

Артёмов А.В.

старший преподаватель кафедры автомобилей и сервиса Воронежского государственного лесотехнического университета имени Г.Ф. Морозова, РФ

Прядкин В.И.

доктор техн. наук, профессор кафедры автомобилей и сервиса Воронежского государственного лесотехнического университета имени Г.Ф. Морозова, РФ

Татаринцев В.Ю.

ассистент кафедры автомобилей и сервиса Воронежского государственного лесотехнического университета имени Г.Ф. Морозова, РФ

Пугонин А.Е.

магистр 2 курса политехнического института сибирского федерального университета, г. Красноярск, РФ

Artemov A.V.

senior lecturer of the department of cars and service, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Russian Federation

Pryadkin V.I.

Doktor of technical sciences, professor, department of cars and service, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Russian Federation

Tatarintsev V.Yu.

assistant of the Department of cars and service, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Russian Federation

Pugonin A.E.

2nd year Master's degree from the Polytechnic Institute of the Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russian Federation

СПОРТИВНЫЕ КРОССОВЫЕ АВТОМОБИЛИ И ИХ ШИНЫ

SPORTS CROSS-COUNTRY CARS AND THEIR TIRES

Аннотация. В статье рассматриваются виды шин для спортивных кроссовых автомобилей типа багги. Проведены экспериментальные исследования шины модели НК-11 размерностью 185/70 R13 на специальном стенде. Полученные значения радиальной жёсткости шины свидетельствуют о том, что между нагрузкой и радиальной деформацией отсутствует линейная зависимость, а при снижении давления воздуха в шине увеличивается площадь петли гистерезиса и величина остаточной деформации.

Abstract. The article discusses the types of tires for sports cross-country cars such as buggies. Experimental studies of the NK-11 tire with a dimension of 185/70 R13 were carried out on a special stand. The obtained values of radial stiffness of the tire indicate that there is no linear relationship between load and radial deformation, and with a decrease in air pressure in the tire, the area of the hysteresis loop and the amount of residual deformation increase.

Ключевые слова: спортивные кроссовые автомобили, багги, шины, бездорожье, испытания, нагрузочная характеристика, радиальная деформация, давление.

Keywords: sports cross-country cars, buggies, tires, off-road, testing, load characteristics, radial deformation, pressure.

Введение

Спортивные кроссовые автомобили (багги) — это лёгкие, открытые машины, предназначенные для езды по бездорожью. Их конструкция (рис. 1) отличается простотой: отсутствие крыши и дверей, открытая компоновка, мощный двигатель и усиленная подвеска [1-3].

Часто багги оснащаются специальными шинами (рис. 2) с глубоким протектором для лучшего сцепления с грунтом, песком или грязью [4, 5].



а



б



в



г

а – тактический багги Ariel Atom Nomad; б – багги KTM;
в – багги Раптор 1500; г – багги CAN-AM MAVERICK X3

Рисунок 1 – Спортивные кроссовые автомобили

Дорожные шины предназначены для компромиссного взаимодействия с разными опорными поверхностями: асфальтными дорогами, грунтовыми и слабо уплотненными опорными основаниями. Они обеспечивают стабильность управления, высокую проходимость и долговечность при эксплуатации в условиях бездорожья и смешанных климатических условиях.

Грязевые шины предназначены для максимальной проходимости в условиях интенсивного бездорожья, включая грязевые болота, речные переправы, снежные трассы и лесные массивы. Высокое сцепление с вязкими поверхностями позволяет поглощать удары от неровностей и минимизировать риск вязкого западания за счет оптимизированной геометрии протектора и свойств резиновой смеси.

Песчаные шины предназначены для максимальной проходимости на сухих и уплотненных песчаных участках, таких как пустыни, балки и солончаки.

Они минимизируют риск западания и обеспечивают стабильное сцепление с поверхностью, предотвращая проскальзывание при движении.

Вседорожные шины предназначены для компромиссного решения между эксплуатацией на асфальтовых покрытиях и сложных бездорожных условиях. Поддерживая оптимальные характеристики в любое время года и при любых погодных условиях, сочетая высокую проходимость с комфортабельностью на традиционных дорогах [4, 5].



а – шины дорожные; *б* – шины грязевые/внедорожные;
в – шины для песка; *г* – шины вседорожные

Рисунок 2 – Шины различного назначения для спортивных кроссовых автомобилей

Цель и задачи исследования

Целью исследования является оценка возможности применения шин Мастер-Спорт НК-11 в конструкциях спортивных кроссовых автомобилей.

Задачи исследования:

1. Анализ технических характеристик и условий работы шин спортивных кроссовых автомобилей;

2. Разработка программы и методики проведения испытаний по определению радиальной жесткости шин спортивных кроссовых автомобилей;

3. Определение упругих характеристик шины Мастер-Спорт НК-11 на стендовом оборудовании СИХШ-2500-1000.

Объект исследования

Объектом исследования в данной работе является пневматическая шина радиальной конструкции размерностью 185/70 R13 модели НК-11 (рис. 3) производства компании «Мастер Спорт» в камерном исполнении с высотой грунтозацепа 16 мм. Предназначена для использования на легковых багги и спортивных кроссоверах, а также легких вездеходных транспортных средств, эксплуатируемых вне дорог на грунтах с малой несущей способностью (заболоченной местности, песчаном неуплотненном грунте, снежном покрове, льду и вспаханном поле). Её конструкция обеспечивает баланс между проходимостью и управляемостью на твердых и умеренно рыхлых поверхностях. Камерная конструкция делает ее подходящей для эксплуатации на асфальтированных дорогах, но с ограничениями по проходимости в бездорожье.



а



б

а – общий вид шины НК-11; *б* – шина НК-11 во время испытаний

Рисунок 3 – Объект исследований шина Мастер Спорт НК-11

Основные технические характеристики шины Мастер Спорт НК-11 представлены в таблице.

Таблица – Технические характеристики шины Мастер Спорт модели НК-11

Наименование показателя	ТУ 381.04-11-06-91
Обозначение шины	185/70 R13
Обозначение модели шины	НК-11
Тип рисунка протектора	Вседорожный
Высота грунтозацепа, мм	16
Исполнение	Камерное
Индекс нагрузки	83
Индекс скорости	J
Размеры новой шины, мм:	
- ширина профиля шины	185
- ширина профиля шины	264
- посадочный диаметр	330
Нормы эксплуатационных режимов:	
- максимально допускаемая нагрузка на шину, кг	487
- внутреннее давление, соответствующее максимальной допускаемой нагрузке на шину, кПа	192
- минимально допускаемое давление, кПа	142
- нагрузка на шину, соответствующая минимальному допускаемому давлению в шине, кг	250
Максимальная скорость, км/ч	100

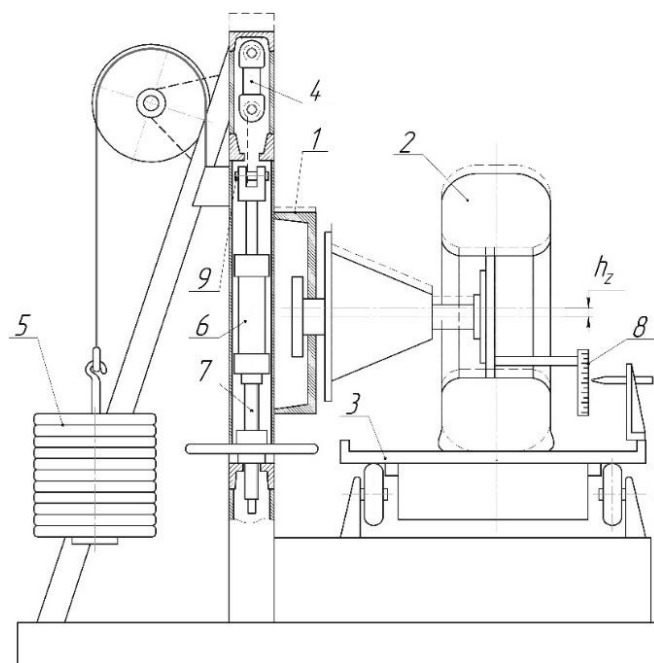
В качестве измеряемого параметра, определяющего выходные параметры шины Мастер Спорт НК-11 выбран наиболее значимый показатель взаимодействия шины с опорным основанием, а именно – радиальная деформация шины (h_{zu}).

Материалы и методы исследования

Лабораторные испытания шины проводились на универсальном стенде СИХШ 2500-1000. В процессе испытаний проводится радиальная обжимка, определяются массово-геометрические показатели, снимаются отпечатки площадей контакта шин, измеряются удельные давления и экологические показатели [6-8].

Нагрузочная характеристика шины (рис. 4 и рис. 5) снималась на стенде СИХШ 2500-1000 двумя способами. При первом способе устанавливалось заданное давление воздуха и на этом давлении снималась зависимость между

нагрузкой и радиальной деформацией. Далее опыты повторялись при различных давлениях воздуха. По второму способу на каждом из установленных давлений воздуха снимались циклы «нагрузка-разгрузка», по полученным значениям строились петли гистерезиса.



1 – подвижная каретка; 2 – испытуемая шина; 3 – стол стенда; 4 – тензозвено радиальной нагрузки; 5 – груз на противовесе; 6 – гидроцилиндр нагрузки; 7 – винт; 8 – измерительная линейка; 9 – палец фиксирующий

Рисунок 4 – Конструктивно-принципиальная схема определения нагрузочной характеристики шины

Радиальный прогиб шины выражен формулой:

$$h_z = h_{z0} + \alpha \frac{G_z}{\sqrt{P_w}}, \quad (1)$$

где h_z – радиальный прогиб шины, или шины с грунтом; h_{z0} – постоянный для данной шины коэффициент, мм; α – постоянный для данной шины коэффициент, $\text{кг} \cdot \text{кПа}^{-0,5}$; G_z – нормальная нагрузка на шину, кг P_w – внутреннее давление воздуха в шине, кПа.

Радиальная жесткость шины определялась по формуле [64]:

$$C_z = \frac{\sqrt{P_w}}{\alpha}, \text{ кН/м} \quad (2)$$

где P_w – давление воздуха в шине.

Влияние давления воздуха на коэффициент рассеивания энергии в шине оценивалось путем расчета коэффициента гистерезисных потерь:

$$\psi = \frac{S_n}{S_{осн}}, \quad (3)$$

где S_n и $S_{осн}$ – площадь петли гистерезиса и криволинейного треугольника под петлей гистерезиса при заданном давлении воздуха, в координатах $G_z = f(h_z)$ см².



Рисунок 5 – Определение нагрузочной характеристики шины модели НК-11 размерностью 185/70 R13

Аппроксимация экспериментальной зависимости коэффициента гистерезисных потерь от давления воздуха представлялась в виде зависимости:

$$\psi = \psi_0 + \frac{K}{P_w}, \quad (4)$$

где K – постоянный для конкретной шины коэффициент, кПа ψ_0 – постоянный безразмерный коэффициент, характеризующийся асимптотой к которой стремится гипербола при бесконечном увеличении давления воздуха в шине.

Результаты и обсуждение

Нагрузочная характеристика шины НК-11 определялась двумя способами (рис. 6). При первом способе шина нагружалась вертикальной нагрузкой, определенной по индексу нагрузки шины при трех уровнях давления ($P_w=0.142$ МПа; 0,192 МПа и 0,253 МПа). На каждом из установленных давлений воздуха воспроизводились циклы «нагрузка-разгрузка», а по полученным данным строились петли гистерезиса шины (рис. 7 и рис. 8).

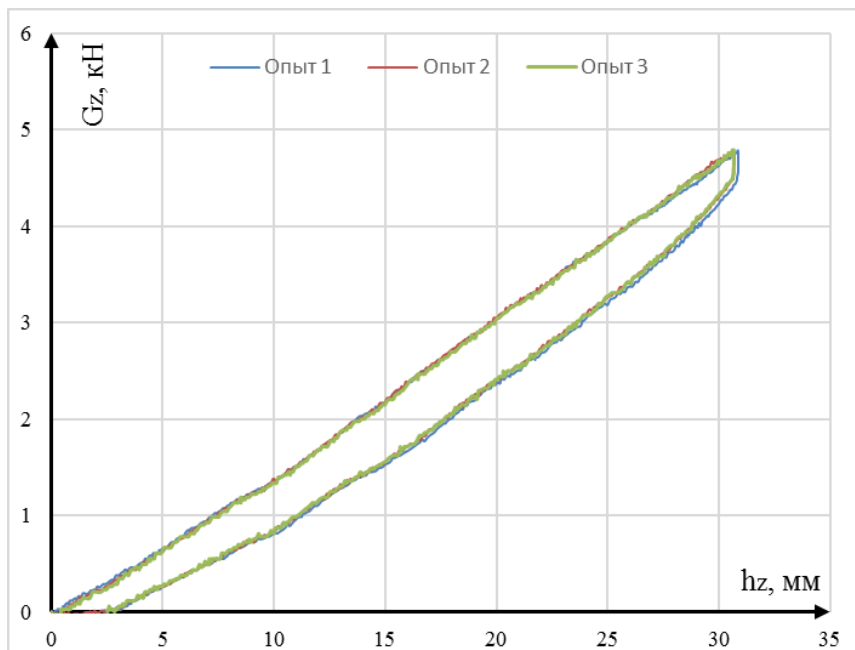


Рисунок 6 – Нагрузочная характеристика шины НК-11 при внутреннем давлении $P_w=0.142$ МПа и $G_z=4.7$ кН

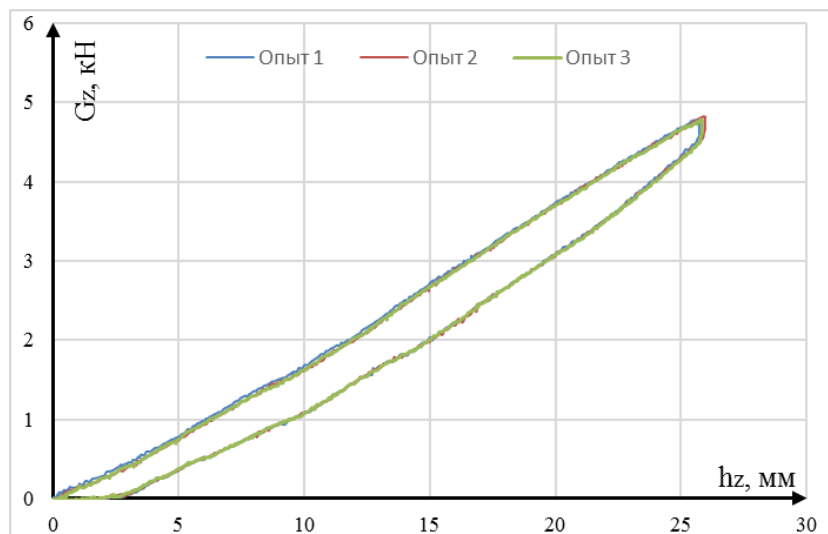


Рисунок 7 – Нагрузочная характеристика шины НК-11 при внутреннем давлении $P_w=0.192$ МПа и $G_z=4.7$ кН

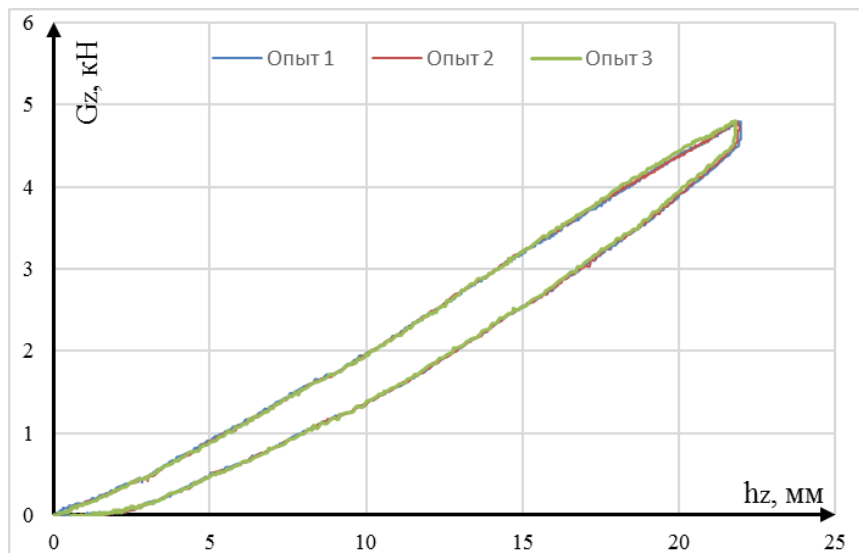


Рисунок 8 – Нагрузочная характеристика шины НК-11 при внутришинном давлении $P_w=0.253$ МПа и $G_z=4.7$ кН

Из полученных графиков видно, что между нагрузкой и радиальной деформацией нет строгой линейной зависимости, а при снижении давления воздуха в шине увеличивается площадь петли гистерезиса и величина остаточной деформации.

Выводы

1. Анализ технических характеристик и условий работы шин спортивных кроссовых автомобилей показал, что шины данной техники функционируют в условиях интенсивных переменных нагрузок, высоких деформаций, ударных воздействий и работы на слабонесущих опорных основаниях. Установлено, что основными требованиями к таким шинам являются высокие тягово-сцепные качества и достаточная радиальная жесткость.

2. Разработанная программа и методика проведения испытаний по определению радиальной жесткости обеспечили возможность воспроизведения статических нагрузок и получения нагрузочных характеристик при различных давлениях воздуха. Методика включает последовательное нагружение и разгрузку шины и анализ гистерезисных потерь, что позволяет объективно оценить упругие свойства шины.

3. Анализ упругих характеристик шины Мастер-Спорт НК-11 показал, что зависимость между нагрузкой и радиальной деформацией носит нелинейный характер. С уменьшением давления воздуха в шине с 0,253 МПа до 0,142

МПа уменьшается радиальная жесткость с 233 кН/м до 175 кН/м, возрастает величина остаточной деформации и увеличивается площадь петли гистерезиса, что свидетельствует о росте энергоемкости шины.

4. Полученные экспериментальные данные могут быть использованы при модернизации существующих конструкций спортивных кроссовых автомобилей, а также при проектировании новых образцов техники с учетом реальных упруго-деформационных свойств шин НК-11.

Список литературы

1. Артемьев, И. С. Разработка действующей модели Багги / И. С. Артемьев // Современные достижения молодёжной науки Зауралья : Материалы регионального конкурса на лучшую научную работу среди студентов, аспирантов и молодых ученых высших учебных заведений и научных учреждений Курганской области, Курган, 22 мая 2014 года. – Курган: Курганский государственный университет, 2014. – С. 56. – EDN YJVUOV.
2. Ляпустин, А. С. Исследование классификационных классов кроссовых автомобилей типа "багги" / А. С. Ляпустин // Научному прогрессу – творчество молодых. – 2022. – № 1. – С. 279-281. – EDN RPNLMG.
3. Хабибуллин, Р. Р. Специальный кроссовый автомобиль-БАГГИ / Р. Р. Хабибуллин, Р. Р. Хабибуллина // Инновации технических решений в машиностроении и транспорте : Сборник статей IV Всероссийской научно-технической конференции для молодых ученых и студентов с международным участием, Пенза, 14–15 марта 2018 года / Под общей редакцией В.В. Салмина. – Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2018. – С. 131-135. – EDN UOCERZ.
4. Клысак, Г. А. Шины и колеса для наземной внедорожной техники / Г. А. Клысак, С. В. Далик, Д. В. Сухоненко // АРКТИКА: инновационные технологии, кадры, туризм : Материалы международной научно-практической конференции, Воронеж, 19–21 ноября 2018 года / под общ. ред. В. И. Прядкина. – Воронеж: Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, 2018. – С. 283-288. – EDN ZBTLHF.
5. Читаев, Т. А. Основная классификация шин и как влияет давление и нагрузка на шины / Т. А. Читаев // Современный взгляд на развитие аграрно-промышленного комплекса : Материалы I Региональной научно-практической конференции студентов СПО, Махачкала, 11 мая 2023 года. – Махачкала: Дагестанский государственный аграрный университет имени Джамбулатова М.М., 2023. – С. 112-118. – EDN ZFGIXD.
6. Томашевский, С. Б. Моделирование автомобильных шин на основе метода конечных элементов / С. Б. Томашевский // Известия МГТУ МАМИ. – 2020. – № 3(45). – С. 65-74. – DOI 10.31992/2074-0530-2020-45-3-65-74. – EDN PFIUNH.
7. Хотько, А. В. Прогнозирование нагрузочных и жесткостных характеристик пневматических шин методами компьютерного моделирования / А. В. Хотько // Механика машин, механизмов и материалов. – 2023. – № 4(65). – С. 85-96. – DOI 10.46864/1995-0470-2023-4-65-85-96. – EDN JWDVOM.
8. Упругие характеристики шины сверхнизкого давления. Вертикальные нагрузки / С. В. Гончаренко, З. А. Годжаев, А. В. Артемов [и др.] // Автомобильная промышленность. – 2020. – № 8. – С. 18-21. – EDN QBLHSD.

References

1. Artemyev, I. S. Development of the current Buggy model / I. S. Artemyev // Modern achievements of youth science in the Trans-Urals : Materials of the regional competition for the

best scientific work among students, postgraduates and young scientists of higher educational institutions and scientific institutions of the Kurgan region, Kurgan, May 22, 2014. Kurgan: Kurgan State University, 2014, p. 56. EDN YJVUOV.

2. Lyapustin, A. S. A study of classification classes of buggy-type cross-country cars / A. S. Lyapustin // Scientific progress - creativity of the young. – 2022. – No. 1. – pp. 279-281. – EDN RPNLMG.

3. Khabibullin, R. R. Special cross-country BUGGY car / R. R. Khabibullin, R. R. Khabibullina // Innovations of technical solutions in mechanical engineering and transport : Collection of articles of the IV All-Russian Scientific and Technical Conference for young scientists and students with international participation, Penza, March 14-15, 2018 / Under the general editorship of V.V. Salmin. Penza: Penza State Agrarian University, 2018. pp. 131-135. EDN UOCEPZ.

4. Klysak, G. A. Tires and wheels for land-based off-road vehicles / G. A. Klysak, S. V. Dalik, D. V. Sukhonenko // ARCTIC: innovative technologies, personnel, tourism : Materials of the international scientific and practical conference, Voronezh, November 19-21, 2018 / under the general editorship of V. I. Pryadkin. Voronezh: Voronezh State Forestry Engineering University named after G.F. Morozov, 2018. pp. 283-288. - EDN ZBTLHF.

5. Chitaev, T. A. The basic classification of tires and how tire pressure and load affect tires / T. A. Chitaev // A modern view on the development of the agricultural and industrial complex : Proceedings of the I Regional Scientific and Practical Conference of students of Vocational Education, Makhachkala, May 11, 2023. – Makhachkala: Dagestan State Agrarian University named after M.M. Dzhambulatov, 2023. – pp. 112-118. – EDN ZFGIXD.

6. Tomashevsky, S. B. Modeling of automobile tires based on the finite element method / S. B. Tomashevsky // Izvestiya MGTU MAMI. – 2020. – № 3(45). – Pp. 65-74. – DOI 10.31992/2074-0530-2020-45-3-65-74. – EDN PFIUNH.

7. Khotko, A.V. Forecasting the load and stiffness characteristics of pneumatic tires by computer modeling methods / A.V. Khotko // Mechanics of machines, mechanisms and materials. – 2023. – № 4(65). – Pp. 85-96. – DOI 10.46864/1995-0470-2023-4-65-85-96. – EDN JWDVOM.

8. Elastic characteristics of the ultra-low pressure tire. Vertical loads / S. V. Goncharenko, Z. A. Gojaev, A.V. Artemov [et al.] // Automotive industry. – 2020. – No. 8. – pp. 18-21. – EDN QBLHSD.