

На правах рукописи



КУЧЕРЕНКО АЛЕКСЕЙ ВИКТОРОВИЧ

**РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ И СРЕДСТВ
ОЦЕНКИ СЦЕПНЫХ СВОЙСТВ ШИН**

Специальности: 05.22.10 - Эксплуатация автомобильного транспорта
05.05.03 - Колесные и гусеничные машины

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Москва 2005

Работа выполнена на кафедре «Организация и безопасность движения» Московского автомобильно - дорожного института (Государственного технического университета).

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ доктор технических наук, профессор
Рябчинский Анатолий Иосифович

НАУЧНЫЙ КОНСУЛЬТАНТ кандидат технических наук, доцент
Русаков Владимир Захарович

ОФИЦИАЛЬНЫЕ ОППОНЕНТЫ доктор технических наук, профессор
Нарбут Андрей Николаевич

кандидат технических наук
Емышев Владимир Сергеевич

ВЕДУЩАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ Федеральное государственное
унитарное предприятие
«Научно - исследовательский
институт шинной промышленности»

Защита состоится 15 февраля 2005 г. в 10⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета Д 212.126.04 при Московском автомобильно-дорожном институте (государственном техническом университете) по адресу: 125319, Москва, А-319, Ленинградский проспект, 64, аудитория 42.

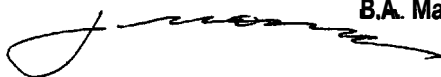
Справки по телефону: 155-03-28

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МАДИ (ГТУ) по адресу: 125319, Москва, А-319, Ленинградский проспект, 64.

Отзывы в двух экземплярах, заверенные печатью, просим направлять в диссертационный совет университета.

Автореферат разослан " ____ " _____ 2005 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
д.т.н., профессор



В.А. Максимов

Общая характеристика работы

Актуальность исследования. Рост автомобильного парка в количественном и качественном отношениях, увеличение средних скоростей и интенсивности движения, а также динамика роста дорожно - транспортных происшествий приводят к тому, что все более актуальной становится проблема обеспечения безопасности движения на дорогах. Постоянно ведутся разработки по совершенствованию конструкции автомобиля для улучшения показателей конструктивной безопасности, но они могут оказаться недостаточно эффективны, если не будет обеспечена надежная связь шины с дорогой, обусловленная сцепными свойствами шин. Особое значение приобретает проблема сцепления шин с дорожной поверхностью в связи с ростом скоростей движения автомобилей. При повышении скорости движения резко снижается сцепление шин с поверхностью дороги, при этом увеличивается тормозной путь автомобиля, ухудшаются параметры устойчивости и управляемости. Дорожно-транспортные происшествия (ДТП) в основном являются следствием комплекса причин, связанных друг с другом. При анализе и определении причин возникновения ДТП часто указывают только на технические неисправности автомобиля, нарушение правил дорожного движения, квалификацию и состояние водителя, в то же время причиной наезда или опрокидывания автомобиля могут являться низкие сцепные свойства шин. Такой подход при фактическом отсутствии требований к сцепным свойствам шин с дорожным покрытием не способствует повышению безопасности дорожного движения. Поэтому измерение, оценка, а в конечном итоге стандартизация такого показателя, как продольный коэффициент сцепления шин, имеют весьма большое значение для предотвращения дорожно-транспортных происшествий и повышения безопасности дорожного движения.

Целью диссертационной работы является повышение показателей активной безопасности автомобиля путем разработки и внедрения в практику усовершенствованного метода оценки сцепных свойств шин с дорожной поверхностью.

Для достижения поставленной цели в работе решались следующие задачи:

- разработка метода оценки сцепных свойств шин;
- разработка математической модели имитационного торможения автомобиля;
- сравнение результатов испытаний шин, полученных различными методами;
- оценка сцепных свойств шин Российских производителей.

Объектом и предметом исследования являются сцепные свойства шин с дорожной поверхностью и их влияние на активную безопасность транспортных средств.

Методы исследования. В диссертационной работе используется математическое моделирование, системный и статистический анализ, экспериментальное исследование.

Научная новизна. Научная новизна работы заключается в разработке и реализации:

- усовершенствованного метода оценки сцепных свойств шин, полностью исключающего влияние оператора на значения регистрируемых параметров;
- имитационной модели торможения автомобиля, позволяющей рассчитать тормозной путь автомобиля с учетом его эксплуатационных параметров и при установке на него шин с различными сцепными свойствами.

Практическая ценность и реализация результатов. Разработанный усовершенствованный метод оценки сцепных свойств шин с мокрой дорожной поверхностью внедрен в испытательную практику ФГУП «НИИШП». Разработанная теоретическая модель расчета тормозного пути автомобиля использована в учебном процессе МАДИ (ГТУ) и ЮРГУЭС.

Апробация работы. Результаты исследований доложены и обсуждены на научно - методических и научно - исследовательских конференциях МАДИ (ГТУ) и ФГУП «НИИШП» (г. Москва 2002, 2003 гг.).

Публикации. По материалам диссертационной работы опубликовано 6 научных статей.

На защиту выносятся:

- имитационная модель торможения автомобиля, реализованная с помощью математических пакетов;
- метод оценки продольного коэффициента сцепления шин автотранспортных средств;
- результаты экспериментальных и теоретических исследований тормозных свойств автомобиля;
- результаты экспериментальных исследований сцепных свойств шин.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, выводов, списка использованной литературы и приложений. Общий объем работы составляет 132 страницы, в том числе 52 иллюстрации и 42 таблицы. Список литературы содержит 111 наименований отечественных и зарубежных авторов.

Основное содержание работы.

Во введении обоснована актуальность темы диссертационного исследования, его научная новизна, а также определена теоретическая база исследования.

В первой главе выполнен анализ исследований ученых, изучавших проблему сцепления шин с дорожной поверхностью: Е.А. Чудакова, В.И. Панина, И.Н. Чернышева, В.С. Фалькевича, Т.П. Джоя, Д.Ц. Хартли, Р.Н. Саала, С.М. Цукерберга, В.И. Кнороза, И.В. Иванова, О.Г. Подлиха, Ш.А. Паршина, В.А. Астрова, И.П. Петрова, В.Ф. Аукашука, В. Хофферберта, В.Е. Гоффа, Д.В. Баджера, Б. Альберта, И. Уолкера, Т. Френга, К.А. Гроша, Д. Балджина, В. Хорна, У. Джойнера и Т. Леланда, В. Генгенбаха, Ю.С. Левина, Ю. В. Кузнецова и др., работы которых непосредственно были посвящены изучению влияния конструктивных, либо эксплуатационных факторов на сцепные свойства шин с дорожной поверхностью. Был проведен анализ методов, используемых в мировой практике для оценки сцепных свойств шин с дорожной поверхностью, стандартизованных в России и разрабатываемых на международном уровне (в качестве поправок к Правилам ЕЭК ООН №30) требований к сцепным свойствам шин. По результатам проведенного анализа сделан вывод о том, что на сегодняшний день нет общеприня-

того метода и методики оценки сцепных свойств шин. Как основа для проводимых исследований взяты два метода оценки сцепных свойств: первый - испытания шин на испытательном автомобиле с торможением до остановки при полной блокировке колес автомобиля, второй - испытания шин на динамометрической тележке. Выбор именно этих методов основан, с одной стороны, на том, что оценка сцепных свойств шин должна происходить в условиях, максимально приближенных к эксплуатационным, а с другой именно эти два метода предложены в качестве базовых группой экспертов по тормозам и ходовой части GRRF рабочей группы WP.29 для внесения поправок к Правилам №30 ЕЭК ООН, касающихся оценки сцепных свойств шин. Также для сравнения взят метод оценки сцепных свойств шин на барабанном стенде, который регламентирован ГОСТом 4754 - 97. Следовательно, необходима разработка методики, которая могла бы обеспечить количественную оценку сцепных свойств шины в отношении коэффициента сцепления соответствующего пиковому значению касательной силы и в отношении коэффициента сцепления, соответствующего значению касательной силы при полном скольжении шины по опорной поверхности. Для более детального понимания происходящих во время торможения автомобиля процессов, а также возможности и необходимости оценки сцепных свойств шин методом торможения до остановки при полной блокировке колес автомобиля была признана целесообразной разработка имитационной модели торможения, в которой оценивалось влияние основных факторов, характеризующих процесс торможения.

Во ВТОРОЙ главе диссертационной работы разработана имитационная модель торможения автомобиля, использованная для анализа метода оценки сцепных свойств шин при торможении автомобиля с полной блокировкой всех колес. В разработанную имитационную модель входят два компонента: механическая система - АВТОМОБИЛЬ и тормозная система. Расчетная схема системы АВТОМОБИЛЬ показана на рис. 1, она состоит из кузова, переднего и заднего мостов и вращающихся колес.

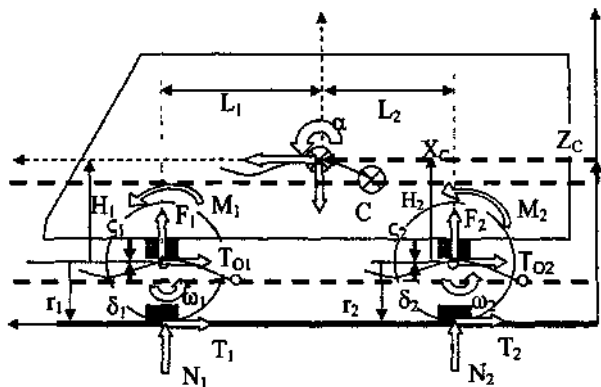


Рис. 1. Расчетная схема механической системы автомобиля для исследования процесса торможения

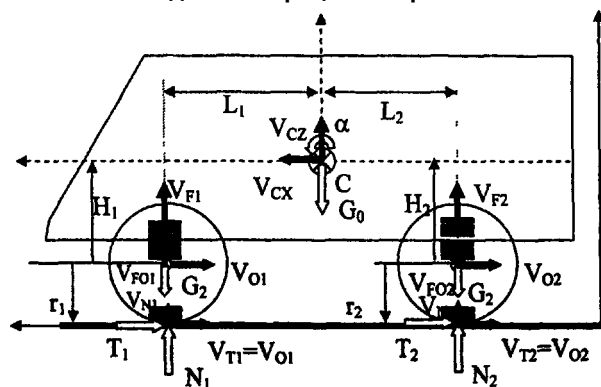


Рис.2. Внешние силы, действующие на автомобиль, и возможные скорости узловых точек приложения этих сил

Система АВТОМОБИЛЬ имеет 7 степеней свободы, которые определяют вектор состояния механической системы, приведенный в табл. 1. Размерность этого вектора - 12, представляет размерность системы дифференциальных уравнений, описывающих движение системы. Для составления уравнений движения используется алгоритм, основанный на применении уравнений движения в форме уравнений движения Лагранжа 2 рода:

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{q}'_j} - \frac{\partial T}{\partial q_j} = Q_j \quad (1)$$

где Т-кинетическая энергия системы:

$$T = \frac{m_0 + m_1 + m_2}{2} (\dot{x}_C)^2 + \frac{m_0}{2} (\dot{z}_C)^2 + \frac{I_0}{2} (\dot{\alpha}')^2 + \frac{m_1}{2} (\dot{z}_1)^2 + \frac{m_2}{2} (\dot{z}_2)^2 + \frac{I_1}{2} (\dot{\omega}_1)^2 + \frac{I_2}{2} (\dot{\omega}_2)^2 \quad (2)$$

$q'_j = \{\dot{x}'_C, \dot{z}'_C, \dot{\alpha}', \dot{z}'_1, \dot{z}'_2, \dot{\omega}_1, \dot{\omega}_2\}$ - вектор обобщенных скоростей.

Таблица 1

Вектор состояния механической системы

1	\dot{x}'_C	Путевая скорость, м/с
2	\dot{z}'_C	Скорость вертикального перемещения ЦТ кузова, м/с
3	$\dot{\alpha}'$	Угловая скорость продольного крена, с ⁻¹
4	\dot{z}'_1	Скорость вертикального перемещения переднего моста, м/с
5	\dot{z}'_2	Скорость вертикального перемещения заднего моста, м/с
6	$\dot{\omega}_1$	Угловая скорость вращения колес переднего моста, с ⁻¹
7	$\dot{\omega}_2$	Угловая скорость вращения колес заднего моста, с ⁻¹
8	x_C	Пройденный путь, м
9	z_C	Вертикальное перемещение ЦТ кузова, м
10	α	Продольный крен, рад
11	z_1	Вертикальное перемещение переднего моста, м
12	z_2	Вертикальное перемещение заднего моста, м

Таблица 2

Кинематические коэффициенты связей механической системы

автомобиль

Узловые точки приложения сил	Скорости узловых точек	$\frac{\partial v_k}{\partial \dot{x}_C}$	$\frac{\partial v_k}{\partial \dot{z}_C}$	$\frac{\partial v_k}{\partial \dot{z}_1}$	$\frac{\partial v_k}{\partial \dot{z}_2}$	$\frac{\partial v_k}{\partial \dot{\alpha}'}$
1	2	3	4	5	6	7
Силы						
в подвеске переднего моста, действующая на кузов, F_1 , Н	$V_{F1} = \dot{z}'_C - L_1 \dot{\alpha}'$	0	1	0	0	$-L_1$

Продолжение табл. 2

1	2	3	4	5	6	7
в подвеске заднего моста, действующая на кузов, F_2 , Н	$V_{F2} = z'_C - L_2 \alpha'$	0	1	0	0	$+L_2$
в подвеске переднего моста, действующая на мост, F_{01} , Н	$V_{F01} = z'_1$	0	0	1	0	0
в подвеске заднего моста, действующая на мост, F_{02} , Н	$V_{F02} = z'_2$	0	0	0	1	0
Реакции						
вертикальная на шины колес переднего моста, N_1 , Н	$V_{N1} = z'_1$	0	0	1	0	0
вертикальная на шины колес заднего моста, N_2 , Н	$V_{N2} = z'_2$	0	0	0	1	0
касательная на колесах переднего моста, T_1 , Н	$V_{T1} = -x'_C + H_1 \alpha'$	-1	0	0	0	H_1
касательная на колесах заднего моста, T_2 , Н	$V_{T2} = -x'_C + H_2 \alpha'$	-1	0	0	0	H_2

Реакции элементов подвески и колес, приложенные в узловых точках вычисляются по формулам, приведенным в табл.3.

Таблица 3

Реакции элементов подвески и колес

Формула для вычисления	Название параметра
1	2
$f_1 = z_C - z_1 - aL_1$	Деформация рессор переднего моста, м
$f'_1 = z'_C - z'_1 - a'L_1$	Скорость деформации рессор переднего моста, м/с

Продолжение табл. 3

1	2
$\delta_1 = z_1$	Радиальная деформация шин переднего моста, м
$\delta_1' = z_1'$	Скорость радиальной деформации шин переднего моста, м/с
$F_1 = -c_{f1}f_1 - b_{f1}f_1'$	Усилие в рессорах переднего моста, Н
$N_1 = -c_{\delta 1}\delta_1 - b_{\delta 1}\delta_1'$	Вертикальная реакция на шины колес переднего моста, Н
$f_2 = z_C - z_2 + aL_2$	Деформация рессор заднего моста, м
$f_2' = z_C' - z_2' + a'L_2$	Скорость деформации рессор заднего моста, м/с
$\delta_2 = z_2$	Радиальная деформация шин заднего моста, м
$\delta_2' = z_2'$	Скорость радиальной деформации шин заднего моста, м/с
$F_2 = -c_{f2}f_2 - b_{f2}f_2'$	Усилие в рессорах заднего моста, Н
$N_2 = -c_{\delta 2}\delta_2 - b_{\delta 2}\delta_2'$	Вертикальная реакция на шины колес заднего моста, Н

Окончательный вид дифференциальных уравнений движения автомобиля, полученных по описанному алгоритму, приведен в табл. 4.

Центральным вопросом построения имитационной модели торможения автомобиля является модель качения колеса в продольной плоскости. В этой модели рассматриваются продольные силы в точках контакта шин с опорной поверхностью. В диссертации использована упрощенная модель, которая построена на основе гипотезы продольного скольжения. По этой гипотезе рассматриваются два режима движения колеса в продольной плоскости: качение с упругим скольжением в зоне контакта и полное скольжение в зоне контакта при блокировании колеса.

Дифференциальные уравнения движения автомобиля

1	$\frac{dx'_c}{dt} = Q_{xc}$	$Q_{xc} = \left(\frac{1}{m_0 + m_1 + m_2} \right) (-T_1 - T_2)$
2	$\frac{dz'_c}{dt} = Q_{zc}$	$Q_{zc} = \left(\frac{1}{m_0} \right) (F_1 + F_2 - G_0)$
3	$\frac{d\alpha'}{dt} = Q_\alpha$	$Q_\alpha = \left(\frac{1}{I_0} \right) (-F_1 L_1 + F_2 L_2 + T_1 H_1 + T_2 H_2)$
4	$\frac{dz'_1}{dt} = Q_{z1}$	$Q_{z1} = \left(\frac{1}{m_1} \right) (N_1 + F_1 - G_1)$
5	$\frac{dz'_2}{dt} = Q_{z2}$	$Q_{z2} = \left(\frac{1}{m_2} \right) (N_2 + F_2 - G_2)$
6	$\frac{d\omega_1}{dt} = Q_{\omega 1}$	$Q_{\omega 1} = \left(\frac{1}{I_1} \right) (-M_1(t) + T_1 r_0)$
7	$\frac{d\omega_2}{dt} = Q_{\omega 2}$	$Q_{\omega 2} = \left(\frac{1}{I_2} \right) (-M_2(t) + T_2 r_0)$
8	$\frac{dx_c}{dt} = x'_c$	-
9	$\frac{dz_c}{dt} = z'_c$	-
10	$\frac{d\alpha}{dt} = \alpha'$	-
11	$\frac{dz_1}{dt} = z'_1$	-
12	$\frac{dz_2}{dt} = z'_2$	-

В области качения с упругим скольжением в зоне контакта, касательная реакция принимается пропорциональной относительной скорости продольного скольжения в зоне контакта колеса с дорогой. В области полного скольжения в зоне контакта при блокировании колеса реакция рассчитывается по закону трения Кулона. Расчетные формулы для задания касательных реакций приведены в табл. 5. При разработке вычислительного алгоритма учитывалась осо-

бенность расчетных формул при значениях скорости движения автомобиля близкой к нулевой (в модели для этого введена граничная скорость скольжения V_s). Это сделано с помощью корректирующих коэффициентов k_{v0} и k_v .

Таблица 5

Расчётные формулы для задания касательных реакций

$\Delta v_1 = x'_c - \omega_1 r_{k1}$	Скорость скольжения колес переднего моста
$\delta_1 = \frac{\Delta v_1}{x'_c k_v + V_0 k_{v0}}$	Относительная скорость скольжения колес переднего моста
$T_{V1} = k_{T1} \delta_1$	Касательная реакция колес переднего моста в области упругого скольжения
$T_1 = \text{if} \left[\begin{array}{l} x'_c > v_c, \text{if} \left[\delta_1 < \delta_V, T_{V1}; \text{if} \left[\delta_1 > 0, N_1 \mu_{S1}, -(N_1 \mu_{S1}) \right]; \right. \\ \left. \text{if} \left[\Delta v_1 > 0, N_1 \mu_{S1}, -(N_1 \mu_{S1}) \right] \right] \right];$	
$\Delta v_2 = x'_c - \omega_2 r_{k2}$	Скорость скольжения колес заднего моста
$\delta_2 = \frac{\Delta v_2}{x'_c k_v + V_0 k_{v0}}$	Относительная скорость скольжения колес заднего моста
$T_{V2} = k_{T2} \delta_2$	Скорость скольжения колес заднего моста в области упругого скольжения
$T_2 = \text{if} \left[\begin{array}{l} x'_c > v_s, \text{if} \left[\delta_2 < \delta_V, T_{V2}; \text{if} \left[\delta_2 > 0, N_2 \mu_{S2}, -(N_2 \mu_{S2}) \right]; \right. \\ \left. \text{if} \left[\Delta v_2 > 0, N_2 \mu_{S2}, -(N_2 \mu_{S2}) \right] \right] \right];$	

В данной модели используются параметры шины, приведенные в табл. 6. Расчетные формулы для определения рабочих значений параметров качения шин при известных из эксперимента значений для базовой скорости:

$$\mu_{s1} = \mu_{s10} \left(1 + k \frac{V_0 - V_{0\mu}}{V_{0\mu}} \right); \quad \mu_{k1} = \mu_{k10} \left(1 + k \frac{V_0 - V_{0\mu}}{V_{0\mu}} \right); \quad k_{T1} = \frac{\mu_{k1} N_{st1}}{\delta_v} \quad (3)$$

Параметры шин используемые в имитационной модели

Обозн. параметра	Наименование параметра
r_{k1}	Радиус качения колес переднего моста, м
r_{k2}	Радиус качения колес заднего моста, м
r_0	Свободный радиус колес, м
μ_{s10}	Коэффициент сцепления при скольжении переднего моста для базовой скорости $V_{0\mu}$
μ_{k10}	Коэффициент сцепления без скольжения переднего моста для базовой скорости $V_{0\mu}$
μ_{s20}	Коэффициент сцепления при скольжении заднего моста для базовой скорости $V_{0\mu}$
μ_{k20}	Коэффициент сцепления без скольжения заднего моста для базовой скорости $V_{0\mu}$
δ_y	Максимальная относительная скорость скольжения
V_s	Граничная скорость скольжения, м/с
k_y	Коэффициент переменной составляющей скорости в скольжении
k_μ	Коэффициент изменения коэффициента сцепления от скорости
$V_{0\mu}$	Базовая скорость для расчета коэффициента сцепления, м/с
k_{T1}	Окружная жесткость шин переднего моста, Н
k_{T2}	Окружная жесткость шин заднего моста, Н
μ_{s1}	Коэффициент сцепления при скольжении переднего моста
μ_{s2}	Коэффициент сцепления при скольжении заднего моста

Независимым компонентом имитационной модели торможения автомобиля является тормозная система (рис. 3).

Для выбранного объекта исследования, автомобиля ГАЗ 2705, тормозная система состоит из главного тормозного цилиндра, подводящих магистралей давления к переднему и заднему мостам и тормозных механизмов. В конструкции данного автомобиля передние тормозные механизмы дискового типа, а задние - барабанного типа. Для оптимизации режима торможения в контур задних тормозных механизмов введено устройство регулирования давления, дей-

ствии которого учтено в модели. Давление в тормозных магистралях определяет тормозные моменты. Действие тормозных моментов F_{T1} и F_{T2} характеризуется функциями давления P_1 и P_2 в магистралях контуров передних и задних тормозов соответственно, а также коэффициентами тормозных моментов на переднем Ψ_1 и заднем Ψ_2 мостах. По этим коэффициентам определяются условные расчетные воздействия M_{01} и M_{02} для давления P_{c2} (максимальное давление, при котором срабатывает корректировочный клапан магистрали задних тормозов).

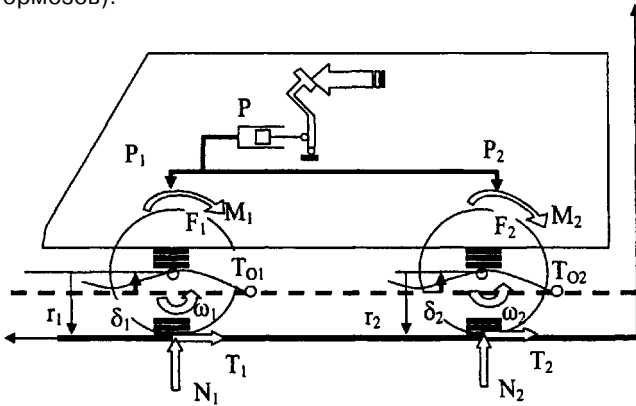


Рис. 3. Расчетная схема тормозной системы

Условные расчетные воздействия приводятся к окружному тормозному усилию по расчетному коэффициенту сцепления. Этот алгоритм расчета дает возможность вариации конструктивных параметров используемых тормозных механизмов и также дает возможность задания тормозного эффекта по экспериментальным данным. Таким образом, в алгоритме используются следующие расчетные соотношения:

- для переднего моста:

$$M_{01} = (\psi_1 N_{s1} \mu_{s1} r_{01}) / P_{c2}; \quad F_{T1}(t) = M_{01} P_1(F_T(t, t_{p1})) \quad (4)$$

- для заднего моста:

$$M_{02} = (\psi_2 N_{s2} \mu_{s2} r_{02}) / P_{c2}; \quad F_{T2}(t) = M_{02} P_2(F_T(t, t_{p2})) \quad (5)$$

На основе описанных расчетных моделей звеньев АВТОМОБИЛЬ и ТОРМОЗНАЯ СИСТЕМА разработана программа имитационного моделирования торможения автомобиля в математическом

пакете MATHCAD. Блок-схема расчетного алгоритма модели показана на рис. 4. Кроме расчетного алгоритма, модель содержит блок ввода и обработки исходных данных и блок вывода расчетных величин. В блок вывода расчетных величин входят: временные записи процессов, числовые характеристики процессов.

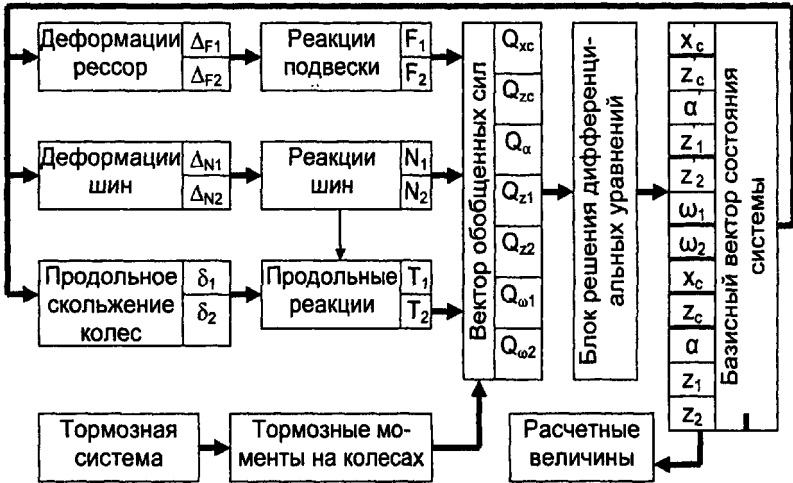


Рис. 4. Блок-схема программного модуля расчетного алгоритма имитационной модели торможения автомобиля

При расчёте по представленной имитационной модели должны проявляться характерные особенности процесса торможения: различные фазы процессов касательных реакций, упругое и полное скольжение шин, разница во времени блокировки колес переднего и заднего мостов, изменение вертикальной реакции, «клевок» по продольному крену. Однако для расчета по разработанной имитационной модели, как видно из табл. 6, необходимы характеристики изменения коэффициента продольного сцепления шин от нагрузки, действующей на шину, линейной скорости движения шины и скольжения шины. Для получения этих данных, сравнения между собой нескольких методов, а также в связи с необходимостью проработки метода оценки сцепных свойств шин, предложенного в проекте дополнения к Правилам №30 ЕЭК ООН, была сконструирована и изготовлена дорожная динамометрическая лаборатория НИИШП.

В третьей главе для достижения поставленных задач на базе Федерального Государственного унитарного предприятия «Научно-исследовательский институт шинной промышленности» (ФГУП «НИИШП») была разработана дорожная динамометрическая лаборатория НИИШП (ДДЛ НИИШП). Лаборатория включает в себя динамометрическую тележку и тягач, в качестве которого используется автомобиль ЗИЛ - 5301 СС, модернизированный для целей испытаний. Разработанный метод основан на регистрации продольной силы, действующей в пятне контакта шины с дорожной поверхностью при затормаживании колеса до полной блокировки в условиях заданной линейной скорости движения колеса и нагрузки, действующей на шину, при нулевых углах наклона и поворота колеса.

Как известно продольная сила, возникающая в пятне контакта шины с дорожной поверхностью при затормаживании колеса до полной блокировки (юза), с последующим растормаживанием, имеет три характерных участка: участок возрастания продольной силы в результате затормаживания испытуемого колеса, при этом продольная сила возрастает до максимального (пикового) значения, соответствующего пиковому значению коэффициента сцепления; горизонтальный участок, на котором продольная сила принимает значение, соответствующее коэффициенту продольного сцепления при полном скольжении шины, при этом колесо полностью заблокировано; участок растормаживания, где продольная сила несколько возрастает в начале участка, а затем падает до минимального значения.

Сравнение сцепных свойств шин выполняется по максимальному (пиковому) значению коэффициента продольного сцепления шин, а также по значению коэффициента продольного сцепления при полном скольжении шины по дорожной поверхности. При этом коэффициент продольного сцепления рассчитывается как отношение измеренной продольной силы в пятне контакта шины с дорожной поверхностью к вертикальной нагрузке, действующей на шину.

Определение максимального (пикового) значения коэффициента продольного сцепления шин наиболее актуально для оценки эффективности тормозных свойств данной шины при её эксплуатации на автомобилях, оснащенных АБС, а значения коэффициента про-

дольного сцепления при полном скольжении шины по дорожной поверхности при оценке эффективности торможения автомобиля с полной блокировкой колес.

Лаборатория позволяет определять коэффициент продольного сцепления шин с посадочным диаметром 13", 14", 15", 16", а также исследовать его зависимость от: типа и состояния дорожного покрытия; степени проскальзывания шины; линейной скорости движения шины; нормальной нагрузки на шину; пленки воды в пятне контакта шины с дорожной поверхностью; внутреннего давления воздуха в шине. Динамометрическая тележка представляет собой одноосный прицеп со смещенным дышлом. Тележка сконструирована таким образом, что испытательным является только одно колесо, что значительно сокращает нагрузку, которая появляется на крюке тягача во время затормаживания испытываемой шины. Сцепное устройство дышла расположено в плоскости вращения испытываемой шины. Такое расположение дышла обеспечивает движение испытываемого колеса по колее, отличной от колеи движения колес тягача, и сводит к минимуму увод тележки при торможении испытываемой шины. На ступице испытываемой шины смонтирован дисковый тормоз, а с другой стороны, ступица без тормозной системы, колесо на этой ступице служит в качестве направляющего и при торможении испытываемого колеса продолжает вращаться и находиться в условиях максимального сцепления. Система затормаживания испытываемого колеса представляет собой пневмогидравлическую тормозную систему. Конструкцией системы затормаживания предусмотрена возможность регулирования интенсивности нарастания тормозной силы на дисковом тормозе. Конструкция подвески обеспечивает возможность регулирования развала и схождения испытываемого колеса. Регулировка нагрузки на шину осуществляется балластными массами, которые загружают в съемный контейнер, являющийся центральной частью тележки. Измерительная система лаборатории состоит из подсистемы измерения продольной силы (цифровой датчик силы) и подсистемы измерения угловых скоростей вращения испытываемого и направляющего колес (датчики угловых скоростей, счетчик импульсов). Принцип действия цифрового датчика силы типа ЦДСС - 1000 основан на преобразовании усилия

приложенного к упругому элементу - датчику, в деформацию чувствительных элементов - кварцевых резонаторов. Кварцевые резонаторы под действием измеряемого усилия изменяют частоту собственных колебаний. Электронный блок преобразует разность этих частот в цифровой сигнал, значение которого пропорционально измеряемому усилию. Для компенсации температурной погрешности в состав датчика входит термодатчик. Данные с датчика силы и датчиков угловых скоростей регистрируются на персональном компьютере. Для сбора и сохранения данных полученных при проведении испытаний разработана программа DATALAB. Программой формируется файл журнала измерений, в котором записываются в хронологическом порядке полученные данные.

Система подачи воды ДДЛ НИИШП состоит из двух емкостей с водой общим объемом 2 м^3 , электронасоса, цифрового расходомера воды, электроклапана, подсистемы регулировки водяного потока, сопла специальной конструкции, дизельной электростанции. Конструкция системы обеспечивает равномерное смачивание поверхности дороги при испытании.

Рабочий цикл ДДЛ НИИШП полностью автоматизирован: управление подачей воды в пятно контакта шины с дорожной поверхностью и затормаживанием колеса осуществляется из кабины тягача.

Анализ точности измерительной системы лаборатории показал, что погрешность её измерительной системы составляет 4,74%, что свидетельствует о приемлемости измерительной системы лаборатории, а погрешность, вносимая оператором, составляет 0%.

В результате выполнения пробных испытаний была разработана методика оценки сцепных свойств шин с дорожной поверхностью с использованием ДДЛ НИИШП.

В четвертой главе была проверена адекватность разработанной имитационной модели торможения автомобиля. Также в четвертой главе было выполнено сопоставление трех методов оценки сцепных свойств шин: с помощью динамометрической тележки; на стенде с качением шины по внутренней поверхности барабана; при торможении до остановки испытательного автомобиля с блокировкой колес. При оценке сцепных свойств шин перечисленными методами были обеспечены максимально приближенные условия прове-

дения испытаний. Испытания на ДДЛ НИИШП и испытательном автомобиле были совмещены и проводились одновременно. Затем шины были испытаны на стенде 3327 с качением шины по внутренней поверхности барабана. При оценке сцепных свойств шин в качестве испытательного транспортного средства использовался автомобиль ГАЗ - 2705 ГАЗель. Оценка сцепных свойств шин на транспортном средстве проводилась при смоченном состоянии дорожной поверхности. Испытания по оценке сцепных свойств шин в дорожных условиях выполнялись на динамометрической дороге ФГУП НИЦИАМТ. Испытания проводили при торможении рабочей тормозной системой автомобиля в режиме экстренного полного торможения путем однократного воздействия на орган управления при отсоединенном двигателе. Результатом испытания являлся тормозной путь автомобиля. Заезды при торможении проводились как в прямом, так и в обратном направлении. Заезды выполнялись до тех пор, пока результаты не принимали стабильный характер. Далее вычислялось среднее значение по тормозным путям при прямом направлении движения автомобиля и при обратном направлении движения, которые затем также усреднялись.

Таблица 7

Характеристики шин, отобранных для испытаний

№ п/п	Размер шины	Модель	Максимальная нагрузка на шину при внутреннем давлении, кг/МПа	Допустимая скорость движения, км/час
1	185/75R16C	K-156	(900/850)/0,48	160
2	185/75R16C	VS-21	(900/850)/0,48	140

Испытания на ДДЛ НИИШП и испытательных автомобилях проводились на одном и том же отрезке дороги. Характеристики шин, отобранных для испытаний, приведены в табл. 7. На автомобиле шины были испытаны при снаряженной нагрузке и скорости начала торможения - 60 км/час. Испытания на ДДЛ НИИШП и стенде 3327 выполнялись при начальном внутреннем давлении воздуха в шине 0,26 МПа, скоростях торможения 40 км/час, 60 км/час, 80 км/час, нагрузках на шину 390 кг, 460 кг и 540 кг. Результаты испытания шин

приведены в табл. 8, 9.

Таблица 8

Результаты испытаний шин 185/75 R16C моделей VS - 21 и К - 156 разными методами. Давление воздуха в шине - 0,26 МПа

Шина	Линейная скорость движения, км/час	Коэффициенты продольного сцепления			
		Испытания на ДДЛ НИИШП		Испытания на стенде 3327	
		Пиковое значение	Значение при полном скольжении шины	Пиковое значение	Значение при полном скольжении шины
Нагрузка на шину – 390 кг					
185/75 R16C VS - 21	40	0,83	0,60	0,79	0,57
	60	0,78	0,52	0,74	0,48
	80	0,75	0,46	0,71	0,42
185/75 R16C K -156	40	0,87	0,68	0,82	0,63
	60	0,83	0,59	0,80	0,52
	80	0,81	0,50	0,78	0,45
Нагрузка на шину – 460 кг					
185/75 R16C VS - 21	40	0,82	0,59	0,77	0,54
	60	0,78	0,50	0,73	0,46
	80	0,74	0,44	0,69	0,39
185/75 R16C K -156	40	0,85	0,67	0,81	0,60
	60	0,83	0,56	0,79	0,48
	80	0,80	0,47	0,77	0,42
Нагрузка на шину – 540 кг					
185/75 R16C VS - 21	40	0,79	0,57	0,76	0,51
	60	0,76	0,46	0,71	0,41
	80	0,73	0,42	0,68	0,36
185/75 R16C K -156	40	0,84	0,64	0,81	0,57
	60	0,81	0,55	0,78	0,46
	80	0,78	0,45	0,76	0,40

Значения коэффициентов продольного сцепления шин 185/75 R16C моделей VS - 21 и K - 156, полученные при испытаниях на ДДЛ НИИШП и стенде 3327, а также тормозные пути автомобиля ГАЗ - 2705

шина	Значение коэффициента сцепления				Тормозной путь автомобиля, м
	Пиковое при испытаниях на ДДЛ НИИШП	Пиковое при испытаниях на стенде 3327	При скольжении шины на ДДЛ НИИШП	При скольжении шины на стенде 3327	
185/75R16C	0,81	0,78	0,50	0,45	23,98
K-156	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
185/75R16C	0,75	0,71	0,46	0,42	25,62
VS-21	93,17%	91,03%	92,53%	93,33%	106,84%

Для сопоставления результатов, полученных при испытаниях шин на ДДЛ НИИШП и стенде 3327, был выполнен регрессионный анализ. В результате регрессионного анализа получено следующее уравнение регрессии:

$$y = 0,9486x + 0,0761. \quad (6)$$

При этом величина достоверности $R^2 = 0,97$, что свидетельствует о значительной связи между данными, полученными на ДДЛ НИИШП и стенде 3327.

Используя данное уравнение и результаты испытаний шин на стенде 3327 была проанализирована подготовленность Российских производителей шин к введению в Правила ЕЭК ООН поправки, касающейся сцепных свойств шин. Для оценки отобрали 32 шины, из которых 8 - импортного производства. Результат анализа показал, что 53% испытанных шин соответствуют требованиям проекта, а 47% не соответствуют, при этом из соответствующих шин 41% составляют шины импортного производства, а из несоответствующих всего 6%. Возможно, представленная выборка не отражает всего рынка шин России. Но то, что ни у одной из испытанных шин Российского производства показатель пикового коэффициента сцепления не достиг величины 0,9, а у большинства импортных шин превысил его, - является тревожным фактором.

Используя в качестве исходных данных результаты испытаний шин 185/75 R16C модели K - 156 и 185/75 R16C модели VS - 21 на ДДЛ НИИШП, приведенные в табл. 8, были проведены расчеты тормозного пути автомобиля ГАЗ - 2705 с использованием разработанной имитационной модели.

Расчетные данные были сопоставлены с данными, полученными при испытаниях автомобиля ГАЗ - 2705 на двух комплектах шин 185/75 R16C модели K - 156 и 185/75 R16C модели VS - 21 и с расчетными данными, полученными при расчете тормозного пути автомобиля классическим методом.

Результаты расчета по имитационной модели, а так же результаты расчета тормозного пути автомобиля классическим методом без учета перераспределения масс автомобиля и изменения коэффициента продольного сцепления шины в зависимости от линейной скорости движения приведены в табл. 10. Также в таблице приведены экспериментальные данные, полученные при торможении реального автомобиля ГАЗ - 2705.

Таблица 10

Значения тормозного пути автомобиля ГАЗ 2705 полученные при расчете и экспериментально

Модель шины	По разработанной имитационной модели, м	По классической модели, м	При реальных дорожных испытаниях, м
185/75 R16C модели K – 156	24,53	17,11	23,98
185/75 R16C модели VS – 21	27,8	19,84	25,62

Анализ полученных при расчете динамических зависимостей показал, что в процессе торможения автомобиля с установленными на нем шинами 185/75 R16C модели K - 156 и VS - 21:

1. Колеса переднего моста автомобиля блокируются быстрее, чем колеса заднего моста при торможении на обеих моделях шин;
2. Нормальная реакция на колесах передней оси имеет значения выше при торможении автомобиля с установленными шинами модели K—156;

3. Касательные реакции на колесах передней оси также имеют значения выше при установке шин модели K - 156;
4. Блокирование колес заднего моста автомобиля происходит быстрее при установленных шинах модели K - 156;
5. Значение тормозного пути автомобиля больше при торможении на шинах модели VS - 21.

Таким образом, можно говорить о том, что разработанная имитационная модель отражает большинство реальных процессов, происходящих при торможении реального автомобиля.

Сопоставляя значения тормозного пути автомобиля, полученные при расчете классическим методом, методом, представленным в диссертационной работе, и результаты экспериментальных исследований можно сделать вывод, что значения тормозных путей, полученные при расчете классическим методом, и экспериментальные данные различаются на 28,64% для шин 185/75 R16C модели K - 156 и 22,56% для шин 185/75 R16C модели VS - 21, значения, полученные методом расчета, описанным в диссертационной работе, и экспериментальные данные на 2,24% для шин 185/75 R16C модели K - 156 и 7,8% для шин 185/75 R16C модели VS - 21.

Анализируя представленную имитационную модель торможения автомобиля, можно говорить о том, что в результате испытаний мы получаем «среднее значение» коэффициента сцепления шины для интервала скоростей между которыми происходит торможение, и интервала нагрузок, действующих на шины, т.е. здесь необходимо говорить не об оценке сцепления шины с дорожной поверхностью, а об оценке применимости или работоспособности данной шины на данном автомобиле. Таким образом, наиболее подходящим для оценки сцепных свойств шин можно считать представленный в работе метод, основанный на использовании разработанной динамометрической тележки.

Основные выводы и рекомендации

1. Анализ существующих в испытательной практике методов оценки сцепных свойств шин с дорожной поверхностью, а также стандартов, регламентирующих сцепные свойства шины с дорожной поверхностью показал, что существующие нормативы не достаточно проработаны для их применения и отсутствует общепринятая методика оценки сцепных свойств шин.

2. Разработанная и реализованная с помощью современных программных средств (пакет MathCAD) имитационная модель торможения автомобиля, учитывающая особенности тормозной системы автомобиля, изменение коэффициента продольного сцепления шин автомобиля при торможении, перераспределение нагрузки между осями автомобиля при торможении, позволяет рассчитывать основные параметры движения автомобиля при торможении.

3. Представленная имитационная модель торможения позволяет фиксировать характерные особенности процесса торможения: различные фазы процессов касательных реакций, упругое и полное скольжение шин, разницу во времени блокировки колес переднего и заднего мостов, изменение вертикальной реакции. При этом расхождение значений, полученных разработанным в диссертационной работе методом расчета и экспериментальными данными, составляет 2,24% для шин 185/75 R16C модели K - 156 и 7,8% для шин 185/75 R16C модели VS - 21, что позволяет говорить об адекватности модели и эксперимента.

4. Разработанная и изготовленная дорожная динамометрическая лаборатория НИИШП с автоматизированной системой проведения испытаний позволяет оценивать продольный коэффициент сцепления шины с дорожной поверхностью при следующих переменных: нормальной нагрузке, действующей на колесо; линейной скорости движения шины; пленке воды в пятне контакта шины с дорожной поверхностью; давления воздуха в шине, на различных дорожных поверхностях.

5. Выполненный анализ точности измерительной системы ДДЛ НИИШП показал, что погрешность измерительной системы лаборатории составляет 4,74%, что свидетельствует о приемлемости

измерительной системы лаборатории, а влияние оператора на результаты испытаний исключено.

6. Выполненные сравнительные испытания различных образцов шин на ДДЛ НИИШП, стенде 3327 с качением шины по внутренней беговой поверхности барабана и испытательном автомобиле показали, что результаты испытаний, полученные перечисленными методами, сопоставимы. В результате выполненного регрессионного анализа результатов испытаний шин на ДДЛ НИИШП и стенде 3327 было получено уравнение регрессии $y=0,9486x+0,0761$ с величиной достоверности $R^2 = 0,97$, которое можно использовать для пересчета результатов испытаний, полученных на стенде 3327 в результаты ДДЛ НИИШП, и наоборот.

7. Использование разработанного метода позволило получить зависимости коэффициента продольного сцепления шин от линейной скорости движения шин, нормальной нагрузки, действующей на шину, давления воздуха в шине. Зависимости, полученные при испытаниях, подтверждают данные, полученные другими исследователями.

8. Рекомендуется ранжировать шины, эксплуатируемые в России, по сцепным свойствам, т.е. ввести обозначение сцепных свойств шины на её боковине. Для повышения безопасности движения автомобилей в транспортном потоке предлагается информировать других водителей об использовании на данном автомобиле шин с повышенными сцепными свойствами.

9. Разработанный метод и средство оценки сцепных свойств шин с мокрой дорожной поверхностью может быть взят за основу для утверждения стандартного метода оценки продольного коэффициента сцепления шин.

Основные положения работы отражены в следующих публикациях:

1. Калининский В.С. Кучеренко А.В. Опрышко В.Ф. Щередин В.А. Исследование сцепных свойств шин с мокрой дорожной поверхностью // Ассоциация автомобильных инженеров России: Материалы конференций за 2001-2002 гг./ ФГУП НИЦИАМТ. Дмитров-7, 2002.

2. Кучеренко А.В. Юрьев Ю.М Сцепные свойства шин с влажной асфальтобетонной поверхностью и сопротивление качению при различной рецептуре резины протектора// Проблемы шин и резинокордных композитов: Сборник научных трудов. М., 2001.

3. Кучеренко А.В. Юрьев Ю.М Обзор зарубежных конструкций испытательных стендов// Проблемы шин и резинокордных композитов: Сборник научных трудов. М., 2001.

4. Рябчинский А.И. Русаков В.З. Карпов В.В. Устойчивость и управляемость автомобиля и безопасность дорожного движения. Шахты, 2003. (с.49-52)

5. Русаков В.З. Кучеренко А.В. Теоретические основы моделирования торможения автотранспортного средства// Известия высших учебных заведений северо - кавказский регион: Сборник научных трудов. Новочеркасск, 2004.

6. Русаков В.З. Додонов Б.М. Кучеренко А.В. Имитационная модель торможения автомобиля// Моделирование. Теория, методы и средства: Материалы IV международной научно - практической конференции. Новочеркасск, 2004.

05.22

22 FEB 2005