

Исследования взаимодействия пневмоколесного движителя сверхнизкого давления со снежным полотном пути

08, август 2011

авторы: Блохин А. Н., Зезюлин Д. В., Горелов В. А., Беляков В. В.

УДК 629.113

ФГБОУ ВПО Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

a.n.blokhin@gmail.com

balakhnaman@gmail.com

gvas@mail.ru

nauka@nntu.nnov.ru

Одним из наиболее тяжелых режимов работы транспортных средств является передвижение по снегу. Значительная часть территории России на длительный срок устойчиво покрывается снегом. На Европейском и Сибирском Севере снежный покров лежит 7 месяцев, а на Крайнем Севере – 8-9 месяцев. В ряде районов страны среднемноголетняя максимальная высота снега достигает 1,2 м [1]. Такая длительность, устойчивость и весьма большая высота снежного покрова являются существенной особенностью климата нашей страны и оказывает большое влияние на ее экономику и образ жизни населения.

В этих условиях движение автомобилей не только затрудняется, но зачастую и исключается совсем. Поэтому использование вездеходных машин является чаще всего единственной возможностью осуществления передвижения. Среди известных транспортных средств высокой проходимости колесные машины обладают наибольшей универсальностью и экономической эффективностью. В то же время, они недостаточно приспособлены для передвижения по снежной целине. Проведенные исследования транспортных средств на пневмоколесных движителях сверхнизкого давления выявили чрезвычайно высокую проходимость, универсальность и эффективность этих машин. Поэтому, применение транспортных средств на пневмоколесных движителях сверхнизкого давления является эффективным средством повышения проходимости и энергоэффективности при осуществлении транспортных операций.

Решение вопросов проходимости с научной и технической точек зрения, главным образом, лежит в области исследования взаимодействия движителя с дорожно-грунтовой поверхностью.

При функционировании системы «опорная поверхность-двигатель» происходит взаимодействие движущегося транспортного средства с полотном пути. Результатом этого взаимодействия является остающаяся в грунте (снеге) после прохода машины колея (рис. 1); поэтому колею можно рассматривать в качестве физической модели процессов в системе «опорная поверхность-двигатель» и энергетического показателя процесса взаимодействия пневматического колеса с полотном пути [2].



Рис. 1. Сравнение колеи, образуемых автомобилями «Викинг»-2992 на шинах сверхнизкого давления и КАМАЗ-43114

Размеры и площадь поверхности контакта должны обеспечивать передачу потока мощности от машины к опорной поверхности. Величина этого потока лимитируется с одной стороны силовым агрегатом машины, а с другой – энергоемкостью материала полотна пути. Фактическая глубина колеи определяется свойствами грунта в момент его взаимодействия с двигателем. Глубина колеи возрастает до тех пор, пока грунт под двигателем не уплотнится настолько, что его несущая способность окажется достаточной для восприятия передаваемых двигателем нагрузок [2].

В рамках данного исследования разработана математическая модель контактного взаимодействия пневмоколесного двигателя сверхнизкого давления со снежным полотном пути, реализованная в программном комплексе MATLAB.

Разработанная модель позволяет оценить характер и количественные показатели процесса взаимодействия эластичных колес транспортного средства с деформируемой опорной поверхностью в зависимости от конструктивных параметров пневмоколесного двигателя, эксплуатационных факторов (внутреннего давления воздуха в шинах, вертикальной нагрузки на колесо) и физико-механических параметров снега.

В качестве зависимости деформации снега от нормальной нагрузки была выбрана формула, предложенная в НГТУ В.А. Малыгиным [3]. Данный выбор объясняется тем, что она основана на обширных экспериментальных исследованиях, которые проводились на реальном снежном покрове несколько лет подряд и в течение всего зимнего периода, а это позволило получить богатый экспериментальный материал по вертикальной деформации снега. Кроме того, она неоднократно проверена на практике. Зависимость, характеризующая взаимосвязь между давлением q и деформацией h , записывается в виде [3]:

$$h = \frac{q}{\left(\frac{1}{h_{\max}}\right)q + \gamma} \quad (1)$$

где γ – коэффициент начальной жесткости снега, характеризующий удельное сопротивление снега сжатию, представляет собой коэффициент жесткости (Н/м³) в начальной стадии деформации; $h_{\max}$ – коэффициент, характеризующий величину деформации снега при давлениях, соответствующих максимальному уплотнению (м).

$$h_{\max} = H \frac{n_y b + d}{b + d},$$

где H – высота снежного покрова (м); b – ширина штампа (м); n_y – коэффициент уплотняемости снега; d – эмпирический коэффициент.

Согласно экспериментальным исследованиям, проведенным В.А. Малыгиным в ОНИЛ ВМ:

$$n_y = \frac{a}{\rho_0 + a}, \quad (2)$$

где ρ_0 – начальная плотность снега; $a = 0,3$ г/см³.

На основании этих же экспериментальных данных зависимость d от H хорошо согласуется с выражением вида

$$d = 0,0287 (100H)^{3/2}$$

Зная легко определяемые параметры (начальную плотность снега ρ_0 и его начальную жесткость γ), рассчитывается глубина погружения штампа на снежной целине заданной высоты H в зависимости от нагрузки:

$$h = \frac{q}{\left[\frac{b+d}{H(n_y b + d)} \right] q + \gamma}, \quad (3)$$

Таким образом, исходными данными модели с одной стороны являются описанные выше параметры снежного покрова, с другой – параметры распределения нормальных давлений по площади контакта колеса с опорным основанием.

Для формирования массива данных о распределении нормальных давлений в зоне контакта шины сверхнизкого давления с опорной поверхностью были проведены экспериментальные исследования. Объектом экспериментального исследования являлся автомобиль «Викинг»-2992 (рис. 2), технические данные которого представлены в таблице.



Рис. 2. Общий вид автомобиля «Викинг»-2992

Краткая техническая характеристика объекта испытаний

Колесная формула	4x4
Полная масса машины, кг	2400
- на переднюю ось	1200
- на заднюю ось	1200
Шины	ТРЭКОЛ 1300x600-533
Мощность двигателя ВАЗ 2130, кВт	60
Максимальный крутящий момент двигателя, Нм	134

Методика проведения испытаний и структурно-функциональная схема соединения измерительно-регистрирующей аппаратуры подробно описаны в работах [4-6]. В результате проведенных испытаний получены трехмерные эпюры распределений нормальных давлений по площади контакта колес исследуемого транспортного средства с опорной поверхностью при различных внутренних давлениях воздуха в шинах (рис. 3).

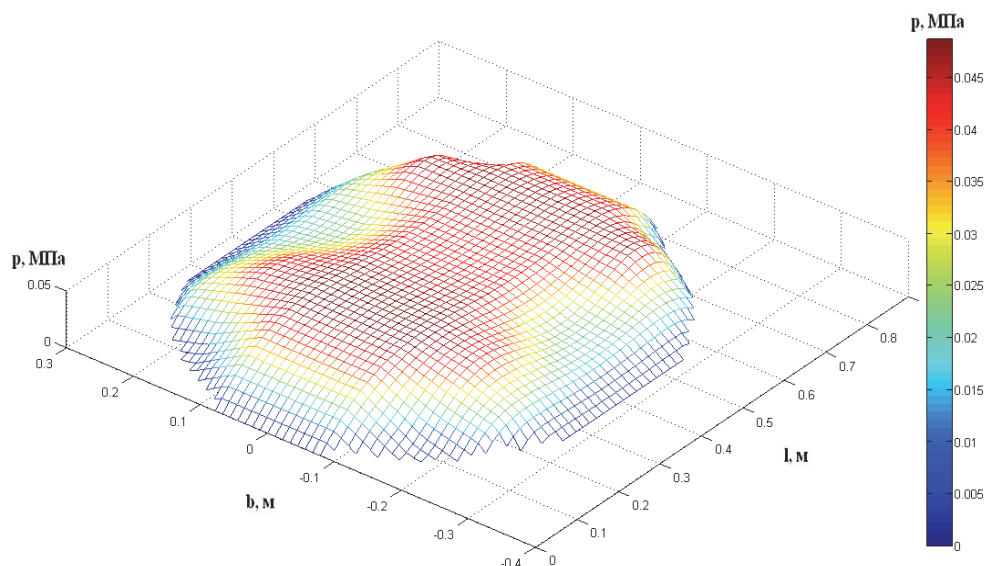


Рис .3. Пример результатов экспериментальных исследований: трехмерная эпюра давлений в контакте шины 1300х600-533 модели «Трэкол» с уплотненной грунтовой поверхностью ($F_z = 600$ кгс; $p_0 = 0,03$ МПа; $V = 0,5$ км/ч);

Для определения начальной жесткости снега γ проводилось экспериментальное определение зависимости «нагрузка – вертикальная деформация снега» (рис. 4).

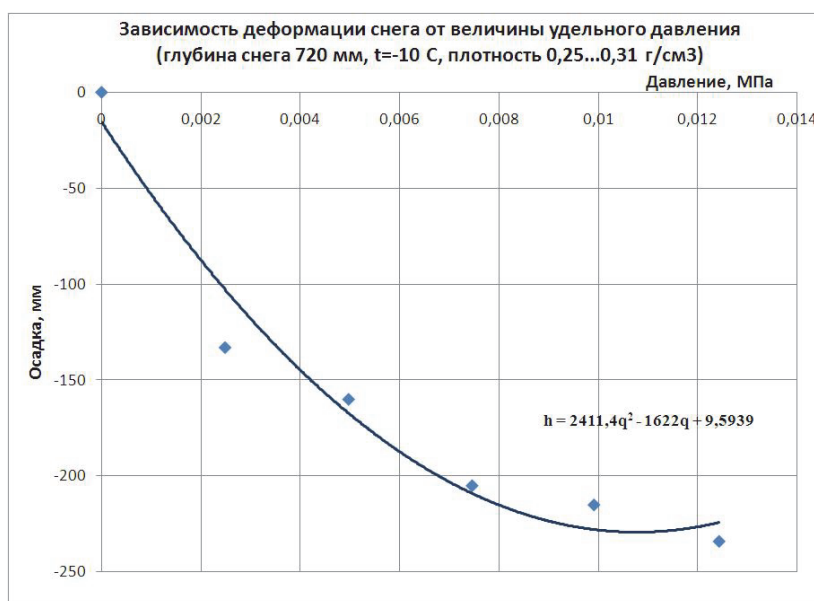


Рис. 4. Зависимость деформации снега от величины давления
($H=720$ мм; $t^0 = -10$ °C; $\rho_0=0,28...0,31$ г/см³)

На рис. 5 показаны результаты моделирования контактного взаимодействия шины 1300х600-533 модели «Трэкол» при движении по снегу ($H=0,72$ м, $\rho=0,30$ г/см³, $\gamma=0,0678$ МПа/м) с нагрузкой 600 кг и давлением воздуха в шине 0,3 МПа. Как видно из рис. 5 максимальная глубина колеи составляет 0,26 м.

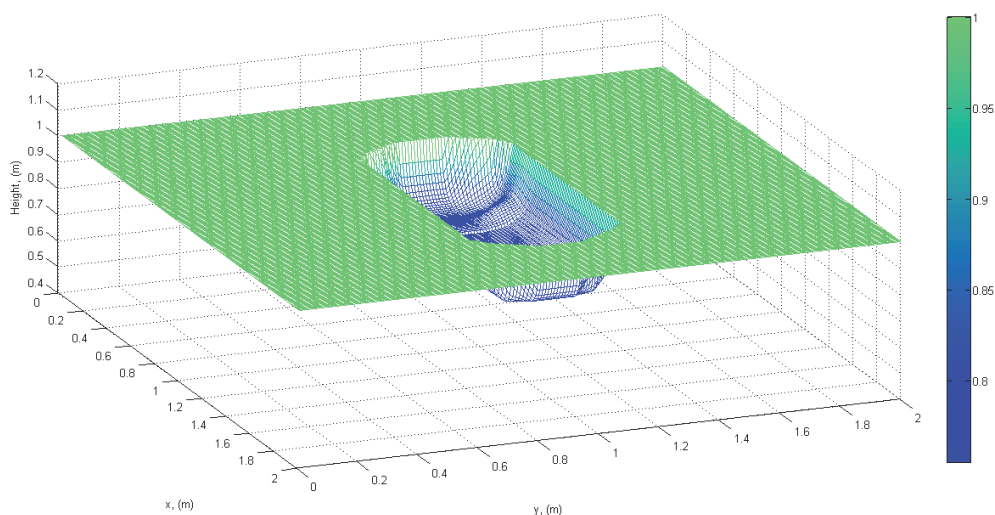


Рис. 5. Расчетная поверхность контакта шины 1300х600-533 модели «Трэкол»
со снежным полотном пути

Для проверки адекватности имитационной модели проводились замеры глубины колеи, образуемой пневмоколесным движителем автомобиля «Викинг»-2992 (рис. 6). В результате экспериментальных исследований установлено, что на снегу с параметрами, соответствующими исходным данным разработанной модели, максимальная глубина колеи не превышает 0,28 м.



Рис. 6. Фрагменты испытаний по определению глубины колеи автомобиля «Викинг»-2992
на снегу ($H=0.72$ м, $\rho=0.30$ г/см³, $\gamma=0,0678$ МПа/м)

Таким образом, при сравнении расчетных данных с данными экспериментальных исследований (рис. 7) наблюдается удовлетворительная сходимость результатов.

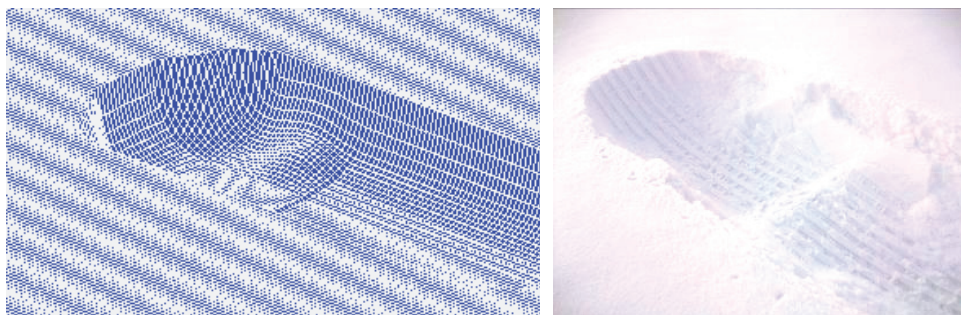


Рис. 7. Сравнение результатов моделирования
с данными экспериментальных исследований

Экспериментально установлено, что глубина колеи существенно зависит от давления воздуха в шине [7, 8].

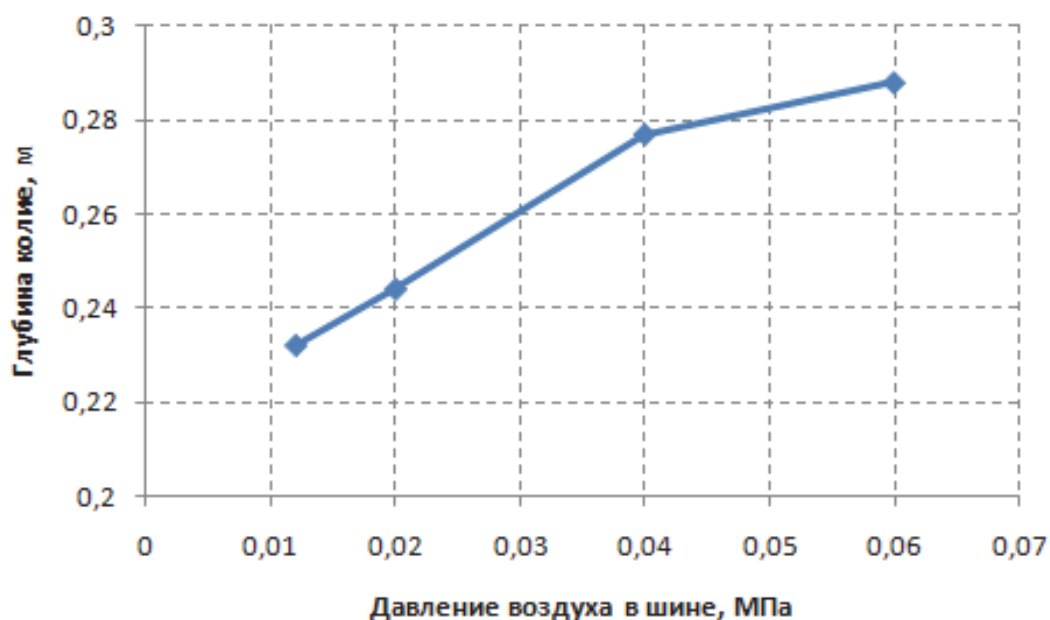


Рис. 8. Зависимость глубины колеи снежной целины транспортного средства «Викинг»
от давления воздуха в шине (расчетные данные)

Характер зависимости глубины колеи от давления воздуха в шине, представленный на рис. 8, определяется максимальным давлением колеса на опорную поверхность, которое также будет зависеть от давления воздуха в шине (рис. 9).

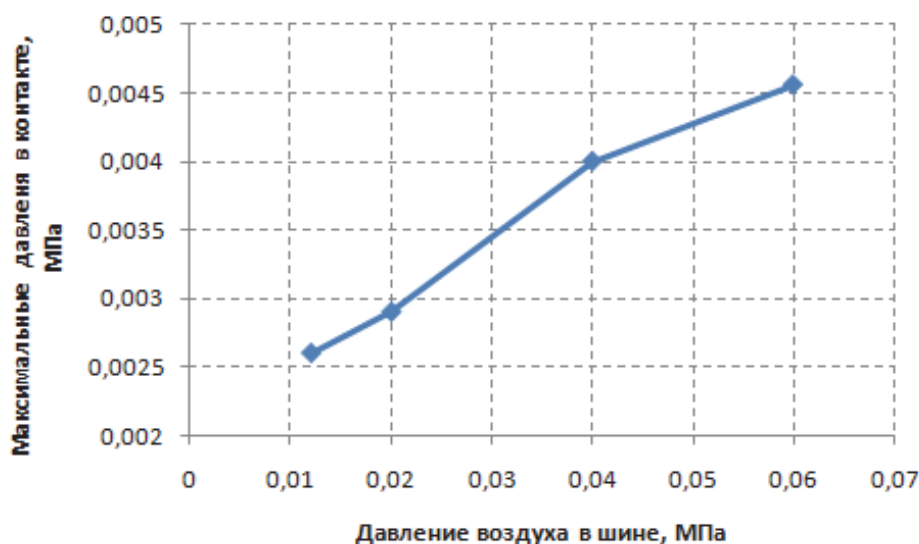


Рис. 9. Зависимость максимального давления в контакте шины со снежной опорной поверхностью для транспортного средства «Викинг» от давления воздуха в шине (расчетные данные)

Глубина колеи и максимальные давления в контакте определяют сопротивление движению, связанное с деформацией снежного полотна пути F_{fc} [5]:

$$F_{fc} = 2b\gamma h_{max}^2 \left(-\ln \left(\frac{\gamma h_{max}}{\gamma h_{max} + q_{max}} \right) - \frac{q_{max}}{\gamma h_{max} + q_{max}} \right) \quad (4)$$

где b – ширина колеи; q_{max} – максимальное давление в контакте колеса с опорной поверхностью; γ, h_{max} – параметры, указанные в формуле (1).

Зависимость суммарной силы сопротивления движению, основной составляющей в которой является сопротивление движению, обусловленное смятием снежного полотна пути, от давления воздуха в шине для транспортного средства «Викинг» представлено на рис. 10. При изменении давления от 0,06 МПа до 0,012 МПа сила сопротивления движению для транспортного средства «Викинг» уменьшилась в 1,69 раза.

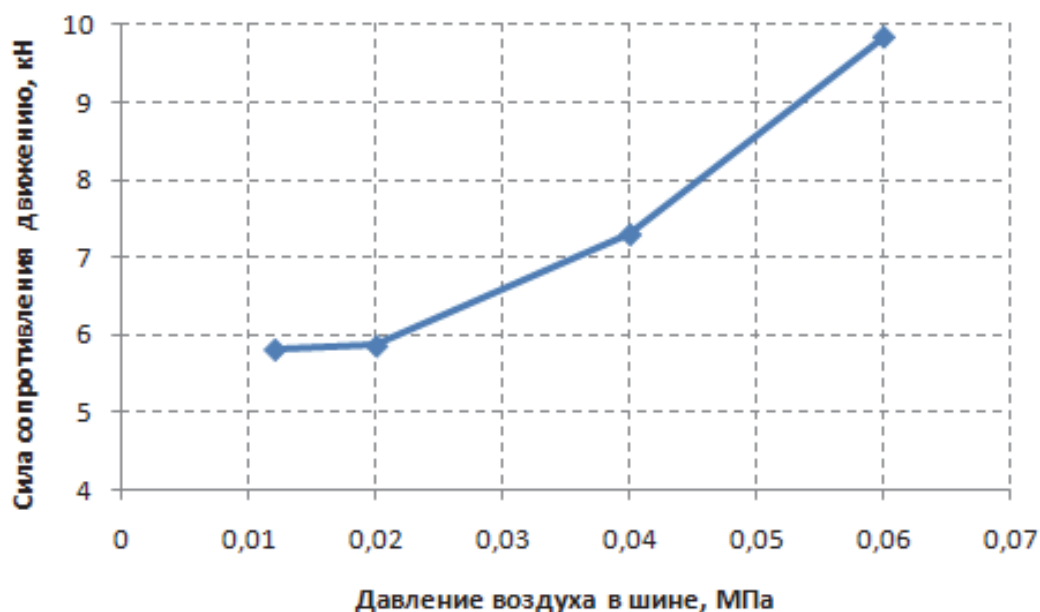


Рис. 10. Зависимость силы сопротивления движению по снегу транспортного средства «Викинг» от давления воздуха в шине (расчетные данные)

Таким образом, в рамках данного исследования разработана модель контактного взаимодействия пневмоколесного движителя сверхнизкого давления со снежным полотном пути. Предложенная модель позволяет оценить величину силы сопротивления движению пневмоколесного движителя сверхнизкого давления по снежной целине в зависимости от внутреннего давления воздуха в шинах при заданных физико-механических параметрах снега. Произведено сравнение расчетных данных с данными экспериментальных исследований для транспортного средства «Викинг»-2992 на шинах 1300х600-533 модели «Трэкол». Установлена удовлетворительная сходимость результатов. Проведен анализ параметров взаимодействия движителя вездеходного транспортного средства с деформируемой опорной поверхностью, на основании которого можно объективно оценивать показатели проходимости и энергоэффективности транспортных средств.

Данная научно-исследовательская работа проводилась в рамках федеральных целевых программ «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы» и «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007-2013 годы».

Список использованных источников

1. Аникин А.А. Разработка научных методов повышения проходимости по снегу особо легких гусеничных машин. - Дис. докт. тех. наук: 05.05.03. НГТУ, Н.Новгород, 2010. – 308 с.

2. Вездеходные транспортно-технологические машины // Под редакцией В. В. Беякова и А. П. Куляшова. – Н. Новгород: ТАЛАМ, 2004. – 960 с.
3. Малыгин В.А. Исследование процесса деформации снега под воздействием гусеничного движителя и обоснование выбора размеров опорной поверхности гусениц снегоходных машин: Дисс. ... канд. техн. наук: 05.05.03. - Горький, 1971. – 155 с.
4. Беяков В.В. Распределение давлений в контакте шины с дорогой/ В.В. Беяков, А.Н. Блохин, Д.В. Зезюлин, А.А. Алипов // Вестник Ижевского государственного технического университета. – 2011. – №1(49). – С. 15-18.
5. Блохин А.Н. Определение нормальных усилий в контакте шины сверхнизкого давления с опорной поверхностью / А.Н. Блохин, В.В. Беяков, Д.В. Зезюлин, А.А. Алипов // Журнал ААИ. Журнал автомобильных инженеров. – 2011. - №2(67) – С.30-33.
6. Алипов А.А. Экспериментальное определение распределения нормальных давлений в зоне контакта пневматической шины сверхнизкого давления с опорной поверхностью / А.А. Алипов, В.В. Беяков, А.Н. Блохин, Д.В. Зезюлин, А.М. Носков // Сборник материалов 71-й международной научно-технической конференции ААИ «Безопасность транспортных средств в эксплуатации». – Н.Новгород: НГТУ. – 2010 – С.113-116.
7. Беяков В.В. Расчет проходимости колесных машин при криволинейном движении по снегу / В.В. Беяков, А.Н. Блохин, В.С. Макаров, С.Е. Манянин // Вестник Ижевского государственного технического университета. – 2010. – №3(47). – С. 35-38.
8. Барахтанов Л.В., Беяков В.В., Кравец В.Н. Проходимость автомобиля. – Н. Новгород: НГТУ, 1996. – 200 с.