

УДК 629.3.027.5

DOI 10.18698/0536-1044-2016-11-34-39

Расчетные исследования низкопрофильных шин специального назначения

А.А. Каспаров¹, И.В. Веселов¹, С.Л. Соколов²

¹ ООО «Научно-производственный коммерческий центр «ВЕСКОМ», 105118, Москва, Российская Федерация, ул. Буракова, д. 27, корп. 2

² ООО «Холдинговая компания «ЛОйл НЕФТЕХИМ», 111020, Москва, Российская Федерация, Ухтомский пер., д. 4

Computational Research of Low Profile Special Purpose Tires

A.A. Kasparov¹, I.V. Veselov¹, S.L. Sokolov²

¹ OOO Scientific and Manufacturing Commercial Centre VESKOM, 105118, Moscow, Russian Federation, Burakov St., Bldg. 27, Block 2

² OOO Holding Company LOil NEFTEKHIM, 111020, Moscow, Russian Federation, Ukhdomskiy Per., Bldg. 4



e-mail: aldar4@mail.ru, iv-veselov@mail.ru, sokolovsl@inbox.ru



В настоящее время подавляющее большинство колесных транспортных средств и современных автомобилей оснащено пневматическими шинами. Существует множество конструкций шин разных типоразмеров как отечественного, так и зарубежного производства. Номенклатура серийно выпускаемых конструкций отечественных пневматических шин характеризуется значительным разнообразием, однако модельный ряд низкопрофильных шин с регулируемым внутренним давлением, в том числе высокой проходимости для военной автомобильной техники и автомобилей многоцелевого назначения, представлен скудно. Увеличение относительной ширины профиля шины к его высоте открывает возможности снижения массы конструкции и внутренних потерь при качении, улучшения управляемости, повышения устойчивости автомобиля и максимальной допустимой скорости для шины. Применение шин с низким профилем позволяет при сохранении наружного диаметра колеса увеличить пространство для компоновки колесного редуктора, тормозного механизма, элементов системы поддрессоривания. В данном исследовании рассмотрены шины 16,00R20 и 445/85R24, имеющие одинаковые внешние габариты. Проведена сравнительная оценка интенсивности и характера деформаций в рассматриваемых шинах, а также оценка распределения температур по профилю шин и долговечности конструкций при движении автомобиля. Анализ полученных данных позволяет сделать вывод об эффективности применения низкопрофильных шин взамен шин полного профиля.

Ключевые слова: низкопрофильные пневматические шины, колесное транспортное средство, пакет программ «Базис».



The vast majority of wheeled vehicles and modern cars are equipped with pneumatic tires. There is a wide range of tire designs of different sizes, both of domestic and foreign manufacturing. There is a good variety of commercially available domestic tires, but the range of low profile tires with adjustable internal pressure (including all-terrain tires for military vehicles and multi-purpose vehicles) is poor. Increasing the width of the tire profile makes it possible to reduce the mass of the tire and internal rolling losses. It also improves vehicle handling and stability; and increases the maximum permissible speed of the tire. The use of tires with low profile allows enlarging the space for arranging the wheel-hub drive, brake and suspension system components. This study examines 16,00R20 and 445/85R24 tires with the same dimensions. The authors compare the intensity and nature of deformation in these tires,

and evaluate the temperature distribution on the tire profile and the design endurance when the vehicle is in motion. The analysis of the results obtained leads to conclusions about the effectiveness of using low-profile tires instead of full profile tires.

Keywords: low-profile pneumatic tire, wheeled vehicle, BASIS software package.

Пневматические шины выпускаются различных назначений — легковые, легкогрузовые (самые массовые), грузовые, сельскохозяйственные, строительно-дорожные, крупногабаритные и др. К шинам специального назначения, как правило, относятся шины высокой проходимости с регулируемым внутренним давлением для военной автомобильной техники (ВАТ) и шины для автомобилей многоцелевого назначения (АМН). Подробно шины специального назначения с регулируемым давлением для ВАТ описаны в работе [1]. Современные АМН имеют более высокие нагрузки и, соответственно, шины специального назначения по габаритам приближаются к крупногабаритным шинам. При проектировании таких крупногабаритных шин необходимо учитывать специфику значительных размеров, больших значений теплообразования и радиальных прогибов и др. Эти вопросы были рассмотрены в работе [2].

Одной из тенденций развития пневматических шин в 60-х годах прошлого столетия наряду с радиализацией было освоение производства низкопрофильных шин. Первые пневматические шины, как известно, были полного профиля, т. е. со значением отношения высоты профиля H шины к ширине профиля B — H/B более 1,0.

Процесс перехода к низкопрофильным пневматическим шинам начался с легкового ассортимента. Уменьшение наружного диаметра шин с некоторым увеличением ширины профиля во многих случаях позволило снизить массу шин, потери на качение, улучшить управляемость. Кроме того, при этом уменьшается высота центра тяжести автомобиля и повышается его устойчивость. Также снижение значения H/B шин позволяет повысить максимальную скорость в эксплуатации. Низкопрофильные пневматические шины имеют много достоинств, однако при их производстве повышаются требования к материалам, технологическим процессам и оборудованию. Легковые шины выпускают со значением отношения $H/B = 0,8...0,55$ и даже $H/B = 0,25$.

Такая тенденция распространилась и на грузовые целиком металлокордные шины с посадочным диаметром 22,5 дюйма [3]. В этом слу-

чае появляется также возможность замены сдвоенных шин на одинарные. Важным элементом при разработке новых шин специального назначения является наличие ободьев или разработка новых конструкций ободьев, соответствующих требованиям заказчика [4].

Следует особо отметить, что шины для АМН должны обеспечивать возможность его движения даже при полной потере внутреннего давления, т. е. позволить экипажу транспортного средства при необходимости уйти с поля боевых действий на определенное расстояние и с требуемой скоростью. Это достигается использованием внутренней дополнительной опоры, устанавливаемой на диске колеса [5, 6]. Применение низкопрофильных шин позволяет снизить высоту дополнительной внутренней опоры и соответственно ее массу и температуру нагрева при движения автомобиля без внутреннего давления, а также повысить технологичность при сборе всей шины на ободе [7, 8].

Цель работы — рассмотрение возможности применения низкопрофильной пневматической шины 445/85R24 вместо шины 16,00R20 в автомобилях многоцелевого назначения.

Конструктивные характеристики шин (рис. 1) выбраны исходя из подходов к построению профиля шины, основанных на минимизации размахов циклов деформаций за оборот колеса, что позволяет снизить температуру разогрева шины и повысить ее долговечность. Технические решения защищены патентом РФ [9], а конструктивные параметры деталей шины — авторским свидетельством на изобретение [10]. Проведен сравнительный расчетный анализ напряженно-деформированного состояния шины 16.00R20 и новой предлагаемой

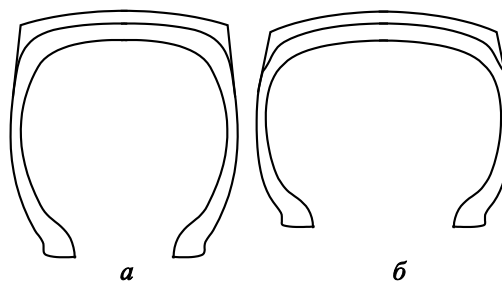


Рис. 1. Профили шин 16,00R20 (а) и 445/85R24 (б)

шины 445/85R24. Сравнимые шины имеют одинаковые внешние габариты (наружный диаметр шин 1340 мм, ширина профиля шин 440 мм), при этом значение посадочного диаметра новой шины увеличено с 20 до 24 дюймов (с 508 до 609 мм).

Оценку характеристик шины на сегодняшний день наиболее целесообразно проводить методом конечных элементов [11]. Для сравнительной оценки выходных характеристик двух рассматриваемых вариантов шин с помощью пакета программ «Базис» [12] методом конечных элементов проведен расчет, основные результаты которого приведены на рис. 2–5 и далее.

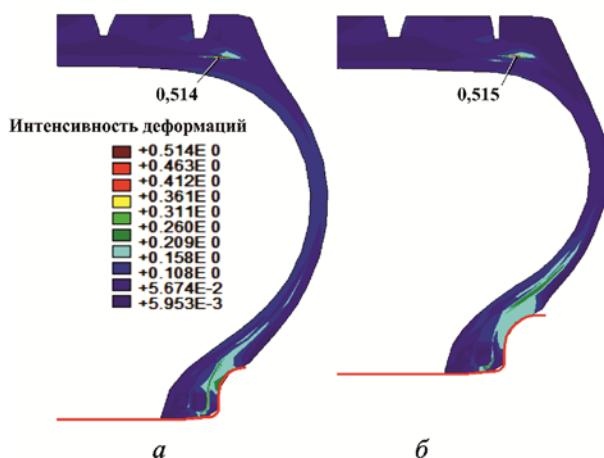


Рис. 2. Распределение интенсивности деформаций по профилю шин 16,00R20 (а) и 445/85R24 (б)

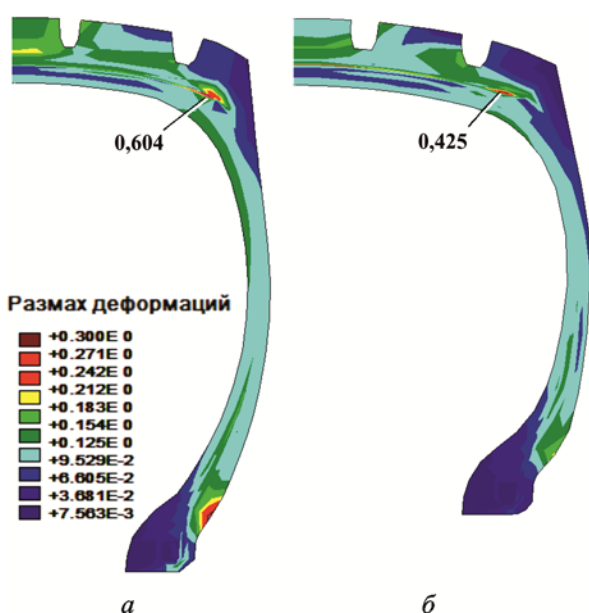


Рис. 3. Распределение размаха интенсивности деформаций за оборот колеса по профилю шин 16,00R20 (а) и 445/85R24 (б)

Расчетные характеристики шин

16,00R20 445/85R24

| | | |
|---|-------------------------------|--------|
| Каркас | Шесть слоев 35КНТС (352 КНТС) | |
| Брекер | Четыре слоя металлокорда | |
| Внутреннее давление, МПа | 0,78 | 0,83 |
| Нагрузка, Н: | | |
| нормальная | 63 743 | 63 743 |
| боковая | 6 374 | 6 374 |
| Диаметр надутой шины, мм | 1 339 | 1 341 |
| Ширина надутой шины, мм | 442 | 443 |
| Общий прогиб шины, мм | 49,5 | 48,0 |
| Статический радиус, мм | 620,0 | 622,4 |
| Радиус качения, мм | 651,8 | 653,3 |
| Длина контакта, мм | 392 | 361 |
| Жесткость шины: | | |
| радиальная, кН/м | 1 286 | 1 326 |
| крутильная, кН·м/рад | 967 | 1 026 |
| боковая, кН/м | 600 | 633 |
| Среднее контактное давление, МПа | 0,89 | 0,88 |
| Насыщенность рисунка протектора, % | 52 | 52 |
| Коэффициент сопротивления боковому уводу, кН/рад | 480 | 495 |
| Интенсивность работы трения, Дж/м | 92,5 | 88,0 |
| Потери на качение, % | 100 | 94 |
| Максимальная интенсивность деформаций | 0,514 | 0,418 |
| Максимальный размах интенсивности деформаций за оборот колеса | 0,604 | 0,425 |
| Максимальная расчетная температура, °С | 138 | 124 |
| Расчетная долговечность зоны кромок брекера, тыс. км, (%) | 3,7 | 14,1 |
| | (100) | (370) |

Анализ результатов расчета показал, что по основным выходным показателям шины 445/85R24 существенно превосходят шины 16,00R20. По сравнению с шиной 16,00R20 у шины 445/85R24 расчетная долговечность, определяемая по методике, изложенной в работах [13, 14], почти в 4 раза больше, а максимальная расчетная температура (при скорости движения автомобиля 50 км/ч) на 14 °С меньше.

В рассмотренном случае представлен переход на низкопрофильные шины путем увеличения посадочного диаметра, а не уменьшения наружного диаметра шины. Такое техническое решение позволяет улучшить управляемость и устойчивость автомобиля, а также облегчить условия монтажно-демонтажных работ при установке дополнительных внутренних опор. Кроме того, снижается площадь возможного поражения боковой поверхности шины (что важно для боестойких колес) и увеличивается пространство для размещения тормозных систем, колесных редукторов и т. п. Еще одним

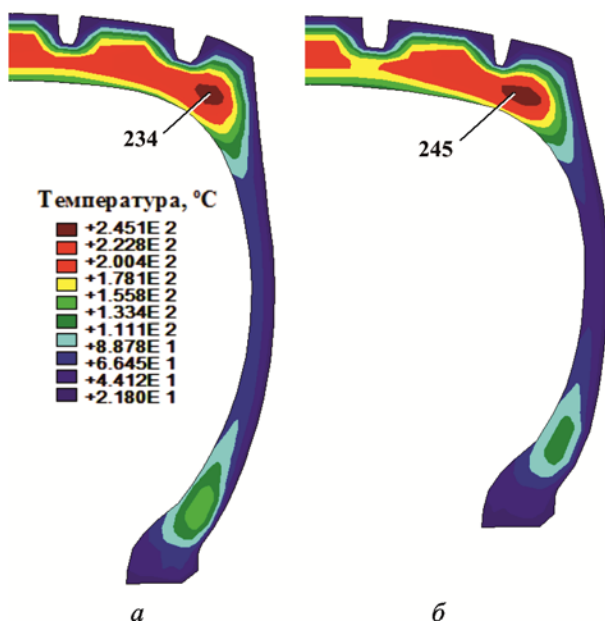


Рис. 4. Распределение расчетной температуры по профилю шин 16,00R20 (а) и 445/85R24 (б)

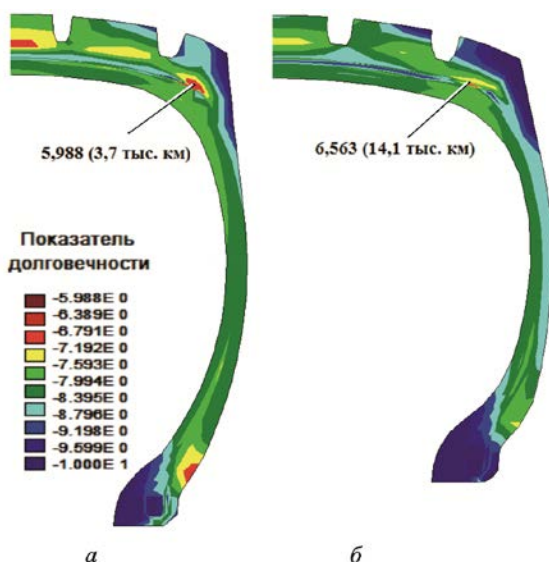


Рис. 5. Расчетная долговечность деталей шин 16,00R20 (а) и 445/85R24 (б)

достоинством применения низкопрофильной шины является снижение массы и потерь на качение (более 5 %) [15].

Для определения распределения контактных давлений поперек отпечатка шин и расчетных

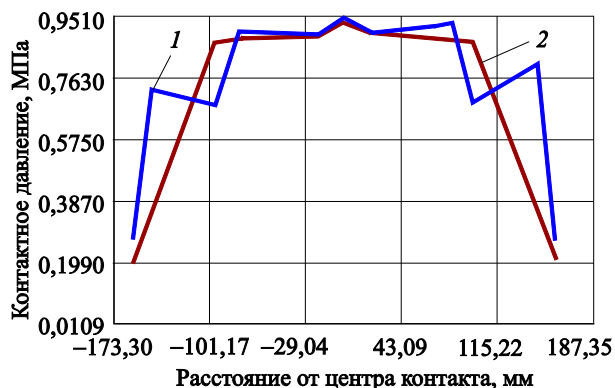


Рис. 6. Распределение контактного давления поперек отпечатка шин 16,00R20 (1) и 445/85R24 (2)

потерь на качение также использован метод конечных элементов.

Одним из главных показателей для оценки приспособленности движения по деформируемым грунтам является коэффициент объемной опорной проходимости, который определяется отношением нагрузки на колесо к произведению свободного диаметра на ширину протектора колеса. Этот параметр зависит также от длины, ширины и формы пятна контакта шины с опорной поверхностью. Результаты расчетов распределения давления по ширине контакта представлены на рис. 6.

Выводы

Анализ результатов расчетных исследований свидетельствует о перспективности и целесообразности применения шин специального назначения с регулируемым давлением низкопрофильных конструкций, которые обеспечат:

- уменьшение теплообразования в шинах и сопротивления качению;
- снижение тепловой обнаруживаемости транспортного средства;
- повышение максимальной скорости движения, а также устойчивости и управляемости всего колесного транспортного средства;
- улучшение условий монтажно-демонтажных работ в полевых условиях при установке внутренних дополнительных опор.

Литература

[1] Абрамов В.Н., Чистов М.П., Веселов И.В., Колтунов А.А. *Оценка и выбор пневматических шин регулируемого давления для армейских автомобилей*. Москва, 21НИИ МО РФ, 2010. 453 с.
 [2] Каспаров А.А. *Повышение ресурса и снижение сопротивления качению крупногабаритных автомобильных шин*. Дис. ... канд. техн. наук. Москва, 2002. 187 с.

- [3] Полонский В.А., ред. *Тенденции развития зарубежной военной автомобильной техники. Кн. 1.* Москва, Редакционно-издательский центр Министерства обороны РФ, 2005. 176 с.
- [4] Евзович В.Е., Райбман П.Г. *Автомобильные шины, диски и ободья.* Москва, Автополис-плюс, 2010. 144 с.
- [5] Еремин Г.П., Карташов А.Б., Смирнов А.А. Расчетно-экспериментальный метод определения конструктивного облика колесных вставок безопасности. *Известия Московского государственного технического университета МАМИ*, 2015, т. 1, вып. 3, с. 37–45.
- [6] Абрамов В.Н., Аипов Т.А. Модель расчетной оценки параметров проходимости армейского автомобиля при повреждении колесного движителя. *Проблемы шин и резинокордных композитов. Сб. докл. XXII симп.*, Москва, НТЦ «НИИШП», 2011, с. 49–57.
- [7] Еремин Г.П., Карташов А.Б., Смирнов А.А. Разработка многоцелевых колесных движителей с внутренней колесной опорой. *Проблемы шин и резинокордных композитов. Сб. докл. XXVI симп.*, Москва, НТЦ «НИИШП», 2015, с. 124–131.
- [8] Run flat technology is top priority. *European Rubber Journal*, 2003, no. 4, pp. 16–18.
- [9] Ермиченко Т.И., Соколов С.Л., Кузнецова Л.Д., Ненахов Б.В., Кузнецов В.В., Овчинников М.М., Бронникова Э.М. *Пневматическая шина большой грузоподъемности.* Пат. 2032547 РФ. МПК В60С9/08, 1992. 8 с.
- [10] Дроздова В.В., Соколов С.Л., Тартаковер Е.И., Боева Г.А., Гладких С.А. *Покрышка пневматической шины.* А.с. 1705132 СССР, 1991. 6 с.
- [11] Faria L.O., Oden J.T., Yavari B., Tworzydlo W.W., Bass J.M., Becker E.B. Tire modeling by finite elements. *Tire Science and Technology*, 1992, vol. 20, no. 1, pp. 33–56.
- [12] Школьник Д.И., Лобанов С.А., Марченко С.И., Ненахов А.Б. *Программа прочностного анализа методом конечных элементов BASYS+(Базис плюс).* Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 940336, РосАПО, 1994.
- [13] Соколов С.Л. *Расчетно-экспериментальные методы исследования напряженно-деформированного состояния и циклической долговечности пневматических шин.* Дис. ... д-ра техн. наук. Москва, 2011. 264 с.
- [14] Соколов С.Л., Ненахов А.Б. Расчет циклической долговечности пневматических шин. *Проблемы шин и резинокордных композитов. Сб. докл. XXV симп.*, Москва, НТЦ «НИИШП», 2014, с. 320–332.
- [15] Бухин Б.Л. *Механика и конструирование шин. Проблемы шин и резинокордных композитов. Сб. докл. XVIII симп.*, Москва, НТЦ «НИИШП», 2007, с. 87–91.

References

- [1] Abramov V.N., Chistov M.P., Veselov I.V., Koltunov A.A. *Otsenka i vybor pnevmaticheskikh shin reguliruemogo davleniia dlia armeiskikh avtomobilei* [Evaluation and selection of pneumatic tires adjustable pressure for army vehicles]. Moscow, 21NII MO RF publ., 2010. 453 p.
- [2] Kasparov A.A. *Povyshenie resursa i snizhenie soprotivleniia kacheniiu krupnogabaritnykh avtomobil'nykh shin.* Diss. kand. tekhn. nauk [Increasing the resource and reducing the rolling resistance of large tires. Cand. tech. sci. diss.]. Moscow, 2002. 187 p.
- [3] *Tendentsii razvitiia zarubezhnoi voennoi avtomobil'noi tekhniki. Kn.1.* [The development trend of international military vehicles]. Book 1. Ed. Polonskii V.A. Moscow, Redaktsionno-izdatel'skii tsentr Ministerstva oborony RF publ., 2005. 176 p.
- [4] Evzovich V.E., Raibman P.G. *Avtomobil'nye shiny, diski i obod'ia* [Car tires, wheels and rims]. Moscow, Kompaniia Avtopolis-plus publ., 2010. 144 p.
- [5] Eremin G.P., Kartashov A.B., Smirnov A.A. *Raschetno-eksperimental'nyi metod opredeleniia konstruktivnogo oblika kolesnykh vstavok bezopasnosti* [Calculation and experimental method of determining the design of wheel supporting ring]. *Izvestiia Moskovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta MAMI* [Proceedings of the Moscow State University of mechanical engineering (MAMI)]. 2015, vol. 1, is. 3, pp. 37–45.
- [6] Abramov V.N., Aipov T.A. *Model' raschetnoi otsenki parametrov prokhodimosti armeiskogo avtomobilia pri povrezhdenii kolesnogo dvizhitelia* [The estimated model parameter estimates army terrain vehicle is damaged wheeled mover]. *Problemy shin i rezinokordnykh*

- kompozitov. Sbornik dokladov 22 Simpoziuma* [Problems of tires and rubber-cord composites. Collection of reports 22 Symposium]. Moscow, NIISHP publ., 2011, pp. 49–57.
- [7] Eremin G.P., Kartashov A.B., Smirnov A.A. Razrabotka mnogotselevykh kolesnykh dvizhitelei s vnutrennei kolesnoi oporoi [Development of multi-wheel propulsion with internal castors]. *Problemy shin i rezinokordnykh kompozitov. Sbornik dokladov 26 simpoziuma* [Problems of tires and rubber-cord composites. Collection of reports 26 Symposium]. Moscow, NIISHP publ., 2015, pp. 124–131.
- [8] Run flat technology is top priority. *European Rubber Journal*, 2003, no. 4, pp. 16–18.
- [9] Ermichenko T.I., Sokolov S.L., Kuznetsova L.D., Nenakhov B.V., Kuznetsov V.V., Ovchinnikov M.M., Bronnikova E.M. *Pnevmaticheskaiia shina bol'shoi gruzopod'emnosti* [The pneumatic tire for heavy-duty]. Patent RF no. 2032547, 1992. 8 p.
- [10] Drozdova V.V., Sokolov S.L., Tartakover E.I., Boeva G.A., Gladkikh S.A. *Pokryshka pnevmaticheskoi shiny* [Tire tire]. Author's certificate no. 1705132 USSR, 1991. 6 p.
- [11] Faria L.O., Oden J.T., Yavari B., Tworzydlo W.W., Bass J.M., Becker E.B. Tire modeling by finite elements. *Tire Science and Technology*, 1992, vol. 20, no. 1, pp. 33–56.
- [12] Shkol'nik D.I., Lobanov S.A., Marchenko S.I., Nenakhov A.B. *Programma prochnostnogo analiza metodom konechnykh elementov BASYS+(Bazis plus)* [Program structural analysis by finite element method BASYS+(plus basis)]. Certificate of official registration of the computer no. 940336, RosAPO, 1994.
- [13] Sokolov S.L. *Raschetno-eksperimental'nye metody issledovaniia napriazhenno-deformirovannogo sostoiianiia i tsiklicheskoi dolgovechnosti pnevmaticheskikh shin*. Diss. dokt. tekhn. nauk [Settlement and experimental methods for studying stress-strain state and endurance of pneumatic tires. Dr. tech. sci. diss.]. Moscow, 2011. 264 p.
- [14] Sokolov S.L., Nenakhov A.B. Raschet tsiklicheskoi dolgovechnosti pnevmaticheskikh shin [Calculation of the cyclic durability of tires]. *Problemy shin i rezinokordnykh kompozitov. Sbornik dokladov 25 Simpoziuma* [Problems of tires and rubber-cord composites. Collection of reports 25 Simpozium]. Moscow, NIISHP publ., 2014, pp. 320–332.
- [15] Bukhin B.L. *Mekhanika i konstruirovaniie shin* [Mechanics and construction tires]. *Problemy shin i rezinokordnykh kompozitov. Sbornik dokladov 28 simpoziuma* [Problems of tires and rubber-cord composites. Collection of reports 28 Symposium]. Moscow, NIISHP publ., 2007, pp. 87–91.

Статья поступила в редакцию 23.06.2016

Информация об авторах

КАСПАРОВ Артур Армович (Москва) — кандидат технических наук, директор по науке ООО «Научно-производственный коммерческий центр «ВЕСКОМ» (105118, Москва, Российская Федерация, ул. Буракова, д. 27, корп. 2, e-mail: aldar4@mail.ru).

ВЕСЕЛОВ Игорь Владимирович (Москва) — кандидат технических наук, профессор, генеральный директор. ООО «Научно-производственный коммерческий центр «ВЕСКОМ» (105118, Москва, Российская Федерация, ул. Буракова, д. 27, корп. 2, e-mail: iv-veselov@mail.ru).

СОКОЛОВ Сергей Леонидович (Москва) — доктор технических наук, ведущий специалист. ООО «Холдинговая компания «ЛОЙЛ НЕФТЕХИМ» (111020, Москва, Российская Федерация, Ухтомский пер., д. 4, e-mail: sokolovsl@inbox.ru).

Information about the authors

KASPAROV Artur Armovich (Moscow) — Candidate of Science (Eng.), Director of Research. OOO Scientific and Manufacturing Commercial Centre VESKOM (105118, Moscow, Russian Federation, Burakov St., Bldg. 27, Block 2, e-mail: aldar4@mail.ru).

VESELOV Igor Vladimirovich (Moscow) — Candidate of Science (Eng.), Professor, General Director. OOO Scientific and Manufacturing Commercial Centre VESKOM (105118, Moscow, Russian Federation, Burakov St., Bldg. 27, Block 2, e-mail: iv-veselov@mail.ru).

SOKOLOV Sergey Leonidovich (Moscow) — Doctor of Science (Eng.), Leading Specialist. OOO Holding Company LOIL NEFTEKHIM (111020, Moscow, Russian Federation, Ukhtomskiy Per., Bldg. 4, e-mail: sokolovsl@inbox.ru).