Министерство образования и науки Российской Федерации

УДК 629.113
ГРНТИ 55.43.33
Инв. №

ПРИНЯТО:	УТВЕРЖДЕНО:
Исполнитель: **Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева"**	**Государственный заказчик** **Министерство образования и науки Российской Федерации**
От имени Руководителя организации **_____/В.П. Кириенко/**	**От имени Государственного заказчика** **_____/_____/**

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ОТЧЕТ

о выполнении 2 этапа Государственного контракта
№ П2094 от 03 ноября 2009 г. и Дополнению от 02 апреля 2010 г. № 1

Исполнитель: Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева"
Программа (мероприятие): Федеральная целевая программ «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 гг., в рамках реализации мероприятия № 1.3.2 Проведение научных исследований целевыми аспирантами.
Проект: Разработка теоретических основ процессов взаимодействия движителей транспортных средств с опорной поверхностью и оценка энергоэффективности движителей в условиях бездорожья
Руководитель проекта: **_____/Беляков Владимир Викторович** (подпись) М.П.

Нижний Новгород
2010 г.

СПИСОК ОСНОВНЫХ ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

по Государственному контракту П2094 от 03 ноября 2009 на выполнение поисковых научно-исследовательских работ для государственных нужд

Организация-Исполнитель: Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева"

Руководитель темы:

доктор технических наук, профессор _____ Беляков В.В.
подпись, дата

Исполнители темы:

кандидат технических наук, доцент _____ Блохин А.Н.
подпись, дата

кандидат технических наук, без ученого звания _____ Лелиовский К.Я.
подпись, дата

кандидат технических наук, без ученого звания _____ Алипов А.А.
подпись, дата

кандидат технических наук, без ученого звания _____ Макаров В.С.
подпись, дата

без ученой степени, без ученого звания _____ Зезюлин Д.В.
подпись, дата

без ученой степени, без ученого звания _____ Багичев С.А.
подпись, дата

без ученой степени, без ученого звания _____ Носков А.М.
подпись, дата

без ученой степени, без ученого звания	_____ подпись, дата	Молодцов А.С.
без ученой степени, без ученого звания	_____ подпись, дата	Денисенко Е.Г.

Реферат

Отчет 80 с., 1 ч., 38 рис., 5 табл., 45 источн., 2 прил.

ОЦЕНКА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ, ДВИЖИТЕЛЬ, ПОДВИЖНОСТЬ, ПРОХОДИМОСТЬ, УСТРАНЕНИЕ КРИТИЧЕСКИХ СИТУАЦИЙ, КУРСОВАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ, СКОРОСТЬ ДВИЖЕНИЯ

В отчете представлены результаты исследований, выполненных по 2 этапу Государственного контракта № П2094 "Разработка теоретических основ процессов взаимодействия движителей транспортных средств с опорной поверхностью и оценка энергоэффективности движителей в условиях бездорожья" (шифр "НК-391П") от 03 ноября 2009 по направлению "Создание энергоэффективных двигателей и движителей для транспортных средств" в рамках мероприятия 1.3.2 "Проведение научных исследований целевыми аспирантами.", мероприятия 1.3 "Проведение научных исследований молодыми учеными - кандидатами наук и целевыми аспирантамив научно-образовательных центрах", направления 1 "Стимулирование закрепления молодежи в сфере науки, образования и высоких технологий." федеральной целевой программы "Научные и научно-педагогические кадры инновационной России" на 2009-2013 годы.
Цель работы - является совершенствование методов описания процессов взаимодействия движителей колесных машин с опорной поверхностью в условиях бездорожья и оценка энергоэффективности движителей машин.
При проведении теоретических исследований использовались методы аналитической механики, численные методы решения систем нелинейных уравнений и разнообразные методы математического моделирования.
1. Учебники, учебно-методические пособия и методические указания по дисциплинам «Теория автомобиля», «Конструирование и расчет автомобилей и тракторов» «Теория вездеходных машин», а также монографии, материал которых может использоваться для исследования указанной проблемы. 2. Научно-технические и научно-производственные российские и зарубежные журналы. 3.ЭВМ с доступом в сеть Интернет. 4. Реферативный журнал ВИНИТИ.5. Кандидатские и докторские диссертации. 6 ЭВМ, современные расчетные и моделирующие программы: Excel, MatCAD, MatLAB. 7. Программное обеспечение MS Office. 8. ГОСТ 7.32-2001.
Материалы теоретических исследований, раскрывающие содержание работ по решению поставленных научно-исследовательских задач (объем 5,12 п.л.), включая: аналитический отчет о проведении теоеретических и экспериментальных исследований; обобщение и оценка результатов исследований; программа и алгоритм, позволяющие увеличить объем знаний для более глубокого понимания процессов взаимодействия движителей транспортных средств с опорной поверхностью; рекомендации по возможности использования результатов НИР в реальном секторе экономики.

СОДЕРЖАНИЕ

НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ…… 6

ВВЕДЕНИЕ……..... 7

1 ПЛАН ПРОВЕДЕНИЯ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ II ЭТАПА РАБОТЫ…… 9

2 ПРОВЕДЕНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ 11

2.1 Экспериментальная оценка проходимости колесных машин по снегу……. 11

2.2 Результаты экспериментальных исследований……. 15

2.3 Оценка проходимости при разных режимах движения……... 18

3 ОБРАБОТКА И АНАЛИЗ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ……. 19

4 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КРИВОЛИНЕЙНОГО ДВИЖЕНИЯ СПЕЦИАЛЬНОГО ЛЕГКОГО ВЕЗДЕХОДНОГО ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА С КОЛЕСНОЙ ФОРМУЛОЙ 6Х6…….. 21

5 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НОРМАЛЬНЫХ ДАВЛЕНИЙ В ЗОНЕ КОНТАКТА КОЛЕСА С ОПОРНОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ…….. 29

6. АНАЛИЗ КРИТЕРИЕВ ПРОХОДИМОСТИ……. 42

7 РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ И ВЫБОРА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ ДВИЖИТЕЛЕЙ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ ПОДВИЖНОСТЬ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ В УСЛОВИЯХ БЕЗДОРОЖЬЯ…… 48

7.1 Критерий проходимости колесной машины…….. 48

7.2 Алгоритм решения и программная реализация математической модели проходимости машины по снегу…… 49

7.3 Сравнительный метод оценки энергоэффективности движителя……. 51

8 РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ПРОВЕДЕННЫХ НИР В РЕАЛЬНОМ СЕКТОРЕ ЭКОНОМИКИ…….. 54

9. ЗАКЛЮЧЕНИЕ…… 55

10 СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ…… 57

ПРИЛОЖЕНИЕ А……. 59

ПРИЛОЖЕНИЕ Б……. 75

НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

1 ГОСТ 22653 – 77 Автомобили. Параметры проходимости. Термины и определения

2 ГОСТ 17697 – 72 Автомобили. Качение колеса. Термины и определения

3 ГОСТ 2349 – 75 Устройства тягово-сцепные «крюк-петля» автомобильных и тракторных поездов. Основные параметры и размеры. Технические требования.

4 РТМ 37.001.039 – 77 Типовая программа и методы испытаний полноприводных автомобилей на проходимость [Текст]: руководящий технический материал / Мин-во автомобильной промышленности. - М. : НАМИ, 1977. - 8 с. - Б. ц.

5 ОСТ 37.001.061 – 74 Параметры проходимости полноприводных автомобилей.

6 Правила ЕЭК ООН №54 «Единообразные предписания, касающееся официального утверждения шин для грузовых транспортных средств и их прицепов»

7 Правила ЕЭК ООН №108 «Единообразные предписания, касающееся официального утверждения в отношении производства пневматических шин с восстановленным проектором для автотранспортных средств и их прицепов».

8 Правила ЕЭК ООН №109 «Единообразные предписания, касающееся официального утверждения производства шин с восстановленным протектором для транспортных средств неиндивидуального пользования и их прицепов».

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. Во время эксплуатации колесные машины не всегда передвигаются по специально подготовленным дорогам с высокими тягово-сцепными свойствами. Во многих случаях им приходится работать на бездорожье, которое характеризуется разнообразными дорожно-грунтовыми условиями. Эту способность автомобилей характеризует специальное эксплуатационное свойство – проходимость и энергоэффективность.

В теории качения принято энергоэффективность колесных движителей оценивать мощностью, моментом, силой и коэффициентом сопротивления качению. В наиболее общем случае качения колеса по деформируемой опорной поверхности различают потери на деформацию шины и на деформацию опорной поверхности, которые были проанализированы путем исследований закона распределения нормальных давлений в зоне контакта с опорной поверхностью колес на шинах низкого давления. При этом энергия затрачивается на компенсацию механических потерь, которые обусловлены внутренним трением в резино-кордной оболочке шины при ее сжатии и восстановлении формы, в резине протектора при циклическом сжатии, проскальзыванием элементов корда по опорной поверхности, затратами на деформацию грунта и преодоление сопротивления от прилипания грунта, сдвига грунта (бульдозерное сопротивление), и экскавационного погружения колеса в грунт при его буксовании.

В работе рассматривается прямолинейное и криволинейное движение колесных машин повышенной и высокой проходимости с колесной формулой 4х4 и 6х6 по грунтовой опорной поверхности и снежной целине. Одним из наиболее тяжелых режимов работы является криволинейное движение машин по снегу. Появление бокового скольжения колес вследствие малого сцепления приводит к увеличению ширины и глубины колеи и, как следствие, к возникновению экскавационно-бульдозерного сопротивления с внешней стороны колеса и росту сопротивления от вертикального смятия снега.

В таких условиях происходит значительный рост сопротивления движению. Поэтому необходим анализ учитывающий режимы криволинейного движения колесной машины по снегу с целью возможности уменьшения потерь и увеличения запаса силы тяги.

Целью работы является совершенствование методов описания процессов взаимодействия движителей колесных машин с опорной поверхностью в условиях бездорожья и оценка энергоэффективности движителей машин.

Научная новизна. Впервые для взаимодействия колеса катящегося в режиме бокового скольжения, с деформируемой опорной поверхностью, учтена особенность геометрии разделения зон вертикального и бокового смятия.

Разработана математическая модель криволинейного движения колеса по снежной целине с учетом бокового скольжения и особенности геометрии зон вертикального и бокового смятия.

Рассмотрены особенности образования колеи и сопротивления при криволинейном движении с учетом расположения колес в движителе машины, режимов работы и особенности геометрии зон вертикального и бокового смятия.

Показаны изменения сопротивлений, сцеплений и запаса силы тяги при различных режимах с учетом особенности геометрии зон вертикального и бокового смятия снега при криволинейном движении.

Получен закон распределения нормальных давлений в зоне контакта колес на шинах низкого давления с опорной поверхностью.

Разработана методика оценки и выбора энергоэффективных движителей, обеспечивающих подвижность транспортных средств в условиях бездорожья.

Объекты исследования. На разных этапах работы в качестве объектов исследования выбирались колесные машины ВАЗ-2121 «Нива» и специальное легкое вездеходное транспортное средство с колесной формулой 6х6.

Общая методика исследований. При проведении теоретических исследований использовались методы аналитической механики, численные методы решения систем нелинейных уравнений и разнообразные методы математического моделирования. Экспериментальные исследования проводились на кафедре «Автомобили и тракторы» НГТУ с использованием специального испытательного оборудования и сертифицированных измерительных приборов. Испытания специализированных транспортных средств выполнялись на опытных и промышленных образцах в реальных условиях их работы с помощью комплекта метрологических поверенных приборов и устройств.

1 ПЛАН ПРОВЕДЕНИЯ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ II ЭТАПА РАБОТЫ

На основании анализа ранее выполненных работ и на основе сведений об исследуемой проблеме на научных семинарах, проходящих в ГОУ ВПО «Нижегородский государственный технический университет им. Р. Е. Алексеева» 21.05. 2010 г. и 05.07.2010 (выписка прилагается) были соответственно утверждены план теоретических и экспериментальных исследований, результаты и рекомендации по их внедрению.

К настоящему времени, казалось бы, достаточно глубоко исследованы вопросы движения колесных машин по ровным грунтовым поверхностям, однако в литературе встречается крайне мало сведений о характере распределения нормальных и касательных напряжений в плоскости контакта, оказывающих большое влияние на движение колесных машин и работу шины. Поэтому, одной из задач экспериментальных исследований было установлено получения закона распределения нормальных давлений в зоне контакта колес с опорной поверхностью для специального вездеходного транспортного средства с колесной формулой 6х6.

Другой актуальной и важной задачей исследования является решение проблемы оценки проходимости и энергоэффективности движения колесных машин по грунтовым поверхностям в общем случае, с учетом неоднородности грунта, неровности поверхности и криволинейных траекторий движения. При этом одним из тяжелейших режимов движения является передвижение машин по снегу, поэтому в экспериментальных исследованиях именно этому режиму движения должно быть уделено значительное внимание.

В настоящее время проходимость транспортных средств оценивают методом натурных испытаний, методом моделирования и методом оценки по отдельным параметрам.

Первый метод является наиболее объективным, но достаточно трудоемким. Для адекватности сравнения результатов испытаний различных транспортных средств целесообразно пользоваться стандартизованными трассами испытательных полигонов.

В случае проведения всего цикла испытаний на дорогах НИЦИАМТ необходимо пользоваться коэффициентами приведения.

Поэтому, на втором этапе НИР будет произведена экспериментальная проверка теоретических зависимостей, представленных на первом этапе работы, позволяющая получить новые результаты, позволяющие увеличить объем знаний для более глубокого понимания процессов происходящих в зоне контакта эластичных колес с опорной поверхностью.

Укрупненный план экспериментальных исследований II этапа работы:

1. Определение физико-механические параметров снега;
2. Определение скорости движения машины на исследуемом участке;
3. Определение радиуса поворота машины на исследуемом участке;

4. Определение геометрических параметров колеи на исследуемом участке;

5. Определение предельной глубина преодолеваемого снежного покрова.

6. Определение распределения нормальных давлений в зоне контакта колеса с опорной поверхностью.

2 ПРОВЕДЕНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

2.1 Экспериментальная оценка проходимости колесных машин по снегу

Экспериментальные исследования оценки проходимости колесных машин по снегу проводились в зимний период в 2009-2010 г.г. в Павловском районе Нижегородской области. Объектом исследований являлась машина с колесной формулой 4х4 (ВАЗ-2121), техническая характеристика которой представлена в таблице 2.1.

Таблица 2.1. - Краткая техническая характеристика автомобиля ВАЗ-2121

Колесная формула	4х4
Число мест, включая водителя	4-5
Масса снаряженного автомобиля, кг	1150
Полезная нагрузка, кг	400
Масса груза в багажнике, кг	120
Полная масса автомобиля, кг	1550
Габаритные размеры, мм длина ширина высота	 3720 1680 1640
База автомобиля, мм	2200
Наименьший дорожный просвет, мм	220
Наименьший радиус поворота по колее наружного переднего колеса, м	5,5
Нагрузка на оси при проведении эксперимента, кг переднюю заднюю	 750±10 500±10

Для достижения поставленной цели исследования необходимо решить следующие задачи:

– определить сравнительные характеристики проходимости колесной машины при разных физико-механических характеристиках снега и различных режимах движения.

– провести обработку массивов экспериментальных данных, дать оценку точности проведения эксперимента и схождению результатов расчета и эксперимента.

Исследования проводятся в широком диапазоне погодных условий при различных физико-механических свойствах снега и разных глубинах его залегания. При этом, считалось, что подстилающая поверхность является ровный участок поля.

Объем и содержание исследований:

В ходе экспериментальных исследований определяются следующие параметры:

– физико-механические параметры снега;

– скорость движения машины на исследуемом участке;

– радиус поворота машины на исследуемом участке;

– геометрические параметры колеи на исследуемом участке;

– предельная глубина преодолеваемого снежного покрова.

Методика исследовательских испытаний.

Выбор участка местности. Участок местности для проведения исследований имеет ровную подстилающую поверхность. Уклоны не превышают $1\text{-}2^0$.

Глубина снежного покрова на участке принимается постоянной. Значения замеров для исследуемого участка с одинаковыми режимами движения показали незначительное изменение глубины снежного покрова.

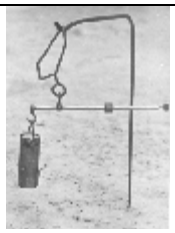
Ходовые испытания проводятся в светлое время суток. Проведение экспериментов не допускается при резком изменении физико-механических свойств снега в течение дня (дождь, резкая смена температуры) и в условиях ограниченной видимости (метель и т.п.).

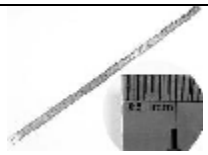
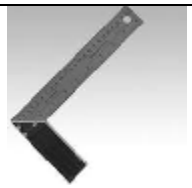
При проведении испытаний необходимо обеспечить отсутствие на исследовательском участке посторонних лиц, предметов и транспортных средств.

Режимы движения машины при исследованиях. По результатам теоретических исследований были выбраны режимы криволинейного движения. Заезды проводились со значениями близкими к результатам теоретических исследований. Для каждого режима движения число заездов совершалось не менее десяти, что позволяет иметь необходимую выборку для получения статистических характеристик параметров (критериев) проходимости при прямолинейном и криволинейном движении.

Материальное обеспечение испытаний. Машины, оборудование, приборы и аппаратура для проведения исследований представлены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 - Машины, оборудование, приборы и аппаратура для проведения исследований

№ п/п	Название	Наглядное изображение	Кол-во
1	Автомобиль ВАЗ-2121		1
2	Плотномер		1

3	Устройство для определения сцепных свойств снега		1
4	Рулетка 10 м		1
5	Линейка 1 м		1
6	Уголок (длина измерительной части – 40 см)		1
7	Цифровой фотоаппарат с возможность видеосъемки 25-30 кадров/с		1
8	Ноутбук для первичной записи и обработки данных		1

Определение физико-механических характеристик снега производятся в соответствии со схемой, представленной на рисунке 2.1. [1,2,3].

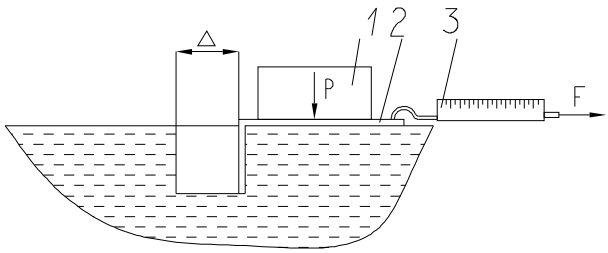


Рисунок 2.1 – Определение физико-механических параметров снега

1 – груз различной массы, 2 – штамп; 3 – динамометр.

При испытаниях замеры проводились для двух различных масс 1, и без нагрузки. Минимальное число замеров - 10 для разных нагрузок P. В результате строится график зависимости $F = f(\Delta)$.

Определение радиуса поворота и размеров колеи производится в соответствии со схемами на рисунках 2.2 и 2.3, где обозначено:

1-2 – вход в поворот;

2-3 – криволинейное движение с постоянным радиусом, набор и выравнивание скорости движения;

3-4 – движение с постоянной скоростью, при постоянном радиусе (мерный участок);

4-5 – окончание поворота;

5-6 – выход на прямую, остановка;

H - глубина снега;

B_1 и h_1 - условная ширина и глубина колеи образуемая первым колесом;

B_2 и h_2 - условная ширина и глубина колеи образуемая вторым колесом;

B_{12} - ширина участка снега между колеями.

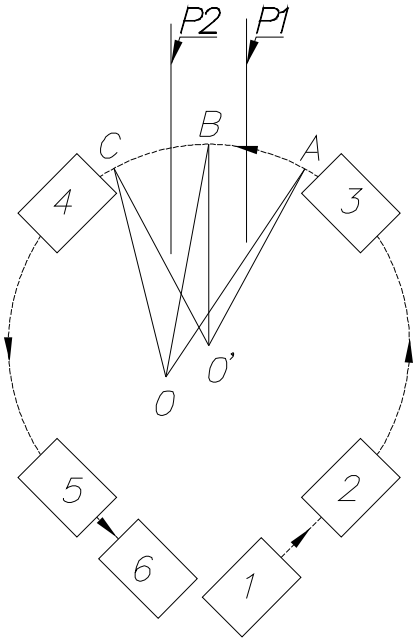


Рисунок 2.2 – Определение радиуса поворота машины

При определении предельных радиусов поворота и скоростей движения по проходимости заезд может закончиться преждевременно из-за потери проходимости.

В полевых условиях измеряются расстояния между точками A, B, C и некоторой произвольной точкой O. Так как на данном участке режим движения устоявшийся, то радиус считаем постоянным. Графоаналитическим способом находим действительный центр поворота O'.

На участке A, B, C определяем геометрические размеры колеи. Число замеров не менее 10.

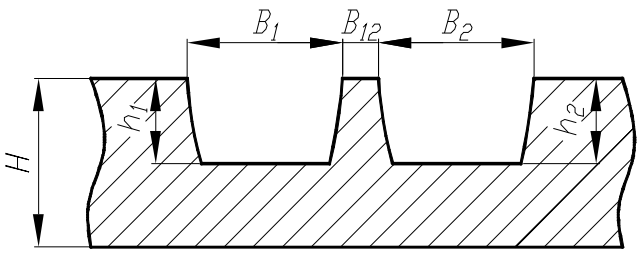


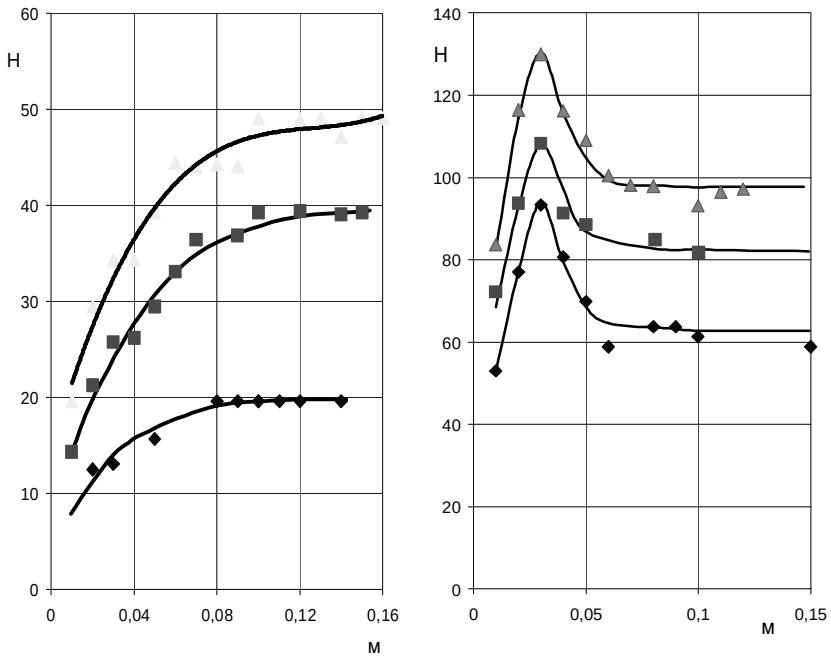
Рисунок 2.3 – Геометрические размеры колеи

Для определения скорости на мерном участке A, B, C на снег наносятся метки-линии с известным между ними расстоянием. При движении и пересечении линий $P1$ и $P2$ это фиксируется на видео. В дальнейшем определяется величина дуги между $P1$ и $P2$ и время движения. Таким образом, получается скорость. Современная техника позволяет определить точность определения скорости при величине участка $P1 - P2$ в 1,5 м с точностью до 2,2%.

Все полученные значения обрабатываются в соответствии с методами математической статистики.

2.2 Результаты экспериментальных исследований

Анализ физико-механических свойств снега. В результате замеров (рисунок 2.5) получены зависимости сопротивления среза от перемещения штампа при разных нагрузках. Замеры произведены штампа без нагрузки, и с нагрузкой 9,81 Н (1кг) и 14,7 Н (1,5 кг). Каждая кривая получена по результатам 10 замеров. Точки с одинаковыми значениями абсциссы были сгруппированы, а для ординаты взяты математические ожидания.

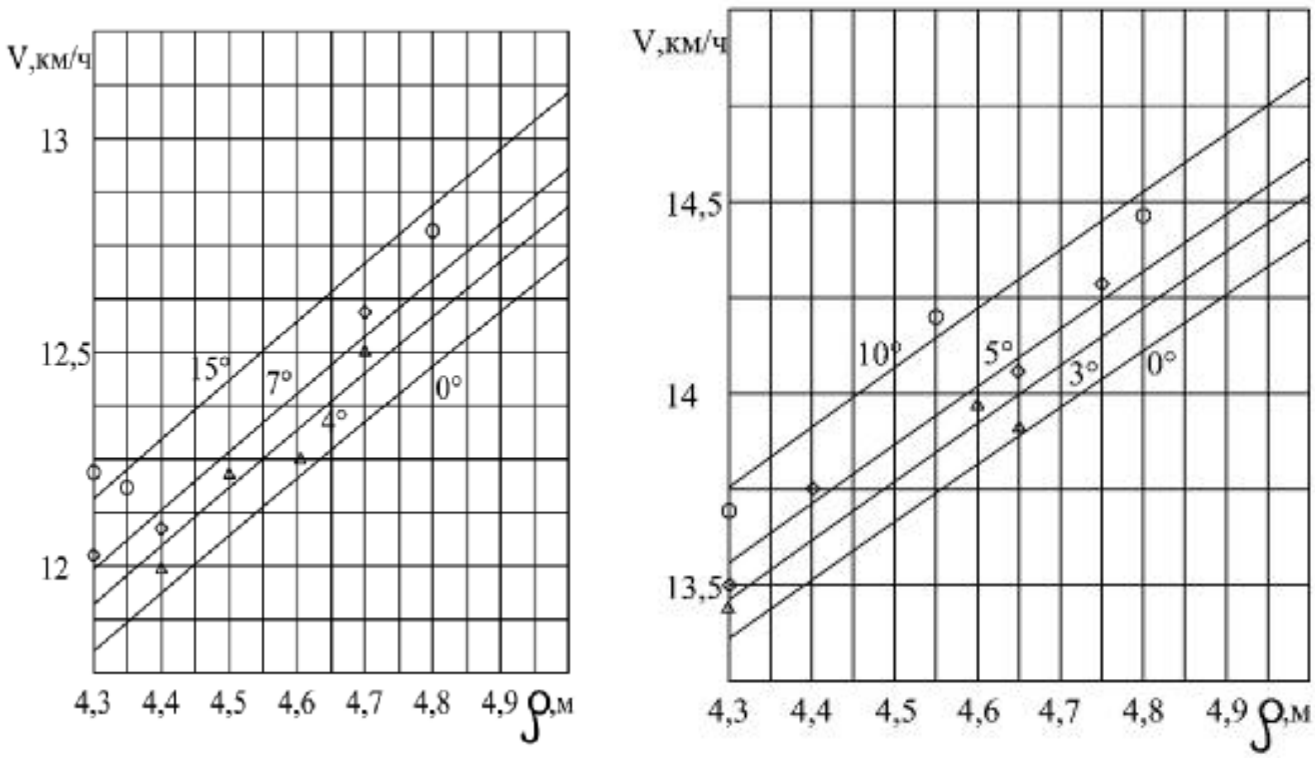


а *б*

Рисунок 2.4. – Зависимость сопротивления среза от перемещения штампа при разных нагрузках. *а* – Данные по состоянию на 18.01.10, *б* – Данные по состоянию на 05.02.10. 1 – без нагрузки, 2 – с нагрузкой 1 кН, 3 – с нагрузкой – 1,5 кН.

В соответствии с исследованиями, средняя плотность снега на 18.01.10 по результатам 10 замеров составила 0,195 г/см^3. По состоянию на 05.02.10 – 0,3 г/см^3. Поэтому можно считать, что испытания проводились на снегах соответствующих типам: «Снег-2» 18.01.10 и «Снег-4» 05.02.10.

Рисунок 2.5 – Замер характеристик снега



а *б*

Рисунок 2.6 – Зависимость скорость движения – радиус поворота при различных углах бокового смещения

Анализ изменения размеров колеи образуемой колесом в составе движителя при криволинейном движении машины. При проведении эксперимента машина двигалась с различными радиусами при постоянной скорости. В результате, были получены зависимости «скорость движения – радиус поворота» для различных углов бокового скольжения (рисунок 2.6). По результатам десяти заездов (для каждого типа снега) были получены средние значения. На рисунке 2.6 точками указаны экспериментальные значения. В значения полученные углы были

сведены в три характерные группы. Так для исследований на «снеге-2», значения показанные кружком соответствуют значениям 14-15°, треугольником – 6-7 ^{o}, ромбом 4-4,5 ^{o}. Для «снега-4» 10-11°, 5-5,5^{o}, 3 -4°.

Значения скоростей и радиусов поворота на рисунке 2.6 (экспериментальные значения) получены по предложенной на I этапе НИР методике. Фрагменты данных испытаний приведены на рисунках 2.7 и 2.8 соответственно.

Момент замера геометрических характеристик колеи приведен на рисунке 2.9.

Рисунок 2.7. – Фрагмент замера радиуса поворота

а *б* *в*

Рисунок 2.8 – Определение скорости движения на участке:

а – въезд, *б* – проезд, *в* – съезд с мерного участка

Рисунок 2.9 – Поперечный шурф. Фрагмент замера геометрических размеров колеи

Результаты теоретических исследований, включая зависимости нагрузка-осадка при различных углах бокового скольжения, а также приведенную силу сопротивления от экскавационно-бульдозерных эффектов с внешней стороны колеса, представлены в Приложении А.

2.3 Оценка проходимости при разных режимах движения. Сравнение теоретических величин преодолеваемого снежного покрова и данных, полученных при натурном исследовании, приведено в таблице 2.2. Причем, значения сгруппированы для сравнения режима прямолинейного движения (1 режим) и режимов криволинейного движения при рассогласовании колей и угле бокового скольжения от 0 до 15% (3-4 режим). Внешний вид испытуемой машины представлен на рисунках 2.10, 2.11.

Таблица 2.2 – Сравнение результатов теоретических и экспериментальных исследований

Тип снега	Режим движения	Max глубина снега, см	
		Теоретическая	Экспериментальная
Снег-2	1	28,5	26-27
	3-4	17,7-21,1	20- 22
Снег-4	1	24	23-25
	3-4	14,6-18	16-17

Рисунок 2.10 – Продольный шурф. Замер глубины снежного покрова после застревания машины при прямолинейном движении

Рисунок 2.11 – Потеря подвижности машины при криволинейном движении

3 ОБРАБОТКА И АНАЛИЗ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

Полученные во время исследовательских испытаний значения $M(x_i)$обрабатываются с применением методов математической статистики. По результатам расчета получаются следующие значения:

- среднее значение определяемого параметра $\bar{x}$;

- среднее квадратичное отклонение $\Delta\bar{x}$

Расчет указанных величин производится по известным формулам:

$$\sigma_{\bar{x}} = \sqrt{\left(\sum_{i=1}^{n}\left(x-\bar{x}\right)^2\right)n^{-1}}, \tag{2.1}$$

где $\bar{x}$ - среднее арифметическое измеряемой величины

$$\bar{x} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i, \tag{2.2}$$

x_i - результат i-го замера, n - число измерений,

$$\Delta\bar{x} = t\,\sigma_{\bar{x}}\,n^{-0,5}, \tag{2.3}$$

где t - коэффициент Стьюдента, учитывающий число измерений и доверительную вероятность.

Для каждого из определяемых параметров в массив исходных данных включаются результаты обработки исследований с одинаковыми входными параметрами, после чего производится отсев грубых погрешностей по следующей методитке:

- рассчитываются значения отклонений величины i-го замера от среднего значения

$$\delta = \left|\bar{x} - x_i\right|; \tag{2.4}$$

- находим максимальное относительное отклонение $\delta_{\max}$;

- вычисляем значение

$$\tau = \delta_{\max} / \Delta\bar{x}; \tag{2.5}$$

- по коэффициенту Стьюдента для 3σ и $n-2$ рассчитывают критическое значение

$$\tau_P = t_{(P,n-2)}(n-1)^{0,5}\left[n-2+t^2_{(P,n-2)}\right]^{-0,5}, \tag{2.6}$$

где индекс P - означает процентную точку нормированного выборочного отклонения, соответствующего 3σ.

- для величины $\delta_{\max}$ производим сравнение

$$\tau > \tau_P. \tag{2.7}$$

При этом если величина оказывается больше критического значения, то соответствующее значение x_i отсеивается. После этого производится расчет статистических характеристик для нового $M_1(x_1-1)$ и новая проверка на отсев грубых погрешностей. Операция исключения аномальных значений в выборке исходных данных производится до тех пор, пока все значения не будут удовлетворять условию (2.7).

По зависимостям (2.1) – (2.7) выполнялась обработка результатов испытаний, в ходе которой была установлена максимальная погрешность измерений – 15-21%.

Сравнение экспериментальных и теоретических данных производится по аналогичной методике, только в качестве среднего значения определенного параметра принимается теоретическое значение.

Обработка данных полученных в ходе испытаний показала удовлетворительную сходимость теоретических и экспериментальных исследований. Отклонения составили 18-23%.

4 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КРИВОЛИНЕЙНОГО ДВИЖЕНИЯ СПЕЦИАЛЬНОГО ЛЕГКОГО ВЕЗДЕХОДНОГО ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА С КОЛЕСНОЙ ФОРМУЛОЙ 6Х6

Характерной чертой специальных вездеходных транспортных средств является применение многоприводных и полноприводных ходовых систем, когда количество ведущих мостов составляет два и более. Переход на многоприводность усложняет структуру системы «трансмиссия-движитель». Данное обстоятельство ставит ряд новых задач в вопросе оценки энергетической эффективности движителей.

Кинематика поворота автомобиля. Для начала рассмотрим кинематику жестких в боковом направлении колес, т.е. при отсутствии увода, и колеса катятся в плоскости своего вращения. Для того чтобы такие колеса катились без бокового скольжения, каждое из них нужно повернуть на такой угол, при котором перпендикуляры к плоскостям вращения колес пересекутся в одной точке (рисунок 4.1). Эта точка ($O_к$) называется *кинематическим центром*, а проекция ее ($O'_к$) на продольную ось автомобиля – *полюсом рулевого управления*.

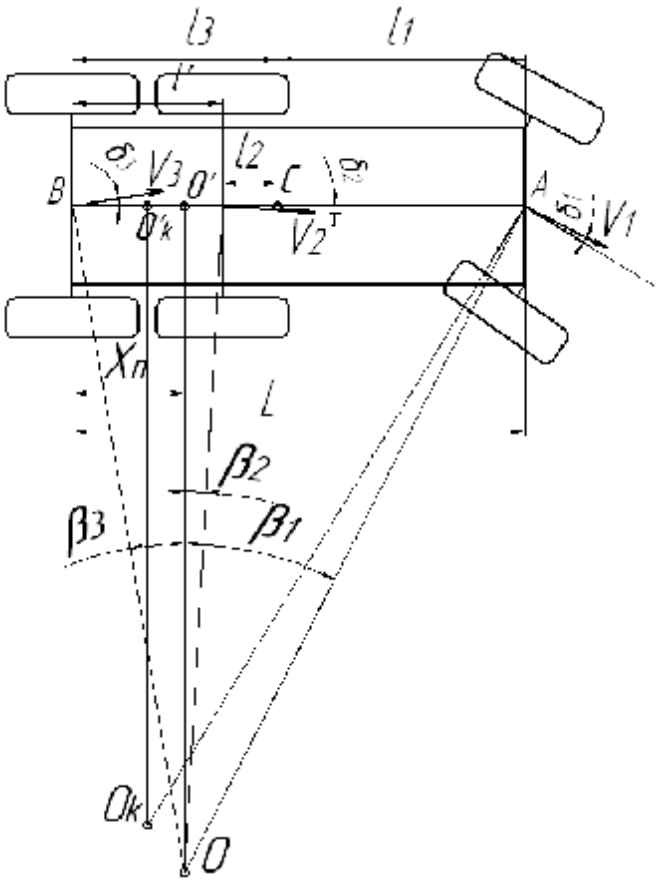


Рисунок 4.1 – Кинематика поворота колесной машины

В простейшем случае, когда у двухосной машины управляемыми являются колеса только одной оси, имеется следующая зависимость [4,5]:

$$ctg\theta_{\text{Н}} - ctg\theta_{\text{В}} = l_0/L, \tag{4.1}$$

где l_0 – расстояние между осями шкворней поворотных цапф.

Максимальные углы поворота управляемых колес обычно не превышают 20...30°, а средние их значения в эксплуатации, как правило, не превосходят 5...10°. При имеющихся реальных соотношениях l_0/L разность углов поворота внутренних и наружных управляемых колес в среднем составляет доли градуса, поэтому в большинстве случаев с достаточной для практики точностью можно вести расчеты, принимая средний угол поворота колес $\theta = (\theta_{\text{Н}} + \theta_{\text{В}})/2$. Преимущество этой схемы – сокращение приблизительно в 2 раза количества уравнений, описывающих движение машины.

Радиус поворота, называемый кинематическим радиусом, определяется как

$$R_{\text{К}} = L/tg\theta. \tag{4.2}$$

В машинах с двумя и большим количеством осей с неуправляемыми и жесткими в боковом направлении колесами полюс рулевого управления должен находиться посередине между крайними из неуправляемых осей [6,7]. Это уменьшает скольжение неуправляемых колес. Так, в нашем случае, у трехосной машины с управляемыми колесами только передней оси полюс рулевого управления должен быть посередине между второй и третьей осями.

Вообще, для машин с жесткими в боковом направлении колесами соотношение средних углов поворота колес управляемых осей должно быть

$$tg\theta_i/tg\theta_j = l_{0i}/l_{0j}, \tag{4.3}$$

т.е. тангенсы средних углов поворота колес пропорциональны расстояниям от полюса рулевого управления до соответствующих осей.

В некоторых случаях (например, у двухосных машин с управляемыми колесами лишь одной оси) полюс рулевого управления находится на оси неуправляемых колес. Если имеются колеса, поворот которых не соответствует этим закономерностям, то такие колеса движутся с боковым скольжением, создавая дополнительные потери энергии, т. е. препятствуя повороту.

В реальности автомобильные колеса катятся с уводом. В общем случае углы бокового увода всех колес различны. Но с целью упрощения расчетов во многих случаях без существенной ошибки можно принимать для колес одной оси один угол увода $\delta_i=(\delta_{вi}+\delta_{нi})/2$. Углы увода δ положительны, если направлены в сторону действия боковой составляющей силы инерции, т. е. от центра поворота. Перемещения, скорости, ускорения и силы примем положительными, если они совпадают по направлению с положительными направлениями осей подвижной системы координат, у которой ось x совмещена с продольной осью машины, а ось y перпендикулярна к ней.

Для начала не будем учитывать действие сил, приложенных к автомобилю, и определим лишь геометрические зависимости криволинейного движения. Основные величины – это радиус поворота R_n *(OO')* и вторая координата мгновенного центра вращения – положение полюса поворота на продольной оси машины, определяемая расстоянием полюса поворота от последней оси машины – *смещение полюса поворота* (X_n).

На рисунке 4.2 реакции, действующие на колеса, приведены к серединам соответствующих осей, причем продольные реакции $R_{xi}=R_{xiв}+R_{xiн}$ параллельны плоскостям вращения колес, а боковые реакции $R_{yi}=R_{yiн}+R_{yiв}$ перпендикулярны к ним.

Перемещения, скорости, ускорения и силы примем положительными, если они совпадают по направлению с положительными направлениями осей подвижной системы координат, у которой ось x совмещена с продольной осью машины, а ось y перпендикулярна к ней.

Векторы поступательных скоростей v_i середин осей всех колес направлены под углами δ_i к плоскостям вращения колес, а перпендикуляры к этим направлениям, опущенные в середине осей, пересекаются в мгновенном центре вращения O.

Углы при мгновенном центре O вращения $\beta_i=\theta_i-\delta_i$.

Определим радиус поворота автомобиля с учетом увода колес. Из треугольников ΔAO'O и ΔBO'O имеем

$$tg\beta_1 = AO'/R_n,\ tg\beta_3 = BO'/R_n$$

Складывая эти выражения, получим

$$R_n = L/(tg\beta_1 + tg\beta_3) = L/(tg(\theta_1 - \delta_1) + tg(-\delta_3)) \qquad (4.4)$$

При малых углах θ и δ приближенно можно принять $tg\alpha=\alpha$, тогда имеем

$$R_n = L/(\theta_1 + \delta_3 - \delta_1) \qquad (4.5)$$

Смещение полюса поворота (рис.1):

$$X_n = R_n tg\beta = R_n tg(\delta_3) \qquad (4.6)$$

Как уже было сказано выше, углы увода δ положительны, если направлены в сторону действия боковой составляющей силы инерции (так, на рис.1 угол δ_2 положительный). Если l' – расстояние между средней и задней осями, то

$$R_n = l'/(\delta_3 + \delta_2) \qquad (4.7)$$

Силы и моменты, действующие на автомобиль при повороте. Поскольку криволинейное движение (поворот) машины осуществляется в результате определенного силового взаимодействия ее колес с дорогой, необходимо рассмотреть силы и моменты, действующие на машину при повороте. Лишь вместе с определением этих сил и моментов можно уточнить кинематику, оценить маневренность, устойчивость и иные показатели проходимости машины.

При повороте на машину кроме сил, действующих при прямолинейном движении, действуют боковые реакции и возникают дополнительные моменты. Первоначально рассмотрим

силы и моменты, действующие на машину в плоскости дороги, считая машину плоским телом. Для упрощения модели, реакции колес одной оси автомобиля приложим в центе этой оси.

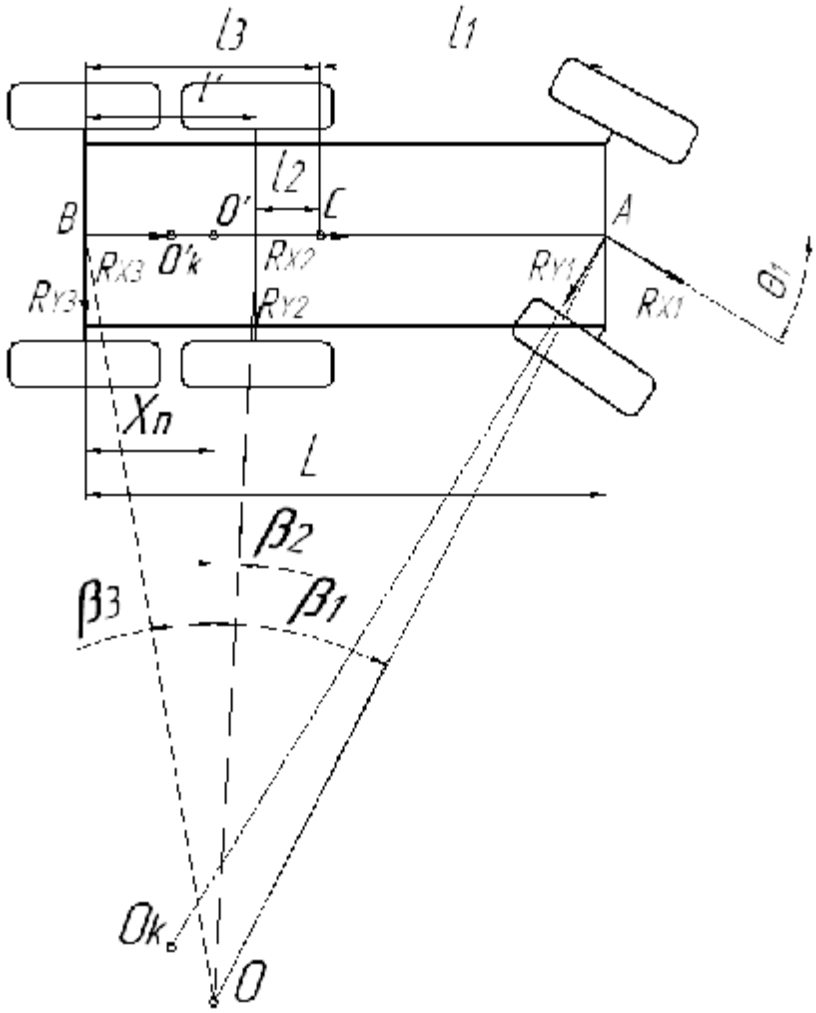


Рисунок 4.2 – Реакции на колесах ВТС 6х6, приведенные к серединам соответствующих осей

В центре масс *C* автомобиля при криволинейном движении действуют тангенциальная (продольная) P_{cx} и нормальная (поперечная) P_{cy} силы (рисунок 4.2). Центр масс машины совершает сложное движение, состоящее из кругового движения полюса поворота *O'* относительно мгновенного центра поворота *O* и кругового движения центра *C* относительно полюса поворота *O'*.

Ускорение точки *O'* относительно точки *O* состоит из двух составляющих: нормальной $\boldsymbol{a_{nO'} = R_n\omega_z^2 = v_н^2/R_n}$ и тангенциальной $a_{\tau O'} = R_n\varepsilon_z$. Аналогично ускорение точки *C* относительно *O'* состоит из нормальной составляющей относительно точки *O'* т.е. $\boldsymbol{a_{nC} = CO'\omega_z^2}$ и тангенциальной $a_{\tau C} = CO'\varepsilon_z$. ω_z и ε_z – угловая скорость и угловое ускорение автомобиля. Таким образом, полные нормальное и тангенциальное ускорения центра масс автомобиля равны:

$$a_y = \boldsymbol{a_{nO'}} + a_{\tau C} = \boldsymbol{v_н^2/R_n} + CO'\varepsilon_z \quad (4.8)$$

$$a_x = a_{\tau O'} + \boldsymbol{a_{nC}} = R_n\varepsilon_z + \boldsymbol{CO'\omega_z^2}. \quad (4.9)$$

Составляющие силы инерции найдем умножением ускорений на массу машины:

$$P_{cx} = m_н a_x, \tag{4.10}$$

$$P_{cy} = m_н a_y. \tag{4.11}$$

CO' находим из геометрии поворота автомобиля:

$$CO' = l_з - R_н tg\delta_з \approx l_з - R_н \delta_з. \tag{4.12}$$

Угловое ускорение автомобиля можно выразить следующим образом:

$$\varepsilon_z = \frac{d}{dt}\left(\frac{v_m}{R_n}\right) = \frac{1}{L}\left[\dot{v}_m(\theta_1 + \delta_з - \delta_1) + v_m(\dot{\theta}_1 + \dot{\delta}_з - \dot{\delta}_1)\right]. \tag{4.13}$$

Для упрощения постановки задачи будем считать, что автомобиль движется по круговой траектории с постоянной угловой скоростью, т.е. $\varepsilon_z=0$.

Определение реакций на колесах автомобиля. Выше была рассмотрена плоская модель машины. В действительности следует рассматривать автомобиль в трехмерном измерении. Здесь автомобиль делится на подрессоренную и неподрессоренную массы. Неподрессоренная часть взаимодействует с опорной поверхностью посредством колес, подрессоренная взаимодействует с неподрессоренной посредством подвески.

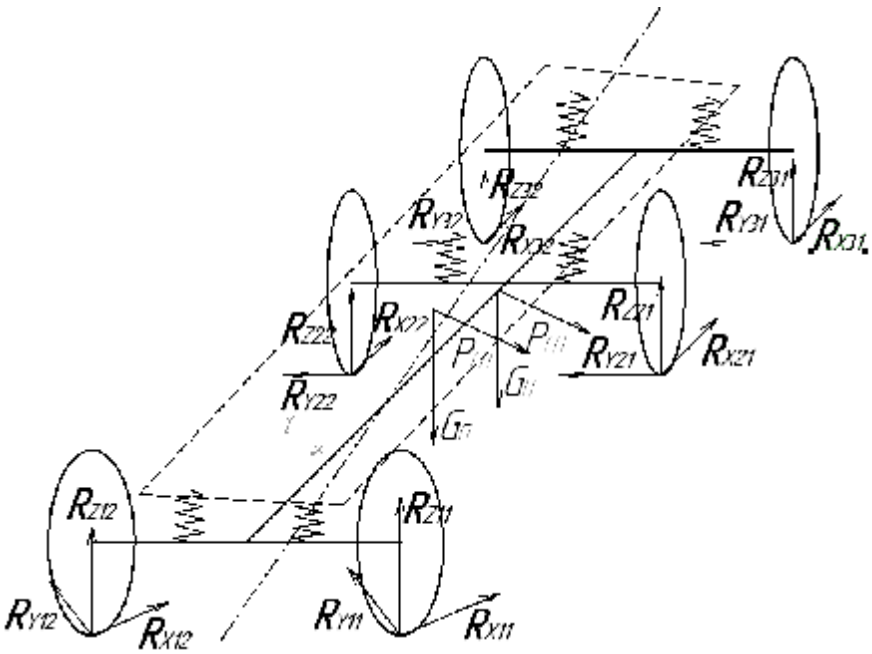


Рисунок 4.3 – Положение ВТС 6х6 в пространстве при криволинейном движении

Силы инерции, приложенные к подрессоренной и неподрессоренной частям автомобиля, а так же его вес, уравновешиваются реакциями на колесах. Под действием сил инерции происходит перераспределение этих реакций между колесами.

При наличии боковой (поперечной) составляющей силы инерции происходит крен кузова, т.е. поворот относительно оси крена. Ось крена представляет собой прямую, проходящую через центры крена, т.е. мгновенные центры перемещений поперечных сечений корпуса машины

плоскости передней и задней осей [6]. Положение центра крена зависит от кинематической схемы и геометрических размеров подвески [5], [6], [7]. Кроме того, в некоторых случаях необходимо учитывать и деформацию шин (крен неподрессоренной части автомобиля).

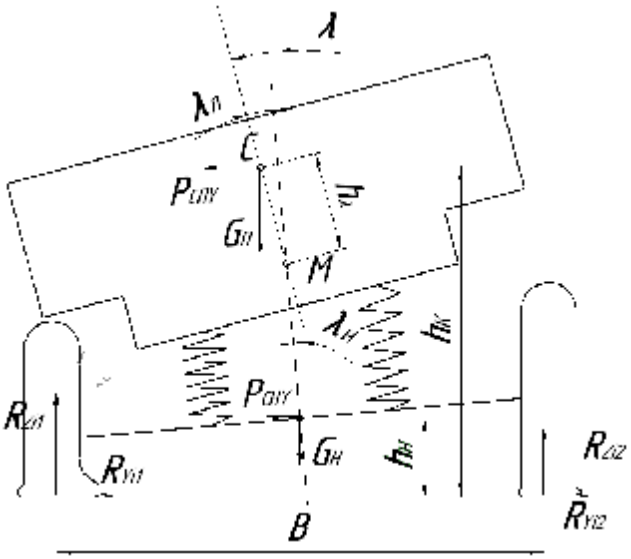


Рисунок 4.4 - Схема бокового крена колесной машины

На рисунке 4.4 показана схема бокового крена автомобиля. На ней оси автомобиля объединены, и реакции соответственно на наружных (R_{Zi2}) и внутренних колесах (R_{Zi1}) при повороте определяются в сумме.

Плечо крена (h_λ) подрессоренных масс определяется из геометрии автомобиля как [6]:

$h_\lambda = h_K - (a_к h_3/L + b_к h_1/L)$, (14)

где h_1 и h_2 – центры крена соответственно передней и задней подвески, $a_к$, $b_к$ – расстояние от центра подрессоренных масс соответственно до передней и задней осей, $h_к$ – высота центра масс подрессоренной части автомобиля.

Для определения угла крена кузова относительно неподрессоренных масс (λ_n) составим уравнение моментов относительно центра крена – точки M (в дальнейшем считая углы λ – поперечный угол крена автомобиля, λ_n и $\lambda_н$ – угол крена неподрессоренных масс, малыми). Имеем:

$$P_{СПV} h_\lambda + G_п h_\lambda \lambda = c_{\lambda п} \lambda_п ,$$

$$\lambda = \lambda_п + \lambda_н.$$

Угол крена λ_n определяется по схеме рис.4:

$$\lambda_п = P_{СПV} h_\lambda / (c_{\lambda п} - h_\lambda G_п), \qquad (4.14)$$

где $c_{\lambda n}$ – коэффициент угловой жесткости подвески.

$c_{\lambda п} \lambda_п$ – восстанавливающий момент подвески. Этот же момент действует на неподрессоренную часть автомобиля со стороны кузова. Пренебрегая весом неподрессоренных масс в связи с его относительной малостью определим угол крена осей автомобиля. Уравнение моментов, действующих на неподрессоренную часть:

$$c_{\lambda п}\lambda_п = c_{\lambda н}\lambda_н \text{, или}$$

$$c_{\lambda н}\lambda_н = P_{СПУ}h_\lambda + G_п h_\lambda \lambda.$$

$c_{\lambda н} = 0.5Bc_ш$ – угловая жесткость моста, B – колея, $c_ш$ – нормальная жесткость шины.

Отсюда, используя уравнение (15), получим выражение для угла $\lambda_п$:

$$\lambda_н = \frac{P_{СПУ}h_\lambda}{c_{\lambda н} - G_п h_\lambda} + \frac{G_п h_\lambda}{c_{\lambda н} - G_п h_\lambda} \cdot \frac{P_{СПУ}h_\lambda}{c_{\lambda п} - G_п h_\lambda} \tag{4.15}$$

Поперечный угол крена автомобиля равен

$$\lambda = \lambda_п + \lambda_н = \frac{P_{СПУ}h_\lambda}{c_{\lambda п} - G_п h_\lambda} + \frac{P_{СПУ}h_\lambda}{c_{\lambda н} - G_п h_\lambda} + \frac{G_п h_\lambda}{c_{\lambda н} - G_п h_\lambda} \cdot \frac{P_{СПУ}h_\lambda}{c_{\lambda п} - G_п h_\lambda} \tag{4.16}$$

Если деформация шин мала и креном неподрессоренных масс можно пренебречь, то $c_{\lambda н}=\infty$ и второе и третье слагаемое в выражении (4.16) зануляются. Происходит накренивание только кузова. Если же можно пренебречь деформацией подвески, из-за ее жесткости, и рассматривать только деформацию шин, то зануляются первое и третье слагаемые.

Для определения вертикальных реакций на колесах необходимо составить уравнение моментов. Сумма реакций равна весу автомобиля.

$$R_{i2Z}B - G_н\frac{B}{2} + P_{СНУ}h_н - G_п\left(\frac{B}{2} - h_\lambda\lambda\right) + P_{СПУ}h_к = 0$$

где $G_н$ и $h_н$ – вес мостов и высота их центра масс.

$$R_{2Z} = \frac{G_н}{2} + \frac{G_п}{2} - \frac{P_{СНУ}h_н}{B} - \frac{P_{СПУ}h_к}{B} - \frac{G_п h_\lambda \lambda}{B} = \frac{G_a}{2} - \frac{P_{СУ}h_g}{B} - \frac{G_п h_\lambda \lambda}{B} \tag{4.17}$$

$$R_{1Z} = \frac{G_a}{2} + \frac{P_{СУ}h_g}{B} + \frac{G_п h_\lambda \lambda}{B} \tag{4.18}$$

Из уравнений видно, что при криволинейном движении изменение нормальных реакций на колесах одной оси происходит за счет силы инерции нормальной составляющей силы инерции (слагаемое $\frac{P_{СУ}h_g}{B}$) и бокового крена автомобиля (слагаемое $\frac{G_п h_\lambda \lambda}{B}$).

Если учесть коэффициенты распределения массы автомобиля по осям, т.е. $G_i = k_i G_a$ – это вес, приходящийся на i-ую ось, а так же учесть жесткости отдельных осей $c_{\lambda i}$ (жесткости подвесок осей и колес), то можно определить вертикальные реакции на отдельных колесах [4].

$$R_{1Zi} = k_i m_a\left(\frac{g}{2} + a_y\frac{h_g}{B}\right) + \frac{c_{\lambda i}}{c_\lambda} g m_п \lambda \frac{h_\lambda}{B} \tag{4.19}$$

$$R_{2Zi} = k_i m_a\left(\frac{g}{2} - a_y\frac{h_g}{B}\right) - \frac{c_{\lambda i}}{c_\lambda} g m_п \lambda \frac{h_\lambda}{B} \tag{4.20}$$

Крен автомобиля в продольном направлении при повороте зависит от тангенциальной составляющей силы инерции (10). Если рассмотреть тангенциальное ускорение (9), то

$$a_x = CO'\omega_z^2 = CO'\frac{v_п^2}{R_п^2}$$

Как видно, на тангенциальное ускорение влияют, прежде всего, скорость движения автомобиля и радиус кривизны. Стоит так же отметить, что оба параметра находятся во второй степени (при определении нормального ускорения радиус поворота находится в первой степени). Эти же показатели, очевидно, влияют и на параметр *CO'*, который, как видно из рисунка 4.1, определяется уводом колес [5,7].

Таким образом, значительный продольный крен автомобиля наблюдается лишь при движении на больших скоростях по траекториям большой кривизны. Учитывая особенности конструкции и условий эксплуатации рассматриваемого нами автомобиля можно пренебречь продольным креном.

5 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НОРМАЛЬНЫХ ДАВЛЕНИЙ В ЗОНЕ КОНТАКТА КОЛЕСА С ОПОРНОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ

В научно-техническом отчете I этапа исследований сделан подробный комплексный обзор различных направлений создания математических моделей, характеризующих подсистему «движитель – полотно пути», а также проанализированы разнообразные экспериментально-теоретические зависимости процессов взаимодействия колеса с опорной поверхностью.

В данном научно-техническом отчете рассматриваются прикладные вопросы теории взаимодействия движителей транспортно-технологических машин с полотном пути как контактных задач сложных пространственных систем (поверхность движения) и системы ограниченных тел (движитель).

В основном в работах [5,8,9,10] по взаимодействию эластичного колеса с дорожно-грунтовым основанием полагается, что контактные напряжения (элементарные удельные реакции) по ширине зоны взаимодействия постоянны. Пространственную задачу сводят к задаче в двухмерной постановке. Само уравнение контактной поверхности примет вид уравнения контактной линии. При этом ширина контакта эластичного элемента движителя с деформируемым полотном пути принимается либо равной ширине элемента движителя в недеформированном состоянии, либо величине, которая вычисляется по аппроксимационным формулам с учетом как деформации эластичного элемента движителя, так и деформации поверхности движения.

Принятие данного допущения значительно снижает точность расчетной оценки опорной проходимости колесных машин на бескамерных пневматических шинах сверхнизкого и низкого давления. Таким образом, важным направлением исследований является проверка (уточнение) данного упрощающего предположения, так как качественная сторона процесса взаимодействия колесного движителя с полотном пути полностью зависит от адекватности математического описания.

Для этого в мае-июне 2010 г. проводились испытания специализированных транспортных средств в реальных условиях их работы с помощью комплекта метрологических поверенных приборов и устройств.

В процессе испытаний определялись давления колес на опорную поверхность, а также распределение давлений в зоне контакта колеса с опорной поверхностью. Рассматривались два случая движения: равномерное прямолинейное движение по ровной горизонтальной поверхности; прямолинейное равномерное движение на косогоре (рисунок 5.1).

Рисунок 5.1 – Фрагменты проведенных испытаний

В качестве объекта исследований выбрано специальное вездеходное транспортное средство (ВТС) 6х6 полной массой 1,5 тонны (рисунок 5.2, 5.3). Приведенные в отчете экспериментальные материалы получены с использованием ВТС 6х6.

Рисунок 5.3 – Испытываемое вездеходное транспортное средство

Краткое описание и техническая характеристика испытываемого вездеходного транспортного средства. Объект исследований и представляет собой полноприводное колесное шасси, краткая техническая характеристика представлена в таблице 5.1. При этом отдельно выделим, что движитель ВТС представляет собой бескамерные пневматические шины сверхнизкого давления 1300х600-533 модели «Трэкол».

Таблица 5.1 – Техническая характеристика макета ВТС 6х6

Параметр, агрегат, размер и т.п.	**Значение параметров и размеров, тип агрегата**
Тип машины	- колесная полноприводная машина высокой проходимости
Колесная формула	- 6х6
Количество мест для сидения	- 6
Масса полезной нагрузки (водитель, прибористы, аппаратура и др.) , кг	- 300

Снаряженная масса, кг	-1100
Полная масса, кг	- 1500 (с экипажем и аппаратурой,)
Габаритные размеры, мм: длина ширина высота	 - 4800 - 2160 - 2550
Колея, мм	- 1627
База, мм: Передняя-средняя ось Средняя-задняя ось	 -1725 -1425
Дорожный просвет, мм	- 580
Максимальная скорость, км/ч (м/с)	- 80 (22,22)
Двигатель	- ВАЗ 1111
Рабочий объем, л	- 0,649
Степень сжатия	- 9,9
Максимальная мощность, л.с.(кВт)	- 29,3 (21,5) при 5600 мин$^{-1}$
Максимальный крутящий момент, кгм (Нм)	- 4,5 (44)
Напряжение в сети электрооборудования, В	- 12
Аккумуляторная батарея	- свинцово-кислотная, типа 6 СТ-36А
Сцепление	- однодисковое, сухое с центральной диафрагменной нажимной пружиной постоянно-замкнутого типа, с тросовым приводом
Коробка передач	- ВАЗ 1111
Передаточные числа КПП	I – 3,7; II – 2,06; III – 1,27; IV – 0,90; ЗХ – 3,67
Раздаточные коробки	- две от ВАЗ 2121, 2-х ступенчатые с передаточными числами 1,2 и 2,135
Главные передачи	- 4,1
Тормоза рабочие стояночный	- дисковые на всех колесах с гидравлическим приводом и вакуумным усилителем - барабанный колодочный центральный трансмиссионный
Колеса и шины	- Шины пневматические 1300х600-533, модели ТРЭКОЛ
Давление в шинах, кг/см^2 Давление на опорное основание, кг/см^2	-0,02 - 0,05

При проведении исследовательских испытаний использовались следующие приборы и оборудование:

- Датчики определения давления в зоне контакта колеса с опорной поверхностью (рисунок 5.4), исполненные по полумостовой схеме соединения резистивных преобразователей;

- Трехканальный блок анализа сигналов (БАС-4-3) (рисунок 5.5) – осуществляет измерение, регистрацию и спектральный анализ аналоговых сигналов с выхода резистивных преобразователей, преобразование входного аналогового сигнала в 24 разрядный код, формирование цифровых сигналов, соответствующих аналоговому сигналу. Блок анализа

сигналов используется совместно с интерфейсным преобразователем и персональным компьютером. В комплект поставки БАС-4-3 также входит кабель связи и программа «анализатор сигналов», интерфейс который представлен на рисунке 5.6.

Источником питания для регистрирующее-измерительной аппаратуры служил аккумулятор автомобиля Исток 6СТ-77АЗ (77Ah) (рисунок 5.7).

Рисунок 5.4 – Датчики определения давления в зоне контакта колеса с опорной поверхностью

Рисунок 5.5 – Трехканальный блок анализа сигналов (БАС-4-3)

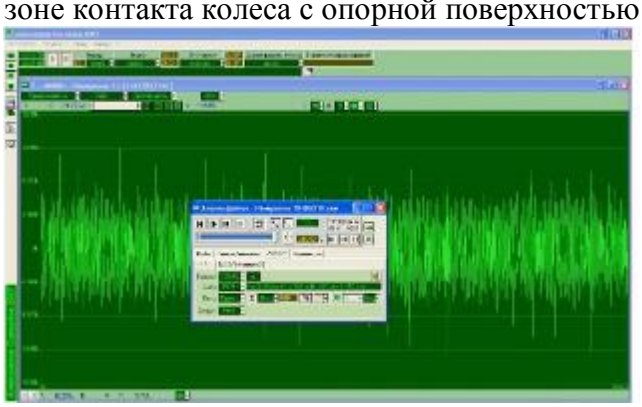


Рисунок 5.6 – Интерфейс программы «Анализатор сигналов»

Рисунок 5.7 – Аккумулятор Исток 6СТ-77АЗ (77Ah)

Структурно-функциональная схема соединения измерительно-регистрирующей аппаратуры (рисунок 5.8) включает следующие компоненты: 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 с установленной программной оболочкой «Анализатор сигналов».

Рисунок 5.8. – Структурно-функциональная схема соединения измерительно-регистрирующей аппаратуры

Фрагменты проведения экспериментальных исследований с указанным комплексом измерительно-регистрирующей аппаратуры представлены на рисунке 5.9.

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, поэтому они были экспериментально проанализированы.

Характер распределения нормальных давлений по площади контакта исследовали многие исследователи [11,12,13]. Можно считать, что к настоящему моменту о характере распределения нормальных давлений по длине и ширине зоны контакта автомобильного колеса с полотном пути не имеется достоверных сведений, что не позволяет математически описать (аппроксимировать) эпюры нормальных давлений, продольных и поперечных касательных напряжений.

Рассмотрим распределение нормальных давлений по площади контакта. На основе результатов натурных испытаний установлено, что у неподвижного колеса при взаимодействии с жесткой опорной поверхностью характер распределения нормальных давлений в контакте соответствует эпюрам, изображенным на рисунках 5.10, 5.11.

В направлении продольной оси контакта эпюра распределения нормальных давлений может иметь как трапециевидную, так и параболическую форму. Трапециевидный характер эпюры является преобладающим для шин легковых автомобилей и шин низкого давления грузовых автомобилей. У шин высокого давления .наблюдается трапециевидный характер эпюры удельных давлений в средней части контакта (сечение аа) и параболической в сечении сс (рисунок 5.11).

а

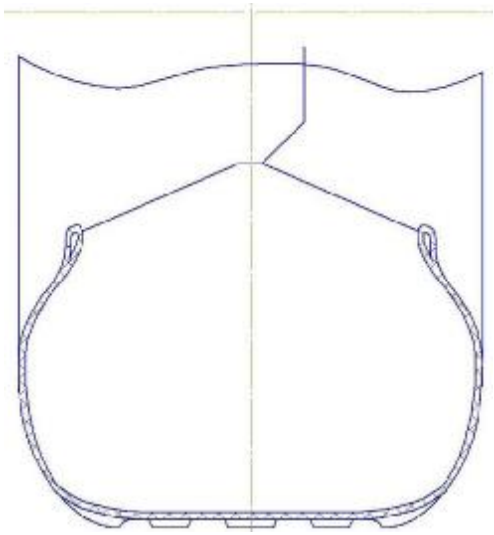
б

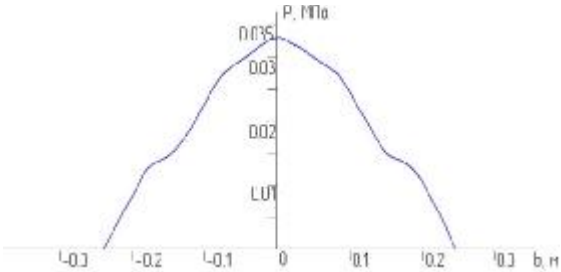
в

г

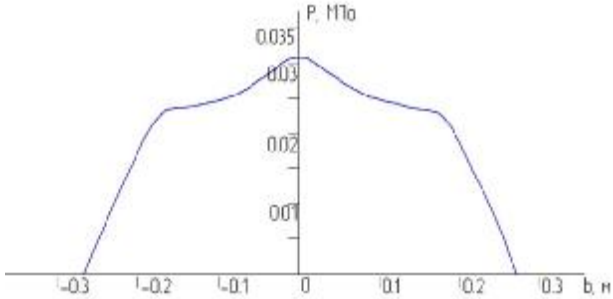
д

Рисунок 5.9 – Фрагменты испытаний ВТС 6х6: а – отладка измерительной аппаратуры; б – монтаж датчиков давления на колесо; в – установка и отладка приборов и оборудования в пассажирском отсеке машины; г – движение ВТС на косогоре; д – регистрация результатов испытаний

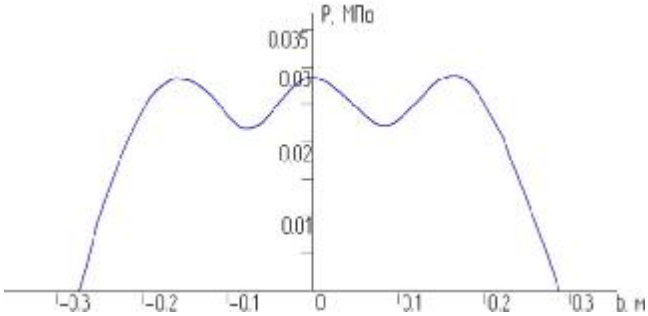




а



б



в

Рисунок 5.10 – Распределение нормальных давлений по площади контакта в разных по длине сечениях: а – 280 мм от оси симметрии в поперечной плоскости; б – 140 мм от оси симметрии в поперечной плоскости; в - по поперечной оси симметрии

При больших нормальных деформациях шины эпюра нормальных давлений в продольной плоскости контакта (в сечении *аа*) имеет явно выраженную впадину; удельные 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, и, во-вторых, потому, что в плечевых зонах протектора *сс* шина жестче, чем к середине контакта. Боковины шины, деформируясь, стремятся, опираясь на более жесткие ее точки, вывернуть среднюю часть протектора внутрь шины. Такому характеру деформирования шины способствует также «выхлопывание» (изменение знака кривизны) мембраны в центре контакта.

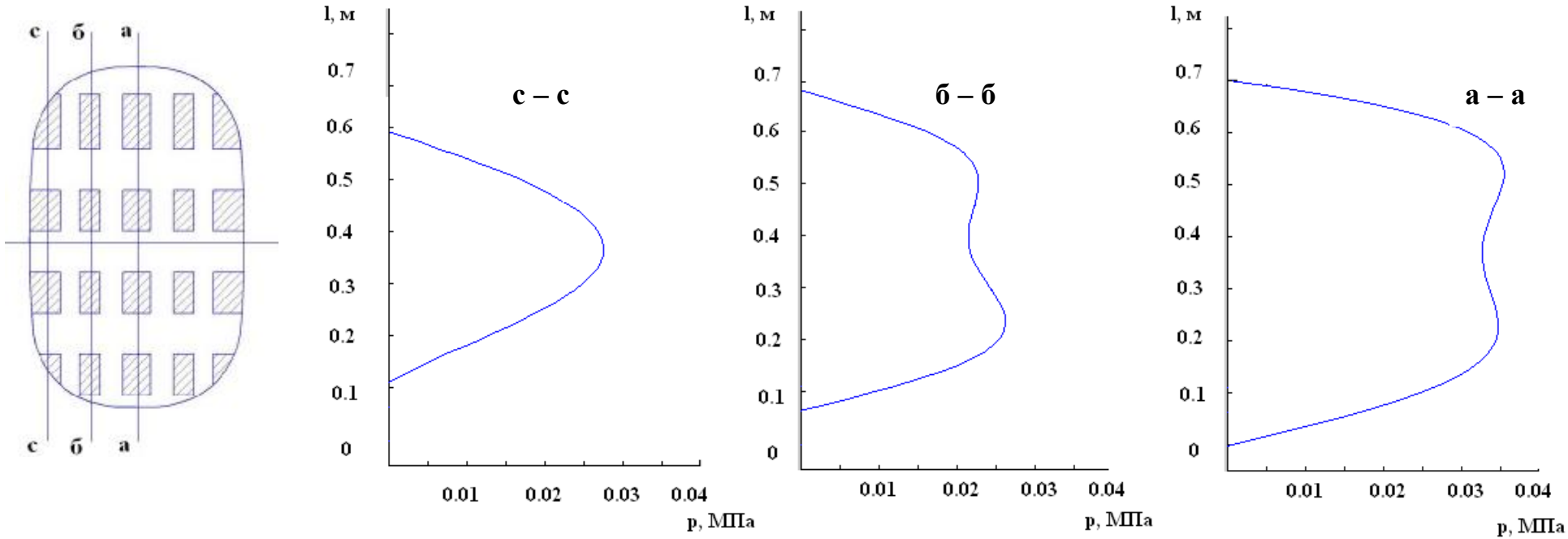


Рисунок 5.11 – Распределение давлений по площади контакта колеса с опорной поверхностью в разных по ширине сечениях

В направлении поперечной оси контакта распределение нормальных давлений соответствует обычно эпюре на рисунке 5.10, а; удельные давления вначале возрастают, а затем несколько уменьшаются в направлений к центру контакта.

У шин высокого давления при небольшом радиусе кривизны беговой дорожки протектора и нормальной нагрузке наблюдается параболический характер распределения удельных давлений, особенно в продольных сечениях *аа* и *бб* (рисунок, 5.11).

Величина и характер распределения удельных давлений по площади контакта зависят от конструкции и материала шины, от давления воздуха в шине, нагрузки и рисунка протектора.

У неподвижного колеса эпюра распределения удельных давлений по контакту шины с дорожным рисунком протектора получается симметричной относительно вертикального диаметра колеса. При качении колеса симметричность эпюры удельных давлений нарушается.

При смятии (искажении формы) шины часть работы тратится на трение в материалах шины и на трение в контакте. Эта работа переходит в тепло и рассеивается. Другая, ее основная часть накапливается, в шине в виде энергии упругой деформации.

В зоне восстановления накопленная энергия упругой деформации переходит в кинетическую энергию качения колеса и тратится на трение в материалах шины и на трение в контакте. Переход упругой деформации сжатия в кинетическую энергию качения- колеса обеспечивает в зоне восстановления формы шины определенное давление на дорогу. Следовательно, у ведомого колеса в зоне смятия к шине со стороны дороги должны быть приложены силы, равные сумме упругих сил и сил трения, а в зоне восстановления шина давит на дорогу с силой, равной разности сил упругого восстановления и сил трения.

Величиной и характером распределения потерь на трение в материалах шины и в контакте, а также ее упругим продольным смещением объясняется в основном различие между удельными давлениями движущегося и неподвижного колес.

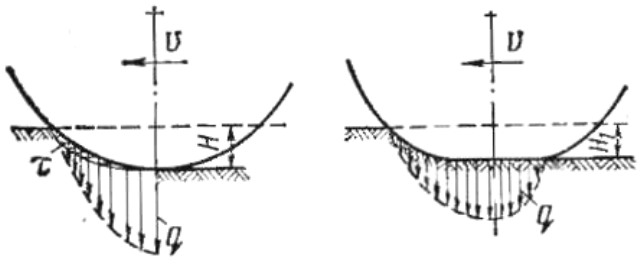
Действительные удельные давления более' чем вдвое превышают давление воздуха в шине. В поперечной плоскости контакта эпюра удельных давлений имеет седлообразную форму. С уменьшением давления воздуха наблюдается рост удельных давлений от центра к краям контакта.

Действительные удельные давления уменьшаются с уменьшением давления воздуха в шине и нагрузки на колесо. Однако уменьшение удельных давлений происходит намного медленнее, чем уменьшение давления воздуха в шине. Это объясняется тем, что с увеличением нормальной деформации шины все большее участие в восприятии нагрузки принимает покрышка. Окружные силы, приложенные к колесу, оказывают малое влияние на изменение нормальной деформации шины — на изменение удельных давлений.

На величину и характер распределения удельных давлений существенное влияние оказывает наклон колеса к дороге [4,5].

С увеличением угла наклона колеса к дороге неравномерность распределения удельных давлений возрастает. Особенно большая неравномерность распределения удельных давлений наблюдается в направлении поперечной оси контакта. Эпюра распределения удельных давлений по площади контакта не имеет оси симметрии. Форма контакта сильно искажена и не похожа на эллипс или овал.

При движении колеса по мягкому грунту нормальная деформация шины значительно меньше, чем на твердом покрытии. Шины высокого давления при движении по свежевспаханному и хорошо разрыхленному грунту практически не деформируются. Распределение нормальных и горизонтальных удельных сил в продольной плоскости контакта в этом случае соответствует показанному на рисунке 5.12, а. При движении же по мягкому грунту шин низкого давления эпюра распределения удельных давлений в продольной плоскости контакта соответствует изображенной на рисунке 5.12, б.



а) б)

Рисунок 5.12 Эпюры горизонтальных и вертикальных напряжений
при движении на мягком грунте
а) при качении жесткого колеса по мягкому грунту;
б) при качении эластичного колеса по мягкому грунту.

Распределение касательных напряжений по площади контакта. У неподвижного и движущегося колес в плоскости соприкосновения шины с дорогой (в контакте) действуют значительные по величине и разные по направлению касательные напряжения. Они оказывают 'большое влияние на величину мощности на качение колеса, на износ шины, устойчивость и управляемость автомобиля.

У неподвижного колеса с пневматической шиной, нагруженного нормальной нагрузкой, касательные напряжения, приложенные от шины к дороге, действуют в направлении от краев к центру контакта. Они возникают в результате нормальной деформации шины за счет внутренних сил упругости. Касательные напряжения зависят от конструкции шины, материала, из которого она изготовлена, и от давления воздуха. Они тем больше, чем больше коэффициент сцепления между шиной и дорогой.

Как снижение, так и повышение давления воздуха в шине от номинального его значения приводит к увеличению касательных напряжений, и неравномерности их распределения в контакте, причем снижение давления приводит к увеличению продольных касательных напряжений, а повышение давления – к увеличению поперечных касательных напряжений. Понижение давления воздуха в шине приводит к уменьшению удельных давлений и повышению касательных напряжений, действующих вдоль контакта. С уменьшением давления воздуха в шине возрастает отношение касательного напряжения к удельному давлению, т. е. возрастает предрасположенность элементов протектора к проскальзыванию.

Для обеспечения хорошего сцепления шины с дорогой и получения малого износа шины необходимо рисунок протектора конструировать таким образом, чтобы напряженность элементов протектора в контакте была минимальной и по возможности одинаковой.

Распределение нормальных давлений в контакте бескамерной пневматической шины сверхнизкого давления 1300х600-533 модели «Трэкол» при движении по дороге с твердым покрытием с нагрузкой 250 кгс показаны на рисунках 5.13, 5.14. Кривые 1, 2, 3 характеризуют распределение удельных давлений и касательных напряжений в продольных сечениях контакта, расположенных соответственно на расстоянии 200, 100 мм от его средней линии, а также на средней линии. Кривые 1, 2, 3 (рисунок 5.13) характеризуют распределение нормальных давлений в разных по длине сечениях.

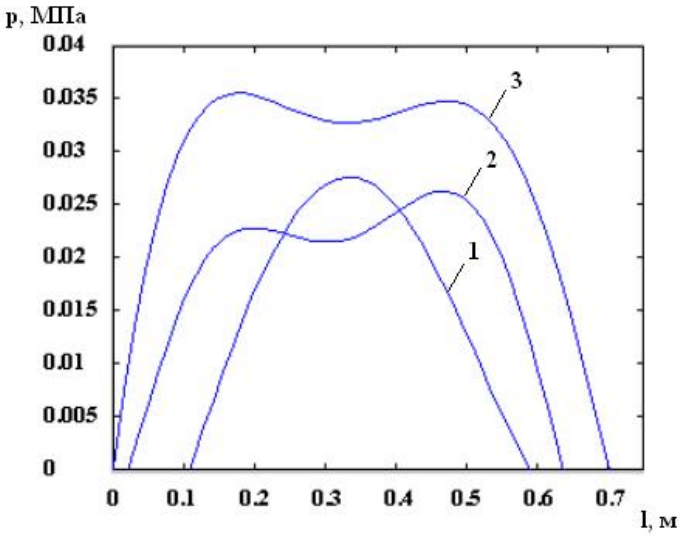


Рисунок 5.13 – Распределение нормальных давлений в контакте бескамерной пневматической шины сверхнизкого давления 1300х600-533 модели «Трэкол» в разных по ширине сечениях

Таким образом, основное влияние на величину удельных давлений оказывают внутреннее давление воздуха в шине, насыщенность рисунка протектора, нагрузка на колесо и жесткость поверхности качения.

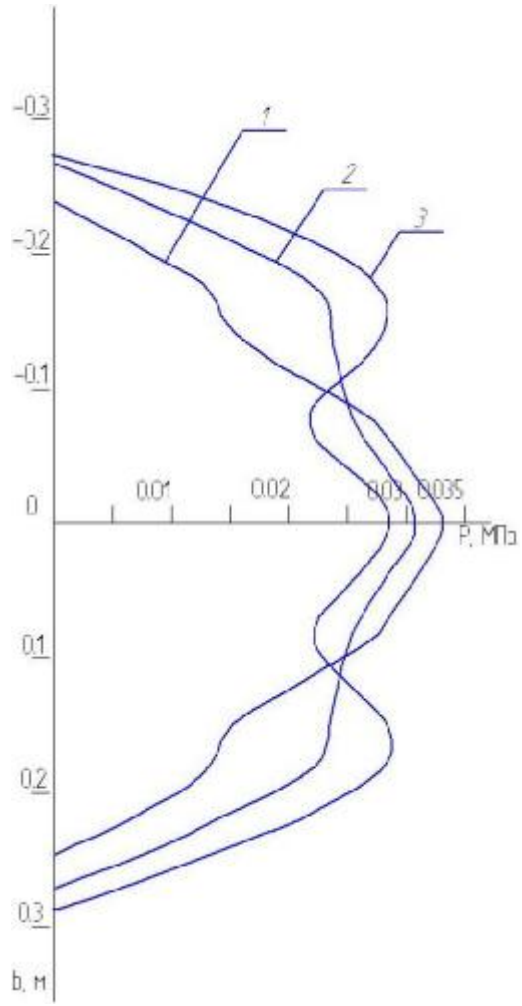
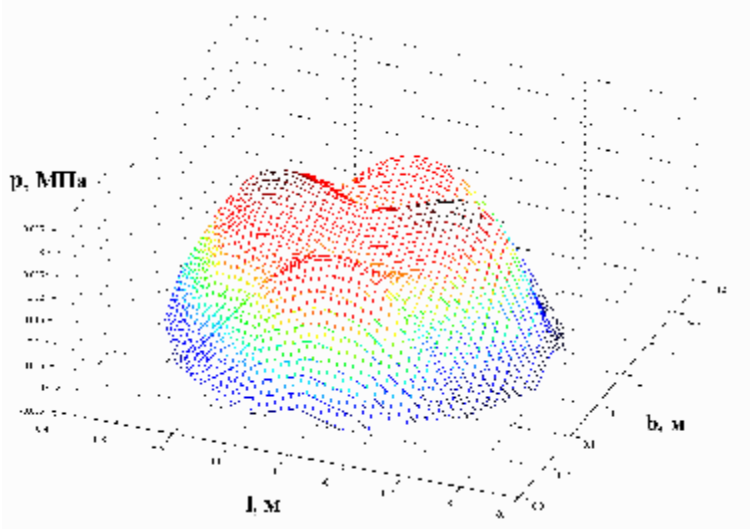
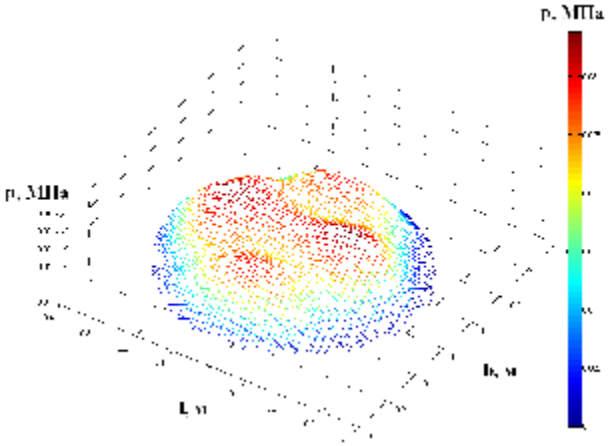


Рисунок 5.14 – Распределение нормальных давлений в контакте бескамерной пневматической шины сверхнизкого давления 1300х600-533 модели «Трэкол» в разных по длине сечениях

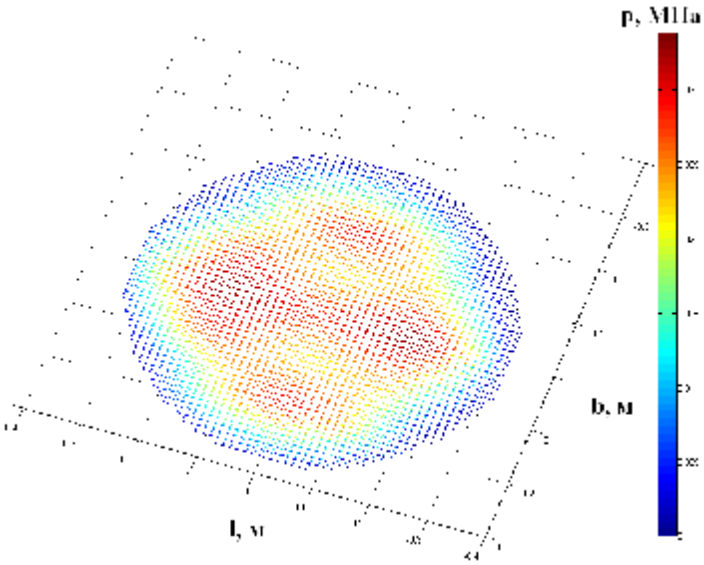
На рисунке 5.15 показано распределение нормальных напряжений в плоскости контакта шины 1300х600-533 модели ТРЭКОЛ при нагрузке на колесо 250 кг, с внутренним давлением воздуха в шине 0,02 кгс/см^2 и скорости качения V=0,5 км/ч по твердой поверхности. Такое распределение нормальных напряжений в плоскости контакта характерно для большинства автомобильных шин, имеющих номинальные значения нормальной нагрузки и внутреннего давления в шине. У некоторых шин по ширине контакта наблюдается большая неравномерность распределения нормальных напряжений. Если напряжение выше у плечевых зон, то в поперечном сечении эпюра нормальных напряжений приобретает седлообразную форму.



а)



б)



в)

Рисунок 5.15 – Различные распределения нормальных напряжений в плоскости контакта шины 1300x600-533 модели ТРЭКОЛ

6. АНАЛИЗ КРИТЕРИЕВ ПРОХОДИМОСТИ

Для оценки проходимости машин по грунтам с низкой несущей способностью используются различные показатели, основные из которых приведены в таблице 6.1.

Таблица 6.1 – Критерии проходимости

Расчетная зависимость	Принятые обозначения	Автор
1	2	3
$\kappa_{СЦ}\varphi > f_r + (1+\kappa_{СЦ})f_m + f_k + f_б + tg\alpha$	$\kappa_{сц}$ –коэффициент сцепного веса; φ– коэффициент сцепления; α– угол подъема; f_r f_m– коэффициент сопротивления грунта, шины качению колеса; $f_б$– коэффициент бульдозерного сопротивления; $f_к$ – коэффициент сопротивления движения	Я.С. Агейкин
$П = \varphi - f$; $\lambda_C = V / V_P$; $\lambda_T = G_{ГР} / G_{ГР\ P}$; $\lambda_Э = Q / Q_P$; $\lambda_P = N / N_P$	$П$ – показатель проходимости; $\lambda_{С,Т,Э,Р}$ –коэффициенты скорости, грузоподъемности, экономичности, работоспособности; V – скорость движения машины $V_Р$ – расчетная скорость движения машины по дорогам с усовершенствованным покрытием	В.Ф. Бабков
$K_{ПОГР} = h_k / H$	h_k – глубина колеи $K_{погр}$ – коэффициент погружения H – глубина болота, снега	Ю.Н. Вараксин, В.Г. Гмошинский
$П = (1-\sigma)/\psi$; $\psi = f_б / f_{ГР}$	σ – коэффициент буксования; $f_б$,$f_{гр}$ –коэффициенты сопротивления движению по бетону и грунту	А.П. Софиян
$\alpha = p_{max} / p$	p_{max} – максимальное давление; p – среднее давление	В.Г. Гмошинский
$I = P_k / G$ $E = P_k V_0 / N$ $M = W_P V / N$	I; E;M –коэффициенты удельной силы тяги, тягового к.п.д, грузоподъемности; G – вес машины; V_0 - скорость машины N – мощность ДВС W_P – полезная нагрузка V – скорость движения	В. Диксон
$П = (M_\varphi - M_f)/M_\varphi$	M_f – момент сцепления колес с дорогой M_φ – момент сопротивления движению	В.И. Кнороз Ю.Э. Шарикян

$П = 1 - f / \varphi$	f – коэффициент сопротивления дороги φ - коэффициент сцепления	И.В. Крагельский
$H = \sqrt{\dfrac{h_1 P_1 / C + (h_1 - k)^3 P_2 \varepsilon}{G \cos\alpha}}$	H – максимальная толщина снежного покрова, который может преодолеть машина; h_1 – величина погружения гусениц в снег; P_1 – площадь гусениц; P_2 – площадь днища машин; $к$ – клиренс; C, ε - коэффициенты; G – вес машины; α - угол наклона пути к горизонту	А.А. Крживицкий
$K_{ПР} = \varphi_{к\,max} / \varphi_{к\,max\,Э}$	$\varphi_{к\,max}$ – коэффициент испытуемого автомобиля; $\varphi_{к\,max\,Э}$ – коэффициент эталонного автомобиля	В.Ф. Платонов М.П. Чистов А.И. Аксенов
Гусеница на опорных катках с пневматическими шинами: $MMP = 0{,}5W / 2n_г b\sqrt{D\delta_t}$	W– вес машины; $n_г$ – число катков по борту; b – ширина гусеницы; D – диаметр катка; t – шаг гусеницы; δ_t - радиальная деформация пневматической шины под нагрузкой; A_t – площадь трака	Д. Роланд
Гусеница с жесткими опорными катками $MMP = 12{,}6W / 2n_Г A_t b\sqrt{Dt}$		
$K \geq h_{КОЛ}$	K – клиренс $h_{кол}$ – глубина колеи	С.В. Рукавишников
$K_Н = p_{max} / p_{СР}$	$K_н$ – коэффициент неравномерности распределения давления; $p_{нес}$ – несущая способность гусениц; $П$ – периметр и площадь гусениц A_0 ;B_0 – коэффициенты, характеризующие прочность торфяной залежи; L – длина преодолеваемого участка; V – средняя скорость движения	В.А. Скотников А.Е. Тетеркин
$p_{нес} = A_0 + B_0 П / S$		
$T = L / V$		
$m = q / p$ $n = H / h$ $S = T_Ц / W$	m – показатель проходимости; q – несущая способность постели; P – наибольшее нормальное напряжение; n – показатель погружаемости; H – дорожный просвет;	С.И. Яржемский

	h – глубина погружения; S – показатель сцепляемости; $T_ц$ – предельное сцепление с грунтом; W – сопротивление движению	

Указанные показатели по своему физическому смыслу характеризуют: запас удельных сил тяги, неравномерность распределения давления, использования несущей способности грунта и погружение машины.

Использование запаса удельной силы тяги в качестве показателя проходимости машин по грунтам с низкой несущей способностью, в общем, отвечает физической картине взаимодействия системы «местность – машина».

Однако, этот показатель весьма статичен, удобен только для сравнения проходимости нескольких машин в одинаковых условиях, кроме того, предполагает экспериментальное определение коэффициентов сцепления и сопротивления движению.

Неравномерность распределения давления и максимальное значение давления движителя на грунт являются очень важными параметрами, которые во многом определяют образование колеи, сопротивление движению и проходимость машины. В то же время использование их в качестве показателя проходимости является очень неудобным. Во-первых, они не обладают наглядностью и не дают прямую оценку проходимости, т.е. из информации о величине α или P_{max}, например α=2,3 или P_{max}=150 … 200 КПа, совершенно не ясно – машина проходит данный участок или нет. Во вторых, из $\alpha_1=\alpha_2$, или $P_{max1}=P_{max2}$ совсем не следует, что проходимость первой и второй машин одинаковая, также и из $\alpha_1 < \alpha_2$ или $P_{max1} < P_{max2}$ далеко не всегда следует, что проходимость первой машины выше, чем второй.

Интересный критерий предложен в работе [14]. Сравнительную оценку опорной проходимости предлагается проводить в паре с эталонным автомобилем, т. е. автомобилем, проходимость которого признана достаточно высокой.

Погружение машины является наиболее заметным внешним признаком при движении по снежной целине, поэтому оно часто использовалось в качестве оценочного параметра проходимости машин. При этом в качестве условия потери проходимости применялось неравенство [15,16]:

$$h_{кол} \leq к; \qquad (6.19)$$

где $h_{кол}$ – глубина колеи; $к$ – дорожный просвет.

Однако если снежное полотно пути имеет небольшую плотность, а движитель – высокие сцепные качества, то нарушение условия (6.19) не приведет к потере проходимости машины. На практике этот случай, по нашим наблюдениям, встречается достаточно часто. При этом машина деформирует снежный покров днищем, соответственно увеличивается сопротивление движению,

но реакция снега, реализуемая в контакте движителя с полотном пути, достаточна для преодоления этого сопротивления. Поэтому условие (6.19) является заниженным при оценке проходимости машин по снегу.

В целом, проведенный анализ критериев проходимости машин по грунтам с низкой несущей способностью показал, что, определяя проходимость машин по снегу, для ее оценки стремились использовать какой-то простейший коэффициент или группу коэффициентов, которые не обладают наглядностью и не дают прямую оценку проходимости, либо дают заниженную оценку. При этом часто остается в стороне вопрос теоретического определения этих коэффициентов. Это в свою очередь не позволяет, с одной стороны, расчетным путем оценить проходимость существующих и проектируемых машин, с другой, - наметить пути повышения их проходимости.

Наиболее рациональным критерием оценки проходимости наземных транспортных средств по снегу является критерий, предложенный Л. В. Барахтановым [17].

Проходимость машин по снегу предлагается оценивать непосредственно по зависимостям силы тяги $P_т$ (по сцеплению), силы сопротивления P_f и запаса силы тяги ΔP от высоты снежного покрова (рисунок 6.8), причем построение графиков целесообразно вести и в область отрицательных значений запаса силы тяги, что позволит в первом приближении определить в какой степени надо изменить силу тяги и силу сопротивления движению, чтобы обеспечить проходимость машины в данных условиях.

При этом условием проходимости машины является наличие запаса силы тяги ($\Delta P > 0$), а показателем проходимости – преодолеваемая высота данного снежного покрова $H_{пр}$. Предлагаемая оценка проходимости позволяет прогнозировать проходимость различных машин, и проводить их сравнение, оценивать проходимость машины при проектировании новых и модернизации существующих конструкций, определять влияние параметров машины на проходимость и наметить пути ее повышения. Вместе с тем, автор при выборе критерия, априори полагает, что сила тяги, которая может быть реализована в контакте со снежным полотном пути, меньше силы тяги, обеспечиваемой двигателем, т.е. раньше наступит полное буксование движителя, чем двигатель заглохнет.

Анализ тягово-динамических характеристик машин показывает, что это утверждение не всегда верно. Поэтому предлагается модернизировать данный критерий.

Известно, что потеря проходимости при движении машин по снегу может происходить по следующим причинам: сопротивление движению больше, чем сила тяги по двигателю $P_д$ (проходимость по двигателю); сопротивление движению машины больше, чем сила тяги, реализуемая в контакте движителя со снежным полотном пути (проходимость по сцеплению). При этом возможны три варианта (рисунок 6.9):

1) $P_д \geq P_т$, для любых H. Расчет проходимости ведется по силе тяги по сцеплению.

2) $P_д < P_т$; $H < H_0$Расчет проходимости ведется по силе тяги по двигателю.

$P_д \geq P_т$; $H \geq H_0$. Расчет проходимости ведется по силе тяги по сцеплению.

3) $P_д < P_т$, для любых H Расчет проходимости ведется по силе тяги по двигателю.

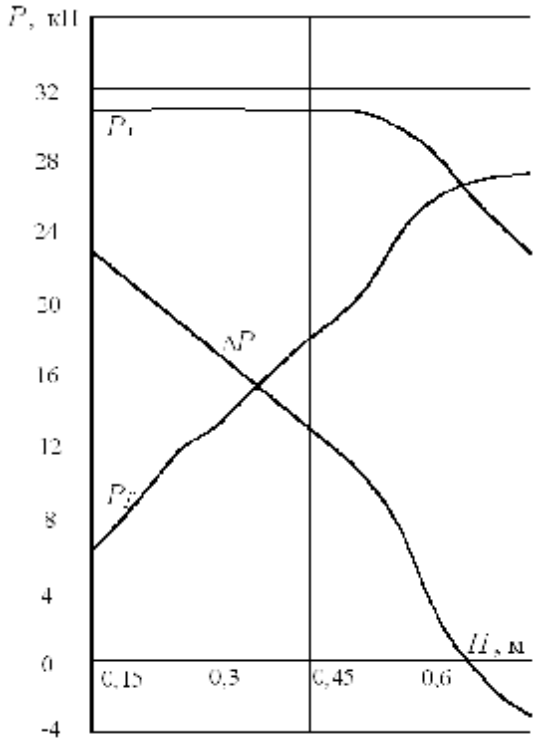


Рисунок 6.8 - Зависимости силы тяги, силы сопротивления и запаса силы тяги от высоты снега

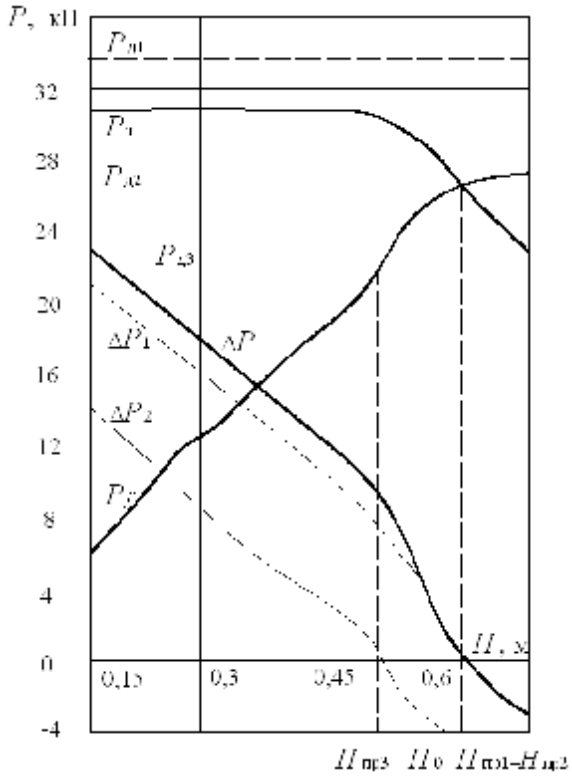


Рис.унок 6.9 – Зависимости сил тяги, силы сопротивления и запаса силы тяги от высоты снега

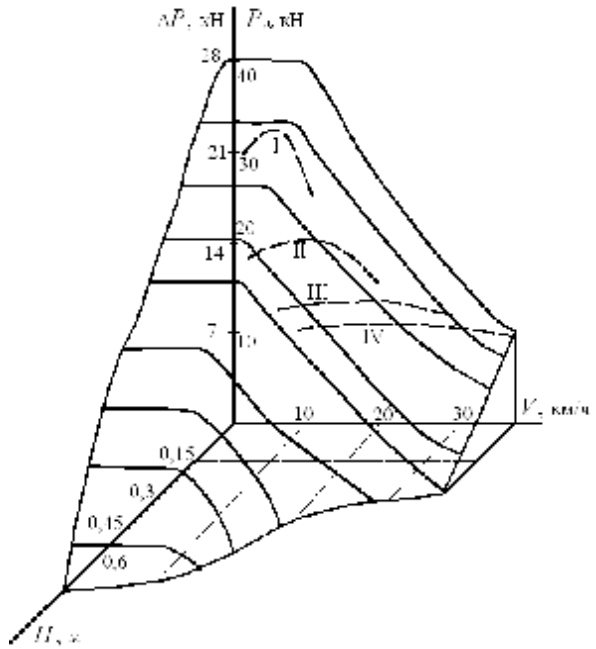


Рисунок 6.10 – Зависимость запаса силы тяги от высоты снега

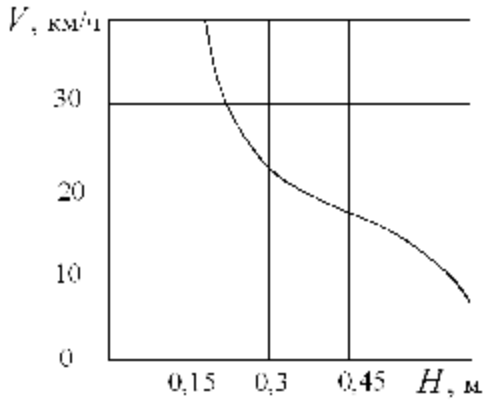


Рисунок 6.11- Зависимость скорости движения от высоты снега

Тогда можно совместно рассмотреть зависимость запаса силы тяги ΔP от высоты снега и тяговую характеристику машины $P_д = f(V)$ и построить поверхность проходимости в зависимости от высоты снега H и скорости движения машины V (рисунок 6.10). Совместное рассмотрение указанных закономерностей дает возможность рассчитывать подвижность машины, т.е. определять скорости движения в зависимости от высоты снега (рисунок 6.11).

Таким образом, данный критерий позволяет оценивать проходимость и подвижность машины с учетом физико-механических свойств снега.

7 РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ И ВЫБОРА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ ДВИЖИТЕЛЕЙ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ ПОДВИЖНОСТЬ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ В УСЛОВИЯХ БЕЗДОРОЖЬЯ

7.1 Критерий проходимости колесной машины

Проходимость автомобилей оценивается с различными целями, в связи с чем имеется большое число оценочных показателей. Углубленный анализ наиболее существенных из них произведен в работах [9,18,19].

Однако наиболее часто в качестве критерия для оценки проходимости используют показатель запаса силы тяги ΔP_{φ}, который определяется выражением [9]:

$$\Delta P_{\varphi} = P_{\Sigma\varphi} - P_{\Sigma f}\,, \tag{7.1}$$

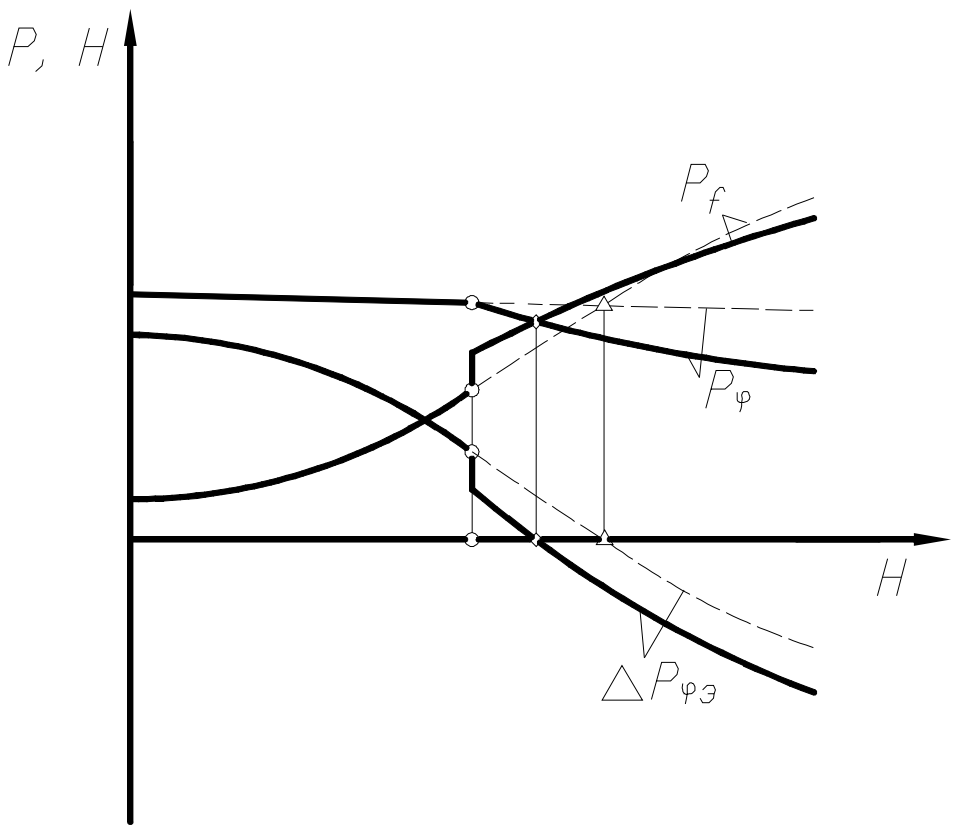


Рисунок 7.1 – Запас силы тяги от глубины снега

(Пунктиром показаны значения без учета осадки днища в снег. Кружком показан момент начала погружения днища, разгрузка колес и как следствие падение кривой сцепления. Ромбиком показана критическая глубина снега. Треугольником критическая глубина снега без учета сопротивления днища)

Для оценки проходимости колесных машин по снегу в режиме криволинейного движения целесообразно использовать так же критерий запаса силы тяги по сцеплению. Что бы показать насколько изменится проходимость, в работе сравниваются четыре типа режимов движения: прямолинейное движение; криволинейное движение с 50% перекрытием колей; криволинейное движение без перекрытия колей, без бокового смещения колес; криволинейное движение без перекрытия колей и с углом бокового смещения колес 15°. Характер изменения кривых запаса силы тяги будет выглядеть следующим образом.

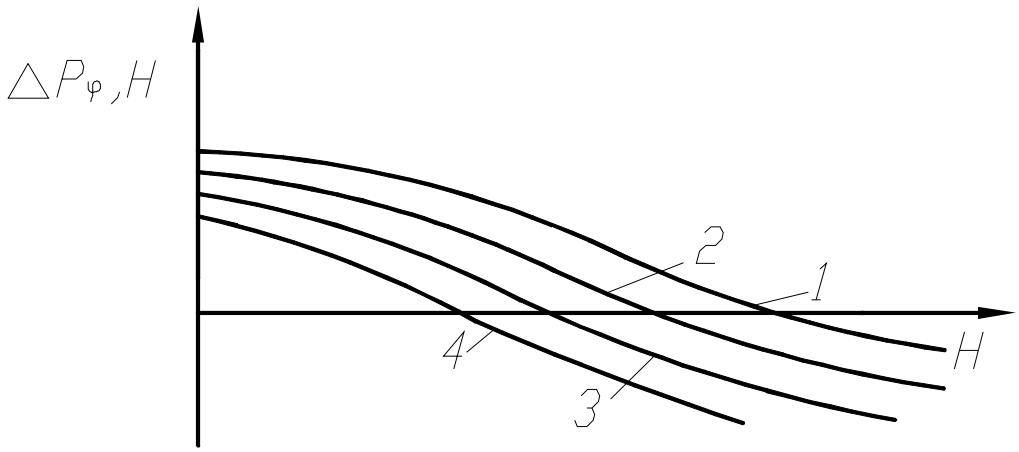


Рисунок 7.2 – Запас силы тяги - глубина снега для различных режимов движения. Режимы движения: 1 - прямолинейное движение; 2 - криволинейное движение с 50% перекрытием колей; 3 - криволинейное движение без перекрытия колей, без бокового смещения колес; 4 - криволинейное движение без перекрытия колей и с углом бокового смещения колес 15°.

Таким образом, базируясь на разработанную модель взаимодействия колесного движителя с полотном пути, общую систему уравнений движения и соотношения для определения тягового усилия и сопротивления движению, представленные в отчете на первом этапе выполнения НИР, можно численно определить возможность передвижения машины по снежной целине при криволинейном движении по снегам разных типов и глубин с учетом режима движения.

7.2 Алгоритм решения и программная реализация математической модели проходимости машины по снегу

Математическая модель проходимости с учетом криволинейного движения по снежной целине, является сложной вариационной задачей и может быть решена с использованием специальных математических методов.

Алгоритм решения в виде укрупненных частей представлен на рисунке 7.3.

Исходными данными для реализации представленного алгоритма являются характеристики опорой поверхности (снежной поверхности), техническая характеристика автомобиля (параметры двигателя, трансмиссии, движителя) и режим движения транспортного средства. На основе этих данных производиться определение величины погружения колес в опорную поверхность (снег).

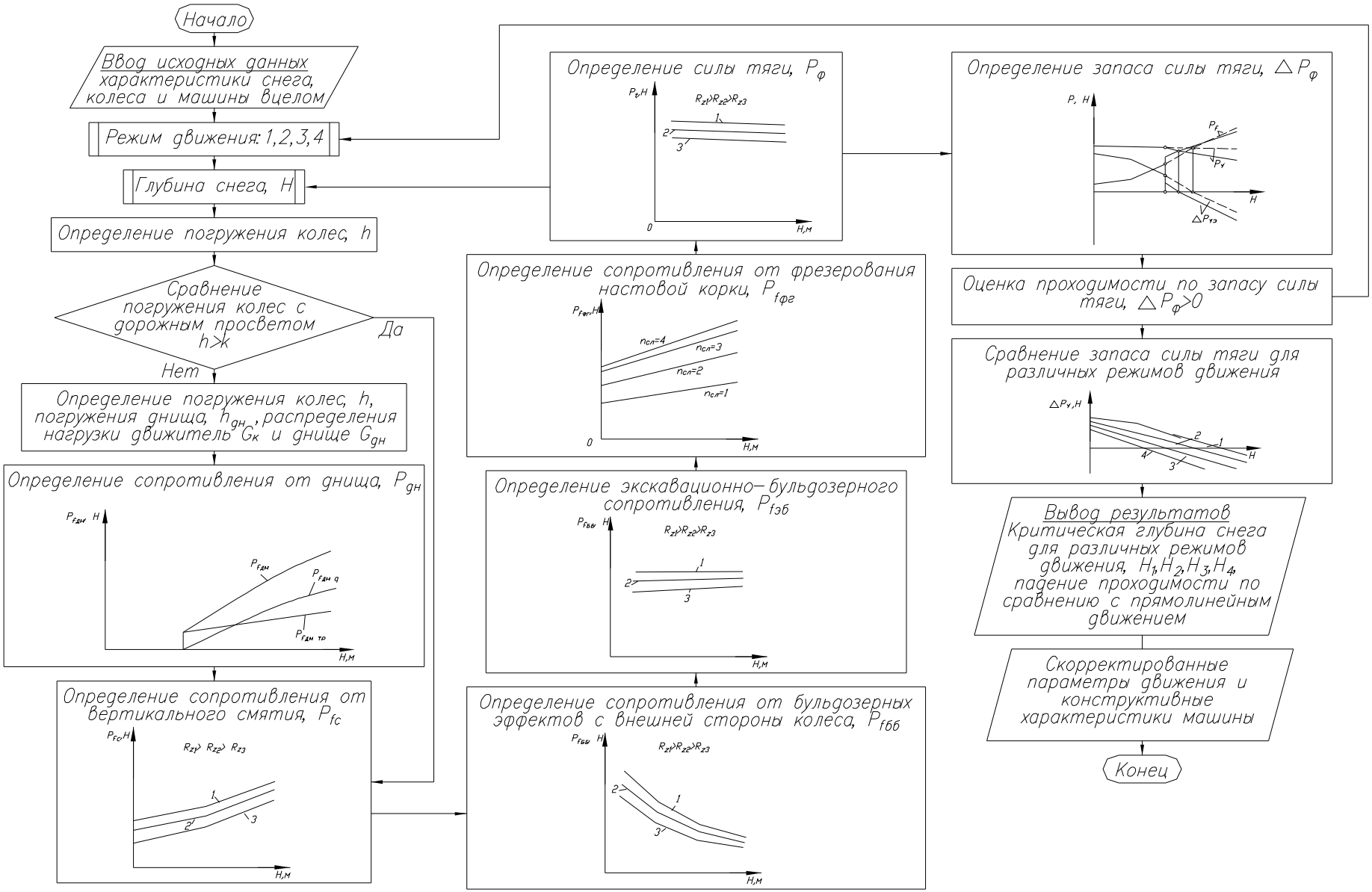


Рис. 7.3 Блок-схема методики определения проходимости

Следующим этапом является сравнение глубины погружения колес с дорожным просветом, на основе которого делается заключение о глубине погружения корпуса транспортного средства. В случае погружения корпуса в грунт (снег) производиться определение сопротивления от днища, с учетом которого определяется общее сопротивление от вертикального смятия. Одновременно производиться вычислении остальных слагаемых суммарной силы сопротивления движению: сопротивление от фрезерования настовой корки, экскавационно-бульдозерное сопротивление, сопротивление от бульдозерных эффектов с внешней стороны колеса и другие. Таким образом, производиться оценка суммарной силы сопротивления движению машины.

Исходя из параметров движителя и режимов движения транспортного средства, определяется сила тяги на ведущих колесах машины.

При движении по грунтовым поверхностям, используя критерий проходимости, предложенный Я.С. Агейкиным (таблица 6.1), определяется запас силы тяги и производиться оценка проходимости машины по запасу силы тяги и сравнение запаса силы тяги в режимах движения машины. Если движение производиться по снежной целине, то в качестве критериев проходимости рационально использовать критерий Л.В. Барахтанова, на основе которого делается вывод о критической глубине снежного покрова в различных режимах движения.

На основе полученных данных производиться заключение о величине уменьшения проходимости (падения проходимости) при криволинейном движении по сравнению с прямолинейным движением машины.

Если данные показатели являются не приемлемыми для проектируемого транспортного средства, то вырабатываются рекомендации по поводу их достижения.

Для решения системы уравнений входящих в алгоритм решения математической модели проходимости машины по снегу, требуется использование пакетов прикладных программ математического моделирования.

7.3 Сравнительный метод оценки энергоэффективности движителя

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

В данной работе предложен 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 ($A_{ш1} = \frac{2\pi r p_0 \psi_2}{p_в + p_0} \int_0^{h_z} p_ш b_{пр}\, dh_z$), на которую затрачивает до 75 % общего количества потерь в шине. Следовательно, по объему эпюры нормальных давлений можно судить от энергоэффективности движителя. На основе этого и предложен новый критерий энергоэффективности, сформулировать который можно следующим образом: энергоэффективность движителя тем выше, чем меньше объем эпюры нормальных давлений.

Таким образом, задача оценки энергоэффективности сводится к нахождению объема, ограниченного поверхностью распределения нормальных давлений в пятне контакта и плоскостью XoY. Учитывая специфику расположения контрольно-измерительных элементов, а следовательно, структуру распределения погрешностей в результатах измерений, объем фигуры определяем методом, позволяющим при достаточной простоте и высокой достоверности свести влияние неточности результатов и ошибки вычислений к минимуму. Таким метод, является, например, метод Симпсона.

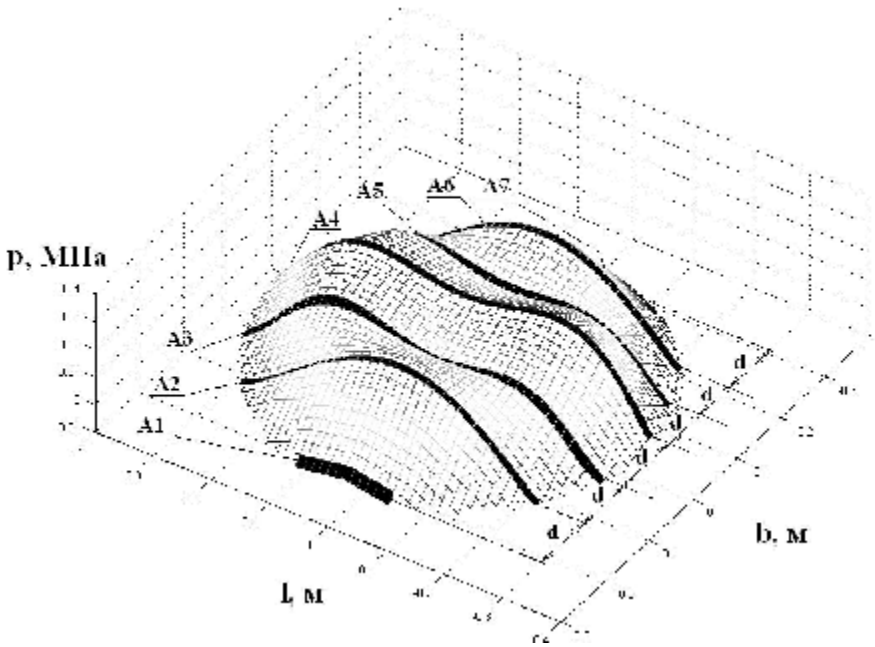


Рисунок 7.4 – Расчетная схема для определения объема тела методом Симпсона

Для использования метода Симпсона необходимо пространственную фигуру, ограниченную эпюрой давлений и координатными осями разделить на небольшие части (рисунок 7.4), для которых объем можно определить по формуле Симпсона:

$$V = \frac{d}{3}[(A1 + A7) + 4(A2 + A4 + A6) + 2(A3 + A5)]$$

$$A1 = A7 = 0;$$

$$A2 = A6 = \int_0^{+0.5} 2.47u^4 - 2.101u^3 + 0.303u^2 + 0.2u\, du = 0.02$$

$$A3 = A5 = \int_0^{+0.64} 46.09u^6 - 87.63u^5 + 59.19u^4 - 16.5u^3 + 1.625u^2 + 0.185u\,du$$
$$= 0.014$$

$$A4 = \int_0^{0.7} 11.78u^6 \quad 20.11u^5 \mid 8.259u^4 \mid 2.337u^3 \quad 2.348u^2 \mid 0.515u\ du =$$
$$= 0.0209$$

Так для специального вездеходного транспортного средства 6х6 (рисунки 5.1-5.3) , , суммарный объем фигуры, ограниченной рассматриваемой поверхностью:

$$V = \frac{0{,}09}{3}[(0+0) + 4(0{,}02 + 0{,}021 + 0{,}02) + 2(0{,}014 + 0{,}014)] = 0{,}01266$$

Если для сравнения выбрать шину, обладающую большей жесткостью в средней части, и поэтому не имеющей вогнутостей, т.е. уменьшения давлений, (рисунок 5.10, 5.11, 5.13-5.15) , но имеющую такое же максимальное давление, и эпюру распределения давлений «спрямленную» в средней части (рисунок 7.5), то объем *V'* полученной пространственной фигуры равен:

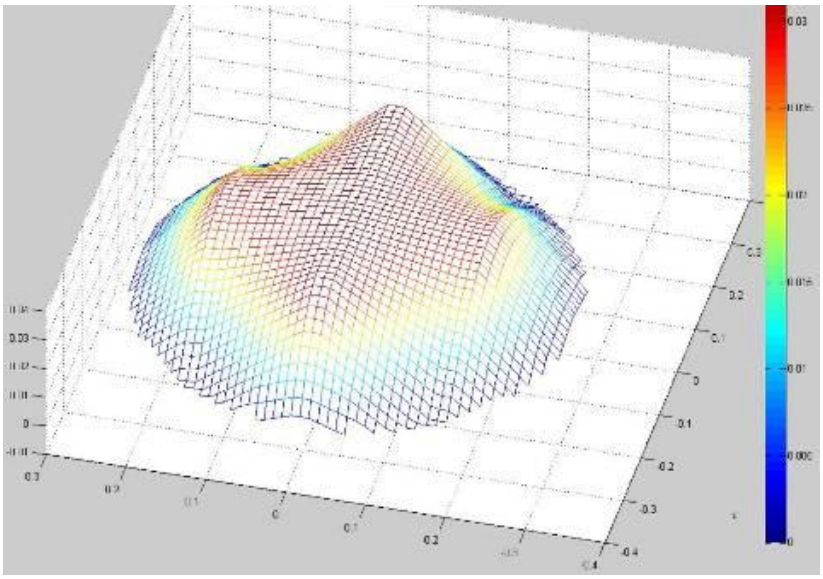


Рисунок 7.5 - Эпюра нормальный давлений шин с высокой жесткостью в средней части зоны контакта

$$A4' = \int_0^{0.7} 8.078u^5 - 12.5u^5 + 3.018u^4 + 3.54u^3 - 2.311u^2 + 0.491u\,du == 0.0309$$

$$V' = \frac{0{,}09}{3}[(0+0) + 4(0{,}02 + 0{,}0309 + 0{,}02) + 2(0{,}014 + 0{,}014)] = 0{,}01367$$

Произведем сравнение полученных объемов фигур:

$$K1 = \frac{V'}{V} = \frac{0.01367}{0.01266} = 1.08$$

Следовательно, энергоэффективность движителя, имеющего распределение нормальных давлений как на рисунке 7.4 по сравнению с распределением рисунка 75 (имеющие одинаковые максимальные давления) выше на 8%.

8 РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ПРОВЕДЕННЫХ НИР В РЕАЛЬНОМ СЕКТОРЕ ЭКОНОМИКИ

Теоретические разработки, методики расчетов, результаты экспериментальных исследований, технические предложения, практические рекомендации повышения проходимости колесных машин внедрены:

1) НИЛ «Транспортных машин и транспортно-технологических комплексов» НГТУ при модификации снегоболотоходов «Кержак» и «Сивер».
2) ЗАО «Завод вездеходных машин» при разработке колесных транспортных средств повышенной и высокой проходимости.
3) ООО «Трансмаш» при разработке многоцелевых транспортно-технологических комплексов с колесным движителем.

9 ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе проведенных исследований получены следующие научно-практические результаты:

1. Разработана методика определения, алгоритм расчета и теоретическая оценка показателей проходимости машин с колесной формулой 4х4 при криволинейном движении по снегу, включающая в себя математическую модель колесной машины.

2. На основе экспериментально-теоретических исследований разработана математическая модель взаимодействия колесного движителя со снежным полотном пути при криволинейном движении, а также выявлены закономерности погружения катящегося колеса в снежный покров и получены зависимости деформации от величины нагрузки, позволяющие учесть боковое скольжение и особенности геометрии формирования зон вертикального и бокового смятия. При увеличении угла бокового скольжения до 15° рост осадки колеса составит до 8-10%.

3. Описаны закономерности формирования колеи колесным движителем автомобиля с колесной формулой 4х4 при различных режимах: прямолинейное движение, криволинейное движение при частичном совпадении колей передних и задних колес, криволинейное движение при несовпадении колей передних и задних колес без бокового скольжения, криволинейное движение при несовпадении колей передних и задних колес с боковым скольжением, криволинейное движение при несовпадении колей передних и задних колес с боковым скольжением и смещением клина снега заключенного между колеями.

4. Разработан алгоритм и методика расчета сил сопротивления движению, силы тяги и запаса силы тяги как оценки проходимости машин по снегу с колесной формулой 4х4, при различных режимах движения, учитывающие закономерности, используемые для определения сопротивления от вертикального смятия снега и экскавационно-бульдозерных эффектов, возникающих при боковом скольжении колеса. При увеличении угла бокового скольжения до 15° рост силы сопротивления от смятия снега увеличится до 25-27%, приведенная сила сопротивления от экскавационно-бульдозерных эффектов с внешней стороны колеса вырастет до 22-30 % от силы сопротивления от вертикального смятия снега.

5. Проведена оценка и анализ проходимости при движении по снегу автомобилей повышенной проходимости с колесной формулой 4х4, в соответствии с которыми сделан ряд выводов:

5.1. Предельная глубина снега, преодолеваемого автомобилем «Нива», принимает значения 29,5-24 см; потери проходимости при криволинейном движении с 50% перекрытием колей составили 14-17%, при криволинейном движении без перекрытия колей, без бокового скольжения колес - 25-27%, при криволинейном движении без перекрытия колей и с углом бокового скольжения колес 15° - 37-39%. При этом снижение проходимости при криволинейном движении

без перекрытия колей, без бокового скольжения и с боковым скольжением составляет 14-19%. Первое значение соответствует снегу с меньшей плотностью, второе – с большей.

5.2. Предельные значения скорости по боковому скольжению при движении автомобилей «Нива» с минимальным радиусом поворота равны 11,2-12,9 м/с, причем меньшее значение соответствует снегу с меньшей плотностью, большее – с большей.

5.3. Получены зависимости, показывающие влияние режима движения (сочетание скорости и радиуса поворота), конструкции колес (диаметра, ширины, типа и размеров шины) и самого транспортного средства (размеры базы, колеи, дорожного просвета, а также массы, развесовки и положения центра тяжести) на проходимость и дающие возможность использовать эти данные при проектировании автоматических систем поддержания подвижности (проходимости, курсовой устойчивости и скорости движения) и конструкции транспортных средств высокой проходимости.

6. Экспериментальные исследования подтвердили удовлетворительную сходимость предложенной методики расчета и оценки проходимости при криволинейном движении колесных машин по снегу. Погрешность измерений составила 15-21%. Отклонения экспериментальных данных от теоретических составили 18-23%.

7. Установлено, что величина и характер распределения нормальных напряжений оказывает существенное влияние на сопротивление движению колесной машины.

8. Получен закон распределения нормальных давлений в зоне контакта колес на шинах низкого давления с опорной поверхностью для специального вездеходного транспортного средства с колесной формулой 6х6; установлено, что для шин низкого давления наблюдается большая неравномерность распределения нормальных давлений, имеющая седлообразную форму как в продольных, так и поперечных сечениях.

9. Предложен новый критерий энергоэффективности: энергоэффективность движителя колесной машины тем выше, чем меньше объем эпюры нормальных давлений, возникающих при взаимодействии движителя транспортного средства с опорной поверхностью.

10. Теоретические разработки, методики расчетов, результаты экспериментальных исследований, технические предложения, практические рекомендации повышения проходимости колесных машин внедрены в НИЛ «Транспортных машин и транспортно-технологических комплексов», ЗАО «Завод вездеходных машин», ООО «Трансмаш», используются в учебном процессе кафедры «Автомобили и тракторы» Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева.

10 СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Беляков В.В. Взаимодействие со снежным покровом эластичных движителей специальных транспортных средств: Дисс. …докт. техн. наук: 05.05.03. НГТУ, Н.Новгород,1999. – 485 с.

2 Терцаги К. Р. Теория механики грунтов – М.: Госстройиздат, 1961. – 507 с.

3 Войтковский К.Ф. Механические свойства снега. – М.: Наука,1977. –128 с.

4 Теория автомобиля: учеб. пособие/ В.Н. Кравец; НГТУ. – Н.Новгород, 2007.-368 с.

5 Гришкевич А.И. Автомобили: Теория: Учебник для вузов. – Мн.: Выш. Шк., 1986. – 208 с.

6 Смирнов Г.А. Теория движения колесных машин: Учеб. Для студентов машиностр. Спец. Вузов. – 2-е изд., доп. и перераб. – М.: Машиностроение, 1990. – 352 с

7 Аксенов П.В. Многоосные автомобили: Теория общих конструктивных решений. – М.: Машиностроение, 1980. – 207 с.

8 Барахтанов Л.В., Беляков В.В., Кравец В.Н. Проходимость автомобиля. – Н. Новгород: НГТУ, 1996. – 200 с.

9 Агейкин Я.С. Проходимость автомобилей. – М.: Машиностроение, 1981. – 230 с.

10 Вездеходные транспортно-технологические машины // Под редакцией В. В. Белякова и А. П. Куляшова. – Н. Новгород.: ТАЛАМ, 2004. –960 с.

11 Кнороз В.И., Кленников Е.В. Шины и колеса. – М.: Машиностроение, 1975. – 352 с.

12 Работа автомобильной шины / Под ред. В.И.Кнороза. – М.: Транспорт, 1976. – 238 с.

13 Бабков В.Ф., Бируля А.К., Сиденко В.М. Проходимость колесных машин по грунту. – М.: Автотрансиздат, 1959. – 189 с.

14 Платонов В.Ф., Чистов М.П., Аксенов А.И. Оценка проходимости полноприводных автомобилей // Автомобильная промышленность. – 1980. – №3. – С. 10-13.

15 Рукавишников С.В. Особенности взаимодействия гусеничного движителя снегоходных машин с полотном пути. – Горький: МВ и ССО РСФСР ГПИ, 1979. – 94 с

16 Крживицкий А.А. Снегоходные машины. – М.: Машгиз, 1949. – 236 с.

17 Барахтанов Л.В. Повышение проходимости гусеничных машин по снегу: Дисс… докт. техн. наук: 05.05.03. – Горький, 1988 г. – 352 с.

18 Ларин В.В. Методы прогнозирования опорной проходимости многоосных колесных машин на местности. - М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. – 224 с.

19 Скотников В.А., Пономарев А.В., Климанов А.В. Проходимость машин –Минск: Наука и техника, 1982.–328 с.

20 Макаров В.С., Бушуева М. Е., Беляков В. В. Теоретическое обоснование выбора трансмиссии транспортно-технологического средства по условию обеспечения опорной проходимости. Известия Академии инженерных наук РФ им. акад. А.М. Прохорова. Транспортно-технологические машины и комплексы / Под ред. Ю.В Гуляева/ НГТУ – Москва – Н. Новгород, 2008. Т. 21 с. 103-113

21 Теория автоматических систем автономных транспортных средств: учеб. пособие: в 2-х

частях. Ч. 2 / Беляков В.В., Бушуева М.Е., Гончаров К.О., Макаров В.С.; Нижегород. гос. тех. ун-т. им. Р.Е. Алексеева. - Н. Новгород, 2009. - 168 с.

22 Ширков А.С., Янкин В.М. Тягово-сцепные показатели тракторов на снежной целине // Труды Всесоюзн. науч. исслед. техн. ин-та ремонта и эксплуатации машин тракторного парка. – 1966. – Т. 9. – С. 155 – 162.

23 Макаров В.С., Гончаров К.О., Зайцев А.С., Беляков В. В. Сопротивление движению от экскавации грунта при криволинейном движении машины на эластичных движителях. Тезисы докладов VIII международной молодежной научно-технической конференции «Будущее технической науки». (15 мая 2009 г.) - Н.Новгород: НГТУ им. Р.Е. Алексеева, 2009. С. 158-159

24 Бируля А.К. Проходимость автомобилями черноземных грунтов // Труды совещания по проходимости колесных и гусеничных машин по целине и грунтовым дорогам. – М.: Изд-во АН СССР, 1950. – С. 122-128.

25 Водяник И.И. Сопротивление качению гусениц от деформации грунта при образовании колеи // Известия вузов. Машиностроение. – 1980. – № 2. – С.96 – 100.

26 Агейкин Я.С. Вездеходные колесные и комбинированные движители. Теория и расчет. – М.: Машиностроение, 1972. – 184 с.

27 Аникин А.А., Беляков В.В., Донато И.О. Теория передвижения колесных машин по снегу. – М.: Изд – во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. – 240 с.

28 Беккер М.Г. Введение в теорию систем местность-машина: Пер. с англ. / Под ред. В.В. Гуськова. – М.: Машиностроение, 1973. – 520 с.

29 Беляков В.В. Взаимодействие со снежным покровом эластичных движителей специальных транспортных средств: Дисс. …докт. техн. наук: 05.05.03. НГТУ, Н.Новгород,1999. – 485 с.

30 Вездеходные транспортно-технологические машины // Под редакцией В. В. Белякова и А. П. Куляшова. – Н. Новгород.: ТАЛАМ, 2004. –960 с

31 Герсеванов Н.М., Польшин Д.Е. Теоретические основы механики грунтов и их практическое применение. – М.: Госстройиздат, 1948. – 247 с.

32 Динамика систем дорога – шина – автомобиль – водитель / Под ред. А.А.Хачатурова. – М.: Машиностроение, 1976. – 535 с.

33 Ильюшин А.А. Механика сплошной среды. – М.: Изд-во МГУ, 1990. – 310 с.

34 Макаров В.С., Гончаров К.О., Беляков В. В Характер образования колеи при криволинейном по снегу колесных машин. Материалы докладов /XIV нижегородская сессия молодых ученых: Технические науки. (Татинец, 15 - 19 февраля 2009 г.) – Н.Новгород, изд-во. Гладкова О.В. С.13-14

35 Макаров В.С., Гончаров К.О., Блохин А.Н., Беляков В. В. Сопротивление от бульдозерных эффектов возникающих при повороте машины оснащенной колесным движителем. Тезисы докладов VII международной молодежной научно-технической конференции «Будущее технической науки». НГТУ им. Р.Е. Алексеева - Н.Новгород, 2008. с. 88.

36 Макаров В.С., Гончаров К.О., Вахидов У.Ш., Беляков В. В. Результаты испытаний колесных машин при криволинейном движении на косогоре. Материалы всероссийской

научно-технической конференции «Транспортно-технологические машины» ТТМ НН 08. НГТУ – Н.Новгород, 2008

37 Платонов В.Ф. Полноприводные автомобили. – М.: Машиностроение, 1989.–312с.

38 Проектирование полноприводных колёсных машин: В 2 т.: Учеб. для вузов / Б.А. Афанасьев, Л.Ф. Жеглов, В.Н. Зузов и др.; Под общ. ред. А.А. Полунгяна. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000. – Т.1. – 488 с.

39 Снегоходные машины / Л.В. Барахтанов, В.И. Ершов, С.В, Рукавишников, А.П. Куляшов. – Горький: Волго-Вятское кн. изд-во, 1986. – 191 с.

40 Транспортные средства на высокоэластичных движителях / Н.Ф. Бочаров, В.И.Гусев, В.М.Семенов и др. – М.: Машиностроение, 1974. – 208 с.

41 Троицкая М.Н. Зависимость между нагрузкой и деформацией при вдавливании в грунт штампов различного очертания // Тр. Совещания по проходимости колесных и гусеничных машин по целине и грунтовым дорогам. – М.: АН СССР, 1950. – С.24 – 26.

42 Ульянов Ф.Г. Повышение проходимости и тяговых свойств колесных тракторов на пневматических шинах. – М.: Машиностроение, 1964. –136 с.

43 Фаробин Я.Е. Теория поворота транспортных машин. – М.: Машиностроение, 1970. – 176 с.

44 Цытович Н.А. Механика грунтов. – М.: Госстройиздат, 1963. – 636 с.

45 Чудаков Е.А. Теория автомобиля. – М.: Гос. науч.-техн. изд-во машино-строительной литературы, 1950. – 343 с.

Министерство образования и науки Российской Федерации

Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Утверждаю
Ректор НГТУ
_____ В.П. Кириенко

« »_____2010г.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

К НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОМУ ОТЧЕТУ

«Разработка теоретических основ процессов взаимодействия движителей транспортных средств с опорной поверхностью и оценка энергоэффективности движителей в условиях бездорожья»

Государственный контракт № П2094 от 03.11.2009 г.

Научный руководитель:
докт. техн. наук, проф.

_____ В.В. Беляков

(подпись)

Нижний Новгород
2010 г.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КРИВОЛИНЕЙНОГО ДВИЖЕНИЯ КОЛЕСНОЙ МАШИНЫ ПО СНЕЖНОЙ ЦЕЛИНЕ

В настоящем приложении рассматриваются вопросы формирования колеи колесной машиной при установившемся криволинейном движении по снегу. Определяется тяговое усилие, сила сопротивления движению, и запас силы тяги, который положен в основу расчета параметров проходимости колесных машин по снегу, при различных геометрических и кинематических режимах движения, а также физико-механических параметрах опорного основания

Результатом этих исследований является получение информации о критических глубинах снега при криволинейном движении колесных машин и рациональных режимах движения с точки зрения обеспечения наибольшей проходимости.

На основе теоретических проработок вопроса о процессе взаимодействия колесного движителя в режиме криволинейного движения со снежным покровом, была построена математическая модель движения машины по снежному полотну пути, реализация которой на ПЭВМ позволила провести качественный анализ процесса образования колеи с учетом не только смятия снега, но и экскавационно–бульдозерных эффектов как в плоскости движения, так и перпендикулярно ей. Результаты экспериментально-теоретических исследований влияния режима движения, приведены ниже. Сравнение эффективности проведено с использование критерия проходимости по запасу силы тяги.

В работе сравнивается четыре режима движения: прямолинейное движение; криволинейное движение с 50% перекрытием колей; криволинейное движение без перекрытия колей, без бокового скольжения колес; криволинейное движение без перекрытия колей и с углом бокового скольжения колес 15°. Анализируются режимы движения, при которых возникает боковое смещение

Необходимо отметить, что при последнем режиме движения угол 15° достигается только на одной оси машины, на другой он принимает меньшее значение. Это связано с тем, что при передних управляемых колесах кинематика движения машины обеспечивает качение задней оси машины по меньшему радиусу. Поэтому оценку предельных значений радиуса поворота и скорости производится по заднему мосту.

Оценка осадки, сопротивления качанию и приведенного сопротивления от экскавационно-бульдозерных эффектов с внешней стороны колеса при боковом скольжении

В соответствии с зависимостями, представленными в отчете I этапа НИР, рассмотрим, как меняется осадка колеса и сопротивление от смятия и приведенное сопротивление от экскавационно-бульдозерных эффектом с внешней стороны колеса при появлении угла бокового скольжения.

Проанализируем зависимость нагрузка-осадка для различных типов снега (Глубина снега $H = 0{,}3$м. Радиус колеса $R = 0{,}343$м. Ширина шины $B = 0{,}175$м.).

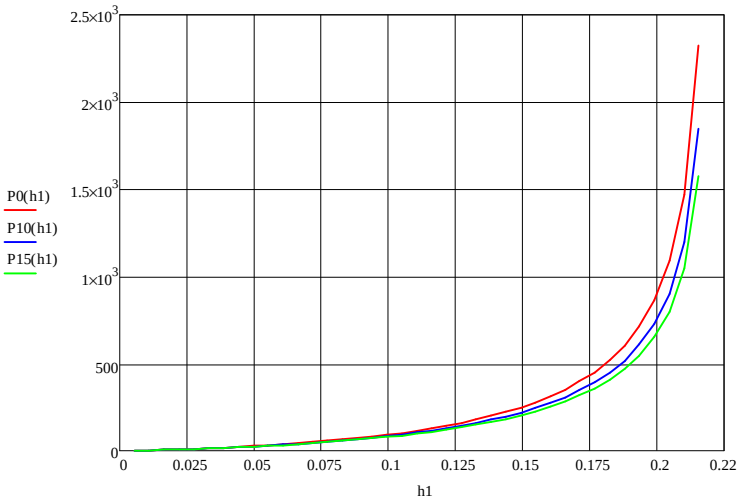


Рисунок П.А.1 – Зависимость нагрузка-осадка при различных углах бокового скольжения «Снег-1»

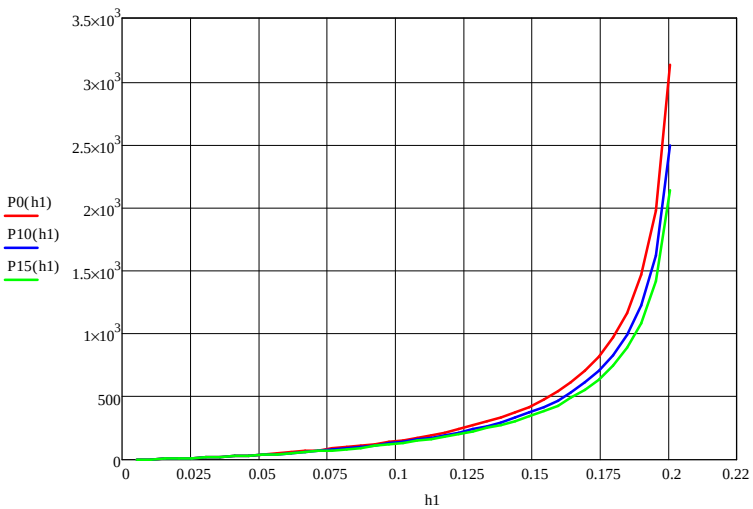


Рисунок П.А.2 – Зависимость нагрузка-осадка при различных углах бокового скольжения. «Снег-2»

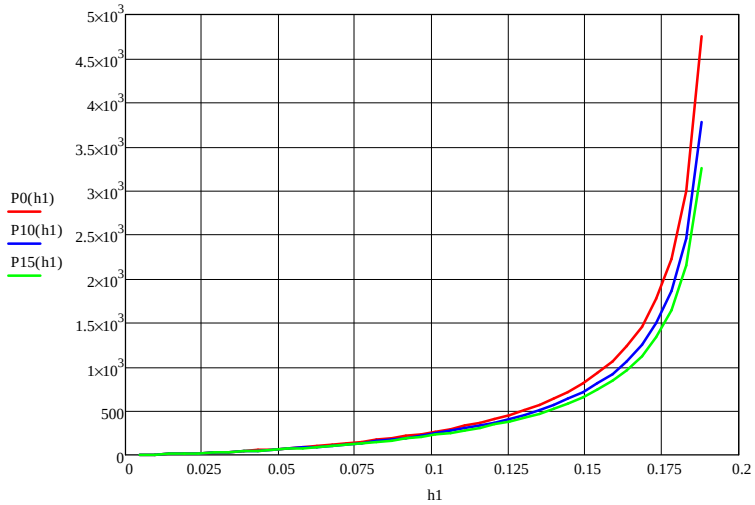


Рисунок П.А.3 Зависимость нагрузка-осадка при различных углах бокового скольжения. «Снег-3»

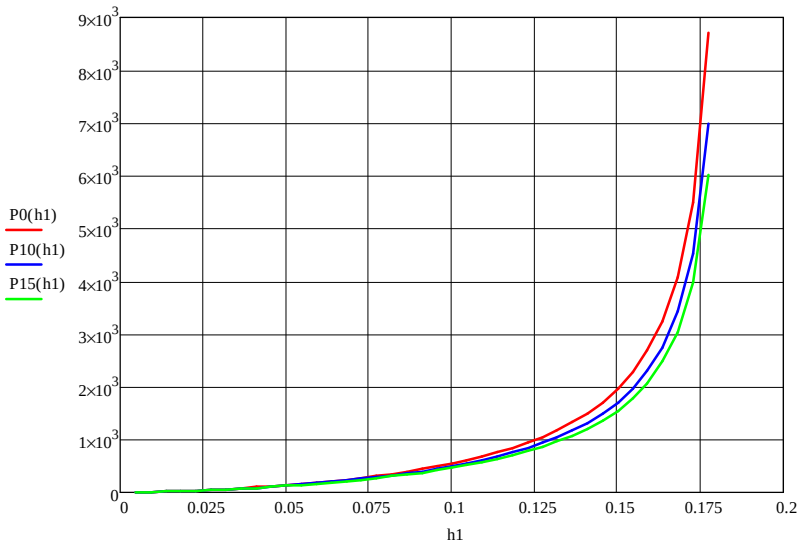


Рисунок П.А.4 – Зависимость нагрузка-осадка при различных углах бокового скольжения. «Снег-4»

Анализ зависимостей на рисунках П.А.1 – П.А.4 показывает, что по мере роста глубины погружения сила, приходящаяся на колесо, начинает расти значительно. При увеличении угла увода $\alpha_{бб}$ при одинаковой нагрузке на штампы увеличивается осадка. Так при изменении угла увода от 0° до 15° рост осадки колеса может составлять 8-10%.

Анализ силы сопротивления, обусловленная деформацией снежного полотна пути колесом машины

Рассмотрим, как меняется сила сопротивления, обусловленная деформацией снежного полотна пути колесом машины при варьировании различных углах бокового скольжения.

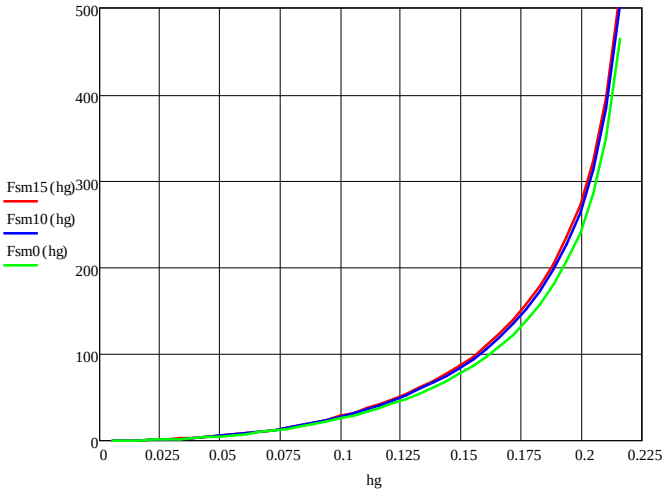


Рисунок П.А.5 – Зависимость сила сопротивления от смятия-осадка при различных углах бокового скольжения. «Снег-1»

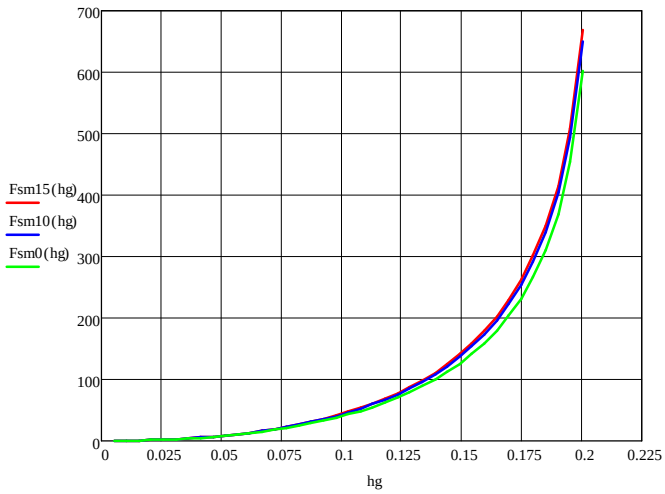


Рисунок П.А.6 – Зависимость сила сопротивления от смятия-осадка при различных углах бокового скольжения. «Снег-2»

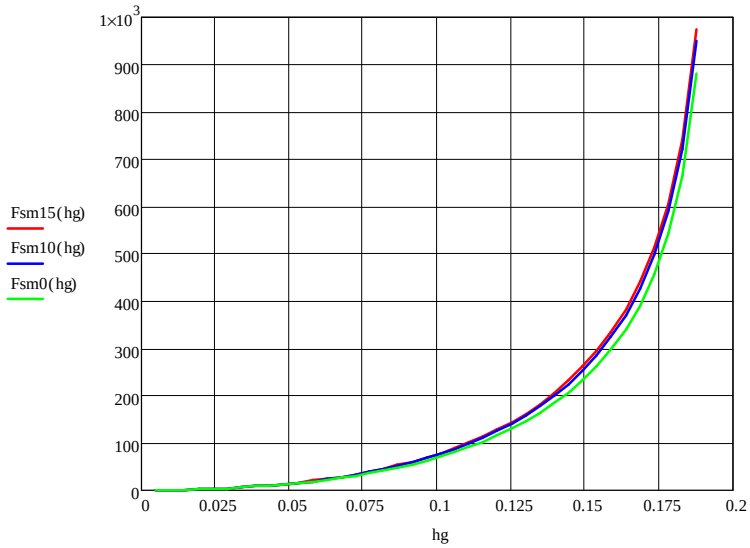


Рисунок П.А.7 – Зависимость сила сопротивления от смятия-осадка при различных углах бокового скольжения. «Снег-3»

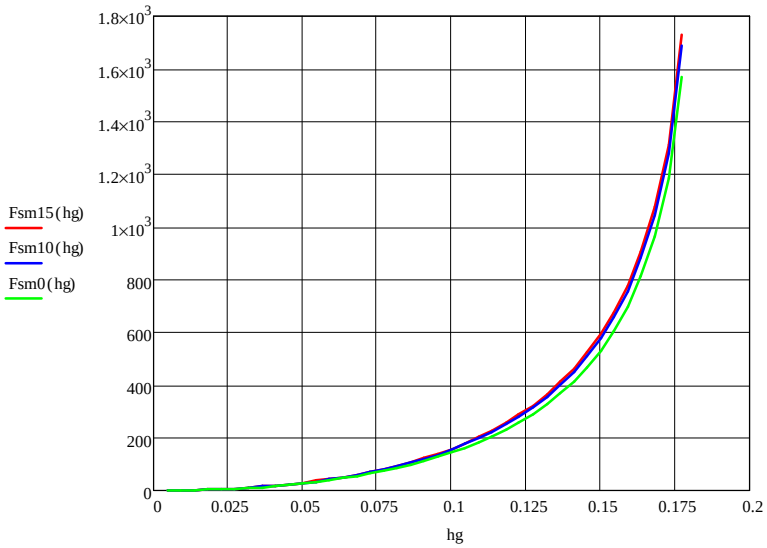


Рисунок П.А.8 – Зависимость сила сопротивления от смятия-осадка при различных углах бокового скольжения. «Снег-1»

Анализ зависимостей на рисунках Рисунок П.А.5 - П.А.8 показывает, что по мере увеличения глубины погружения, сила сопротивления от смятия начинает расти более интенсивно. Чем больше угол бокового скольжения, тем больше сила от смятия при одинаковой глубине погружения. Так при изменении угла увода от 0 до 15 сила от смятия снега увеличится на 25-27%

Анализ приведенной силы сопротивления от экскавационно-бульдозерных эффектов с внешней стороны колеса

Рассмотрим, как будет изменяться для различных углов бокового скольжения приведенная силы сопротивления от экскавационно-бульдозерных эффектов с внешней стороны колеса.

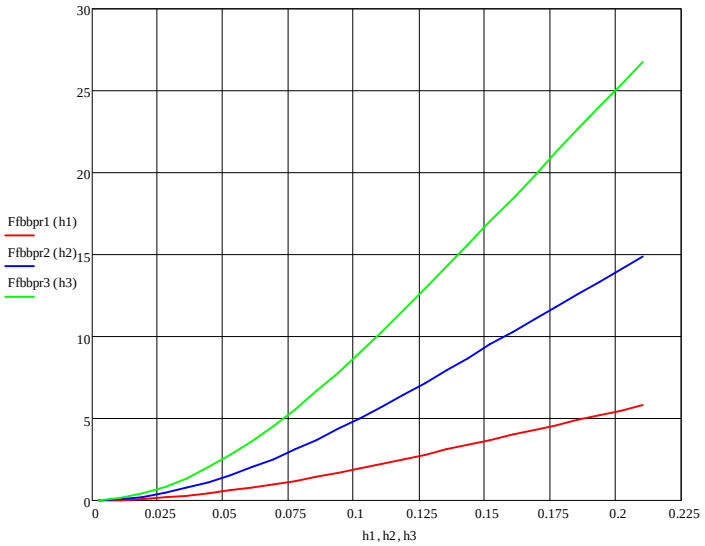


Рисунок П.А.9 – Приведенная сила сопротивления от экскавационно-бульдозерных эффектов с
внешней стороны колеса – осадка. «Снег-1»

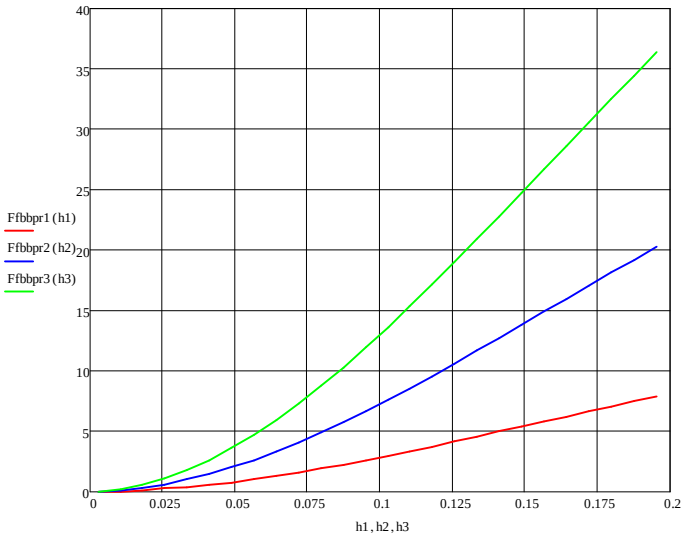


Рисунок П.А.10 – Приведенная сила сопротивления от экскавационно-бульдозерных эффектов с внешней стороны колеса – осадка. «Снег-2»

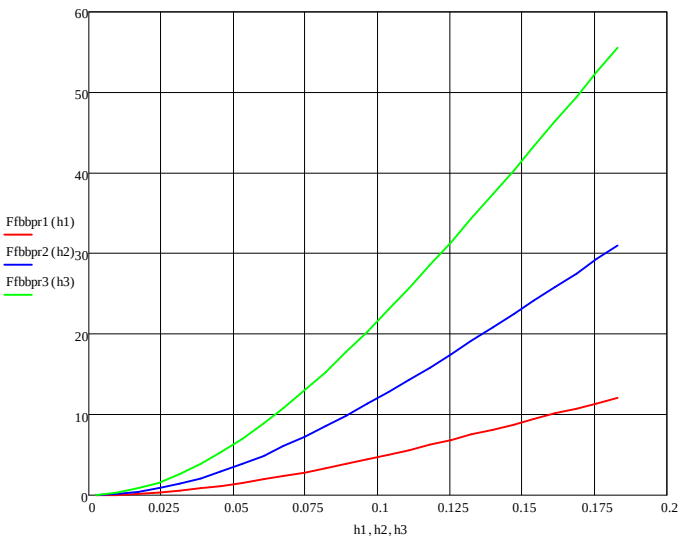


Рисунок П.А.11 – Приведенная сила сопротивления от экскавационно-бульдозерных эффектов с внешней стороны колеса – осадка. «Снег-3»

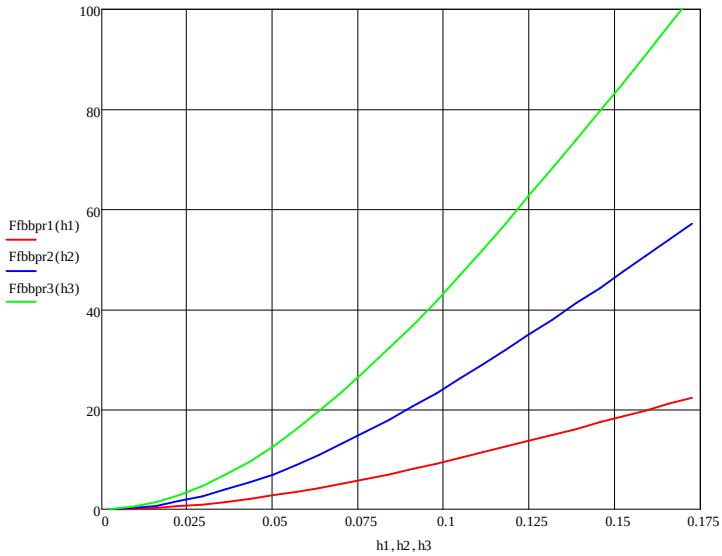


Рисунок П.А.12 – Приведенная сила сопротивления от экскавационно-бульдозерных эффектов с внешней стороны колеса – осадка. «Снег-4»

Совместный анализ зависимостей на рисунках П.А.5 – П.А.12 показывает, что по мере увеличения угла бокового скольжения от 0 до 15 приведенная сила сопротивления от экскавационно-бульдозерных эффектов с внешней стороны колеса растет и может принимать значения до 22-30 % от силы сопротивления от вертикального смятия снега.

Оценка проходимости колесных машин при различных режимах движения

Как было сказано выше, для сравнительной оценки проходимости целесообразно провести анализ для четырех режимов движения: прямолинейное движение; криволинейное движение с 50% перекрытием колей; криволинейное движение без перекрытия колей, без бокового смещения колес; криволинейное движение без перекрытия колей и с углом бокового смещения колес 15°.

С учетом предложенных в отчете I этапа НИР зависимостей в соответствии с методикой для ВАЗ-2121 «Нива», получены следующие зависимости.

Графики запаса силы тяги, сопротивления и сцепления машин для различных типов снега приведены ниже. (Графики приведенные далее скопированы из расчетной программы. Обозначения ($\Delta P0$, $Ftt0$, $Pfsum0$), ($\Delta P50$, $Ftt50$, $Pfsum50$), ($\Delta P100$, $Ftt100$, $Pfsum100$), (ΔPu, $Fttu$, $Pfsumu$) - соответствуют кривым запаса силы тяги по сцеплению, силе тяги и сопротивлению движения для прямолинейного движения; криволинейного движения с 50% перекрытием колей; криволинейное движение без перекрытия колей, без бокового смещения колес; криволинейное движение без перекрытия колей и с углом бокового смещения колес 15° соответственно. Величина измерения сил – Ньютон. H - глубина снега, измеряется в метрах.)

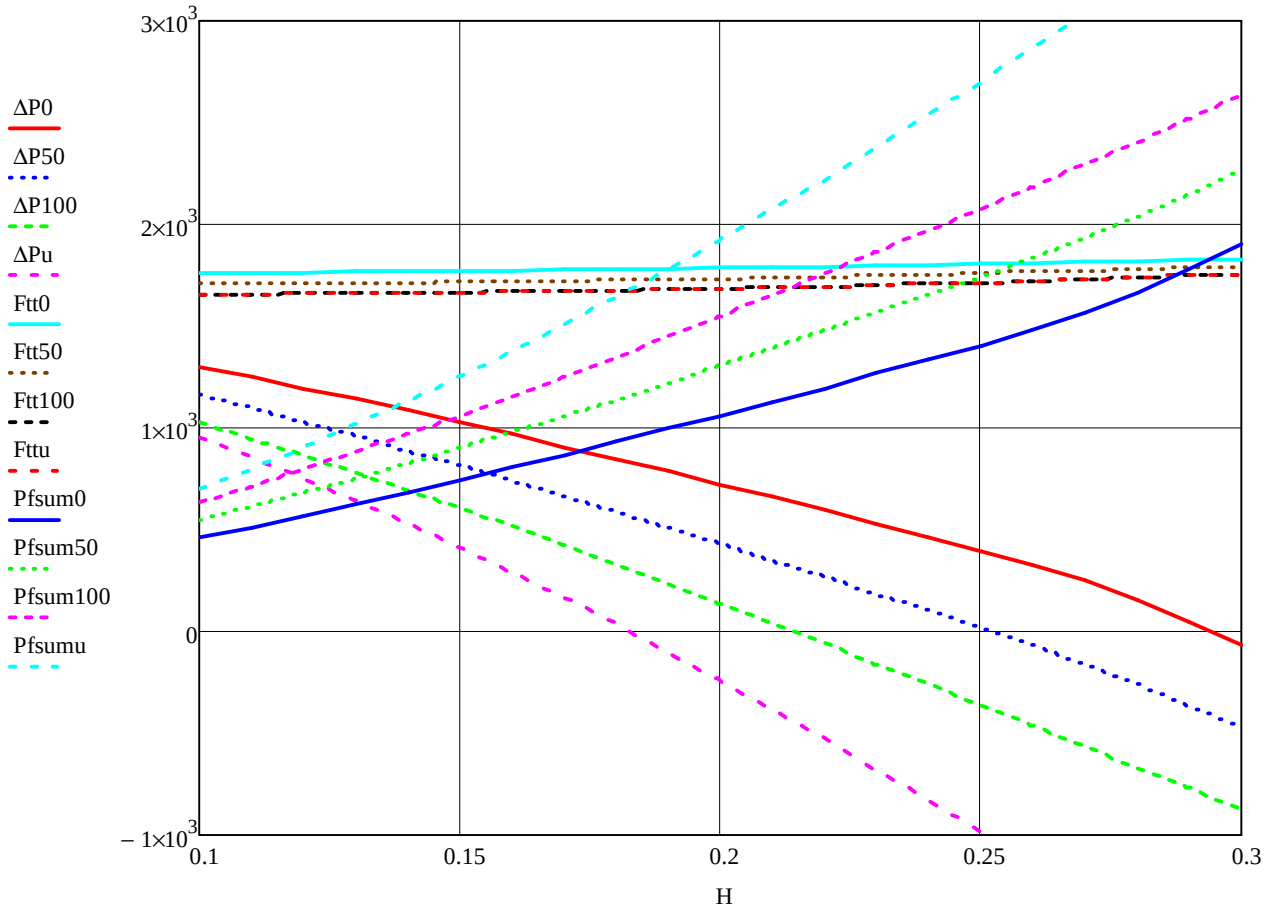


Рисунок П.А.13 – Тип снега – «снег-1», нагрузка на передний мост 7357,5 Н (750 кг), на задний 4905 Н (500 кг)

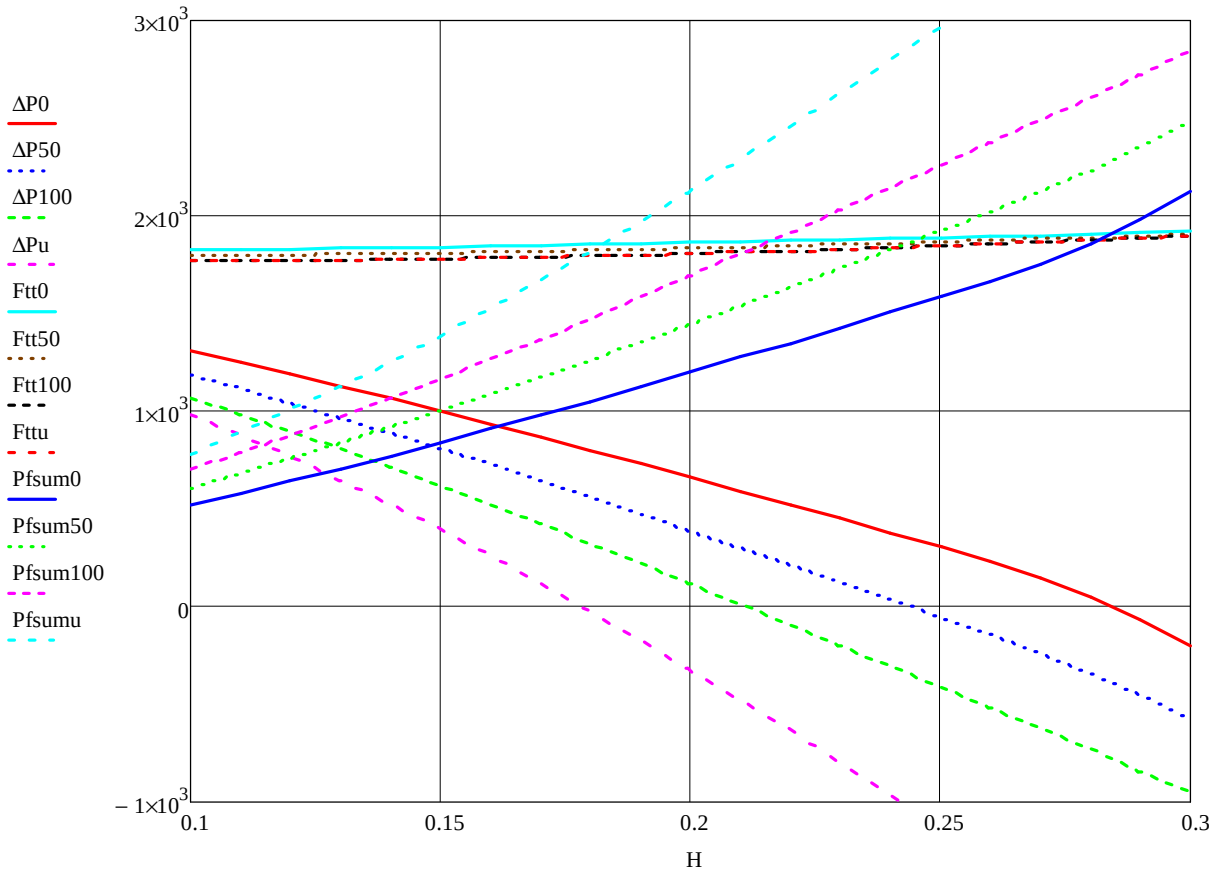


Рисунок П.А.14 – Тип снега – «снег-2», нагрузка на передний мост 7357,5 Н (750 кг), на задний 4905 Н (500 кг)

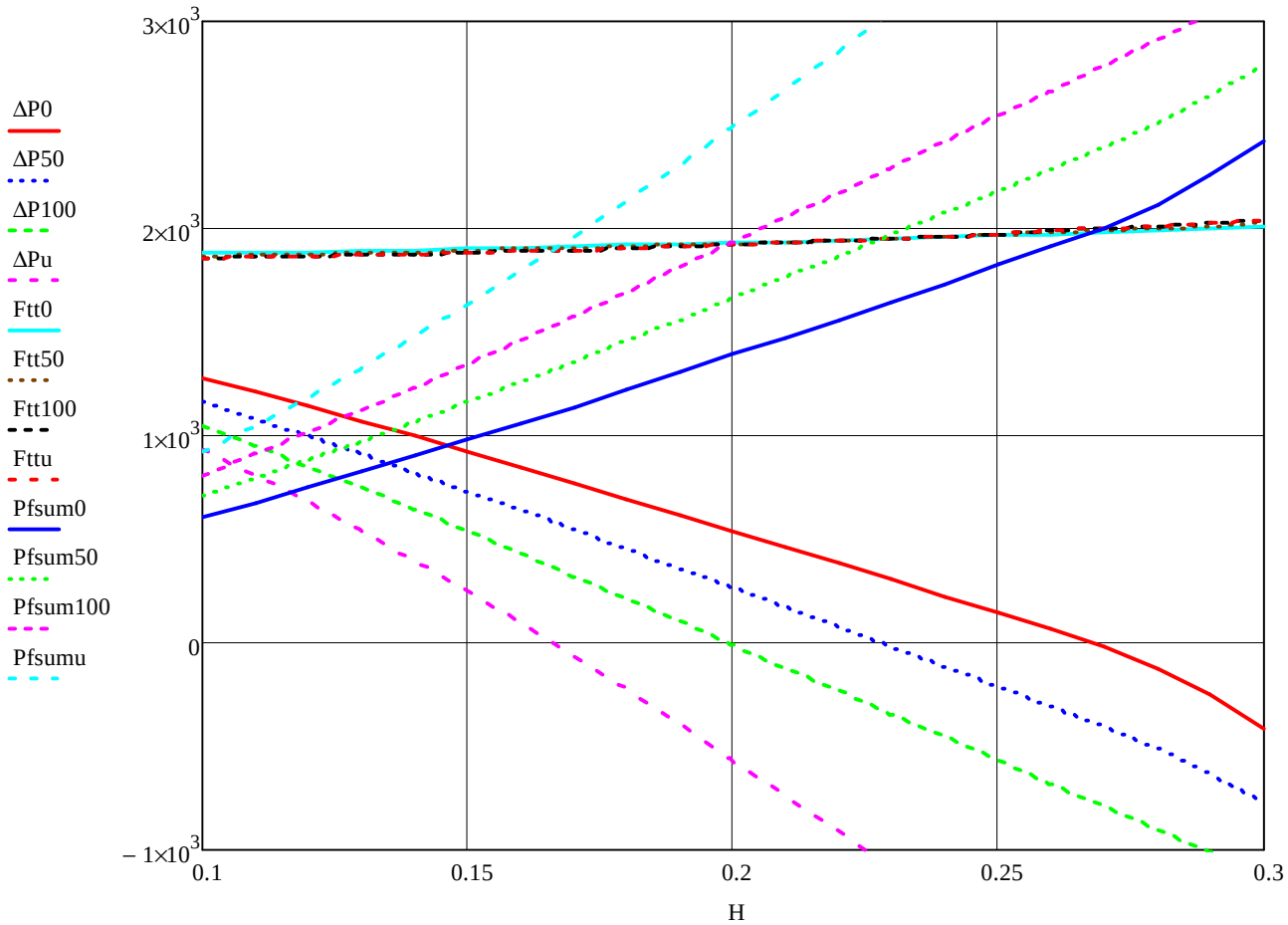


Рисунок П.А.15 – Тип снега – «снег-3», нагрузка на передний мост 7357,5 Н (750 кг), на задний 4905 Н (500 кг)

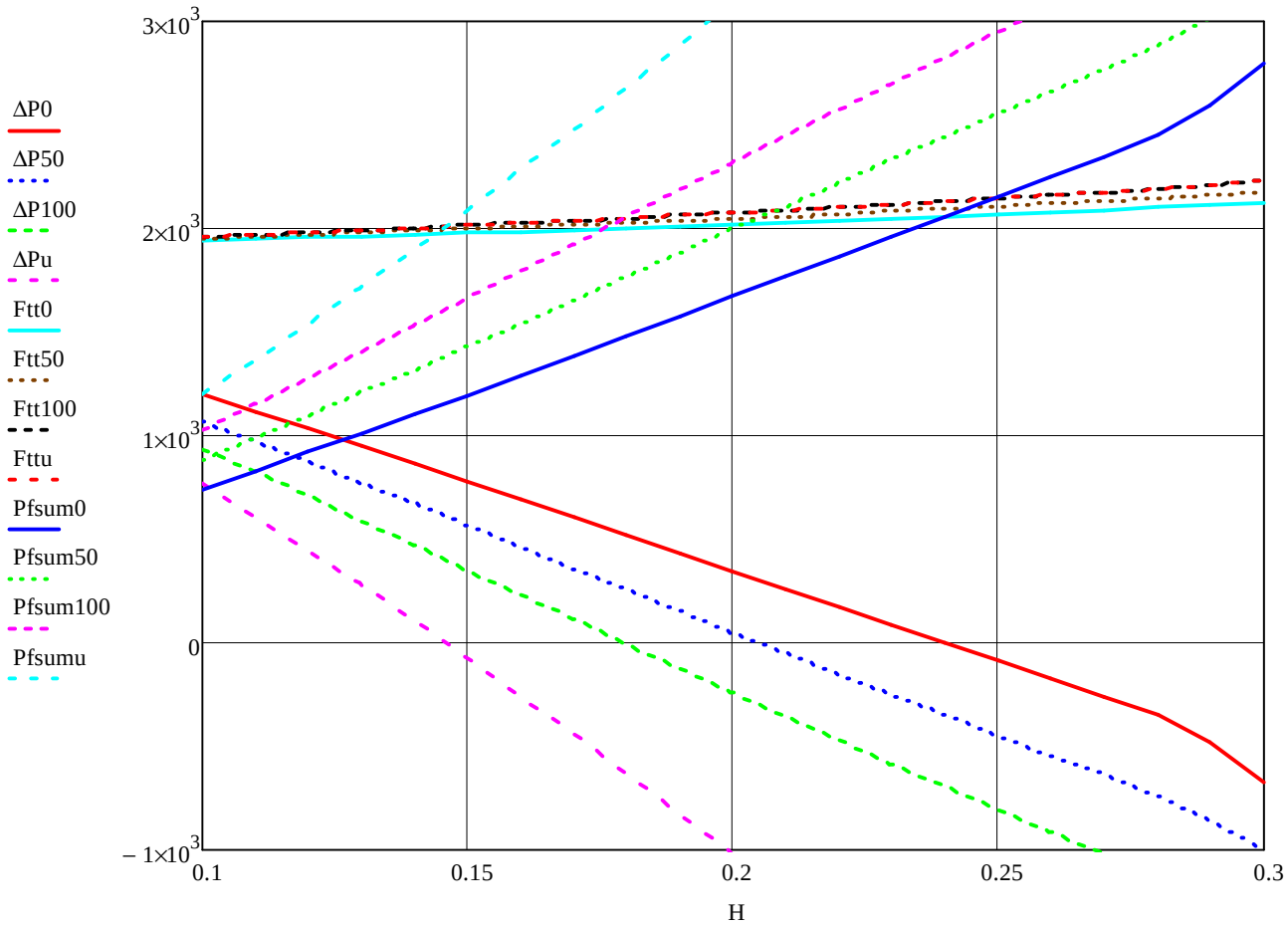


Рисунок П.А.16 – Тип снега – «снег-4», нагрузка на передний мост 7357,5 Н (750 кг), на задний 4905 Н (500 кг)

Полученные данные сведем в таблицу

Тип снега	Режим движения	Max глубина снега, см	Сравнение показателя проходимости
Снег-1	1	29,5	1,00
	2	25,3	0,86
	3	21,4	0,73
	4	18,3	0,62
Снег-2	1	28,5	1,00
	2	24,5	0,86
	3	21,1	0,74
	4	17,7	0,62
Снег-3	1	26,5	1,00
	2	22,7	0,86
	3	20	0,75
	4	16,6	0,63
Снег-4	1	24	1,00
	2	20,5	0,85
	3	18	0,75
	4	14,6	0,61

Снижение проходимости по сравнению с прямолинейным движением.

Режим движения	Нива
2	14-17
3	25-27
4	37-39

Снижение проходимости при криволинейном движении без перекрытия колей, без бокового скольжения; и с боковым скольжением.

Тип снега	Нива
снег-1	14
снег-2	16
снег-3	17
снег-4	19

Как видно из двух последних таблиц, рассогласование колей машины, и боковое скольжение колес приводит к значительному падению проходимости. Но поворотов, в том числе с малыми радиусами избежать невозможно, однако движение без бокового скольжения вполне возможно. Для этого нужно выбирать соответствующий режим движения.

Влияние режима движения на проходимость колесной машины

Рассмотрим влияние режима движения на наличие бокового увода. Проанализируем и простроим графики зависимости скорости движения от радиуса поворота. Причем глубина снега соответствует предельной глубине снега для данного режима.

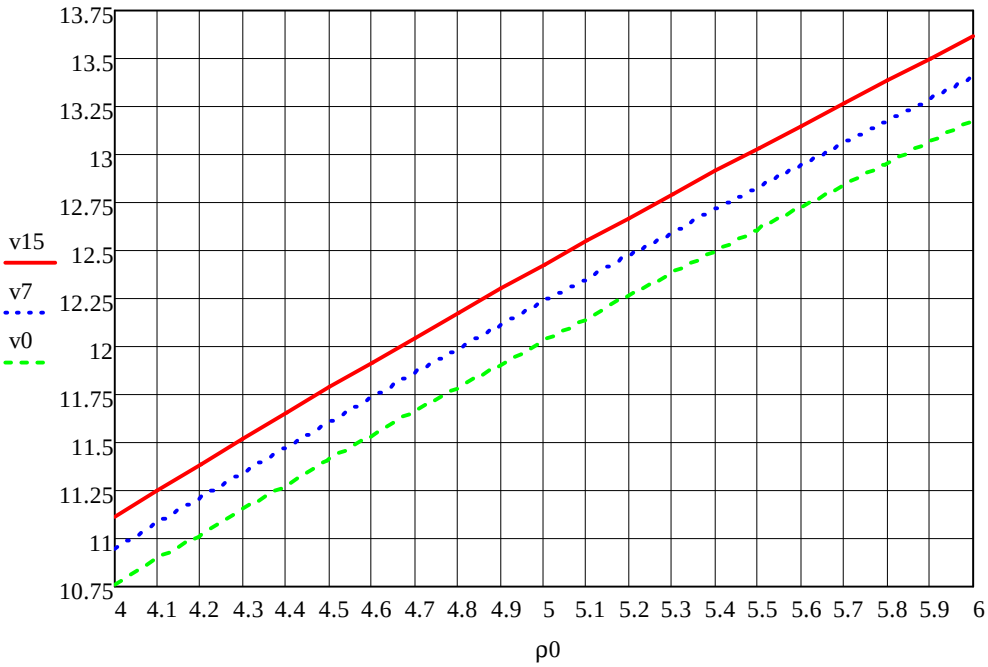


Рисунок П.А.17 – Тип снега – «снег-1», радиус поворота по середине заднего моста 4,3 м

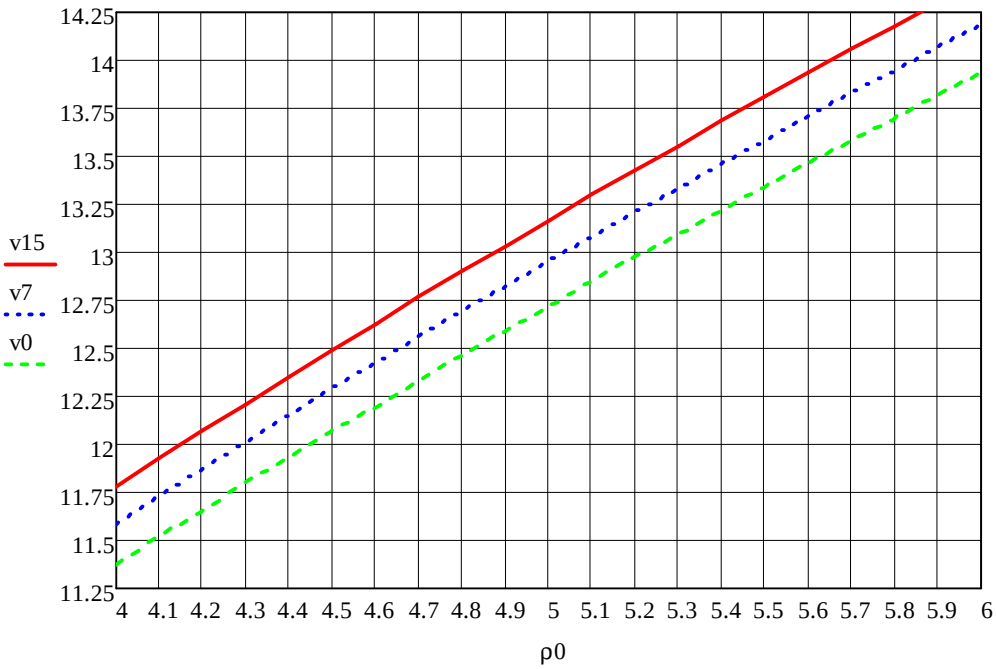


Рисунок П.А.18 – Тип снега – «снег-2», радиус поворота по середине заднего моста 4,3 м

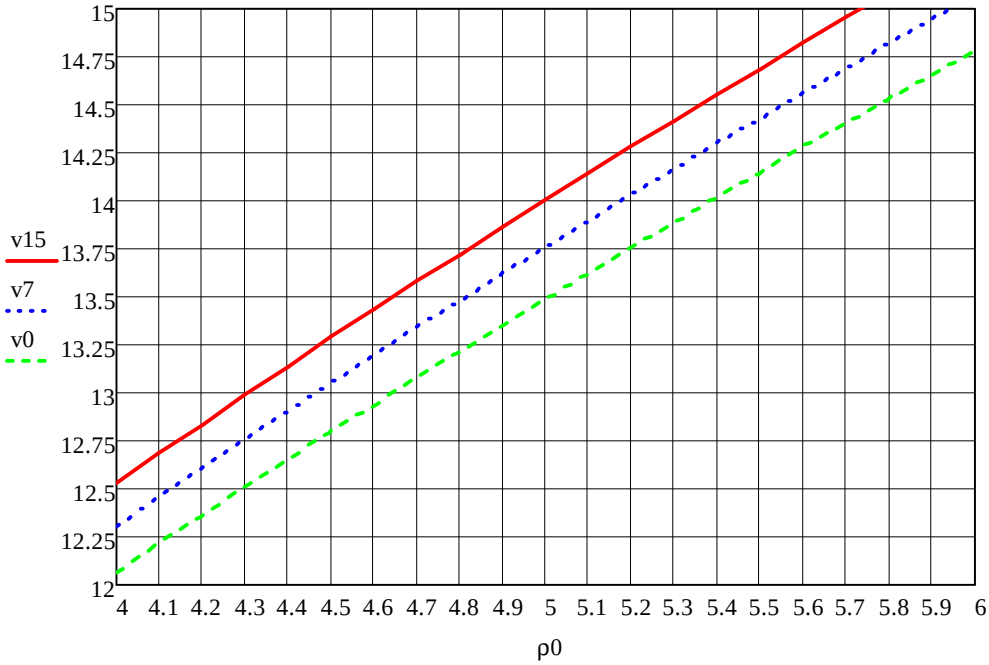


Рисунок П.А.19 – Тип снега – «снег-3», радиус поворота по середине заднего моста 4,3 м

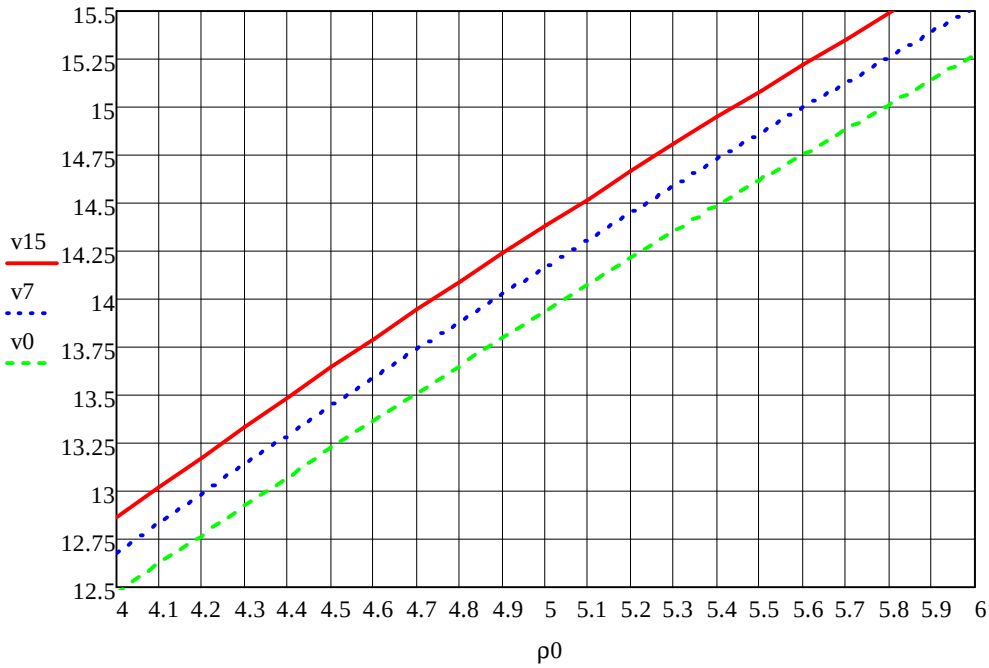


Рисунок П.А.20 – Тип снега – «снег-4», радиус поворота по середине заднего моста 4,3 м

Как видно из графиков предельная скорость по боковому скольжению принимает значения 11,2-12,9 км/ч, причем меньшее значение соответствует снегу с меньшей плотностью, большее – с большей. Данные значения справедливы при движении с минимальным радиусом машины.

Министерство образования и науки Российской Федерации

Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Утверждаю
Ректор НГТУ
_____ В.П. Кириенко

« »_____2010г.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

К НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОМУ ОТЧЕТУ

«Разработка теоретических основ процессов взаимодействия движителей транспортных средств с опорной поверхностью и оценка энергоэффективности движителей в условиях бездорожья»

Государственный контракт № П2094 от 03.11.2009 г.

Научный руководитель:
докт. техн. наук, проф.

_____ В.В. Беляков

(подпись)

Нижний Новгород
2010 г.

ПРОГРАММА ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

С целью обработки цифрового сигнала от трехканального блока анализа сигналов (БАС-4-3) (рисунок П.Б.1) в рамках данной НИР была разработана программа на языке Visual Basic for Applications (VBA) MS Excel.

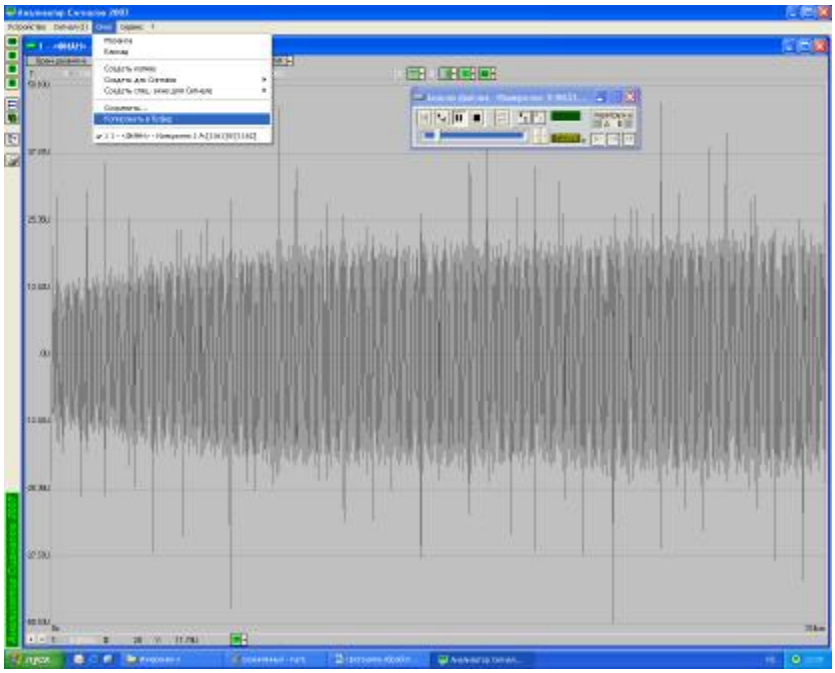


Рисунок П.Б.1 – Общий вид цифрового сигнала от трехканального блока анализа сигналов

Импортируемый массив данных представлен на рисунке П.Б.2

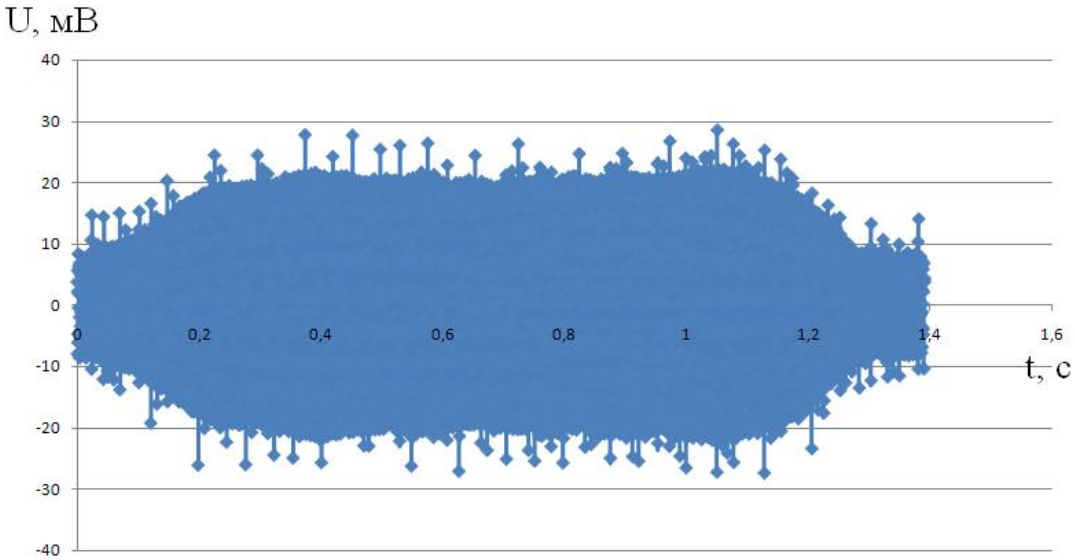
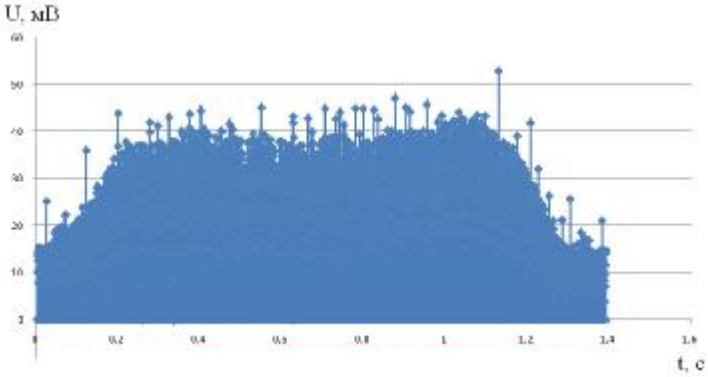
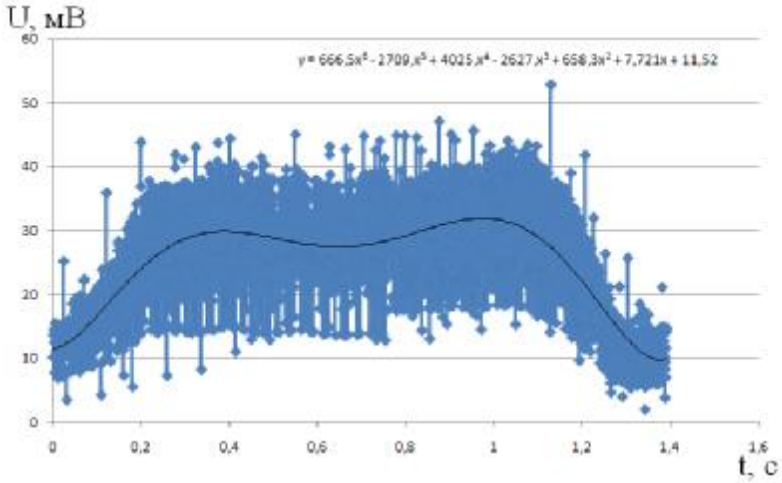


Рисунок П.Б.2 – Импорт данных в MS Excel

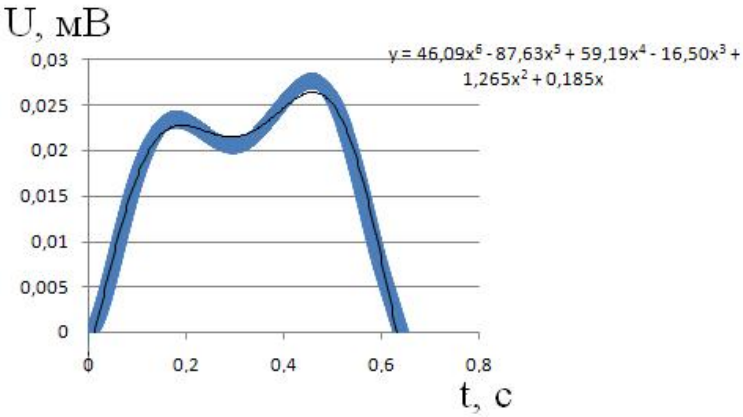
Программа осуществляет амплитудный анализ результатов натурных испытаний, аппроксимацию зависимостей распределения полученного сигнала по площади контакта колеса с опорной поверхностью в разных по ширине сечениях, пересчет данного сигнала с помощью тарировочных зависимостей в исследуемые величины. На рисунке П.Б.3 продемонстрировано выполнение некоторых операций программой обработки результатов экспериментальных исследований.



а



б



с

Рисунок П.Б.3 – Основные операции программы обработки: а – амплитудное преобразование, б – аппроксимация полученного сигнала, в – окончательная обработка

Блок-схема программы обработки представлена на рисунке П.Б.4.

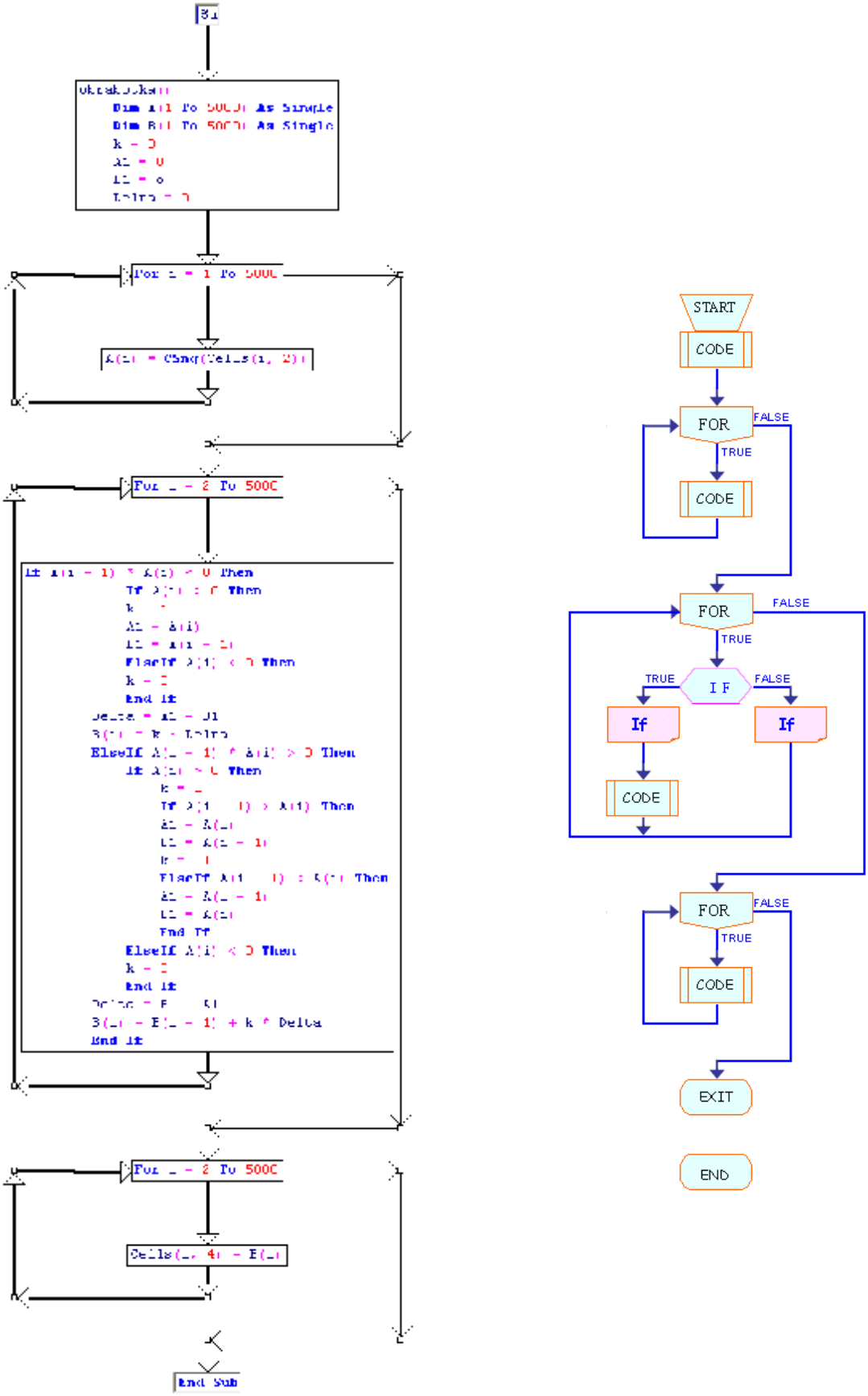


Рисунок П.Б.4 – Блок-схема программы обработки

Текст программы

```
Sub obrabotka()
   Dim A(1 To 5000) As Single
   Dim B(1 To 5000) As Single
   k = 0
   A1 = 0
   B1 = o
   Delta = 0

   For i = 1 To 5000
   A(i) = CSng(Cells(i, 2))
   Next i

   For i = 2 To 5000
      If A(i - 1) * A(i) < 0 Then
         If A(i) > 0 Then
         k = 1
         A1 = A(i)
         B1 = A(i - 1)
         ElseIf A(i) < 0 Then
         k = 0
         End If
      Delta = A1 - B1
      B(i) = k * Delta

      ElseIf A(i - 1) * A(i) > 0 Then
         If A(i) > 0 Then
            k = 1
            If A(i - 1) > A(i) Then
            A1 = A(i)
            B1 = A(i - 1)
            k = -1
            ElseIf A(i - 1) < A(i) Then
            A1 = A(i - 1)
            B1 = A(i)
            End If
         ElseIf A(i) < 0 Then
         k = 0
         End If

      Delta = B1 - A1
      B(i) = B(i - 1) + k * Delta
      End If
      Next i

   For i = 2 To 5000
   Cells(i, 4) = B(i)
   Next i

End Sub
```

```
Sub nool()
   For i = 1 To 5000
   If Cells(i, 4) = 0 Then
   Cells(i, 4).Select
   Selection.ClearContents
   End If
   Next i
End Sub

Sub pr()
   For i = 1 To 5000
   B = Cells(i, 4)
   S = Cells(1, 6)
   A = B - S
   Cells(i, 5) = A
   Next i

   For i = 1 To 5000
   If Cells(i, 4) = 0 Then
   Cells(i, 5).Select
   Selection.ClearContents
   End If
   Next i

End Sub
```