

УДК 629.113

**А. А. Алипов**, кандидат технических наук, доцент, Нижегородский государственный технический университет им. Р. Е. Алексеева

**В. В. Беляков**, доктор технических наук, профессор, Нижегородский государственный технический университет им. Р. Е. Алексеева

**А. Н. Блохин**, кандидат технических наук, доцент, Нижегородский государственный технический университет им. Р. Е. Алексеева

**Д. В. Зезюлин**, аспирант, Нижегородский государственный технический университет им. Р. Е. Алексеева

## РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ДАВЛЕНИЙ В КОНТАКТЕ ШИНЫ С ДОРОГОЙ\*

*Представлены новые результаты экспериментальных исследований контактного взаимодействия бескамерной пневматической шины сверхнизкого давления с опорной поверхностью, полученные с помощью комплекта метрологических поверенных приборов и устройств, предложен новый критерий оценки энергоэффективности колесных движителей.*

**Ключевые слова:** энергоэффективность, проходимость, подвижность, вездеходные транспортные средства, шины сверхнизкого давления, колесный движитель, распределение давлений.

**Р**азвитие сегментов экономики России, связанных с природоохранными, экологически безопасными технологиями, а также с технологиями жизнеобеспечения и безопасности населения ряда районов страны, открывает серьезные перспективы перед производителями специальных вездеходных транспортных средств. Среди известных транспортных средств высокой проходимости колесные машины обладают наибольшей универсальностью и экономической эффективностью. В то же время они недостаточно приспособлены для передвижения по слабонесущим опорным поверхностям. Поэтому применение колесных транспортных средств на пневматических шинах сверхнизкого давления является эффективным средством повышения проходимости и экологичности при выполнении транспортных функций.

В настоящее время накоплен значительный материал по исследованию системы «колесный движитель – деформируемая опорная поверхность» [1–7]. Однако вопросы передвижения колесных машин на бескамерных пневматических шинах сверхнизкого давления с внутренним давлением воздуха 0,02...0,07 МПа требуют уточнения и пересмотра ряда положений.

Анализ научно-технической литературы по вопросу работы машин на различных поверхностях движения показывает, что величина и характер распределения нормальных давлений по площади контакта оказывают большое влияние на движения автомобиля и на работу шины [1–4], поэтому в работе они были экспериментально проанализированы. Для этого рассматривалось равномерное прямолинейное движение транспортного средства по ровной горизонтальной поверхности (рис. 1).

Объектом исследований являлось специальное вездеходное транспортное средство (ВТС) с колесной формулой 6×6 (рис. 2), полной массой 1,5 т, движитель которого представляет собой бескамерные пневматические шины сверхнизкого давления 1300×600-533 модели «Трэкол».



Рис. 1. Фрагменты проведенных испытаний

В соответствии с методикой проведения испытаний структурно-функциональная схема соединения измерительно-регистрающей метрологически поверенной аппаратуры (рис. 3) состоит из следующих компонентов: 1 – аккумуляторная батарея; 2 – инвертер напряжения; 3 – генератор сигналов; 4 – пневматическая шина низкого давления; 5 – датчики определения давления в зоне контакта колеса с опорной поверхностью; 6 – блок усилителя сигнала; 7 – сигнальный процессор; 8 – персональный компьютер

© Алипов А. А., Беляков В. В., Блохин А. Н., Зезюлин Д. В., 2011

Получено 26.09.10

\* Данная поисковая научно-исследовательская работа проводилась в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы.

с установленной программной оболочкой «Анализатор сигналов».



Рис. 2. Испытываемое вездеходное транспортное средство

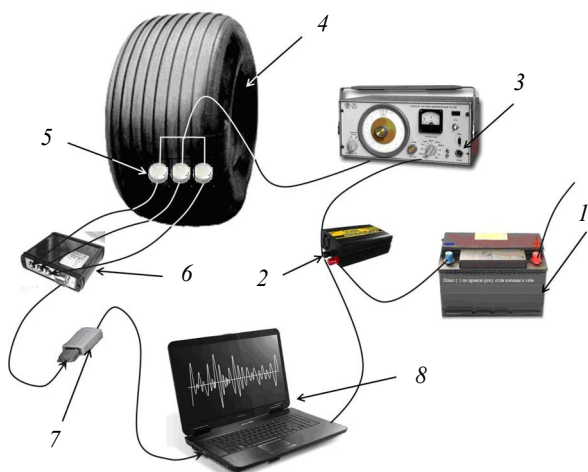
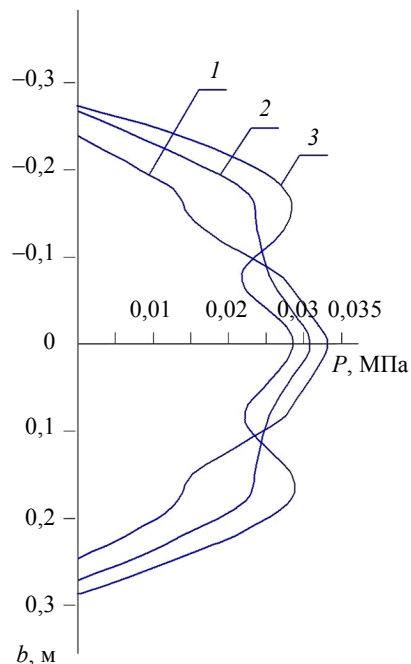


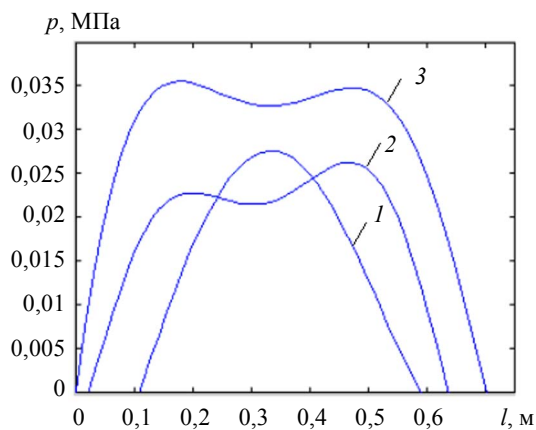
Рис. 3. Структурно-функциональная схема соединения измерительно-регистрающей аппаратуры

На основе проведенных испытаний установлено, что при статическом (движение с малой скоростью) взаимодействии колеса с жесткой опорной поверхностью характер распределения нормальных давлений в контакте соответствует эпюрам, изображенным на рис. 4, 5.

Кривые 1, 2, 3 (рис. 4, а) характеризуют распределение нормальных давлений в разных по длине сечениях: 1 – 280 мм от оси симметрии в поперечной плоскости; 2 – 140 мм от оси симметрии в поперечной плоскости; 3 – вдоль поперечной оси симметрии. Кривые 1, 2, 3 (рис. 4, б) характеризуют распределение нормальных давлений в продольных сечениях контакта, расположенных, соответственно, на расстоянии 200, 100 мм от средней линии, а также на средней линии.



а



б

Рис. 4. Распределение нормальных давлений в контакте бескамерной пневматической шины сверхнизкого давления 1300×600-533 модели «Трэкол» при движении по дороге с твердым покрытием с нагрузкой 250 кгс: а – в разных по длине сечениях; б – в разных по ширине сечениях

В направлении продольной оси контакта эпюра распределения нормальных давлений может иметь как трапецевидную, так и параболическую форму.



При значительных вертикальных деформациях шины эпюра нормальных давлений на продольной оси контакта имеет явно выраженную впадину; нормальные давления возрастают в зоне, близкой к контурной линии контакта, и уменьшаются по направлению к его центру. Это происходит, во-первых, потому, что с возрастанием деформации шины возрастает нормальная жесткость ее в зоне, близкой к контурной линии контакта, во-вторых, потому, что в плечевых зонах протектора шина жестче, чем к середине контакта. Боковины шины, деформируясь, стремятся, опираясь на более жесткие ее точки, вывернуть среднюю часть протектора внутрь шины.

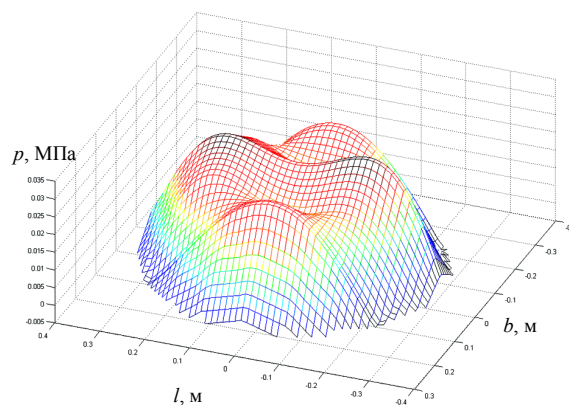
В направлении поперечной оси контакта нормальные давления вначале возрастают, а затем несколько уменьшаются в направлении к центру контакта. В сечениях контакта, расположенных на расстоянии от поперечной оси, происходит нарастание давления от периферии к центру контакта.

Таким образом, результаты проведенных исследований не противоречат данным других работ, описывающих контактное взаимодействие эластичных движителей колесных машин с опорной поверхностью [1–7]. Использование полученных результатов позволит увеличить объем знаний для более глубокого понимания процессов взаимодействия вездеходных транспортных средств на шинах сверхнизкого давления с полотном пути и выявления новых закономерностей.

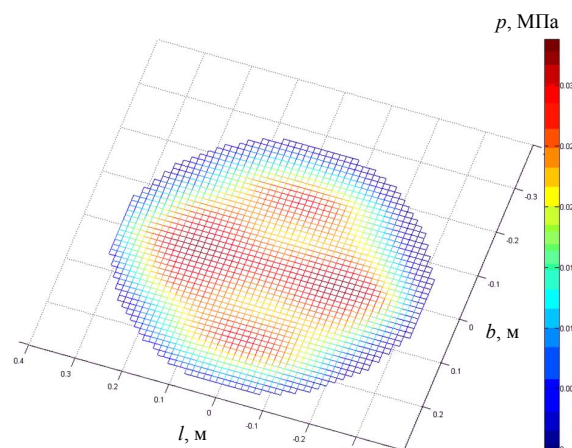
Из анализа распределенных нормальных давлений (рис. 5) следует, что при внутреннем давлении воздуха  $p_0 = 0,05$  МПа в колесе исследуемого ВТС жесткость боковин шины становится больше ее нормальной жесткости на уровне беговой дорожки, что приводит к «арочному эффекту» (наличию в контакте движителя с грунтом зон с обратной кривизной). В этом случае максимальные давления расположены по границам зоны контакта. При такой форме сечения происходит значительное упрочнение материала поверхности движения, так как шина погружается в грунт не как клин, а поджимает под среднюю часть грунт, уплотняя его. Этим объясняется более высокая проходимость вездеходных транспортных средств на шинах сверхнизкого давления.

Таким образом, для поддержания высокой степени подвижности необходимо, чтобы ВТС на шинах сверхнизкого давления были оборудованы системой централизованной подкачки воздуха, позволяющей требуемым образом распределять давления по колесам и иметь оптимальное распределение давлений в пятне контакта шин с опорной поверхностью в конкретных дорожных условиях.

Для решения практических задач, связанных с созданием машин повышенной и высокой проходимости, часто на начальной стадии проектирования требуется экспертное определение ответа на вопрос: как изменится суммарное сопротивление движению от перераспределения нормальных давлений, возникающих в зоне контакта колес с опорной поверхностью, или движитель с какими характеристиками является более энергоэффективным?



а



б

Рис. 5. Отображения полученного распределения нормальных напряжений в плоскости контакта шины 1300×600-533 модели ТРЭКОЛ

Основываясь на результатах данного исследования, авторы предлагают собственный подход к решению этой задачи. Для этого предлагается оценить распределение нормальных давлений (эпюру) в зоне контакта колес с опорной поверхностью. Геометрический объем ограниченный этой эпюрой и осями координат пропорционален работе  $A_{ш1}$ , затрачиваемой на деформацию резинокордной оболочки за один оборот шины в вертикальной плоскости

$$A_{ш1} = \frac{2\pi r p_0 \Psi_1}{p_b + p_0} \int_0^{h_z} p_{ш} b_{шп} dh_z, \text{ на которую затрачивает до}$$

75 % общего количества потерь в шине. Следовательно, по объему эпюры нормальных давлений можно судить об энергоэффективности движителя. На основе этого предложен новый критерий энергоэффективности, сформулировать который можно следующим образом: энергоэффективность движителя тем выше, чем меньше объем эпюры нормальных давлений.

Таким образом, в рамках данной работы получен закон распределения нормальных давлений в зоне контакта колес на шинах сверхнизкого давления с опорной поверхностью для специального вездехода.

ходного транспортного средства с колесной формулой 6×6; установлено, что в шинах низкого давления наблюдается большая неравномерность распределения нормальных давлений, имеющая седлообразную форму как в продольных, так и поперечных сечениях, а также предложен новый критерий энергоэффективности.

#### Список литературы

1. Работа автомобильной шины / под ред. В. И. Кнороза. – М. : Транспорт, 1976. – 238 с.
2. Транспортные средства на высокоэластичных движителях / Н. Ф. Бочаров [и др.]. – М. : Машиностроение, 1974. – 208 с.
3. Бархатанов Л. В., Беляков В. В., Кравец В. Н. Пройдемость автомобиля. – Н. Новгород : НГТУ, 1996. – 200 с.

4. Котляренко В. И. Научное обоснование создания и разработка ходовых систем на пневмоколесных движителях сверхнизкого давления : дис. ... д-ра техн. наук. – Москва, 2009. – 280 с.

5. Расчет проходимости колесных машин при криволинейном движении по снегу / В. В. Беляков [и др.] // Вестник Ижевского государственного технического университета. – 2010. – № 3(47). – С. 35–38.

6. Гончаров К. О., Макаров В. С., Беляков В. В. Влияние экскавационно-бульдозерных эффектов, возникающих при криволинейном движении колеса, на сопротивление качению // Наука и образование. – 2010. – № 6.

7. Влияние бульдозерных эффектов, возникающих при криволинейном движении колесных машин, на нагруженность элементов трансмиссии / В. С. Макаров [и др.] // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – 2008. – № 9. – С. 47–51.

*A. A. Alipov*, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Nizhny Novgorod State Technical University after R. E. Alekseev  
*V. V. Belyakov*, Doctor of Technical Sciences, Professor, Nizhny Novgorod State Technical University after R. E. Alekseev  
*A. N. Blokhin*, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Nizhny Novgorod State Technical University after R. E. Alekseev  
*D. V. Zezulin*, Post-Graduate Student, Nizhny Novgorod State Technical University after R. E. Alekseev

#### Pressure Distribution in Road Tire Contact

*New experimental results of tubeless pneumatic extra-low pressure tire to road contact interaction are presented. These results were received with use of instruments which passed metrological examination. A new energy efficiency estimation criterion for wheeled running gear tests is proposed.*

**Key words:** energy efficiency, passability, moveability, cross-country vehicle, extra-low pressure tyre, wheeled running gear, pressure distribution.

УДК 629.76.03

**А. В. Хмелева**, кандидат технических наук, Воткинский филиал Ижевского государственного технического университета

### УПРАВЛЕНИЕ КРИТИЧЕСКИМИ СИТУАЦИЯМИ ПО ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ В КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛАХ ЭЛЕМЕНТОВ РАКЕТНОЙ ТЕХНИКИ\*

*Показана возможность управления критическими ситуациями, возникающими при эксплуатации стеклопластиковых элементов воспламенительного устройства, транспортно-пускового контейнера с помощью математического моделирования.*

**Ключевые слова:** трещиностойкость, критические ситуации, математическая модель.

**Ш**ирокое применение композиционных материалов в ракетной технике вызвано их хорошими конструктивными, теплозащитными свойствами. Например, стеклопластики применяются при изготовлении корпусов камер сгорания РДТТ, воспламенительных устройств, раструбов сопел, несущих элементов транспортно-пускового контейнера.

По сравнению с другими материалами стеклопластики обладают следующими существенными преимуществами:

– высокая удельная прочность, которая обеспечивает сопротивляемость силовым и температурным нагрузкам при малой массе;

– хорошие теплоизолирующие, звукоизолирующие, демпфирующие и диэлектрические свойства;

– при небольшом удельном весе имеют высокие физико-механические характеристики;

– высокая коррозионная стойкость;

– стойкость к вибрационным нагрузкам;

– значительная усталостная прочность при воздействии переменных нагрузок.

Но, несмотря на вышеуказанные достоинства композиционных материалов, при их длительной эксплуатации происходят процессы старения, что приводит к ухудшению физических, механических, теплофизических характеристик материалов.

© Хмелева А. В., 2011

Получено 08.10.10

\* Научно-исследовательская работа проводилась в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг.