

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

ШИННЫЙ ТЕСТЕР ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ШИПОВАННЫХ ШИН

Аннотация. Формулируются принципы создания шинного тестера на базе серийного легкового автомобиля. Приводится описание реализованной конструкции шинного тестера на базе автомобиля Форд Фокус I. Приведена зависимость коэффициента сцепления от скольжения для шипованной шины на льду.

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

Введение

Для проведения метрологической аттестации участков дорог с различными коэффициентами сцепления и оценки характеристик сцепных качеств шин в дорожных условиях используются шинные тестеры. Шинные тестеры позволяют получить зависимости коэффициентов сцепления шины для различных дорожных покрытий от величины продольного скольжения, которые получили название $\phi - S$ диаграммы. Данные диаграммы для различных дорожных условий являются очень важными при создании алгоритмов функционирования антиблокировочных систем торможения (АБС), противобуксовочных систем (ПБС), а также целого ряда других систем, использующих для своих целей исполнительные механизмы АБС и ПБС. Виды $\phi - S$ диаграмм для наиболее распространённых дорожных покрытий в летних и зимних условиях представлены в работах [2, 3, 4].

Разработками шинных тестеров занимались ученые Швеции, Чехии, Франции, США и России [3, 4]. В качестве примера рассмотрим типичную конструкцию универсального шинного тестера ШТ-1, спроектированного специалистами НИЦИАМТ ФГУП «НАМИ», СоюздорНИИ, НПО «Экран» и фирмой «АБС-ТК». Тестер представляет собой одноколёсную прицепную тележку, оборудованную тормозным механизмом. Конструкция тестера [3, 4] позволяет одновременно измерять продольную R_x и нормальную R_z реакции в пятне контакта колеса и вычислять их отношения, определяя таким образом значения коэффициента сцепления колеса тестера с поверхностью дороги при задаваемых величинах коэффициента S продольного скольжения колеса и различных скоростях V движения тестера. Шинный тестер выполнен на базе автомобильной установки ПКРС-2У и имеет следующие элементы: дисковый тор-

мозной механизм с гидравлическим приводом, тензометрические датчики нагрузки (СФМИ-3), прибор «путь-время-скорость», колесо прицепа с ободом 4,5J-13 и автомобильную шину размерности 6,45-13. Управление тормозной системой тестера автоматическое с помощью специального контроллера и модулятора давления в приводе тормозного механизма. Погрешность измерения тормозной силы не превышает 2%, скорости движения – 1%, суммарная погрешность при вычислении проскальзывания и коэффициента сцепления составляет 5%.

Использование легкового автомобиля в качестве шинного тестера

Для решения задач по определению характеристик сцепления шины с дорожной поверхностью вместо шинного тестера можно использовать легковой автомобиль, прошедший определённую доработку. Это позволит отказаться от буксируемой автомобилем тележки, повысить мобильность испытаний и расширить номенклатуру испытываемых шин.

Для преобразования серийного автомобиля в шинный тестер необходимо:

1) обеспечить возможность затормаживания только одной осью (то есть должна быть предусмотрена возможность отключения тормозных механизмов других осей при сохранении работоспособности тормозных механизмов одной оси);

2) установить измерительную и регистрирующую аппаратуру для определения скорости автомобиля, продольного ускорения (замедления), окружной скорости колёс, усилия на педали тормозного механизма;

3) загрузить автомобиль балластом таким образом, чтобы было обеспечено равное распределение нагрузки на колёса правого и левого борта.

Изменение скольжения колёс будет обеспечиваться рабочей тормозной системой автомобиля, действующей на затормаживаемую ось. С помощью установленного оборудования можно будет определить величину скольжения S затормаживаемых колёс по отношению их окружной скорости к скорости автомобиля [2]:

$$S = \frac{V - \omega r_d}{V}, \quad (1)$$

где V – линейная скорость автомобиля, м/с;
 ω – угловая скорость тормозящих колёс, рад/с;

r_d – динамический радиус колеса, м.

В основе методики определения продольного коэффициента сцепления с помощью автомобиля – шинного тестера лежит метод определения коэффициента сцепления для определения реализуемой силы сцепления при испытаниях АБС в соответствии с приложением 13 к Правилам ЕЭК ООН № 13 [1].

При торможении автомобиля одной осью продольный коэффициент сцепления φ_x определяется отношением продольной тормозной силы R_x , реализуемой в пятне контакта затормаживаемых колёс, к динамической вертикальной нагрузке на эту ось R_{zdyn} :

$$\varphi_x = \frac{R_x}{R_{zdyn}}. \quad (2)$$

Тормозная сила R_x рассчитывается на основании замедления автомобиля с учётом величины сопротивления качения незаторможённой оси, составляющей 0,015 статической нагрузки на ведущую ось и 0,010 статической нагрузки на ведомую ось (в соответствии с [1]). Например, в случае переднеприводного автомобиля:

$R_x = m \cdot j_3 - 0,01 \cdot m_2 \cdot g$ – при торможении передней осью;

$R_x = m \cdot j_3 - 0,015 \cdot m_1 \cdot g$ – при торможении задней осью,

где m – масса автомобиля;

m_1, m_2 – масса автомобиля, приходящаяся соответственно на переднюю и заднюю оси;

j_3 – замедление автомобиля;

g – ускорение свободного падения.

Динамическая вертикальная нагрузка на затормаживаемую ось рассчитывается исходя из догружения (в случае торможения передней осью) или разгружения (в случае торможения задней осью) в процессе торможения.

Для передней оси:

$$R_{zdyn} = \left(m_1 + \frac{h}{L} \cdot j_3 \cdot m \right) \cdot g. \quad (3)$$

Для задней оси:

$$R_{zdyn} = \left(m_2 - \frac{h}{L} \cdot j_3 \cdot m \right) \cdot g. \quad (4)$$

где h – высота центра масс автомобиля;

L – база автомобиля.

Создание шинного тестера на базе автомобиля Форд Фокус I

Конструкция автомобиля-шинного тестера была реализована на базе автомобиля Форд Фокус I (рис. 1).



Рис. 1. Автомобиль-шинный тестер

Для этого на автомобиль было установлено следующее оборудование:

- измерительная система для проведения испытаний на ускорение и торможение транспортных средств DB-PRINT типа «пятое колесо» фирмы «Peiseler GmbH», Германия;
- выносные датчики угловой скорости (частоты вращения) колеса BDG 6360 фирмы BALLUFF, Германия (на основании информации об угловой скорости колеса определялась окружная скорость колеса);
- датчик усилия нажатия на педаль тормоза CPFTA фирмы CORRSYS-DATRON, Германия;
- компактная мобильная система сбора и обработки данных DAS-3 фирмы CORRSYS-DATRON, Германия;
- блок распределения питания Small 12V Power Distributor Vox фирмы CORRSYS-DATRON, Германия. На тестируемые шины были нанесены контрольные метки для визуализации процессов, происходящих с колесом во время испытаний.

Схема размещения измерительной и регистрирующей аппаратуры на автомобиле приведена на рис. 2.

Система измерительная для проведения испытаний на ускорение и торможение транспортных средств DB-PRINT предназначена для измерения параметров движения автомобиля (путь – скорость – ускорение). Принцип действия системы основан на применении «пятого колеса» с импульсным датчиком в качестве приёмника пройденного пути. Измерительная информация поступает на блок обработки и отображения информации, после чего результаты измерений выводятся на встроенный дисплей, а также могут быть

выведены на встроенное печатное устройство. Предусмотрена возможность передачи данных на внешнее устройство.

Также можно было бы измерять параметры движения автомобиля с помощью измерительных систем с оптическими датчиками скорости или с GPS-приёмником, однако в первом случае велика вероятность сбоев при работе на некоторых видах покрытий, в частности на льду в солнечную погоду, а во втором случае может не обеспечиваться необходимая точность измерения.

Наиболее практичной и надёжной для испытаний на ледяном дорожном покрытии зарекомендовала себя система типа «пятое колесо».

Питание системы DB-PRINT осуществляется от бортовой сети автомобиля через

блок распределения питания Small 12V Power Distributor Box.

Система состоит из трёх блоков: блока обработки и отображения информации (рис. 3а), «пятого колеса» (рис. 3б) и импульсного датчика (рис. 3в).

Число вырабатываемых датчиком импульсов на 1 м дистанции в различных вариантах равняется 500 или 1000. Такая характеристика датчика позволяет определять пройденный автомобилем путь и его скорость с точностью до 0,5 % [5].

Блок обработки и отображения информации размещается перед водителем при помощи вакуумных кронштейнов, крепящихся к лобовому стеклу.

Основные технические характеристики системы DB-PRINT представлены в [5].

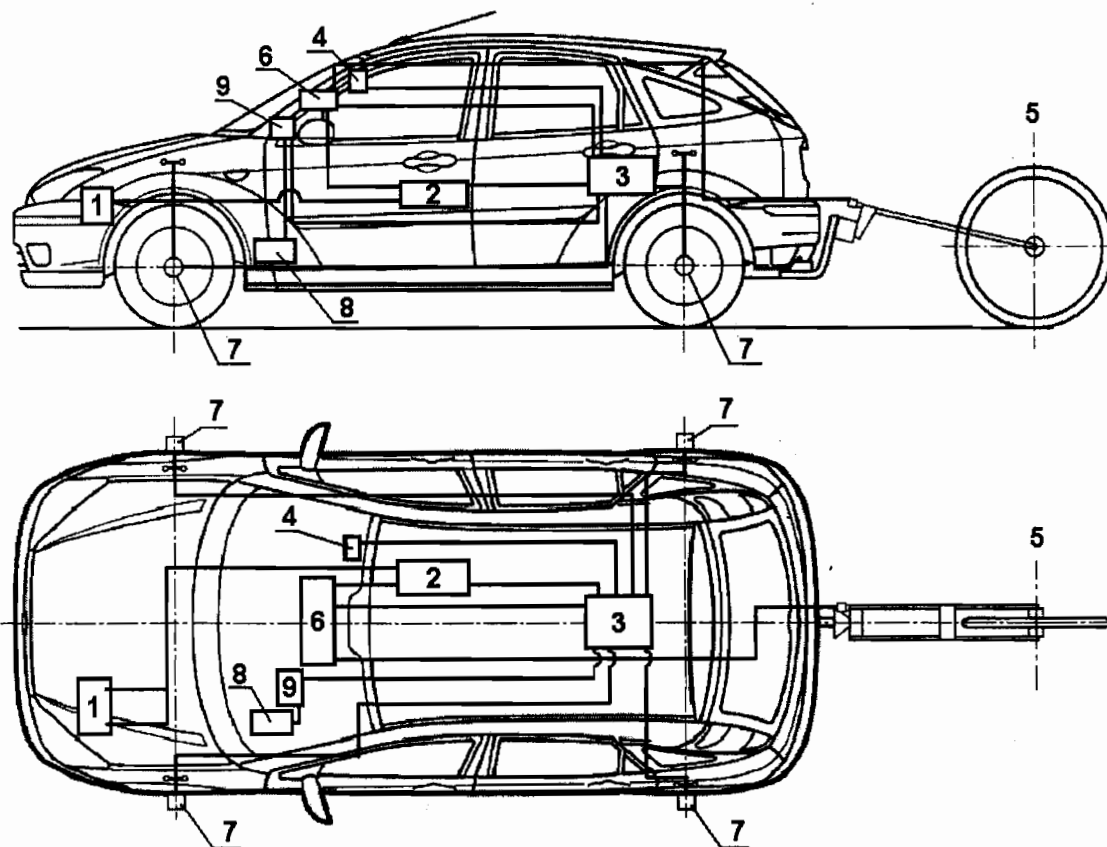


Рис. 2. Схема размещения измерительной и регистрирующей аппаратуры:

- 1 – аккумуляторная батарея;
- 2 – блок распределения питания Small 12V Power Distributor Box;
- 3 – компактная мобильная система сбора и обработки данных DAS-3;
- 4 – блок управления и отображения системы DAS-3;
- 5 – датчик скорости и пройденного пути системы DB-PRINT типа «пятое колесо»;
- 6 – блок обработки и отображения информации системы DB-PRINT типа «пятое колесо»;
- 7 – выносной датчик угловой скорости колеса;
- 8 – датчик усилия нажатия на педаль тормоза;
- 9 – блок индикации величины усилия нажатия на педаль тормоза

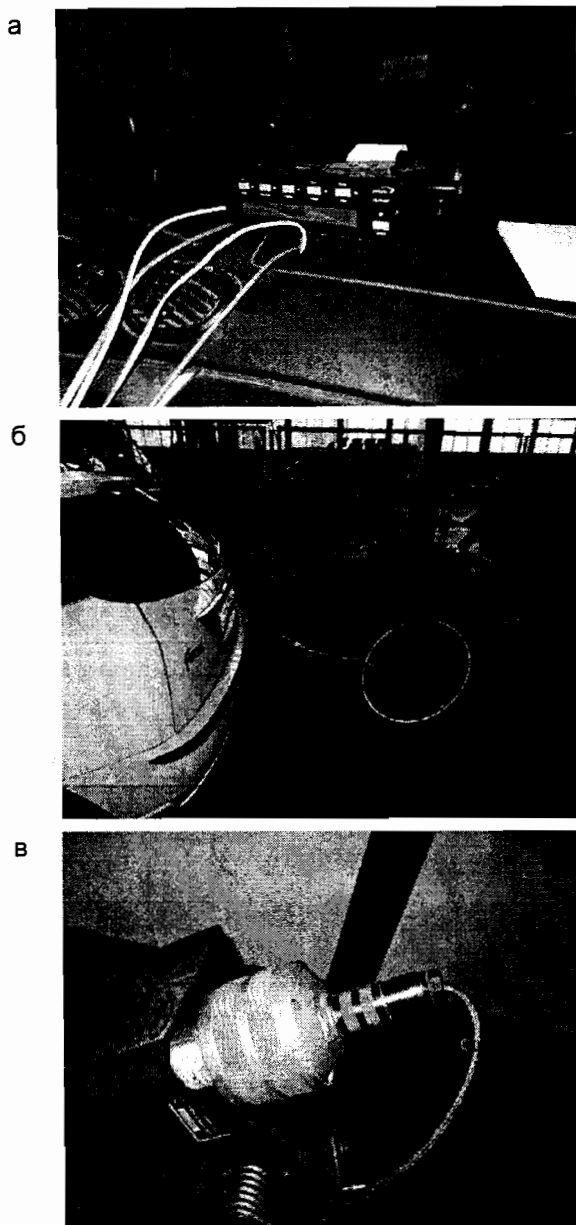


Рис. 3. Система измерительная для проведения испытаний на ускорение и торможение транспортных средств DB-PRINT: а – блок обработки и отображения информации; б – «пятое колесо»; в – импульсный датчик

Угловая скорость колёс измерялась внешними выносными датчиками BALLUFF BDG 6360. Подвижная часть датчика жестко соединяется с установочным диском с цапгами, которые в свою очередь фиксируются на крепёжных гайках колёсного диска (рис. 4). Неподвижная часть датчика крепится к кузову автомобиля специальными вакуумными кронштейнами через телескопические штанги (рис. 4). Телескопические штанги позволяют компенсировать вертикальные перемещения колёс относительно кузова в пределах хода

подвески, а также поворот передних управляемых колёс при маневрировании автомобиля. Датчики угловой скорости были установлены на все колёса автомобиля.

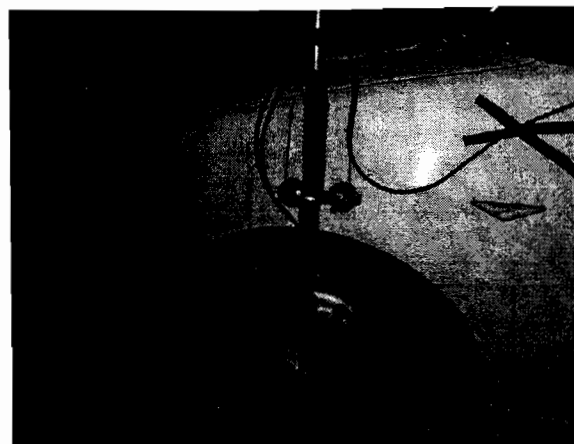


Рис. 4. Внешний выносной датчик угловой скорости колеса и его установка

Технические характеристики выносного датчика угловой скорости колеса представлены в [8]. Датчик вырабатывает 1000 импульсов на 1 оборот, что, например, при динамическом радиусе колеса $r_d = 298$ мм соответствует 535 импульсам на 1 м пройденной дистанции.

Для измерения силы нажатия на педаль тормоза в процессе торможения использовался датчик CPFTA. Его установка обуславливалась необходимостью поддержания постоянного усилия воздействия на педаль тормоза при проведении испытаний по определению $\phi - S$ диаграммы. Датчик крепился на педали тормоза с помощью резинового ремня (рис. 5а) и соединялся кабелем с блоком питания и индикации величины усилия нажатия (рис. 5б). Блок питания и индикации был закреплен на вакуумном кронштейне перед испытателем. Для регистрации усилия нажатия на педаль тормоза в системе DAS-3 блок питания и индикации соединен соответствующим кабелем с аналоговым разъёмом системы DAS-3. Диапазон измерений датчика CPFTA составляет от 0 до 1500 Н, относительная точность измерений – 3% [10].

Компактная мобильная система сбора и обработки данных DAS-3 служит для записи регистрируемых параметров и их предварительной обработки [6]. Также через систему DAS-3 осуществляется электропитание датчиков частоты вращения колёс.

Система DAS-3 состоит из основного модуля сбора данных (рис. 6а) и блока управления и отображения (рис. 6б) [6].

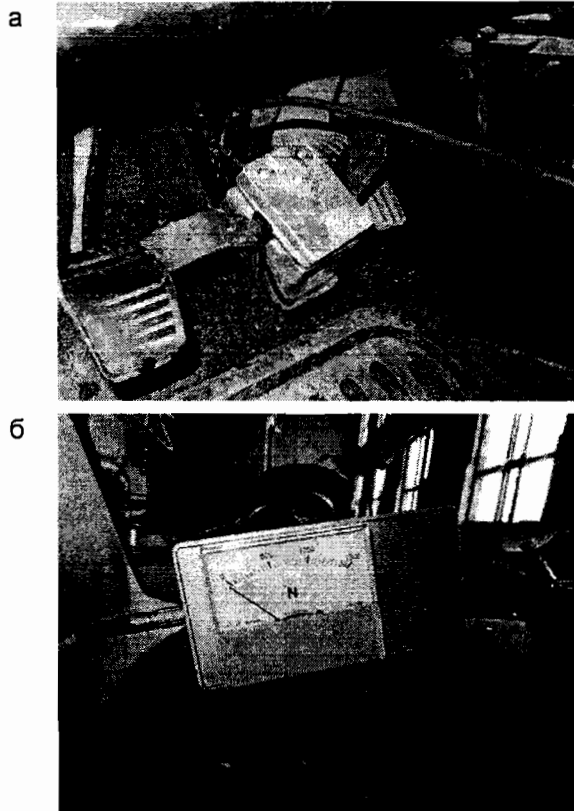


Рис. 5. Датчик усилия нажатия на педаль тормоза (а) с блоком питания и индикации (б)

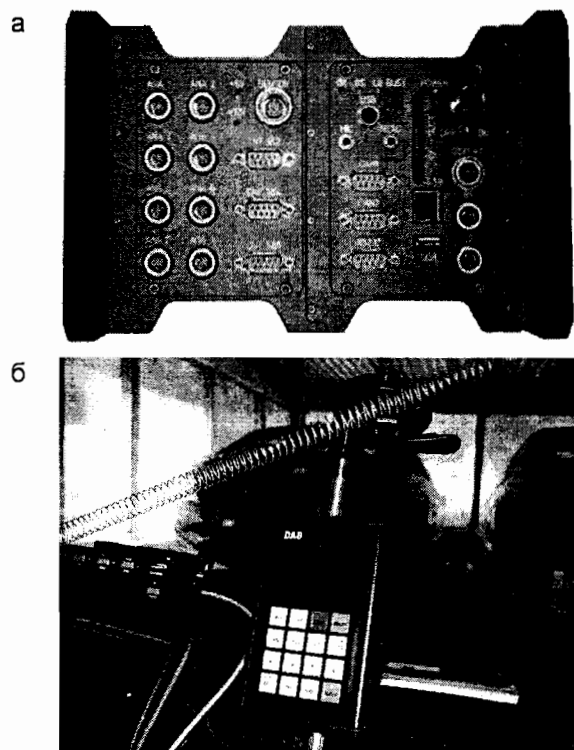


Рис. 6. Система сбора и обработки данных DAS-3: а) основной модуль; б) блок управления и отображения

Основной модуль сбора данных включает в себя два главных компонента: аналоговый модуль и процессорный модуль. Основной модуль также имеет соединители Ethernet, USB, COM, CAN и разъемы для подключения дополнительных дисплеев. Управление, определение параметров и оперативное отображение данных осуществляются через блок управления и отображения. Системные параметры также могут задаваться через подключенный персональный компьютер с установленным программным обеспечением CORRSYS-DATRON CeCaWin Pro [7].

Основной модуль был расположен на заднем сиденье и закреплён от перемещений ремнём безопасности автомобиля. Блок управления и отображения системы DAS-3 представляет собой пульт управления и цифровой дисплей. Он был установлен в салоне на лобовом стекле на вакуумном кронштейне.

Регистрируемые данные сохранялись на флэш-карте типа Compact Flash (CF) емкостью 8 Гб. Тип создаваемых файлов (расширение) – adf. С помощью программного обеспечения CORRSYS-DATRON CeCaWin Pro файлы типа adf могут переводиться в текстовый формат и обрабатываться любым подходящим программным обеспечением, как собственным, так и сторонних производителей, таким, например, как табличный процессор Excel из комплекта программ Microsoft Office фирмы Microsoft [7]. Также файлы с расширением adf могут быть непосредственно обработаны программным пакетом TurboLab фирмы CORRSYS-DATRON.

Блок распределения питания Small 12V Power Distributor Vox обеспечивает необходимое напряжение электропитания для систем DAS-3 и DB-PRINT, а также его стабилизацию. Блок был расположен на переднем пассажирском сиденье и подключён к аккумуляторной батарее автомобиля кабелем длиной 5 м с контактными зажимами. Особенности конструкции блока распределения питания и его технические характеристики представлены в [9].

Затормаживание только передней или задней оси автомобиля при проведении испытаний обеспечивалось специальными струбцинами для пережатия тормозных шлангов (рис. 7).

Для обеспечения возможности регулирования степени проскальзывания тормозящих колёс с помощью рабочей тормозной системы на автомобиле должна быть отключена антиблокировочная система тормозов.



Рис. 7. Пережатие тормозных шлангов специальной струбиной

Отключение АБС на автомобиле Форд Фокус I было произведено с помощью демон- тажа плавких электрических предохраните- лей № 11 (сила тока – 30 А) и № 21 (сила то- ка – 20 А) из дополнительного монтажного блока в подкапотном пространстве автомо- били. Предохранитель №11 (30 А) защищает цепь насоса гидравлического блока АБС, а предохранитель №21 (20 А) – цепь клапанов АБС [11].

Проведение испытаний с помощью автомобиля – шинного тестера

С помощью шинного тестера на базе ав- томобиля Форд Фокус I на территории поли- гона НИЦИАМТ ФГУП «НАМИ» были прове- дены испытания с целью определения $\phi - S$ диаграмм зимних шипованных и нешипован- ных шин на льду.

Испытаниям были подвергнуты зимние шипованные шины размерности 185/70 R14 92T модели iceGUARD Stud IG35 торговой марки Yokohama. Количество шипов в шине составляло 120 штук. Общий вид расположе- ния шипов в шине приведен на рис. 8а.

В настоящее время шины Yokohama iceGUARD Stud IG35 широко представлены на российском рынке. Указанные шины были выбраны для проведения исследований, так как они представляют собой типичный со- временный инновационный продукт, облада- ющий весьма удачно сбалансированными характеристиками и при этом имеющий до- статочно умеренную цену по сравнению с аналогичными моделями.

Для сравнения и выявления влияния шипов противоскольжения на общий процесс взаимодействия шин с опорной поверхностью были также получены характеристики анало- гичных по размеру и конструкции нешипован- ных шин.

Зимние нешипованные шины представ- ляют собой снятые с линии ошиповки зимние шины той же модели.

Таким образом, зимние шипованные (рис. 8а) и нешипованные шины (рис. 8б) имеют одинаковую конструкцию, состав рези- ны, рисунок протектора и заводской номер партии и отличаются друг от друга только от- сутствием или наличием шипов противо- скольжения. Тем самым достигается исклю- чение прочих факторов при сравнении $\phi - S$ диаграмм зимней шипованной шины по срав- нению с нешипованной.



Рис. 8. Зимняя шина Yokohama iceGUARD Stud IG35: а) прошедшая ошиповку; б) не прошедшая ошиповку

Для получения $\phi - S$ диаграмм зимних шипованных и нешипованных шин была про- ведена серия испытательных заездов на ле- дяном покрытии. Испытания включали в себя торможение одной осью автомобиля (как пе- редней, так и задней) со скорости 50 км/ч до 0 км/ч с постепенным увеличением давления в тормозном приводе от заезда к заезду. Во время проведения испытаний постоянно определялись следующие параметры движе- ния автомобиля:

- скорость движения автомобиля;
- окружная скорость каждого колеса;
- замедление автомобиля;
- пройденный путь;
- усилие нажатия на педаль тормоза.

Пример записи отдельных параметров движения автомобиля в графическом виде представлен на рис. 10.

При обработке результатов испытатель- ных заездов рассматривались участки с оди- наковым равномерным скольжением обоих тормозящих колёс и анализировалось до- стигнутое замедление. Массив данных, со- стоящих из замедлений и соответствующих им проскальзываний, является необходимой базой для построения $\phi - S$ диаграммы (рис. 11) для каждого типа зимних шин.

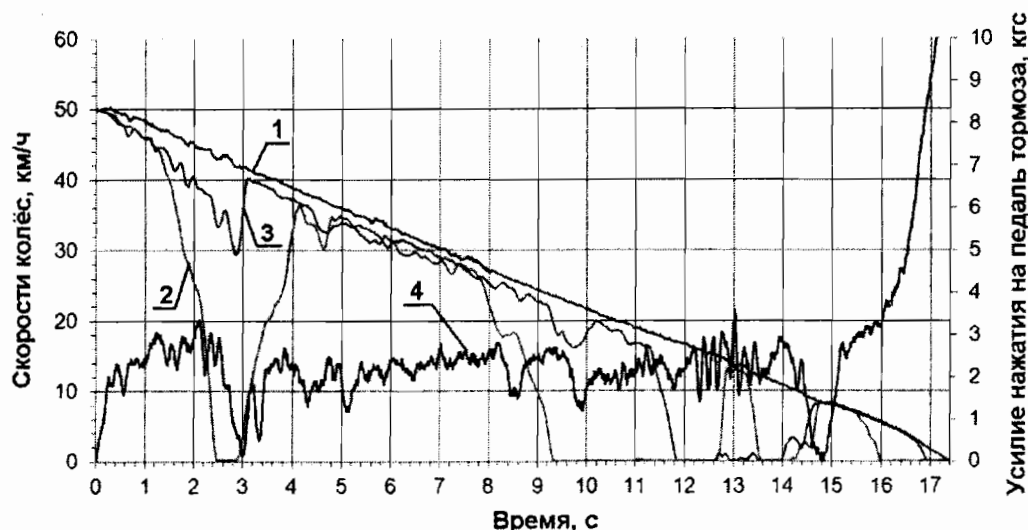


Рис. 10. Торможение задней осью, шины – зимние шипованные, дорожное покрытие – лёд: 1 – скорость автомобиля по датчику типа «пятое колесо»; 2 – скорость заднего левого колеса; 3 – скорость заднего правого колеса; 4 – усилие нажатия на педаль тормоза

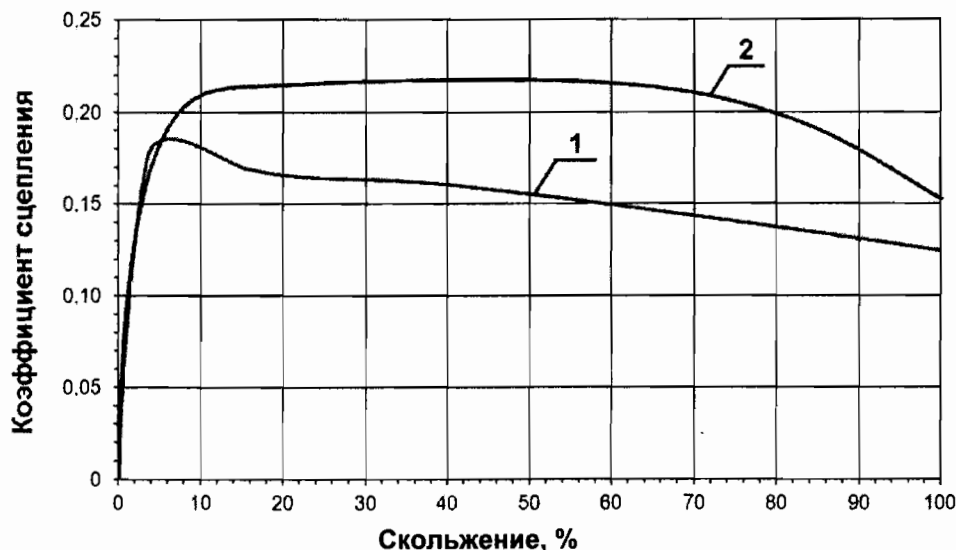


Рис. 11. Зависимости коэффициента сцепления от скольжения ($\phi - S$ диаграммы) на льду: 1 – для зимней нешипованной шины; 2 – для зимней шипованной шины

Заключение

Разработанный принцип создания шинного тестера на базе серийного автомобиля был реализован авторами для исследований эффективности действия АБС на легковых автомобилях, оснащённых шипованными и нешипованными шинами, в зимних условиях на различных дорожных покрытиях для решения проблем, изложенных в работах [12, 13, 14, 15].

Использованные при построении описанного шинного тестера методы также будут весьма полезны при исследовании вопросов эффективности действия АБС, а также средств коррекции параметров управляемости (ESP,

AFS и тому подобные), на различных дорожных покрытиях, включая *неровные* покрытия и специальные покрытия в летних условиях. Существование и важность решения указанных проблем не вызывает сомнений у авторов и наглядно демонстрируется в работе [16].

В заключение авторы хотели бы выразить искреннюю благодарность ООО «ЙОКОХАМА РУС» в лице его технического директора *Кимура Казухито* за оказанную поддержку и предоставленные шины для экспериментальных исследований.

Также мы выражаем глубокую признательность руководителю Испытательного цен-

тра НИЦИАМТ ФГУП «НАМИ» (Дмитровского автополигона) Денису Александровичу Загарину и заведующему отделением безопасности Испытательного центра НИЦИАМТ ФГУП «НАМИ» Александру Алексеевичу Барашкову за понимание важности затронутой проблемы и помощь в организации экспериментальных исследований.

Список литературы

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. Эксплуатация антиблокировочных систем легкового автомобиля: учеб. пособие для вузов / В.Е. Ютт [и др.]. – М.: МАДИ (ГТУ), 2003. – 225 с.
3. Никульников, Э.Н. Шинные тестеры – инструмент метрологической аттестации испытательных участков дорожных поверхностей с различными коэффициентами сцепления/ Э.Н. Никульников, А.А. Барашков, А.А. Логунов // Автомобильная промышленность. – 2011. – № 6. – С. 34-38.
4. Никульников, Э.Н. Шинные тестеры / Э.Н. Никульников, А.А. Барашков // Автомобильная промышленность. – 2000. – №12. – С. 28-31.
5. Руководство пользователя «Система измерительная DB-PRINT». – S.I., 2009.
6. Руководство пользователя «Компактная мобильная система сбора и обработки данных CORRSYS-DATRON DAS-3». – S.I., 2008.
7. Руководство пользователя «ПО для сбора данных CORRSYS-DATRON CeCalWin Pro». – S.I., 2008.
8. Руководство пользователя «Выносной датчик угловой скорости колеса BALLUFF BDG 6360». – S.I., 2001.
9. Руководство пользователя «Small 12V Power Distribution Box». – Электрон. дан. – М., 2008. – Режим доступа: http://www.corrsys-datron.com/Support/Data_Sheets/Datasheets-Access/cds-d_DIST-BOX_e.pdf, свободный. – Загл. с экрана.
10. Инструкция по установке датчика усилия на педали CPFTA CORRSYS-DATRON. – S.I., 2004.
11. Руководство по эксплуатации Форд Фокус I. – S.I.: Изд-во Ford-Werke Aktiengesellschaft, 2004.
12. 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.
13. Кристальный, С.Р. Проблемы эффективности действия антиблокировочных систем автомобилей, оснащённых средствами противоскольжения / С.Р. Кристальный, Н.В. Попов, В.А. Фомичёв // Автотранспортное предприятие. – 2012. – №5. – С. 44-49.
14. Кристальный, С.Р. Проблемы функционирования АБС на автомобилях, оснащённых средствами противоскольжения / С.Р. Кристальный, Н.В. Попов, В.А. Фомичёв // Вестник МАДИ. – 2012. – №2 (33). – С. 10-17.
15. Кристальный, С.Р. Проблемы эффективности действия антиблокировочных систем автомобилей, оснащённых шипованными шинами/ С.Р. Кристальный, Н.В. Попов, В.А. Фомичёв // Журнал автомобильных инженеров. – 2012. – №2. – С. 32-37.
16. Ветров, Ю. Сюрпризы АБС (О чём стрёкот. Отклонение от нормы) / Ю. Ветров // Авторевю. – 2013. – № 6. – С. 40-45.

Tire tester for the research of studded tires characteristics

S. Kristalniy, V. Zadvornov, N. Popov, V. Fomitchev, A. Shlyahntin

Abstract. The basic principles of creating a tire tester on the basis of serial light weight vehicles are been formulated. The write up of the realized construction of the tire tester on the vehicle Ford Focus I is presented. The relationship between the coefficient of friction with respect to slipping of a studded tire on an icy surface is shown.

Keywords: tire tester, testing, coefficient of friction, anti-lock braking system, spiked tires.

Рецензент: А.М. Иванов, д-р техн. наук, проф. МАДИ

Статья поступила 13.06.2013

© Кристальный С.Р., Задворнов В.Н., Попов Н.В., Фомичёв В.А., Шляхтин А.А., 2013