

УДК 629.113

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ НОРМАЛЬНЫХ УСИЛИЙ В КОНТАКТЕ ШИНЫ СВЕРХНИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ С ОПОРНОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ

А.Н. Блохин, к.т.н. / В.В. Беляков, д.т.н. / Д.В. Зезюлин, аспирант / А.А. Алипов, к.т.н.  
НГТУ им. Р.Е. Алексеева

В условиях развития промышленных регионов Севера и Северо-востока нашей страны проблема повышения показателей проходимости вездеходных колесных транспортных средств и возможности их эксплуатации на слабонесущих грунтах без повреждения верхнего почвенного слоя грунта является особенно актуальной. Для колесных машин, работающих в данных регионах, улучшение скоростных, экономических и экологических показателей во многом достигается за счет совершенствования характеристик двигателя. Развитие конструкции шин всегда было непосредственно связано с усовершенствованием конструкции транспортных средств и осуществлялось в направлении наиболее полного соответствия характеристик шин характеристикам и условиям работы транспортных средств. За счет варьирования основных параметров шин (размеров, формы, число слоев корда, материал, внутреннее давление, рисунок и глубина протектора) в широких пределах можно изменять коэффициенты сцепления и сопротивление качению, а также площадь контакта между колесным двигателем и опорной поверхностью, и соответственно, давление на нее, что существенно влияет на показатели проходимости машин.

В соответствии с классификацией шин [1-3] по форме поперечного сечения выделяют традиционные или тороидные, широкопрофильные, арочные, пневмокотки, крупногабаритные шины и шины сверхбаллоны. Последние устанавливались в середине прошлого века на вездеходах и многозвенных автопоездах для перевозки крупногабаритных неделимых грузов в условиях бездорожья. Крупногабаритные шины применяются, в основном, на тяжелой карьерной и внедорожной технике. При использовании пневмокотков требуется серьезная доработка конструкции колесной машины,

включая схему поворота и конструкцию ведущих мостов. Недостатком арочных и традиционных широкопрофильных шин с регулируемым давлением является их разрушающее воздействие при движении по слабонесущим грунтам. Так, например, арочные шины, даже при сниженном внутреннем давлении воздуха в них до 0,04 МПа, оказывают давление на грунт до 0,08 МПа из-за большой жесткости каркаса и брекера.

Дальнейшим развитием пневмоколесного двигателя, значительно повышающего проходимость и экологичность колесных машин, стало создание в начале 90-х годов прошлого века высокоэластичных шин сверхнизкого давления на базе существующих широкопрофильных шин. Шины сверхнизкого давления имеют тонкостенную резинокордную оболочку с каркасом, состоящим, как правило, из двух слоев корда, благодаря чему обеспечивается ее высокая эластичность. При взаимодействии с грунтом такая шина, также как и пневмокоток, не разрушает верхний слой опорной поверхности и имеет способность «обтекать» неровности пути, а выступы и впадины беговой дорожки, повторяющей профиль поверхности пути, играют роль своеобразных



Рисунок 1. ТС на шинах сверхнизкого давления: а) «Тритон» 4x4 (ООО «НИРФИ»); б) «Викинг» 4x4 (ООО «Атон-Импульс», ГК «КОМ»)

грунтозацепов, увеличивая сцепление с опорной поверхностью [3]. Поэтому, транспортные средства, оснащенные шинами сверхнизкого давления (рис. 1), характеризуются чрезвычайно высокой проходимостью с хорошими экологическими и экономическими качествами, что способствует их широкому применению в районах, имеющих глубокую снежную целину, заболоченную местность, оттаявшую тундру и т.д.

В настоящее время накоплен значительный материал по исследованию системы колесный движитель — деформируемая опорная поверхность [1-6]. Однако вопросы передвижения колесных машин на 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 [1-3] показывает, что величина и характер распределения нормальных давлений по площади контакта оказывают большое влияние на движения автомобиля и на работу шины, поэтому в работе они были экспериментально проанализированы (рис. 2).

Объектом исследований являлось специальное вездеходное транспортное средство (ВТС) с колесной формулой 6x6 (рис. 3) полной массой 1,5 тонны, движитель которого имел бескамерные пневматические шины сверхнизкого давления 1300x600-533 модели «Трэкол». Испытания проводились на уплотненной грунтовой поверхности (плотность 1,55 г/см<sup>3</sup>) при влажности не более 30%.

При проведении испытаний использовалась измерительно-регистрающая аппаратура следующего состава:

- оттарированные датчики давления на грунт, у которых по полумостовой схеме выполнено соединение резистивных преобразователей;
- трехканальный блок анализа сигналов (БАС-4-3), осуществляющий измерение, регистрацию, спектральный анализ аналоговых сигналов с выхода резистивных преобразователей и формирующий цифровые сигналы;
- интерфейсный преобразователь с персональным компьютером, на котором при помощи специального программного обеспечения «Анализатор сигналов» осуществлялась запись измерений;
- источник питания для аппаратуры: аккумуляторная батарея автомобиля и инвертер напряжения с 12 на 220 В;
- генератор сигналов низкочастотный ГЗ-102.

Методика проведения испытаний и структурно-функциональная схема соединения измерительно-регистрающей аппаратуры подробно описаны в работе [6]. В результате проведенных испытаний



Рисунок 2. Фрагменты проведения испытаний



Рисунок 3. Исследуемое вездеходное транспортное средство 6x6

получены трехмерные эпюры распределения нормальных давлений по площади контакта шины сверхнизкого давления 1300x600-533 модели «Трэкол» с опорной поверхностью при различном внутреннем давлении воздуха в шине. При этом установлено, что при движении с малой скоростью порядка  $V = 0,5 \text{ км/ч}$  (статическое взаимодействие), с нагрузкой на колесо  $F_z = 250 \text{ кг}$  и с внутренним давлением воздуха в шине  $p_a = 0,05 \text{ МПа}$  характер распределения нормальных давлений в контакте соответствует эпюрам, показанным на рис. 4.

Как видно, напряжения в зоне контакта шины с опорной поверхностью распределяются весьма равномерно как по длине, так и по ширине контакта, снижая предельные нагрузки на выступы грунта и предотвращая его разрушение. На рис. 4 в кривые 1, 2, 3 характеризуют распределение нормальных давлений в продольных сечениях контакта, расположенных соответственно на различном расстоянии от его средней линии, а также на средней линии.

Полученное распределение нормальных давлений наилучшим образом подходит для эксплуатации колесной машины по твердым опорным поверхностям

и уплотненным грунтовым дорогам, поэтому для вездеходных транспортных средств, оснащенных шинами сверхнизкого давления, при движении по указанным опорным поверхностям необходимо поддерживать давление воздуха в шине порядка  $p_g = 0,05$  МПа.

При последующем снижении давления воздуха в шине 1300x600-533 «Трэкол» на 0,01 МПа (при  $p_g = 0,04$  МПа;  $F_z = 250$  кг;  $V = 0,5$  км/ч) наблюдаются изменения характера распределения нормальных давлений в зоне контакта. В различных по ширине продольных сечениях эпюра распределения нормальных давлений имеет как трапецевидную, так и параболическую форму (рис. 5).

Анализ показывает, что удельные давления возрастают в зоне, близкой к контурной линии контакта, и уменьшаются по направлению к её центру. Это происходит вследствие двух причин:

В плечевых зонах протектора шина имеет большую жесткость, чем в середине контакта.

С возрастанием деформации шины возрастает ее нормальная жесткость в зоне, близкой к контурной линии контакта.

На рисунке 5в представлены кривые 1, 2, 3, характеризующие распределение удельных давлений в продольных сечениях контакта, расположенных соответственно на расстоянии 200 и 100 мм от его средней линии, а также на средней линии. Такое распределение давлений должно быть при движении колесных машин по грунтовым поверхностям, в том числе по супесчаным и песчаным, следовательно, на этих поверхностях движения нужно поддерживать давление воздуха в шине около  $p_g = 0,04$  МПа.

При дальнейшем снижении давления воздуха в шине до  $p_g = 0,03$  МПа получена большая неравномерность распределения нормальных давлений (рис. 6). А при внутреннем давлении воздуха  $p_g = 0,02$  МПа в колесе исследуемого ВТС эпюра нормальных давлений приобретает ярко выраженную седлообразную форму (рис. 7).

В этом случае максимальные давления расположены по границам зоны контакта (в плечевых зонах). Жесткость боковин шины становится существенно больше нормальной жесткости шин на уровне беговой дорожки, что при движении по деформируемой опорной поверхности будет приводить к значительному «арочному эффекту» (наличию в контакте движителя с грунтом зон с обратной кривизной). С такой формой эпюры нормальных давлений (рис. 7) при движении исследуемого ВТС по деформируемой опорной поверхности будет происходить значительное упрочнение материала поверхности грунта, так как шина будет погружаться в грунт не как клин, а будет поджимать материал под среднюю часть, уплотняя его.

Этим объясняется более высокая проходимость вездеходных транспортных средств на шинах сверхнизкого давления при движении их по снежным поверхностям и грунтам с низкой несущей способностью. Т.е. при эксплуатации ВТС на данных поверхностях движения необходимо поддерживать давление воздуха в шине в районе  $p_g = 0,01...0,02$  МПа.

Таким образом, в рамках данной работы получен закон распределения нормальных давлений в зоне контакта колес на шинах сверхнизкого давления

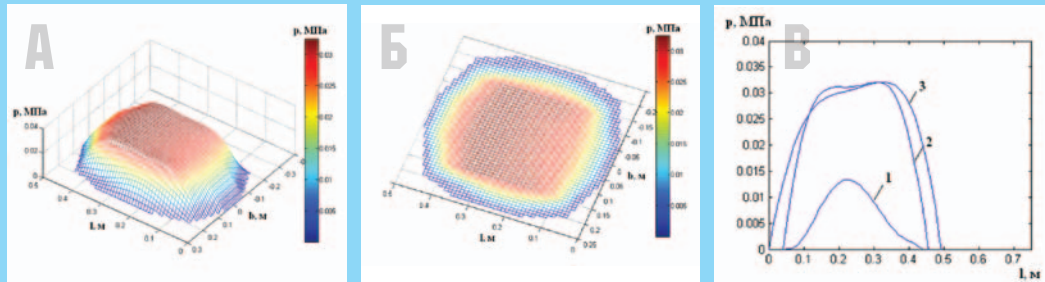
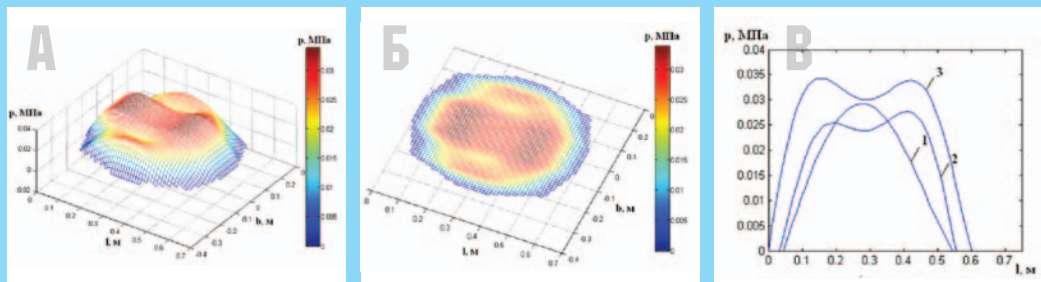


Рисунок 4. Распределение нормальных давлений в контакте шины с уплотненной грунтовой поверхностью: а) трехмерная эпюра давлений; б) градиент трехмерной эпюры распределения давлений; в) распределение нормальных давлений в разных по ширине сечениях

Рисунок 5. Распределение нормальных давлений в контакте шины с уплотненной грунтовой поверхностью: а) трехмерная эпюра давлений; б) градиент трехмерной эпюры распределения давлений; в) распределение нормальных давлений в разных по ширине сечениях



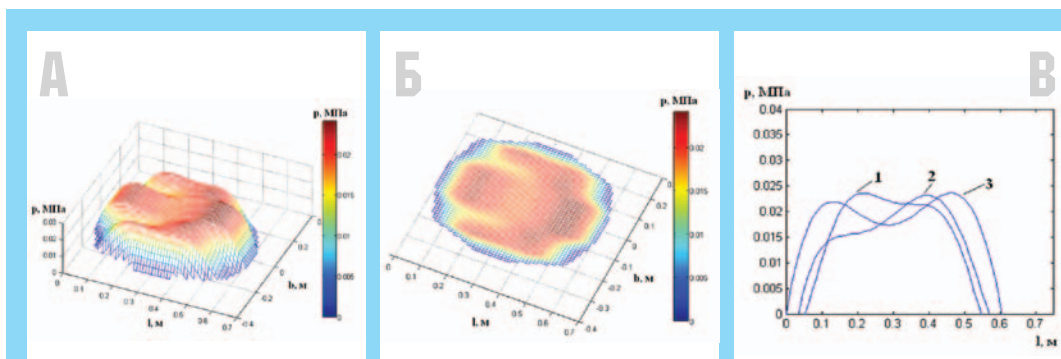


Рисунок 6. Распределение нормальных давлений в контакте шины с уплотненной грунтовой поверхностью ( $p_a = 0,03$  МПа;  $F_z = 250$  кг;  $V = 0,5$  км/ч): а) трехмерная эпюра давлений; б) градиент трехмерной эпюры распределения давлений; в) распределение нормальных давлений в разных по ширине сечениях

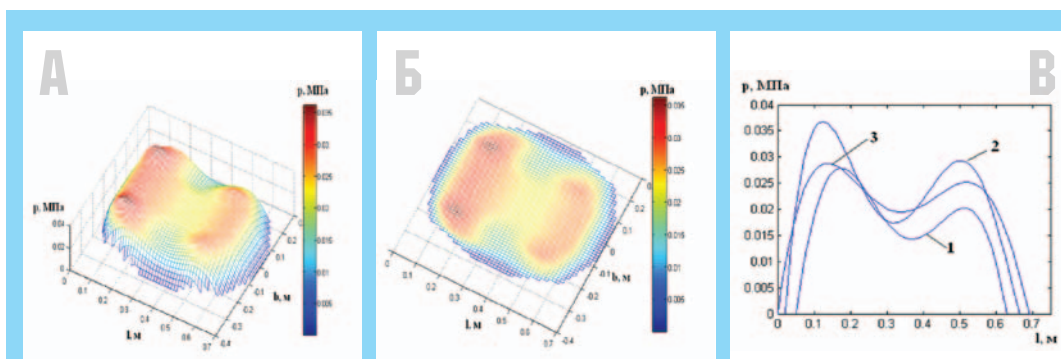


Рисунок 7. Распределение нормальных давлений в плоскости контакта шины с уплотненной грунтовой поверхностью ( $p_a = 0,02$  МПа;  $F_z = 250$  кг;  $V = 0,5$  км/ч): а) трехмерная эпюра давлений; б) градиент трехмерной эпюры распределения давлений; в) распределение нормальных давлений в разных по ширине сечениях

с опорной поверхностью для специального вездеходного транспортного средства с колесной формулой 6x6. Установлено, что при давлениях воздуха в шине  $p_a = 0,05$  МПа в зоне контакта шины с опорной поверхностью нормальные усилия распределяются равномерно как по длине, так и по ширине контакта. Со снижением давления воздуха в шинах сверхнизкого давления появляется неравномерность распределения, выраженная седлообразной формой как в продольных, так и в поперечных сечениях.

Кроме этого, в целях повышения проходимости колесных транспортных средств и улучшения их экологических показателей, необходимо рекомендовать установку на них автоматических систем поддержания оптимального давления воздуха

в шинах в соответствии со следующими значениями: на твердых опорных поверхностях — 0,05-0,06 МПа, на грунтовых дорогах — 0,04-0,05 МПа, на песке — 0,03-0,04 МПа и на снежной целине — 0,01-0,02 МПа. Представленные результаты не противоречат сведениям, ранее полученным в работах других исследователей, описывающих контактное взаимодействие эластичных движителей колесных машин с опорной поверхностью [1-3] и являются их дальнейшим развитием.

Следует отметить, что данная поисковая научно-исследовательская работа проводилась в рамках федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы».

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Работа автомобильной шины/Под ред. В.И. Кнороза. — М.: Транспорт, 1976. — 238 с.
2. Бочаров Н.Ф. Транспортные средства на высокоэластичных движителях / Н.Ф. Бочаров, В.И. Гусев, В.М. Семенов и др. — М.: Машиностроение, 1974. — 208 с.
3. Котляренко В.И. Научное обоснование создания и разработка ходовых систем на пневмоколесных движителях сверхнизкого давления.: дис. д.т.н. // МАМИ. — М., 2009. — 280 с.
4. Беляков В.В. Расчет проходимости колесных машин при криволинейном движении по снегу. / В.В. Беляков, А.Н. Блохин, В.С. Макаров, С.Е. Манянин // Известия Ижевского государственного технического университета. — 2010. — № 3(47). — с. 35-38.
5. Макаров В.С. Влияние бульдозерных эффектов, возникающих при криволинейном движении колесных машин, на нагруженность элементов трансмиссии. / В.С. Макаров, К.О. Гончаров, А.Н. Блохин, В.В. Беляков // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. — 2008. — № 9. — с. 47-51.
6. Алипов А.А. Экспериментальное определение распределения нормальных давлений в зоне контакта пневматической шины сверхнизкого давления с опорной поверхностью / А.А. Алипов, В.В. Беляков, А.Н. Блохин, Д.В. Зезолин, А.М. Носков. — Сборник материалов 71-й международной научно-технической конференции ААИ «Безопасность транспортных средств в эксплуатации»: НГТУ. — Н.Новгород, 2010. — с. 113-116.