

УДК 629.113

Л.В. Барахтанов¹, В.В. Беляков¹, Д.А. Галкин²,
А.С. Зайцев³, Д.В. Зезюлин¹, В.С. Макаров¹

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОПОРНОЙ ПРОХОДИМОСТИ МНОГООСНЫХ КОЛЕСНЫХ МАШИН

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева¹
ООО «Военно-промышленная компания», г. Москва²
ООО «Военно-инженерный центр»³

Рассматриваются результаты экспериментально-теоретических исследований опорной проходимости многоосных колесных машин в различных условиях передвижения. Проанализирована возможность использования существующих математических моделей для оценки опорной проходимости специальных многоосных колесных машин. Произведена оценка сходимости результатов расчетных и экспериментальных исследований. Проанализировано влияние различных вариантов конструкционной конфигурации ходовой части многоосных колесных машин на сопротивление движению и тягово-сцепные свойства. В соответствии с проведенными экспериментально-теоретическими исследованиями сделан ряд выводов о выборе рациональных параметров пневмоколесных движителей с точки зрения повышения эффективности использования исследуемых машин.

Ключевые слова: опорная проходимость, специальные многоосные транспортные средства, бездорожье, результаты экспериментальных исследований.

Изменившаяся геополитическая обстановка и опыт множества локальных конфликтов последнего десятилетия при одновременном сокращении численности личного состава армий наглядно показали, что специальным подразделениям очень часто приходится действовать в отрыве от основных сил и вести борьбу с небольшими, мобильными и хорошо вооруженными группами противника. В результате в создавшихся условиях каждая отдельно взятая единица специальной техники таких подразделений должна быть высокоманевренной и обладать высокой проходимостью. Именно в соответствии с подобными требованиями и разрабатываются многоосные колесные многоцелевые машины, способные высокоэффективно решать современные специальные задачи.

В рамках данной статьи проводится экспериментальная и теоретическая оценка влияния параметров ходовой части машин данного класса (рис.1) на опорную проходимость. Для количественной оценки проходимости различных машин по грунтам в рамках данной работы используется показатель проходимости [1]

$$\Pi = \varphi - f, \quad (1)$$

где φ – максимальная удельная сила тяги по сцеплению машины с опорной поверхностью; f – коэффициент сопротивления качению.

Необходимо отметить, что по этим показателям в Автомобильном институте НГТУ накоплен богатый экспериментальный материал, поэтому существует возможность произвести оценку адекватности используемых математических моделей. Далее проводится анализ результатов экспериментальных исследований опорной проходимости машины многоцелевого назначения ГПИ 3901 (рис.2). Данная машина была создана для исследований ОНИЛВМ НГТУ в рамках хоздоговоров с «ВНИИТРАСМАШ» (Санкт-Петербург) в период с 1982 г. по 1989 г. До 1983 г. работы велись под общим руководством научного руководителя лаборатории вездеходных машин Рукавишника С.В., а затем под руководством Барахтанова Л.В. Экспериментальные исследования опорной проходимости машины ГПИ-3901 были проведены при участии сотрудников ОНИЛВМ Белякова В.В., Козлова В.С., Курнева В.И., Масленникова В.А. [1-3].



Рис. 1. Многоосные колесные машины:
а – БТР-60; б – БТР-70; в – БТР-80; з – БТР-90

При разработке и изготовлении ходового исследовательского макета ГПИ-3901 особое внимание было обращено на то, чтобы заложенные в нем возможности обеспечивали выполнение поставленных задач исследования. Для этого ходовая часть машины сделана регулируемой. Имеется возможность изменять как колесную формулу, так и отношение базы к колесам, а также осуществлять движение с различными радиусами поворота. Наряду с этим, предусмотрена регулировка давления воздуха в шинах, установка сдвоенных колес, средств повышения проходимости, широкопрофильных шин и легких гусениц.



Рис. 2. Ходовой полноразмерных макет колесного шасси ГПИ-3901

В табл. 1 представлена краткая техническая характеристика полноразмерного ходового исследовательского макета колесного шасси с бортовым поворотом ГПИ-3901.

Таблица 1

Техническая характеристика макета ГПИ-3901

Параметр, агрегат, размер и т.п.	Значение параметров и размеров, тип агрегата
Тип машины	колесная полноприводная с бортовым способом поворота
Колесная формула	изменяемая: 8x8, 6x6, 4x4
Полная масса, кг	до 9500±100 (с экипажем, аппаратурой, балластными грузами)
Колея, мм	2550
База, мм: с колесной формулой 8x8 6x6 4x4	3800...4350 2540...4350 1250...4350
Дорожный просвет, мм	450
Максимальная мощность, л.с. (кВт)	2x115 (2x84,50) при 3200 мин ⁻¹
Максимальный крутящий момент, кгм (Нм)	2x29 (2x284,40) при 2000...2200 мин ⁻¹
Давление в шинах, кг/см ³	0,5–2,5

Экспериментальные исследования проводились в различные периоды года на ровных, горизонтальных участках песчаных и заснеженных полей; на заболоченных поверхностях; а также на ровном прямолинейном участке асфальтового шоссе. В ходе исследований при различных вариантах ходовой части макета определялись сила сопротивления движению и сила тяги по сцеплению. Методика проведения испытаний и структурно-функциональная схема соединения измерительно-регистрирующей аппаратуры подробно описаны в работах [2]. Фрагменты испытаний ходового макета ГПИ-3901 в условиях полигона представлены на рис. 3.

Примеры результатов экспериментальных исследований по оценке влияния параметров движителя на показатели опорной проходимости ГПИ-3901 представлены на рис. 4 и рис. 5. Анализируя имеющиеся материалы необходимо отметить, что величины коэффициентов сопротивления движению f и сцепления практически не зависят от колесной формулы и коэффициента базы. Значения их существенно зависят от давления воздуха в шинах. Исследования макета ГПИ-3901 показали, что снижение давления воздуха в шинах с 0,25 до 0,05 МПа ведет к уменьшению силы сопротивления движению на 10-15% на песке и снеге, на твердых грунтах величина его несколько (5-10%) увеличивается из-за возрастания гистерезисных потерь. Проведенные исследования показали, что на деформируемых грунтах снижение давления воздуха в шинах с 0,25 до 0,05 МПа ведет к росту коэффициента сцепления на 10-30% на дерне, на 10-20% на песке и на 10-15% на снеге.

По результатам замеров силы сопротивления движению макета ГПИ-3901 с одно- и двухскатным вариантом ходовой части построены графики (рис.4). Анализ их показывает, что сопротивление движению по песку возрастает с увеличением давления воздуха в шинах. Так, независимо от варианта ходовой части макета, изменение давления воздуха в шинах от 0,05 до 0,25 МПа ведет к возрастанию силы сопротивления движению в 1,8-2 раза. Это обусловлено тем, что, несмотря на снижение гистерезисных потерь в шинах, увеличение давления воздуха ведет к возрастанию давлений колеса на грунт, глубины следа и работы деформации грунта. Сила сопротивления движению макета с двухскатными колесами в среднем на 12-20% больше, чем с односкатными. Это связано, прежде всего, с увеличением ширины следа и возрастанием из-за этого работы на деформацию грунта.



а)

б)



в)

з)



д)

ж)

з)



и)

к)

л)



м)

н)

о)

Рис. 3. Фрагменты исследовательских испытаний ходового макета ГПИ – 3901:

а – общий вид (8x8) при разном L/B ; б – испытания на снежной целине; в – общий вид (6x6) при разном L/B ; г – ладометрирование (определение распределения нагрузки по колесам); д – испытания на широкопрофильных шинах, ж - испытания на колесах со сдвоенными шинами, з – испытания по снежной целине с ленточными уширителями колес; и – испытания с ленточными уширителями колес на пересеченной местности; к – испытания с резинокордными уширителями; л – испытания с съемными грунтозацепами на песчаной целине; м – боковой сдвиг макета на луговине; н – макет с легкой звенчатой гусеницей, преодоление песчаного подъема; о – опорные площадки циклического действия

Если проанализировать варианты ходовой части макета со сдвоенными и одиночными колесами по показателю проходимости (рис.5), становится ясно, что применение двухскатного колесного движителя для улучшения проходимости не перспективно на машинах, оснащенных шинам с регулируемым давлением. С изменением давления воздуха в шинах для двухскатного варианта показатель проходимости практически не изменяется, тогда как для односкатного варианта имеет место возрастание его при снижении давления. Так, при давлении воздуха в шинах, равном 0,05 МПа для относительного варианта макета показатель проходимости на 20-25% больше, чем для двухскатного варианта. В тоже время при давлении воздуха в шинах 0,25 МПа показатель проходимости двухскатного варианта на 16-22% больше для односкатного варианта макета.

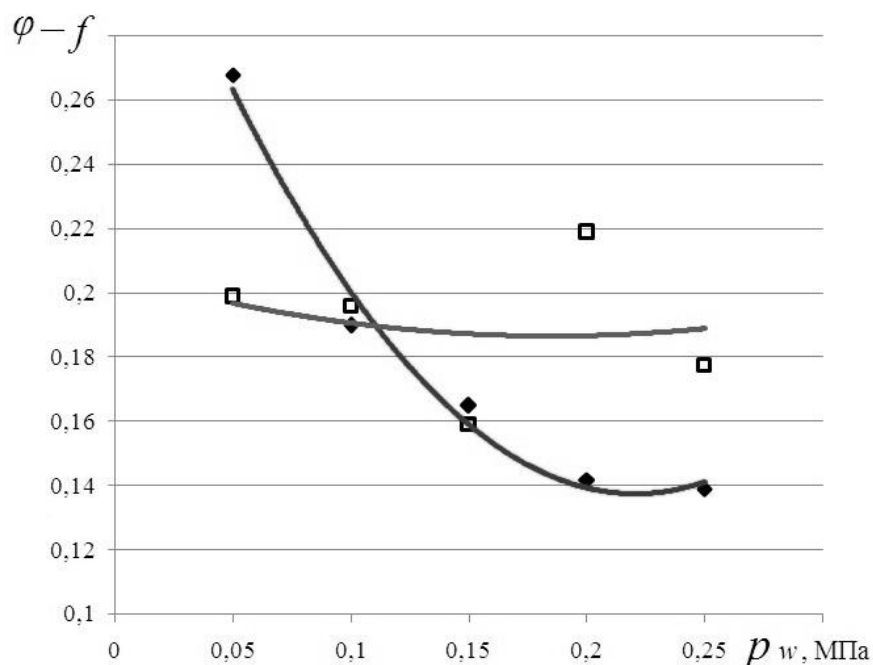


Рис. 5. Зависимость показателя проходимости машины от давления воздуха в шинах модели И-112 на песчаном грунте:

◆ – одиночное колесо; □ – сдвоенное колесо

Необходимо учитывать также следующие недостатки, возникающие при установке сдвоенных колес: увеличение полной и неподрессоренной массы машины; увеличение её габаритной ширины, ухудшение плавности хода; возрастание динамических нагрузок в ходовой части. Отсюда можно сделать вывод, что применение движителя с двухскатными колесами в качестве средства повышения проходимости для машин с бортовым способом поворота нецелесообразно.

Установка на макет ГПИ-3901 колес с широкопрофильными шинами типа 1200x500-508 не дала ощутимых результатов для повышения проходимости. Это объясняется тем, что нагрузка на колесо макета примерно втрое меньше паспортного значения её для шины. Вследствие этого деформации шин практически не происходят (даже при очень малых давлениях воздуха) и площадь контакта их с полотном пути лишь незначительно возрастает по сравнению с одинарными шинами типа 13.00-18.

Снижение давления воздуха в шинах 1200x500-508 до 0,06 МПа обеспечивает сцепление колес с песком, равное сцеплению шин типа 13.00-18 при давлении воздуха в них 0,05 МПа. При этом сопротивление движению макета на широких шинах больше примерно на 5%.

Таким образом, применение широкопрофильных шин модели 1200x500-508 в качестве средства повышения проходимости полноприводных КМ с полной массой до 10-12 т не пер-

спективно. Шины этого типа целесообразно использовать на машинах с полной массой 20-25 т.

В основу теоретических исследований в рамках данной статьи приняты математические модели движения автомобиля по деформируемому грунту и снегу, разработанные и успешно используемые в 21 НИИ МО РФ [10] и НГТУ им. Р.Е. Алексеева [4-9]. С использованием данных математических моделей проведена расчетная оценка опорной проходимости специальных многоосных колесных машин при движении по сыпучему песку, свежевспаханному суглинку и снежной целине. Результаты проведенных теоретических исследований представлены на рис. 6 – рис. 11.

Расчетной оценке опорной проходимости подвергались многоосные машины различных весовых категорий (от 10000 до 23000 кг). В процессе расчетов задавалось минимально допустимое давление воздуха в шинах как обоснованное средство обеспечения уровня максимальной подвижности [11-14] специальных машин в условиях бездорожья.

Расчеты проводились для автомобилей с соответствующими ТУ значениями полной массы и ее распределения по осям при движении с заблокированным межосевым приводом. Полученные данные, прежде всего, подтверждают результаты ранее выполненных работ в ОНИЛВМ НГТУ. На рис.6 представлены примеры сравнения экспериментальных данных с результатами расчета показателей проходимости ТС в условиях песчаной и заснеженной местностей при минимальном давлении воздуха в шинах ($p_w=0,05$ МПа).

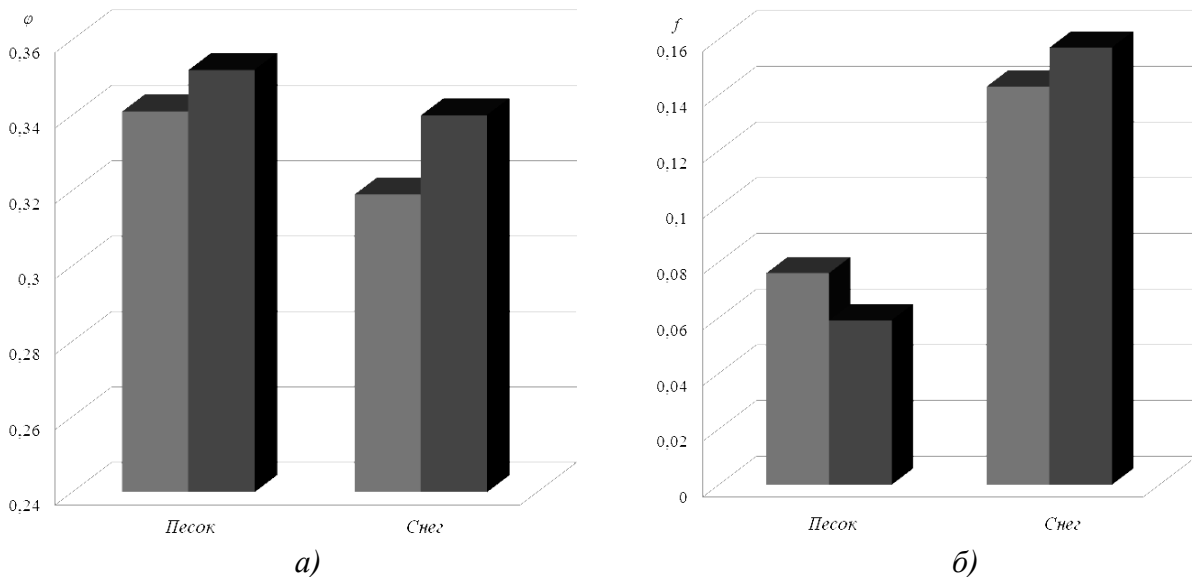


Рис.6. Сравнение расчетных данных с результатами экспериментальных исследований макета ГПИ-3901 на разных опорных основаниях при минимальном давлении воздуха в шинах $p_w=0,05$ МПа:

a – наибольшая удельная сила тяги по сцеплению; *б* – удельное сопротивление движению;

■ – эксперимент; ■ – расчет

Из рис. 7– рис. 10 видно, что наиболее тяжелым режимом работы многоосных колесных машин является их движение в условиях заснеженной местности. Для определения эффективности влияния размеров колеса на проходимость многоосной колесной машины по снегу в рамках данной работы проведены теоретические исследования, результаты которых даны на рис. 11. Приведенные данные свидетельствуют о том, что с увеличением наружного диаметра шины (рис. 11, б) происходит наиболее интенсивное возрастание запаса силы тяги при глубине снега 0,7–0,9 м. При меньшей глубине снежной целины (0,5 и 0,6 м) увеличение ширины профиля шины (рис. 11, а) обеспечивает большую величину запаса силы тяги и интенсивность ее возрастания.

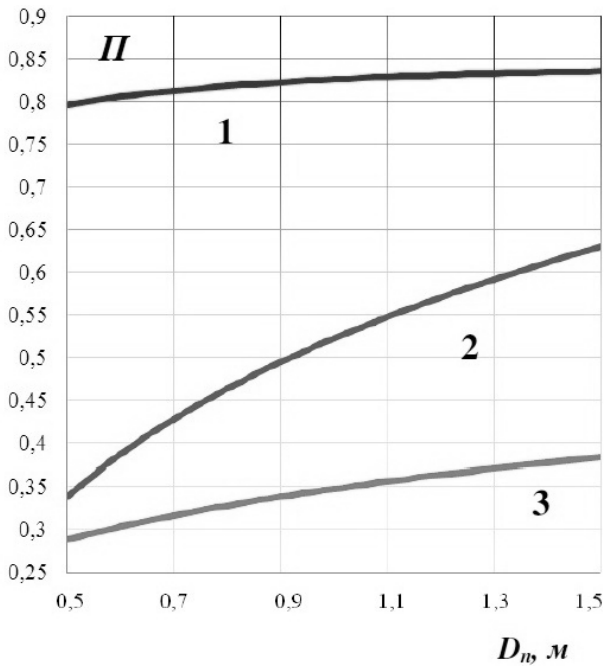


Рис. 7. Зависимость максимальной удельной силы тяги на крюке машины ($m_a=10\ 000$ кг) от диаметра колеса при $B_{ш}=\text{const}$ на разных опорных основаниях: 1 – песок; 2 – суглинок; 3 – снег

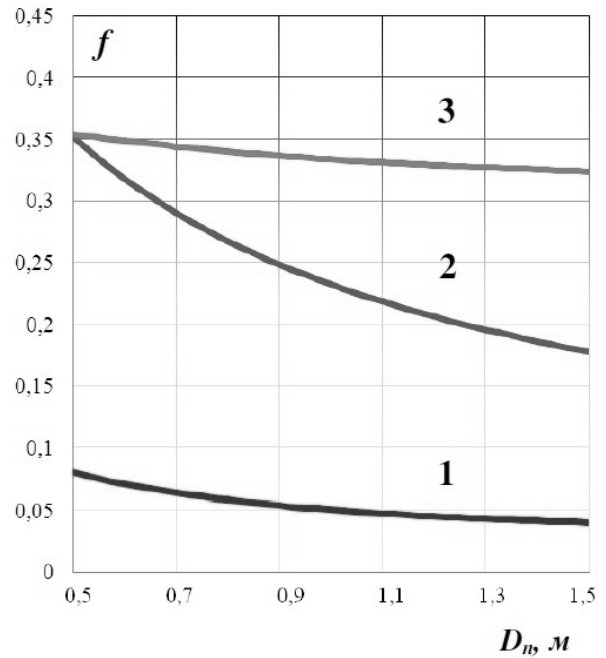


Рис. 8. Зависимость коэффициента сопротивления качению машины ($m_a=10\ 000$ кг) от диаметра колеса при $B_{ш}=\text{const}$ на разных опорных основаниях: 1 – песок; 2 – суглинок; 3 – снег

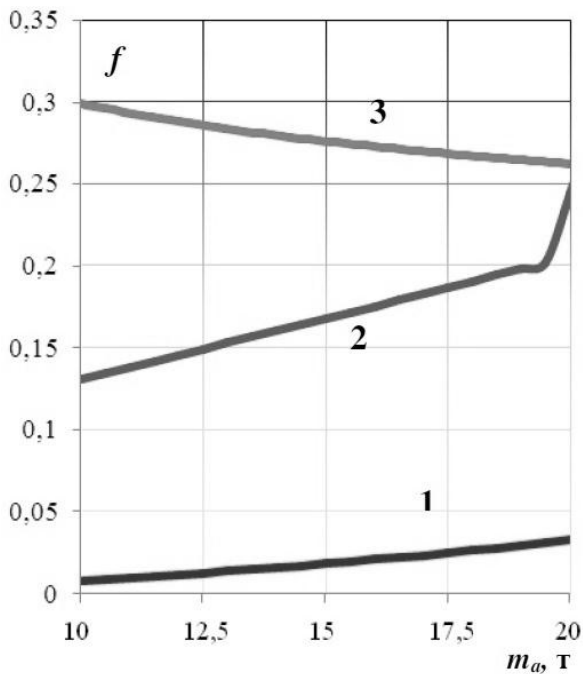


Рис. 9. Зависимость коэффициента сопротивления качению машины при $B_{ш}=\text{const}$ и $D_n=\text{const}$ от полной массы ТС на разных грунтах: 1 – песок; 2 – суглинок; 3 – снег

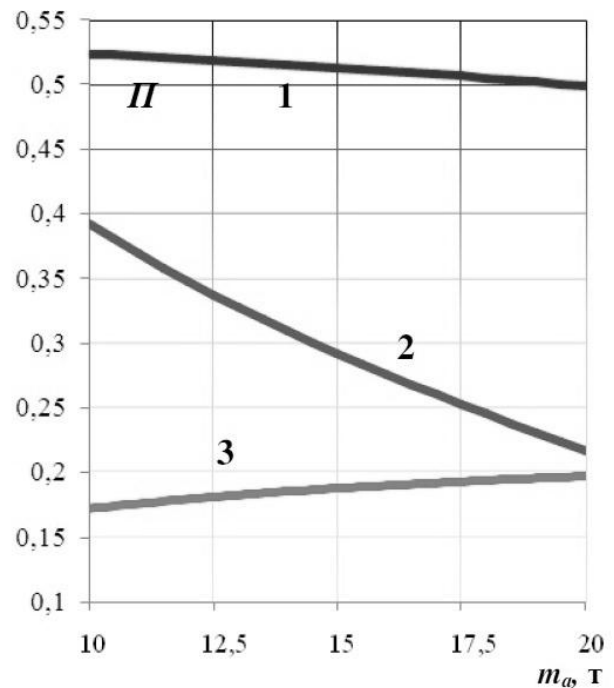


Рис. 10. Зависимость максимальной удельной силы тяги на крюке машины при $B_{ш}=\text{const}$ и $D_n=\text{const}$ от полной массы ТС на разных грунтах: 1 – песок; 2 – суглинок; 3 – снег

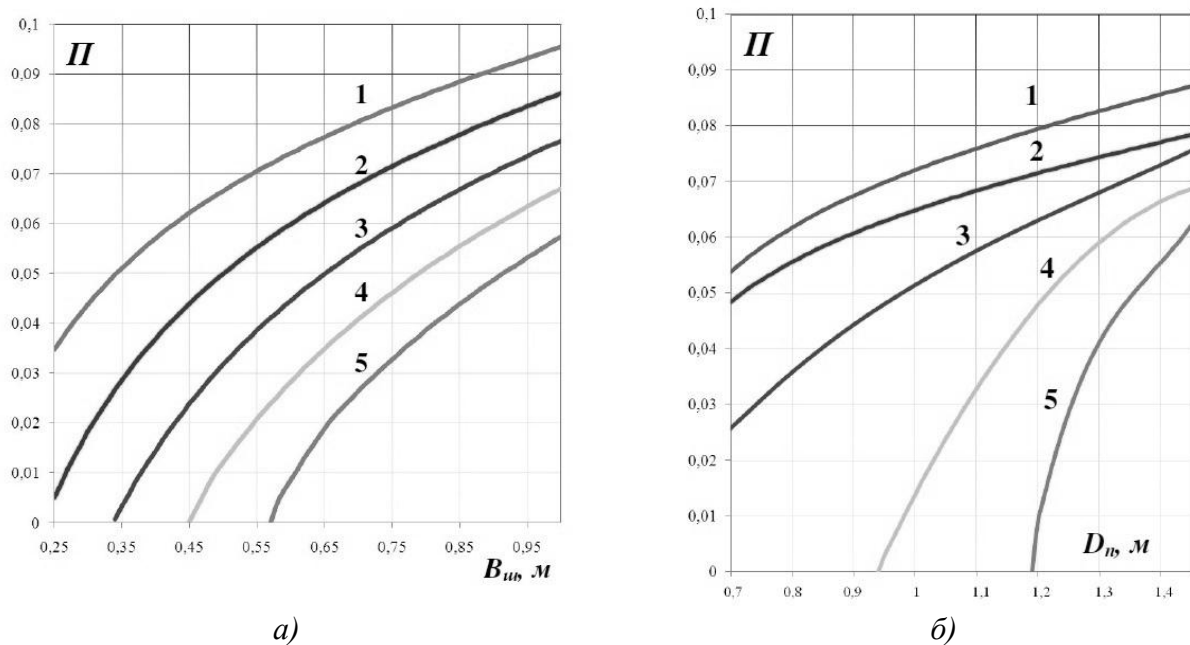


Рис. 11. Влияние размеров шин на величину запаса удельной силы тяги на крюке многоосного транспортного средства с полной массой 13,5 т при давлении воздуха 0,05 МПа:

а – ширины профиля шины $B_{ш}$ при $D_n = \text{const}$; *б* – наружного диаметра D_n при $B_{ш} = \text{const}$; глубина снега H : 1 – 0,5 м; 2 – 0,6 м; 3 – 0,7 м; 4 – 0,8 м; 5 – 0,9 м

Таким образом, в рамках данной работы проанализировано влияние различных вариантов конструктивной конфигурации ходовой части многоосных колесных машин на их опорную проходимость в различных условиях движения. В соответствии с проведенными экспериментально-теоретическими исследованиями сделан ряд выводов о выборе целесообразных геометрических параметров пневмоколесных движителей с точки зрения повышения эффективности использования исследуемых машин.

Библиографический список

1. Вездеходные транспортно-технологические машины; под ред. В.В. Белякова, А.П. Куляшова. – Н. Новгород: ТАЛАН, 2004. – 960 с.
2. **Гончаров, К.О.** Экспериментальные исследования многоосной колесной машины / К.О. Гончаров, В.С. Макаров, В.В. Беляков // Наука и образование: электронное научно-техническое издание. 2010. Вып. 12. Режим доступа: <http://technomag.edu.ru/doc/164456.html>, свободный.
3. **Гончаров, К.** Проходимость многоосных колесных машин по снегу / К. Гончаров, В. Макаров, В. Беляков // LAP Lambert Academic Publishing GmbH & Co. 2012. – 220 с.
4. **Макаров, В.С.** Методика расчета и оценка проходимости колесных машин при криволинейном движении по снегу: дисс. ... канд. техн. наук: 05.05.03. – Н. Новгород, 2009. – 161 с.
5. Снегоходные машины / Л.В. Барахтанов [и др.]. – Горький: Волго-Вятское кн. изд-во, 1986. – 191 с.
6. **Аникин, А.А.** Теория передвижения колесных машин по снегу / А.А. Аникин, В.В. Беляков, И.О. Донато. – М.: Изд – во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. – 240 с.
7. **Макаров, В.** Расчет проходимости колесных машин при криволинейном движении по снегу / В. Макаров, В. Беляков // LAP Lambert Academic Publishing GmbH & Co. 2012. – 160 с.
8. Оценка эффективности специальных транспортных средств при движении по снегу / В.В. Беляков [и др.] // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2012. № 2 (95). С. 156–166.
9. **Гончаров, К.О.** Влияние экскавационно-бульдозерных эффектов возникающих при криволинейном движении колеса на сопротивление качению / К.О. Гончаров, В.С. Макаров, В.В. Беляков // Наука и образование: электронное научно-техническое издание. 2010. Вып. 6. Режим доступа: <http://technomag.edu.ru/doc/145884.html>, свободный.
10. **Наумов, А.Н.** Оценка конструктивных и эксплуатационных параметров автомобилей на

- показатели их опорной проходимости / А.Н. Наумов. автореферат дисс. ... канд. техн. наук: 05.05.03. М., 2008. – 23 с.
11. Подвижность специальных транспортных средств по дорогам типа «stone-road» / В.В. Беляков [и др.]. // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2012. №1. С. 143–151.
 12. **Вахидов, У.Ш.** Математическое описание дорог типа «stone-road» Современные проблемы науки и образования / У.Ш. Вахидов, В.С. Макаров, В.В. Беляков. 2012. № 3; URL: www.science-education.ru/103-6376 (дата обращения: 05.06.2012).
 13. **Вахидов, У.Ш.** Определение характеристик микропрофиля в поймах рек Северного Кавказа / У.Ш. Вахидов, В.С. Макаров, В.С. Беляков // Интеллектуальные системы в производстве. 2011. №1. С. 82–87.
 14. **Вахидов, У.Ш.** Моделирование трасс движения транспортных средств, характерных для территории Северного Кавказа / У.Ш. Вахидов, В.С. Беляков, В.С. Макаров // Изв. вузов. Машиностроение. 2011. №7. С. 24–26.

*Дата поступления
в редакцию 06.07.2012*

**L.V. Barakhtanov¹, V.V. Belyakov¹, D.A. Galkin²,
A.S. Zaytsev³, D.V. Zezyulin¹, V.S. Makarov¹**

EXPERIMENTAL AND THEORETICAL INVESTIGATIONS OF PASSABILITY MULTI-AXIS WHEELED VEHICLES

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.Y. Alexeev¹,
Ltd. «Military Industrial Company» (Moscow)²,
Ltd. «The military engineering centre» (Nizhny Novgorod)³

Subject/topic/purpose: Experimental and theoretical investigations of the influence of parameters of multi-axis wheeled vehicles on passability.

Methodology of work: Assessing the impact of various options of structural configuration of the chassis on the resistance and traction characteristics of multi-axis wheeled vehicles.

Results/application: The ability to use existing mathematical models for assess of passability of special multi-axis wheeled vehicles was analyzed. The estimation of the convergence of the results of theoretical and experimental studies was made. The results are important for the activity of research laboratories and automotive companies involved in the design of multi-axis wheeled vehicles.

Findings: According to the results of experimental and theoretical investigations it was established that the most heavy duty mode of operation of multi-axis wheeled vehicles of various weight categories is their movement in a snow-covered terrain. The number of recommendations about the choice of rational parameters of wheels in terms of efficient use of multi-axis wheeled vehicles was proposed.

Key words: passability, special multi-axis wheeled vehicles, terrain, results of measurements.