

УДК 050(06)  
ББК 9я54  
Т 78

Т 78 Труды Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева  
НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – Нижний Новгород, 2014. № 4 (106). – 383 с.

Выходит 4 раза в год

Главный редактор С.М. Дмитриев

### РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Н.Ю. Бабанов (зам. гл. редактора), М.В. Ширяев (зам. гл. редактора), Е.Г. Ивашкин (зам. гл. редактора),  
О.В. Пугина (отв. редактор), А.В. Крылова (глав. редактор выпуска)  
Члены редколлегии: В.Г. Баранов, В.Д. Вавилов, А.М. Грошев, В.М. Галкин, А.Е. Жуков,  
А.Б. Дарьенков, В.Е. Колотилин, А.А. Куркин, Д.Н. Лапаев, М.Г. Михаленко, А.Ю. Панов,  
В.П. Хранилов, А.Е. Хробостов, Е.А. Чернышов

### РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

Председатель *Федор Михайлович Митенков*  
(академик РАН, д-р физ.-мат. наук, проф.,  
директор ОКБМ Африкантов)  
Заместитель председателя *Сергей Михайлович Дмитриев*  
(д-р техн. наук, проф., ректор НГТУ им. Р.Е. Алексеева)  
Ответственный секретарь *Владимир Викторович Беляков*  
(д-р техн. наук, проф., начальник УНИИИР)

### ЗАРУБЕЖНЫЕ ЧЛЕНЫ СОВЕТА

*Дмитрий Ефимович Пелиновский* PhD, проф. Математики, Университет Мак Мастера,  
Хамилтон, Онтарио, Канада  
*Ласло Палкович Варлаки Петер Виджай Кумар* Проф. Сечени Иштван Университет, Венгрия  
Проф. Сечени Иштван Университет, Венгрия  
*Ялчнер Ахмед К.* Д-р философии, проф. – исследователь,  
Шив Надар Университет, Индия  
Д-р, профессор, METU, директор OERC, Турция

### ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОГО СОВЕТА

*Гулъяев Юрий Васильевич* Член Президиума РАН, академик, д-р физ.-мат. наук, проф.,  
директор Института радиоэлектроники РАН им. В.А. Котельникова  
*Гринберг Руслан Семенович* Член-кор. РАН, д-р эконом. наук, проф.,  
Директор Института ФГБУН экономики РАН  
*Бабанов Николай Юрьевич* Канд. техн. наук, доцент, проректор на научной работе НГТУ  
*Ширяев Михаил Виссарионович* Канд. техн. наук, доцент, проректор по развитию НГТУ  
*Ивашкин Евгений Геннадьевич* Канд. техн. наук, доцент, проректор по учебной работе НГТУ  
*Митяков Сергей Николаевич* Д-р физ.-мат. наук, проф., директор ИНЭУ НГТУ  
*Куркин Андрей Александрович* Д-р мат. наук, проф., зав. кафедрой ПМ  
*Воротыниев Владимир Михайлович* Д-р хим. наук, проф., зав. кафедрой ФТМКЭТ  
*Кондратьев Вячеслав Васильевич* Член-кор. РАН, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой ВСТ  
*Рындык Александр Георгиевич* Д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой ИР  
*Рассвакий Сергей Борисович* Д-р техн. наук, профессор  
*Кошелев Олег Сергеевич* Д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой МТКОДСП  
*Кулепов Виктор Федорович* Д-р техн. наук, профессор, директор ДПИ (филиал НГТУ)

УДК 050(06)  
ББК 9я54

Электронный адрес журнала:  
http://www.nntu.ru/journal

Свидетельство о регистрации СМИ  
в Роскомнадзоре № ФВ 77-56417

© Нижегородский государственный технический  
университет им. Р.Е. Алексеева, 2014

<b>ЭКОНОМИКА, ИННОВАЦИИ И МЕНЕДЖМЕНТ.....</b>	110
А.С. Узбекова А.С., Малышева И.С. Перспективы и проблемы создания масложи- рового кластера в Нижегородской области.....	110
<b>СОЦИАЛЬНЫЕ НАУКИ, ИННОВАЦИИ В ОБРАЗОВАНИИ, PR-ТЕХНОЛОГИИ.....</b>	118
Ивакин Г.А. Черносотенное движение начала XX века: от организационного оформления к попыткам объединения.....	118
<b>МИКРОЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ.....</b>	125
Волков В.Л., Жидкова Н.В., Жидков А.А. Комплексная обработка информации в микроэлектромеханической системе.....	125
<b>МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В ЕСТЕСТВЕННЫХ, ТЕХНИЧЕСКИХ И СОЦИАЛЬНЫХ НАУКАХ.....</b>	133
Козицин А.С., Шадрин Е.В. Изучение влияния микропроцессов на состояние сис- темы на примере компьютерной модели «Маргаритковый мир».....	133
<b>МАТЕРИАЛЫ 87-Й МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ «ЭКСПЛУАТАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ».....</b>	143
<b>Секция 1. «АКТИВНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ И ДИНАМИКА ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ».....</b>	143
Савельев В.А. Определение частоты резонансных изгибных колебаний карданного вала при действии неуравновешенных сил инерции второго порядка рядного четы- рехцилиндрового двигателя.....	143
Кристалный С.Р., Фомичёв В.А., Попов Н.В. Эффективность действия АБС на автомобиле, оснащённом шипованными шинами, и её экспериментальное определение.....	149
Истомин Д.И., Келлер А.В., Шелепов А.А. Оценка влияния винтошарикового дифференциала на колесное транспортное средство.....	157
Дыгало В.Г., Котов В.В., Дыгало Л.В., Ревин А.А. Применение виртуально- физической технологии моделирования при исследовании влияния на рабочий про- цесс неисправностей пневматической тормозной системы с АБС.....	163
Дыгало В.Г., Котов В.В., Дыгало Л.В., Ревин А.А. Верификация результатов мо- делирования тормозной динамики автомобиля с пневматической АБС.....	169
Сергиевский С.А. Компьютерное виртуальное моделирование динамики двухсек- ционной гусеничной машины.....	176
Соловьев Д.В., Герасин А.В., Штурмин А.А., Отмахов В.И. Исследование влия- ния силового агрегата на виброакустические показатели легкого коммерческого гру- зового автомобиля.....	183
Анучин И.Е., Тумасов А.В., Беляков В.В. Влияние расположения антикрыльев на аэродинамические характеристики спортивного автомобиля класса «формула-1» студент.....	189

УДК 629.3

С.Р. Кристальный, В.А. Фомичёв, Н.В. Попов

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ ДЕЙСТВИЯ АБС НА АВТОМОБИЛЕ, ОСНАЩЁННОМ ШИПОВАННЫМИ ШИНАМИ, И ЕЁ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет

Представлены результаты испытаний эффективности действия АБС на льду. Приведены зависимости коэффициента сцепления от скольжения для зимних шипованной и нешипованной шин на льду. Описывается метод определения коэффициента сцепления шипованной шины с опорной поверхностью при помощи автомобиля – шинного тестера.

*Ключевые слова:* шинный тестер, испытания, коэффициент сцепления, антиблокировочные системы, шипованные шины.

Кафедрой «Автомобили» МАДИ в сотрудничестве с НИЦИАМТ ФГУП «НАМИ» на территории Дмитровского автополигона были проведены научно-исследовательские испытания эффективности действия антиблокировочных систем тормозов (АБС) на автомобилях, оснащённых шипованными шинами. В процессе испытаний планировалось получить зависимость коэффициента сцепления от скольжения для зимней шипованной шины ( $\varphi - S$  диаграмму) на льду, а также сравнить эффективность действия АБС при торможении на льду легкового автомобиля, оснащённого шипованными и такими же нешипованными шинами. Для этого фирмой Yokohama были предоставлены два комплекта аналогичных по размеру и конструкции зимних шин модели iceGUARD Stud IG35 (размерность 185/70 R14 92T), отличающихся друг от друга только наличием шипов противоскольжения у одного комплекта.

Испытания были проведены с помощью автомобилешинного тестера, конструкция которого подробно описана в [5, 6, 7].

### Характеристика проведенных испытаний

Программа испытаний была основана на методике измерения коэффициента реализуемого сцепления  $\varepsilon$  (Приложение 13 к Правилам ЕЭК ООН № 13 (-09)) [1] и включала проведение серий следующих испытательных заездов на льду:

- 1) торможение с начальной скоростью 55 км/ч с АБС, работающей в режиме непрерывной цикличности – для определения коэффициента торможения  $Z_{AL}$ ;
- 2) торможение с начальной скоростью 50 км/ч передней осью (задние тормозные механизмы отключены) без АБС с постепенным увеличением давления в тормозном трубопроводе – для определения коэффициента сцепления передней оси  $k_f$ ;
- 3) торможение с начальной скоростью 50 км/ч задней осью (передние тормозные механизмы отключены) без АБС с постепенным увеличением давления в тормозном трубопроводе – для определения коэффициента сцепления задней оси  $k_r$ .

Лёд был наморожен на прямолинейном горизонтальном участке для оценки тормозных свойств автомобилей с АБС полигона НИЦИАМТ. Стабильность результатов обеспечилась тщательным соблюдением тождественности условий проведения испытаний: температуры окружающего воздуха и льда не отличались более чем на 0,5 °С от заезда к заезду, состояние льда и атмосферы были идентичными за все время проведения испытательных заездов (табл. 1).

Условия проведения испытаний

Таблица 1

Температура воздуха	-9,2...-9,7 °С
Температура льда	-7,6...8,1 °С
Состояние льда	Неразбитый, чистый
Состояние атмосферы	Осадки отсутствовали, солнечно

Весовые и геометрические характеристики испытательного автомобиля, используемые при определении коэффициента реализуемого сцепления  $\varepsilon$ , представлены в табл. 2.

Характеристики испытательного автомобиля

Таблица 2

Масса, приходящаяся на переднюю ось, кг	822,5
Масса, приходящаяся на заднюю ось, кг	551
Общая масса, кг	1373,5
База, мм	2615
Высота центра масс, мм	545,5

Общая масса автомобиля состояла из масс снаряженного автомобиля, испытателя-эксперта, балласта и испытательного оборудования. Автомобиль был забалластирован 75 кг с целью достижения равномерного распределения нагрузок по бортам для уравнивания массы водителя. Количество топлива в баке поддерживалось в диапазоне 25...28 л. Давление в шинах было выставлено номинальное – 2,2 кгс/м<sup>2</sup>. Высота центра масс была определена по методике полигона НИЦИАМТ ФГУП «НАМИ» (РД 37.052.207-89).

#### Методика обработки экспериментальных данных и результаты проведённых испытаний

Коэффициент реализуемого сцепления  $\varepsilon$  определяется отношением максимального коэффициента торможения при включенной АБС ( $Z_{AL}$ ) к коэффициенту сцепления ( $k_M$ ) [1]:

$$\varepsilon = \frac{Z_{AL}}{k_M} \quad (1)$$

Коэффициент сцепления  $k_M$  рассчитывается с учётом динамических нагрузок на ось на основании полученных коэффициентов сцепления  $k_f$  и  $k_r$ .

Передний  $k_f$  и задний  $k_r$  коэффициенты сцепления для переднеприводного автомобиля рассчитываются по формулам [1]:

$$k_f = \frac{z_m \cdot P - 0,01 \cdot P_2}{P_1 + \frac{h}{E} \cdot z_m \cdot P} \quad (2)$$

$$k_r = \frac{z_m \cdot P - 0,015 \cdot P_1}{P_2 - \frac{h}{E} \cdot z_m \cdot P} \quad (3)$$

где  $z_m$  – средний минимальный коэффициент торможения;  $P$  – масса автомобиля, кг;  $P_1$  – масса автомобиля, приходящаяся на переднюю ось, кг;  $P_2$  – масса автомобиля, приходящаяся на заднюю ось, кг;  $h$  – высота центра масс, мм;  $E$  – база, мм.

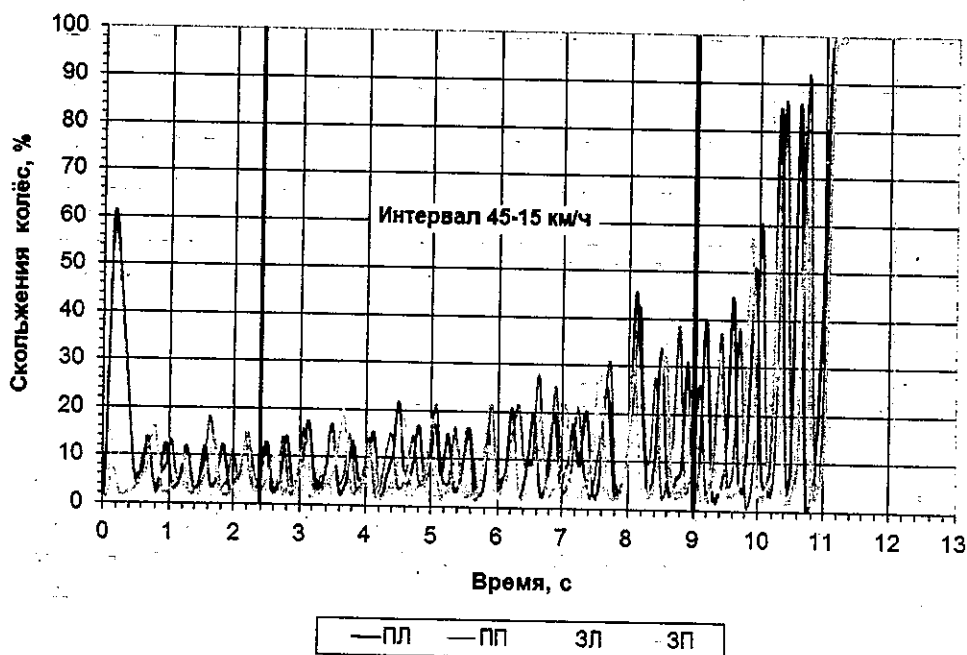
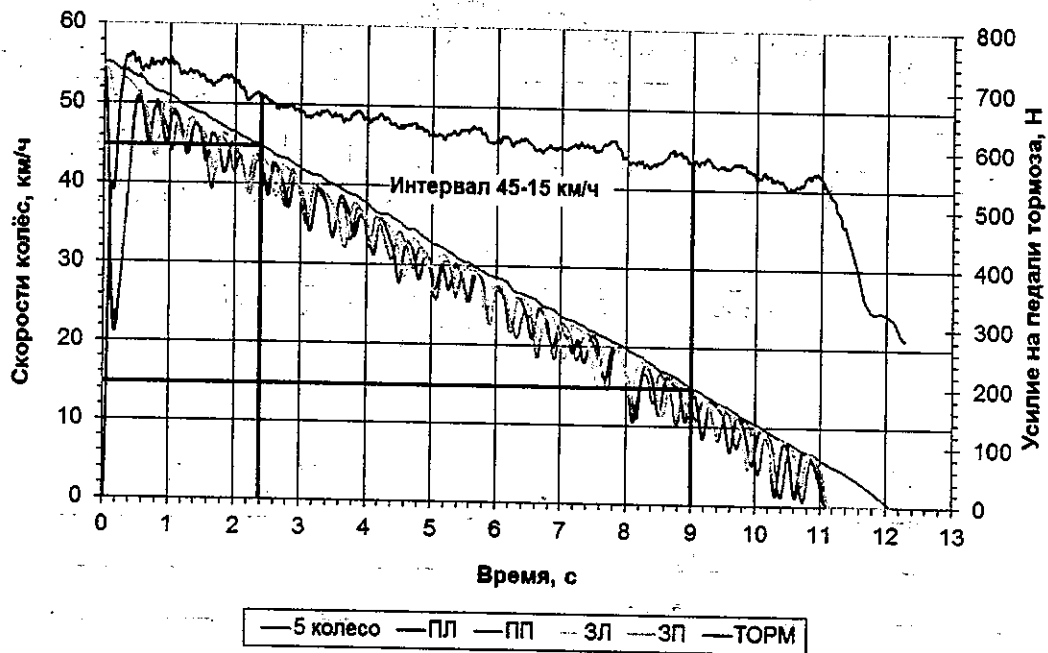
Подробно процедура определения  $Z_{AL}$ ,  $k_f$  и  $k_r$  и  $k_M$  изложена в [1].

Записи параметров движения автомобиля в графическом виде при проведении типовых заездов по определению коэффициентов  $Z_{AL}$ ,  $k_f$ ,  $k_r$  приведены на рис. 1-3. На графиках отображаются окружные скорости каждого из колёс, скорость автомобиля по «пятому коле-

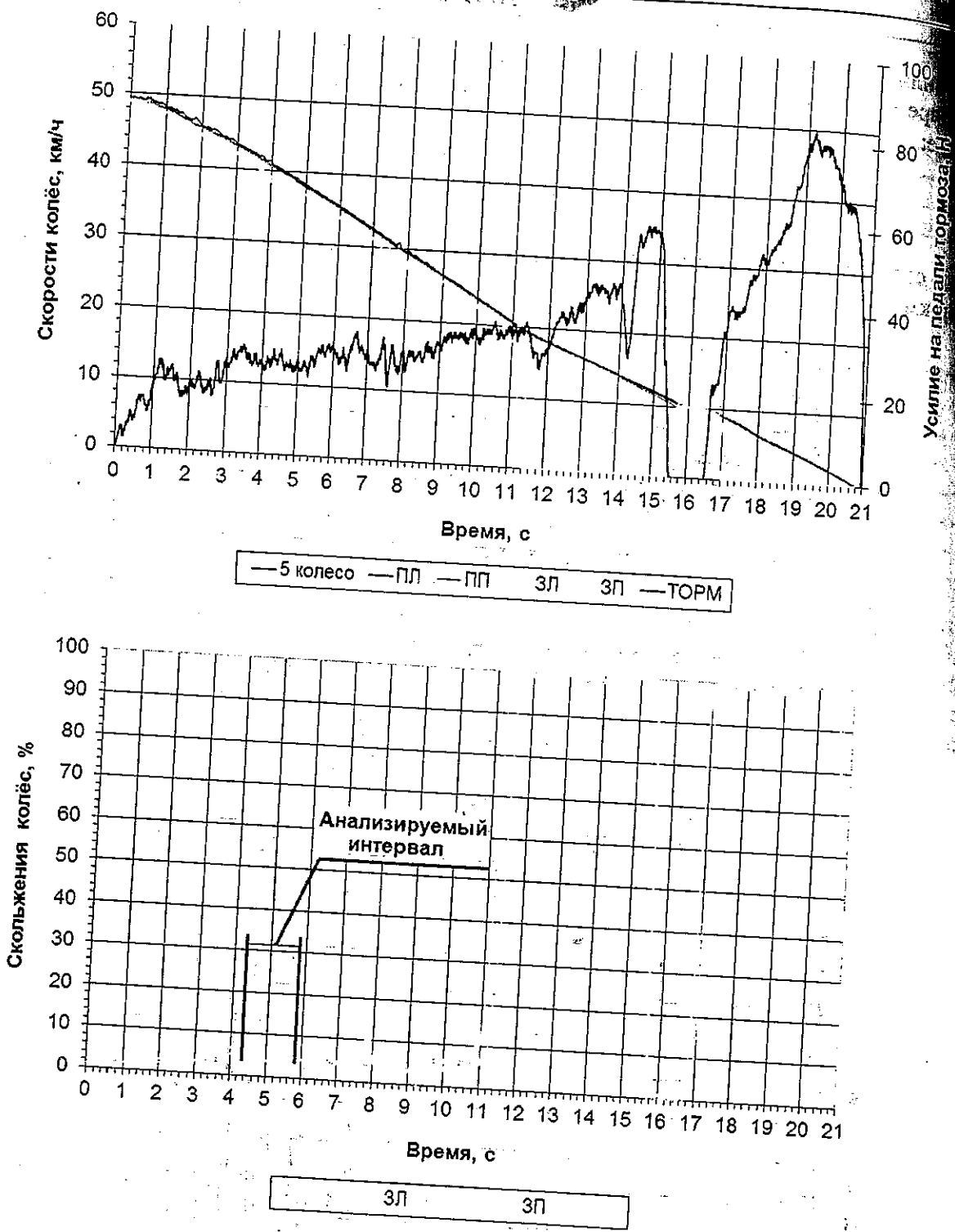
су» и усилие нажатия на педаль тормоза. Также на рис. 1-3 были построены графики изменения во время заезда относительного скольжения затормаживаемых колёс, подсчитанного по формуле:

$$S = \frac{V_a - V_k}{V_a}, \quad (4)$$

где  $V_a$  – скорость автомобиля по «пятому колесу», км/ч;  $V_k$  – окружная скорость тормозящего колёса, км/ч.



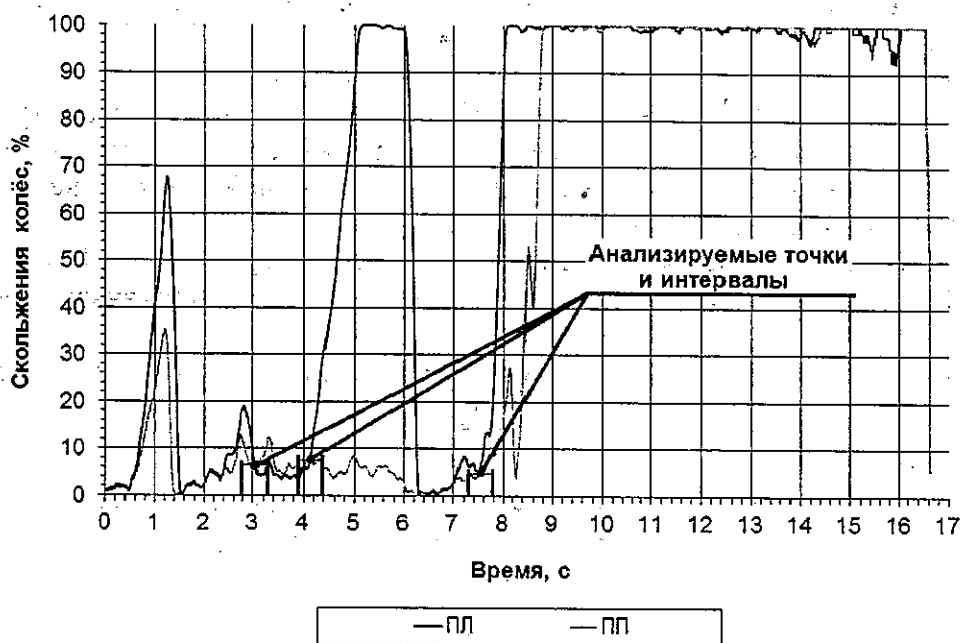
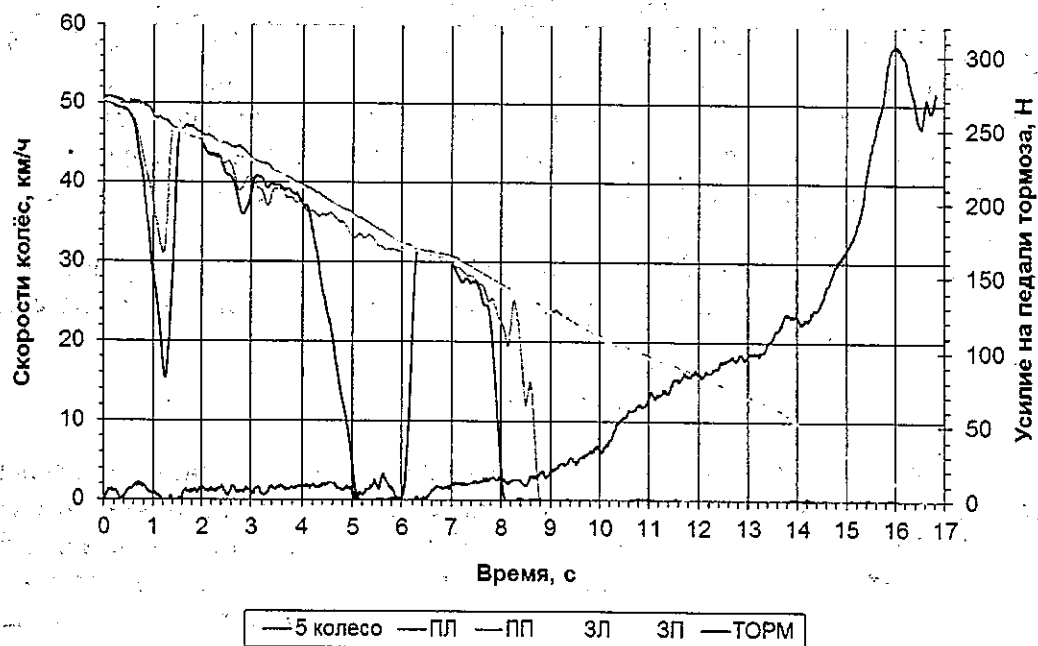
**Рис. 1. Торможение с АБС – определение коэффициента  $Z_{AL}$ :**  
5-е колесо – скорость автомобиля по системе типа «пятое колесо»;  
ПЛ, ПП, ЗЛ, ЗП – окружная скорость и скольжение соответственно переднего левого, переднего правого, заднего левого и заднего правого колёс; ТОРМ – усилие на педали тормоза



**Рис. 2. Торможение задней осью – определение коэффициента  $k_r$ :**

5-е колесо – скорость автомобиля по системе типа «пятое колесо»;  
 ПЛ, ПП, ЗЛ, ЗП – окружная скорость и скольжение соответственно переднего левого, переднего правого, заднего левого и заднего правого колёс; ТОРМ – усилие на педали тормоза

Частота регулируемого АБС давления в тормозных механизмах колёс, определённая по графикам на рис. 1, составила 3,5 Гц. При проведении серии заездов были показаны стабильные результаты времени торможения в интервале снижения скорости от 45 до 15 км/ч, на основании которых по методике Приложения 13 к Правилам ЕЭК ООН № 13 (-09) были определены максимальные коэффициенты торможения с АБС (табл. 3).



**Рис. 3. Торможение передней осью – определение коэффициента  $k_f$ :**  
5-е колесо – скорость автомобиля по системе типа «пятое колесо»;  
ПЛ, ПП, ЗЛ, ЗП – окружная скорость и скольжение соответственно переднего левого, переднего правого, заднего левого и заднего правого колёс; ТОРМ – усилие на педали тормоза

Таблица 3

Результаты испытаний эффективности действия АБС на льду

Коэффициент	$k_f$	$k_r$	$k_M$	$Z_{AL}$	$\epsilon$
Нешипованные шины	0,163	0,179	0,169	0,149	0,88
Шипованные шины	0,210	0,214	0,211	0,171	0,81

Анализ заездов для определения коэффициентов  $k_f$  и  $k_r$  (рис. 2, 3) показал, что при торможениях на льду усилия, прилагаемые к тормозной педали, требуются очень небольшие. Данное обстоятельство значительно затрудняет дозирование тормозного усилия экспертом-испытателем при выполнении соответствующих заездов без блокировки тормозящих колёс. При этом, несмотря на большое мастерство экспертов-испытателей, блокировка колёс происходит довольно часто, что приводит к частой выбраковке заездов и трудоёмкости определения необходимых коэффициентов  $z_m$ .

По методике Приложения 13 к Правилам ЕЭК ООН № 13 (-09) коэффициент  $z_m$  должен определяться из расчета заданного промежутка времени ( $t_m$ ) для снижения скорости с 40 до 20 км/ч:

$$z_m = \frac{0,566}{t_m} \quad (5)$$

Для увеличения точности и достоверности получения коэффициентов сцепления  $k_f$  и  $k_r$ , методика определения коэффициента торможения  $z_m$  была скорректирована относительно Приложения 13 к Правилам ЕЭК ООН № 13 (-09). Корректировка стала возможной благодаря регистрации во время заезда скоростей вращения колёс и построенных на этом основании графиков относительных скольжений. Для получения коэффициентов торможения были рассмотрены следующие участки по всем заездам:

- 1) интервалы с неизменяющимся одинаковым относительным скольжением обоих тормозящих колёс (рис. 2);
- 2) интервалы продолжительностью 0,5 с, центры которых располагаются в точке с одинаковым относительным скольжением обоих тормозящих колёс (рис. 3). Продолжительность интервала в 0,5 с установлена экспериментально и представляет собой баланс между точностью определения замедления в исследуемой точке и необходимой точностью расчёта замедления для данного интервала.

Анализ этих участков позволяет решить более точно по сравнению с Приложением 13 к Правилам ЕЭК ООН № 13 (-09) задачу определения наиболее эффективных условий качения тормозящих колёс.

Коэффициент торможения  $z$  для исследуемого интервала определяется по формуле:

$$z = \frac{0,0283(V_2 - V_1)}{t_{уч}} \quad (6)$$

где  $V_1$  – скорость автомобиля в начале исследуемого интервала, км/ч;  $V_2$  – скорость автомобиля в конце исследуемого интервала, км/ч;  $t_{уч}$  – продолжительность участка, с

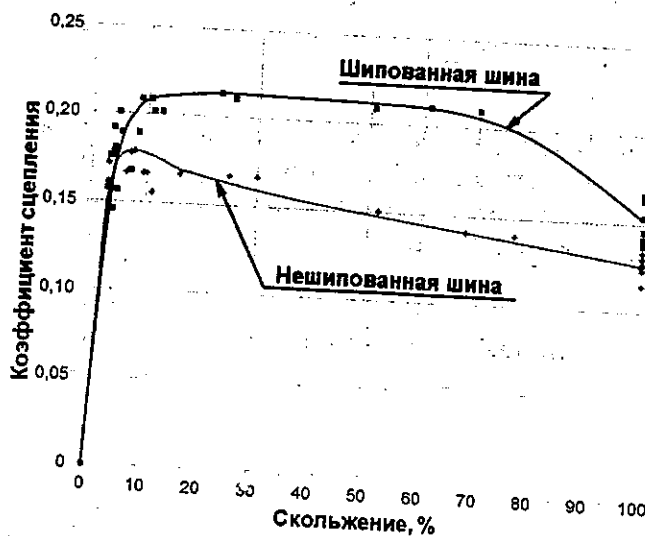


Рис. 4. Зависимости коэффициента сцепления от скольжения ( $\phi - S$  диаграммы) на льду для зимних нешипованной и шипованной шин



Для каждого коэффициента торможения  $z$  необходимо регистрировать относительное скольжение тормозящих колёс, при котором он был рассчитан.

Из полученных коэффициентов торможения выбираются три минимальные величины, и подсчитывается как среднее арифметическое средний минимальный коэффициент торможения  $z_m$ . Коэффициенты сцепления  $k_f$  и  $k_r$  рассчитываются по формулам (2), (3) на основании определенных коэффициентов  $z_m$  для каждой оси – результаты представлены в табл. 3. Также в табл. 3 представлены результаты испытаний эффективности действия АБС при торможении с нешипованными и шипованными шинами на льду.

Если подсчитать  $k_f$  и  $k_r$  на основании  $z$  для всех участков, то можно получить массив данных коэффициентов сцепления и относительных скольжений, на основании которого можно построить зависимость коэффициента сцепления от скольжения ( $\varphi - S$  диаграмму) (рис. 4).

Для определения коэффициента сцепления при проведении испытаний на эффективность действия АБС был применен новый метод, основанный на анализе скольжений колёс при торможении.

*Достоинствами* разработанного метода являются:

- более точное определение коэффициента сцепления;
- более точное определение коэффициента реализуемого сцепления  $\epsilon$ ;
- определение величины оптимального скольжения, при котором обеспечивается максимальный коэффициент сцепления для каждой оси – перспектива совершенствования алгоритмов функционирования систем активной безопасности;
- возможность определения  $\varphi - S$  диаграммы в дорожных условиях без применения специальных шинных тестеров (в том числе и для шипованных шин);
- меньшая трудоемкость проводимых испытаний, связанная с определением наименьшего коэффициента торможения при торможении одной осью (особенно на дорогах с низким коэффициентом сцепления).

*К недостаткам* применённого метода можно отнести:

- необходимость установки и настройки сложного испытательного оборудования, обеспечивающего высокую точность измерений;

В заключение хотелось бы выразить глубокую признательность директору Центра испытаний НИЦИАМТ ФГУП «НАМИ» (Дмитровского автополигона) Загарину Денису Александровичу за помощь в организации экспериментальных исследований и предоставленную возможность использования инфраструктуры НИЦИАМТ ФГУП «НАМИ».

#### Библиографический список

1. Правила ЕЭК ООН № 13-09. Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения механических транспортных средств категорий М, N и O в отношении торможения. – Введены 1996-06-28. – М.: Изд-во стандартов, 2002. – 112 с.
2. Кристальный, С.Р. Проблемы эффективности действия антиблокировочных систем автомобилей, оснащенных средствами противоскольжения / С.Р. Кристальный, Н.В. Попов, В.А. Фомичёв // Автотранспортное предприятие. 2012. №5. С. 44–49.
3. Кристальный, С.Р. Проблемы функционирования АБС на автомобилях, оснащённых средствами противоскольжения / С.Р. Кристальный, Н.В. Попов, В.А. Фомичёв // Вестник МАДИ. 2012. №2 (29). С. 10–17.
4. Кристальный, С.Р. Проблемы эффективности действия антиблокировочных систем автомобилей, оснащенных шипованными шинами / С.Р. Кристальный, Н.В. Попов, В.А. Фомичёв // Журнал автомобильных инженеров. 2012. №2 (73). С. 32–37.
5. Кристальный, С.Р. Шинный тестер для исследования характеристик шипованных шин / С.Р. Кристальный, В.Н. Задворнов, Н.В. Попов, В.А. Фомичёв // Вестник МАДИ. 2013. № 3 (34). С. 10–17.

6. Кристальный, С.Р. Шинные тестеры. Перспектива и альтернатива / С.Р. Кристальный [и др.] // Автотранспортное предприятие. 2013. № 9. С. 37–44.
7. Кристальный С.Р. Принцип создания шинного тестера на базе серийного легкового автомобиля / С.Р. Кристальный [и др.] // Журнал автомобильных инженеров. 2013. № 5 (82). С. 38–45.
8. Кристальный, С.Р. Выбор, подготовка и настройка измерительного и регистрирующего оборудования для проведения испытаний эффективности действия АБС на автомобиле, оснащённом шипованными шинами / С.Р. Кристальный [и др.] // Известия Волгоградского государственного технического университета – Серия «Наземные транспортные системы». 2013. Вып. 7. № 21 (124). С. 28–38.
9. Кристальный, С.Р. Легковой автомобиль – шинный тестер / С.Р. Кристальный [и др.] // Автомобильная промышленность. 2014. № 1. С. 34–36.
10. Кристальный, С.Р. Проблемы функционирования АБС на автомобилях, оснащённых шипованными шинами / С.Р. Кристальный, Н.В. Попов, В.А. Фомичёв // Автомобильная промышленность. 2012. № 8. С. 20–22.
11. Иванов, А.М. Экспериментальная проверка методов оценки эффективности систем динамической стабилизации АТС / А.М. Иванов [и др.] // Автомобильная промышленность. 2009. № 7. С. 31–33.

Дата поступления  
в редакцию 20.09.2014

S.R. Kristalnyi, V.A. Fomitchev, N.V. Popov

## THE EFFICIENCY OF THE ABS ON VEHICLES EQUIPPED WITH STUDED TIRES AND ITS EXPERIMENTAL DEDUCTION

Moscow state automobile and road technical university

The test report for the efficiency of the ABS on an icy surface is been considered. The relationship between the coefficient of friction with relative skidding for winter studded tires and non-studded tires on an icy surface is shown. The article describes the method of determining the coefficient of friction of studded tires with the road surface of a vehicle with the help of the tire tester.

*Key words.* Tire tester, testing, coefficient of friction, anti-lock braking system, studded tires.