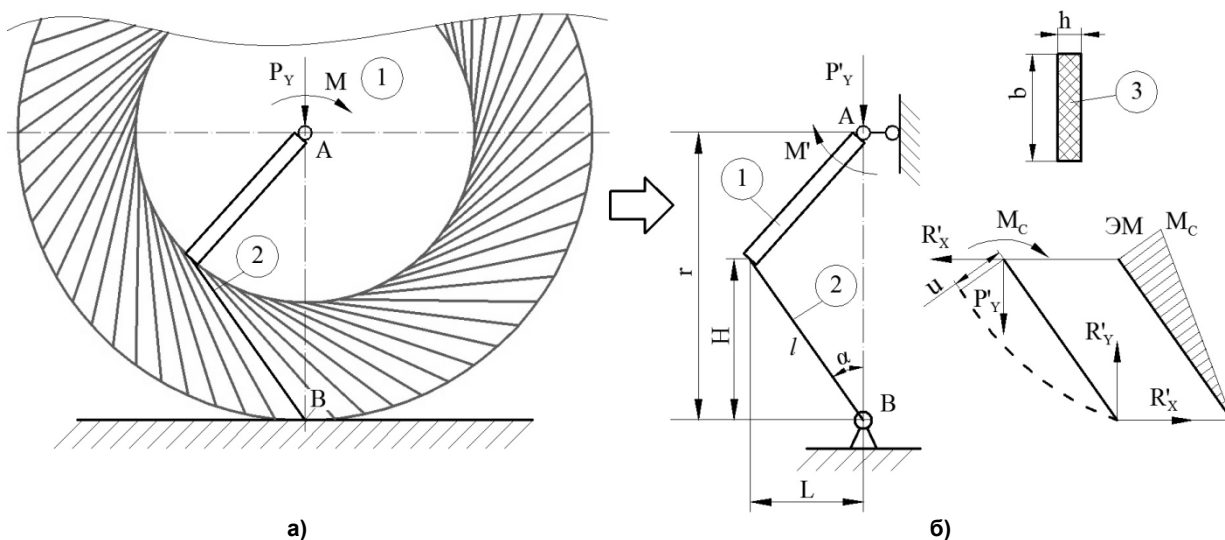


Рис. 2. Исходная расчётная схема безвоздушного колеса: 1 – жесткая часть колеса; 2 – рассматриваемая наклонная спица; 3 – сечение спицы

Расчет зависимости жесткости и прочности гибких спиц от их геометрических размеров и физико-механических свойств конструкционного материала является задачей, решаемой методами сопротивления материалов. При решении задачи были приняты следующие допущения:

- 1) жесткость и нагрузочная характеристика безвоздушного колеса принимаются равными соответствующим характеристикам пневматического колеса;
- 2) спицы нагружены только в зоне контакта с поверхностью;
- 3) спицы при взаимодействии с опорной поверхностью не проскальзывают.

В случае основного режима нагружения колеса – разгона/торможения, при действии вертикальной нагрузки P_Y (масса транспортного средства, приходящаяся на одно колесо), максимальный крутящий момент M на колесе определяется максимальным сцеплением с дорогой, т. е. продольной реакцией R_X [19]:

$$M = R_X \cdot r, \quad (1)$$

где r – радиус колеса.

Из геометрических соображений количество спиц в зоне контакта будет равно

$$n = \frac{N \cdot l_k}{2 \cdot \pi \cdot r}, \quad (2)$$

где N – общее количество спиц;

l_k – длина зоны контакта.

Реакции для одной спицы определяются следующим зависимостями

$$\begin{aligned} R'_X &= R_X / n, \\ R'_Y &= P'_Y = P_Y / n, \\ R'_X &= \varphi \cdot R'_Y = \varphi \cdot P'_Y, \end{aligned} \quad (3)$$

где φ – коэффициент сцепления колеса с опорной поверхностью, равный 0,8 [19];

P'_Y – вертикальная нагрузка на одну спицу;

R_X и R_Y – реакции в колесе;

R'_X и R'_Y – реакции в одной спице.

Момент в наиболее нагруженном сечении спицы, определяется следующим выражением

$$M_C = R'_X \cdot H + R'_Y \cdot L, \quad (4)$$

где H и L – плечо действия силы для горизонтальной и вертикальной реакции соответственно.

Расчет и конструирование

Максимальные действующие напряжения сжатия в наклонной спице будут равны

$$\sigma_{\max} = \sigma_{\text{изг}} + \sigma_{\text{сж}} = \frac{M_C}{W_X} + \frac{R'_Y \cdot \sin(\alpha) - R'_X \cdot \cos(\alpha)}{S} = \frac{M_C \cdot 6}{b \cdot h^2} + \frac{R'_Y \cdot \sin(\alpha) - R'_X \cdot \cos(\alpha)}{b \cdot h}, \quad (5)$$

где b – ширина спицы, равная ширине колеса;

h – толщина спицы.

Перемещения спицы u при произвольном угле наклона спицы α определяются действием изгиба, а перемещения вызванные растяжением/сжатием не учитываются. Максимальные перемещения спицы определяются методом Мора

$$u = \int_0^l M_p \left(\frac{\overline{M}}{E \cdot I_X} dz \right) = \frac{1}{3} \cdot \frac{(R'_Y \cdot \sin(\alpha) + R'_X \cdot \cos(\alpha)) \cdot l^3}{E \cdot I_X}, \quad (6)$$

где E – модуль упругости материала;

I_X – момент инерции сечения;

l – общая длина спицы;

M_p – изгибающий момент от действия нагрузок в искомом сечении;

\overline{M} – момент от действия единичной нагрузки.

Вертикальные перемещения транспортного средства приближенно равны

$$u_Y = u \cdot \sin(\alpha) = \frac{1}{3} \cdot \frac{(R'_Y \cdot \sin(\alpha) + R'_X \cdot \cos(\alpha)) \cdot l^3}{E \cdot I_X} \cdot \sin(\alpha). \quad (7)$$

В результате аналитического расчета при $u_Y = 24$ мм и предельно допустимом напряжении при рабочей нагрузке $\sigma_{\max} = 250$ МПа, определены параметры безвоздушного колеса: $n = 26$, $\alpha = 37^\circ$ и $h = 4$ мм. Этими параметрами будем пользоваться ниже, при уточненных расчетах полной модели, с помощью МКЭ, так как на практике спицы в области контакта нагружаются по-разному и имеется гибкий обод (беговая поверхность).

Расчет конструкции безвоздушного колеса. Для получения нелинейной нагрузочной характеристики безвоздушного колеса (аналогично пневматическому колесу) будем использовать криволинейные спицы, взаимодействующие между собой при определенном уровне нагрузки (рис. 3). Криволинейные спицы на рис. 3, отличаются простотой и одним определяющим форму параметром c . Взаимодействие спиц обеспечивает необходимое пятно контакта с опорной поверхностью и высокую жесткость при повышенных нагрузках. Наружная часть колеса (радиусом r , рис. 3), служащая для восприятия окружных нагрузок, в расчете выполнена из гибкого стеклопластика, толщиной 1 мм, с укладкой волокон по окружности колеса.

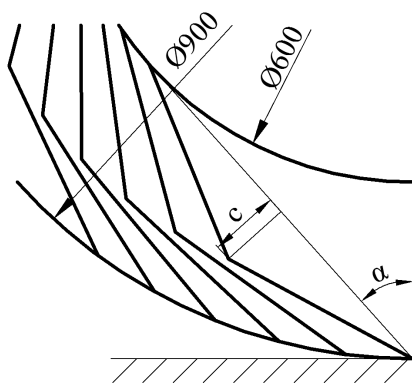


Рис. 3. Выбранная конструкция спиц с гибким ободом

Определение количества спиц и параметра c проведено с помощью МКЭ (пакет ANSYS). В результате анализа была выбрана форма спицы, показанная на рис. 3, где $c = 60$ мм, $\alpha = 42^\circ$. Количество спиц, необходимое для выполнения условия прочности $n = 64$.

Расчет на прочность проведен для двух случаев нагружения колеса [19] (см. таблицу):

- 1) режим максимальной силы тяги – колесо нагружено вертикальной нагрузкой и максимальным крутящим моментом;
- 2) максимальная статическая нагрузка – колесо нагружено максимальной вертикальной нагрузкой.

Распределения наибольших и наименьших сжимающих напряжений, возникающих в колесе на режиме максимальной силы тяги, показаны на рис. 4.

Нагрузочная характеристика колеса представлена на рис. 5.

Таким образом, выбранная конструкция работоспособна и ее жесткость близка к жесткости традиционной пневматической шины.

Расчётные режимы и результаты расчета

Расчетный режим	Вертикальная нагрузка, Н	Крутящий момент, Н·м	Максимальные сжимающие напряжения, МПа	Вертикальное перемещение колеса, мм
Максимальная сила тяги	12 500	4500	175	18,6
Максимальная вертикальная нагрузка	50 000	0	451	41,8

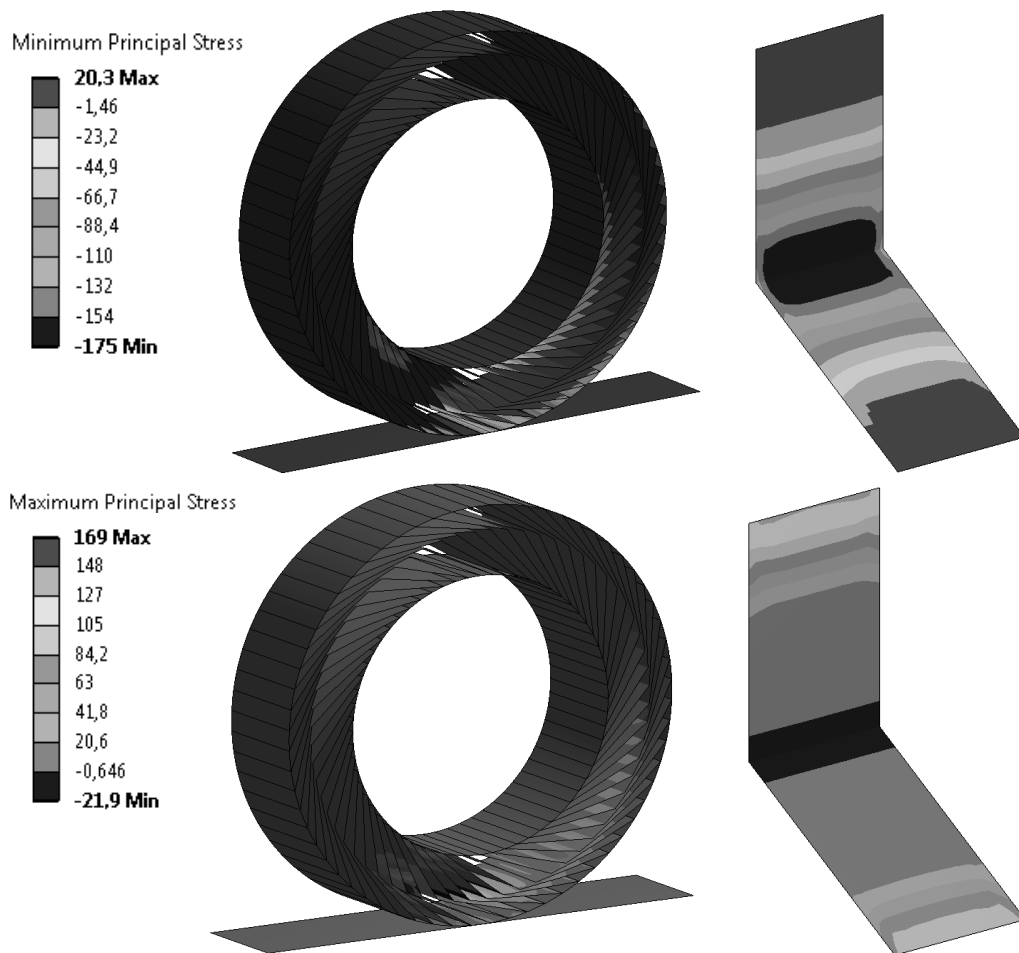


Рис. 4. Главные напряжения в колесе при расчетном режиме максимальной силы тяги, МПа; справа максимально нагруженная спица



Рис. 5. Нагрузочная характеристика безвоздушного колеса

Расчет и конструирование

Заключение. В результате проведенной работы была создана модель многоспицевой безвоздушной шины, обладающая характеристиками прочности и жесткости, сравнимыми с традиционными пневматическими шинами. Начальные параметры конструкции спиц определены аналитически, без учета их совместной работы. Далее методом КЭ проведен анализ напряженного состояния, и геометрические параметры были уточнены. Получена нелинейная нагрузочная характеристика колеса при использовании спиц, имеющих возможность контакта между собой. Прочность и жесткость финальной конструкции спиц из стеклопластика проверена на двух основных режимах работы транспортного средства.

Полученные результаты позволяют считать предложенную конструкцию безвоздушной шины вполне работоспособной, обладающей повышенной надежностью и возможностью применения в гражданских и военных транспортных средствах.

Исследование выполнено в Южно-Уральском государственном университете (национальном исследовательском университете) за счет гранта Российского научного фонда (проект № 14-19-00327).

Литература

1. Работа автомобильной шины / под ред. В.И. Кнороза. – М.: Транспорт, 1976. – 238 с.
2. Евзович, В.Е. Автомобильные шины, диски и ободья / В.Е. Евзович, П.Г. Райбман. – М.: Автополис-плюс, 2010. – 144 с.
3. Острецов, А.В. Шины и колеса для автомобилей и тракторов: учеб. пособие по дисциплине «Конструкция автомобиля и трактора» / А.В. Острецов, П.А. Красавин, В.В. Воронин. – М.: МГТУ «МАМИ», 2011. – 85 с.
4. Тенденции развития зарубежной военной автомобильной техники / под ред. В.А. Полонского. – М.: Ред.-издат. центр М-ва обороны РФ, 2005. – 176 с.
5. Рыков, С.П. Безвоздушные шины. Опыт разработки и результаты испытаний / С.П. Рыков, В.В. Мазур, С.Н. Тетерин // Системы. Методы. Технологии. – 2013. – Т. 4, № 20. – С. 20–27.
6. Development of Non-pneumatic Tire Technology / Z. Zhang, J. Lv, B. Song et al. // Applied Mechanics and Materials. – 2013. – Vol. 427–429. – P. 191–194.
7. Оценка деформации колеса, оснащенного непневматической шиной при компьютерном моделировании вертикального статического нагружения / А.В. Михеев, В.В. Беляков, В.С. Макаров и др. // Труды Нижнегород. гос. техн. ун-та им. Р.Е. Алексеева. – 2015. – Т. 2. – № 109. – С. 162–169.
8. Fazelpour, M. Evolution of meso-structures for non-pneumatic tire development: a case study / M. Fazelpour, J.D. Summers // Proceedings of the ASME 2014 International Design Engineering Technical Conferences & Computers and Information in Engineering Conference. – 2014. – P. 1–11.
9. Effect of Spokes Structures on Characteristics Performance of Non-Pneumatic Tires / A.M. Aboul-Yazid, M.A.A. Emam, S. Shaaban, M.A. El-Nashar // IJAME. – 2015. – Vol. 11. – P. 2212–2223.
10. Development of a two-dimensional model of a compliant non-pneumatic tire / A. Gasmî, P.F. Joseph, T.B. Rhyne, S.M. Cron // International Journal of Solids and Structures. – 2012. – Vol. 49. – P. 1723–1740.
11. Мазур, В.В. Расчетная оценка конструктивных элементов полиуретановых шин / В.В. Мазур, М.А. Мазур // Системы. Методы. Технологии. – 2013. – № 4 (20). – С. 32–39.
12. Ju, J. Flexible cellular solid spokes of a non-pneumatic tire / J. Ju, D.-Man Kim, K. Kim // Composite Structures. – 2012. – Vol. 94. – P. 2285–2295.
13. Berglind, L.A. Aluminum taper bristle-shaped shear band for a non-pneumatic tire / L.A. Berglind, J. Ju, J.D. Summers // Tire Science and Technology. – 2012. – Vol. 40. – № 3. – P. 152–170.
14. Berglind, L.A. Method to design honeycombs for a shear flexible structure / L.A. Berglind, J. Ju, J.D. Summers // SAE Int. J. Passeng. Cars-Mechanical Syst. – 2010. – Vol. 3 (1). – P. 588–597.
15. Manibaaan, C. Static Analysis of Airless Tyres / C. Manibaaan, B.S. Keshore, J.C. Haran // International Journal of Scientific and Research Publications. – 2013. – Vol. 3. – P. 1–4.
16. Periasamy, K. Design and development of airless car tire / K. Periasamy, S. Vijayan // International Journal of Advances in Engineering & Technology. – 2014. – Vol. 7. – № 4. – P. 1312–1317.
17. Еремин, Г.П. Теоретическая оценка работоспособности перспективных конструкций непневматических шин / Г.П. Еремин, А.Б. Карташов // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. – 2013. – <http://engjournal.ru/articles/407/html/files/assets/basic-html/index.html#page1>.

18. *Non-pneumatic mechanical elastic wheel natural dynamic characteristics and influencing factors* / Y. Zhao, L. Zang, Y. Chen et al. // *J. Cent. South Univ.* – 2015. – Vol. 22. – P. 1707–1715.

19. Лукин, П.П. *Конструирование и расчет автомобиля* / П.П. Лукин, Г.А. Гаспарянц, В.Ф. Родионов. – М.: Машиностроение, 1984. – 377 с.

20. *Автомобильные шины* / В.Л. Бидерман, Р.Л. Гуслицер, С.П. Захаров и др. – М.: Госхимиздат, 1963. – 384 с.

Абдрахимов Руслан Рамильевич, аспирант кафедры «Техническая механика» аэрокосмического факультета, инженер-исследователь научно-исследовательского центра «Экспериментальная механика», Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, ryslan90@gmail.com.

Цитцер Владимир Александрович, инженер-исследователь управления научной и исследовательской деятельностью, Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, zitzer8@gmail.com.

Сапожников Сергей Борисович, доктор технических наук, профессор кафедры «Техническая механика», Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, ssb@susu.ac.ru.

Поступила в редакцию 11 октября 2016 г.

DOI: 10.14529/engin160401

MULTISPOKE AIRLESS COMPOSITE TIRE: STRENGTH AND STIFFNESS

R.R. Abdrahimov, ryslan90@gmail.com,

V.A. Tsittser, zitzer8@gmail.com,

S.B. Sapozhnikov, ssb@susu.ac.ru

South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation

Model of multispoke airless tires, possessing strength and stiffness comparable to classical pneumatic tires is presented in this paper. The wheel structure with inclined spokes was used as the initial design, it has high reliability and flexibility through the ability to change of the form and angle of inclination of the spokes. Confirmation of the structure of airless tires was carried out by initial analytical research. The initial design of the wheel and the load are selected based on the analogue - pneumatic tire 7,50-20. Stiffness and strength of flexible spokes have been identified according to their geometry and physical-mechanical properties of the structural material by the mechanics of materials' method. The efficiency of obtained design was verified by analyzing the stress-strain state of the finite element method (FEM), with two main modes of vehicle loading: maximum traction and maximum static load. Parameters of spoke wheels have been clarified by using the FEM, taking into account the nonuniformity of loading of the spokes, and nonlinear characteristic of normal stiffness airless wheel was obtained (similar to pneumatic wheel), considering the possibility of contact between the spokes is above a certain load level. Thus, obtained the required contact spot between the wheel and the road surface, and provided high stiffness under increased loads.

The results of this work allow considering the proposed design multispoke airless tire enough a functioning, possessing increased reliability and the possibility of use for civilian and military vehicles.

Keywords: airless tire, fiberglass, strength, stiffness, contact patch.

References

1. V.I. Knoroz (Ed.) *Rabota avtomobil'noy shiny* [Car Tire Work]. Moscow, Transport, 1976. 238 p.
2. Evzovich V.E. *Avtomobil'nye shiny, diski i obod'ya* [Car Tires, Wheels and Rims]. Moscow, Avtopolis-plyus, 2010. 144 p.

3. Ostretsov A.V., Krasavin P.A., Voronin V.V. *Shiny i koleza dlya avtomobiley i traktorov: Uchebnoe posobie po distsipline "Konstruktsiya avtomobilya i traktora"* [Tires and Wheels for Cars and Tractors: Textbook on the Subject the Design of the Car and Tractor]. Moscow, MGTU "MAMI", 2011. 85 p.
4. Polonskiy V.A. (Ed.) *Tendentsii razvitiya zarubezhnoy voennoy avtomobil'noy tekhniki* [Trends of Foreign Military Vehicles]. Moscow, Editorial and Publishing Center of the Russian Ministry of Defense, 2005. 176 p.
5. Rykov S.P., Mazur V.V., Teterin S.N. [Airless tires. Experience in Development and Test Results]. *Sistemy. Metody. Tekhnologii*, 2013, no. 4 (20), pp. 20–27. (in Russ.)
6. Zhang Z., Lv J., Song B., Guo S., Gao F. Development of Non-Pneumatic Tire Technology. *Applied Mechanics and Materials*, 2013, vol. 427–429, pp. 191–194.
7. Mikheev A.V., Belyakov V.V., Makarov V.S., Zezyulin D.V., Kostrova Z.A. [Evaluation Wheel Deformation, Non-Pneumatic Tire Equipped with a Computer Simulation of the Vertical Static Load]. *Trudy Nizhegorodskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. R.E. Alekseeva*, 2015, Vol. 2, no. 109, pp. 162–169. (in Russ.)
8. Fazelpour M., Summers J.D. Evolution of meso-structures for non-pneumatic tire development: a case study. *Proceedings of the ASME 2014 International Design Engineering Technical Conferences & Computers and Information in Engineering Conference*, 2014, pp. 1–11.
9. Aboul-Yazid A.M., Emam M.A.A., Shaaban S., El-Nashar M.A. Effect of Spokes Structures on Characteristics Performance of Non-Pneumatic Tires. *International Journal of Applied Mechanics and Engineering*, 2015, vol. 11, pp. 2212–2223.
10. Gasmi A., Joseph P.F., Rhyne T.B., Cron S.M. Development of a Two-Dimensional Model of a Compliant Non-Pneumatic Tire. *International Journal of Solids and Structures*, 2012, vol. 49, pp. 1723–1740.
11. Mazur V.V., Mazur M.A. [The Estimated Structural Elements of Polyurethane Tires]. *Sistemy. Metody. Tekhnologii*, 2013, no. 4 (20), pp. 32–39. (in Russ.)
12. Ju J., Kim D.-M., Kim K. Flexible Cellular Solid Spokes of a Non-Pneumatic Tire. *Composite Structures*, 2012, vol. 94, pp. 2285–2295.
13. Berglind L.A., Ju J., Summers J.D. Aluminum Taper Bristle-Shaped Shear Band for a Non-Pneumatic Tire. *Tire Science and Technology*, 2012, vol. 40, № 3, pp. 152–170.
14. Berglind L.A., Ju J., Summers J.D. Method to Design Honeycombs for a Shear Flexible Structure. *SAE Int. J. Passeng. Cars-Mechanical Syst*, 2010, vol. 3(1), pp. 588–597.
15. Manibalan C., Keshore B.S., Haran J.C. Static Analysis of Airless Tyres. *International Journal of Scientific and Research Publications*, 2013, vol. 3, pp. 1–4.
16. Periasamy K., Vijayan S. Design and Development of Airless Car Tire. *International Journal of Advances in Engineering & Technology*, 2014, vol. 7(4), pp. 1312–1317.
17. Eremin G.P., Kartashov A.B. [Theoretical Estimation of Efficiency Perspective Constructions of Non-Pneumatic Tire]. *Vestnik MGTU im. N.E. Baumana*, 2013. Available at: <http://engjournal.ru/articles/407/html/files/assets/basic-html/index.html#page1>. (in Russ.)
18. Zhao Y., Zang L., Chen Y., Li B., Wang J. Non-Pneumatic Mechanical Elastic Wheel Natural Dynamic Characteristics and Influencing Factors. *J. Cent. South Univ*, 2015, vol. 22, pp. 1707–1715.
19. Lukin P.P., Gasparyants G.A., Rodionov V.F. *Konstruirovaniye i raschet avtomobilya* [Design and Car Calculation]. Moscow, Mashinostroenie, 1984. 377 p.
20. Biderman V.L., Guslitser R.L., Zakharov S.P., Nenakhov B.V., Seleznev I.I., Tsukerberg S.M. *Avtomobil'nye shiny* [Car Tires]. Moscow, Goskhimizdat, 1963. 384 p.

Received 11 October 2016

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Абдрахимов, Р.Р. Многоспицевая безвоздушная шина из композита: прочность и жесткость / Р.Р. Абдрахимов, В.А. Цитцер, С.Б. Сапожников // Вестник ЮУрГУ. Серия «Машиностроение». – 2016. – Т. 16, № 4. – С. 5–12. DOI: 10.14529/engin160401

FOR CITATION

Abdrahimov R.R., Tsittser V.A., Sapozhnikov S.B. Multispoke Airless Composite Tire: Strength and Stiffness. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Mechanical Engineering Industry*, 2016, vol. 16, no. 4, pp. 5–12. (in Russ.) DOI: 10.14529/engin160401