

УДК 629.331;629.3.02

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЙСТВИЯ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОННОГО КОНТРОЛЯ УСТОЙЧИВОСТИ АВТОМОБИЛЯ, ОСНАЩЁННОГО ШИПОВАННЫМИ ШИНАМИ

А. М. Иванов, д. т. н., проф. / С. Р. Кристальный, к. т. н. / Н. В. Попов, к. т. н. / В. А. Фомичёв, к. т. н.
Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)

ВВЕДЕНИЕ

В статье [1] был предложен критерий оценки эффективности действия ЭКУ. В основе критерия лежит анализ среднего углового ускорения автомобиля относительно вертикальной оси на шести участках манёвра, аналогичного манёвру «усечённая синусоида» согласно Правилам ЕЭК ООН № 13Н-00 (рис. 1), и его сравнение с идеализированными значениями [1]. Этот критерий позволяет оценивать эффективность действия ЭКУ автомобилей при движении по опорным поверхностям с низким коэффициентом сцепления. В том числе с помощью данного критерия возможно оценивать эффективность действия ЭКУ на автомобилях, оснащённых шипованными шинами.

Для проверки и отработки критерия оценки эффективности действия ЭКУ были проведены испытания на ледяной площадке полигона Центра испытаний НАМИ. Испытания были выполнены в соответствии с государственным заданием Минобрнауки России.

ПРОВЕДЕНИЕ ИСПЫТАНИЙ

В качестве объекта экспериментального исследования использовался легковой полноприводный автомобиль модели Nissan X-Trail III, оснащённый современной системой ЭКУ. Компания Nissan для обозначения данной системы использует наименование Vehicle Dynamic Control (VDC).

В процессе проведения испытаний на автомобиль устанавливались два комплекта зимних шин: шипованные и нешипованные шины фирмы Yokohama модели IceGUARD Stud iG55. Оба типа шин прошли полный технологический цикл производства, имеют одинаковый номер партии, конструкцию, состав резиновой смеси, однотипный рисунок протектора

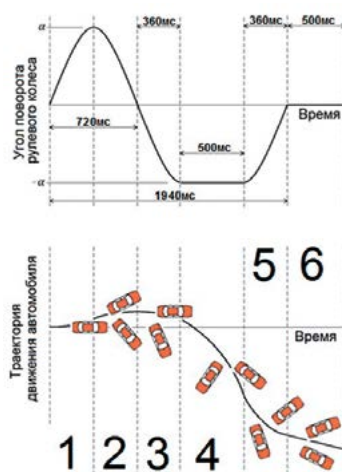


Рисунок 1. Испытательный манёвр «усечённая синусоида» [2]

и отличаются только наличием или отсутствием шипов противоскольжения. Этим достигается исключение прочих факторов при определении степени влияния шипов противоскольжения на общий процесс взаимодействия шины с опорной поверхностью. Шины для исследований предоставлены компанией YOKOHAMA RUSSIA LLC. Авторы выражают благодарность компании YOKOHAMA RUSSIA LLC за помощь в проведении исследований.

Отключение ЭКУ производилось с помощью демонтажа плавкого электрического предохранителя VDC SOL — 30 А из дополнительного монтажного блока в подкапотном пространстве автомобиля. Предохранитель VDC SOL — 30 А — цепь клапанов ЭКУ, два предохранителя (EPS 1 и EPS 2 — 50 А) — цепь усилителя рулевого привода [4]. В силу особенностей конструктивного исполнения данного предохранителя потребовалась его доработка, необходимая для сохранения функций усилителя рулевого привода.

Во время испытаний определялись и регистрировались следующие параметры и показатели движения автомобиля:

- время t ;
- пройденный путь S ;
- скорость кузова автомобиля над центром задней оси V_a ;
- окружная скорость каждого колеса $V_{пл}, V_{пл}, V_{зп}, V_{зл}$;
- угол поворота рулевого колеса α ;
- продольное j_x , поперечное j_y и вертикальное j_z ускорения автомобиля относительно задней оси;
- угловая скорость автомобиля относительно трёх координатных осей $\omega_x, \omega_y, \omega_z$;
- географические координаты автомобиля по данным GPS/ГЛОНАСС.

Для измерения указанных выше параметров и показателей на автомобиль была установлена следующая измерительная и регистрирующая аппаратура:

- выносные датчики частоты вращения колёс WPT фирмы KISTLER (Германия) для определения окружной скорости колёс;
- датчик ускорений и угловых скоростей Tri-Axial Navigational Sensor (TANS) фирмы KISTLER (Германия);
- GPS-антенны фирмы IMC (Германия) и GARMIN (США);
- универсальная измерительная система сбора и обработки данных CS 1016 FAMOS Online фирмы IMC (Германия).

В дополнение к этому использовалась система считывания параметров движения автомобиля при помощи бортовой коммуникационной шины передачи данных CAN.

Питание оборудования осуществлялось от бортовой сети автомобиля через блок распределения питания Small 12V Power Distributor Box фирмы KISTLER (Германия).

Размещение измерительной и регистрирующей аппаратуры на автомобиле представлено на рис. 2.

Передача информации с шины CAN автомобиля в систему регистрации данных IMC производится по кабелю через диагностический разъём OBD-II. Для расшифровки сигнала с шины и получения информации о значении частоты вращения колёс, угле поворота рулевого колеса, положении педали тормоза и педали акселератора в систему IMC был записан DBC-файл [3]. Способ расшифровки данных с шины CAN подробно описан в [5, 6].

Для выполнения манёвра «усечённая синусоида» использовался специальный рулевой робот Steering Robot фирмы AB Dynamics модели Orbit (рис. 3).

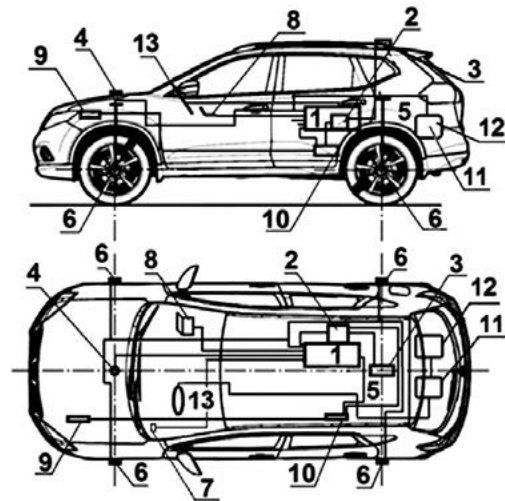


Рисунок 2. Размещение измерительной и регистрирующей аппаратуры на автомобиле: 1 — компактная мобильная система сбора и обработки данных IMC CS 1016 FAMOS Online; 2 — модуль сбора данных CDS-GPS CLOGMA; 3 — антенна GPS/ГЛОНАСС GARMIN; 4 — GPS-антенна IMC; 5 — датчик ускорений и угловых скоростей KISTLER TANS; 6 — выносной датчик угловой скорости колеса KISTLER WPT; 7 — система регистрации данных, получаемых через бортовую коммуникационную шину передачи данных CAN; 8 — компьютер с программным обеспечением IMC; 9 — аккумуляторная батарея автомобиля; 10 — блок распределения питания Small 12V Power Distributor Box; 11 — блок питания рулевого робота; 12 — процессор рулевого робота; 13 — рулевой робот Steering Robot AB Dynamics Orbit

Монтаж и настройка рулевого робота осуществлялись сотрудниками Центра испытаний НАМИ и специалистами компании ООО «Сенсорика-М».

Скорость выполнения манёвра «усечённая синусоида на льду» 45 ± 2 км/ч и угол поворота рулевого колеса рулевым роботом $\alpha = 100^\circ$ были определены экспериментально, исходя из возможностей по сцеплению и реакции автомобиля на управляющее воздействие.

Так как лёд не является стабильным покрытием, то для получения адекватных результатов учитывался опыт подобных испытаний на льду [8, 9, 10]: однотипные сравнительные заезды проводились при тождественных погодных условиях и одинаковых характеристиках льда.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ

По результатам испытательных манёвров «усечённая синусоида на льду» были получены значения окружных скоростей колёс автомобиля $V_{пл}, V_{пл}, V_{зп}, V_{зл}$, скорости кузова автомобиля над центром задней оси V_a , угла поворота рулевого колеса α и угловой скорости автомобиля относительно вертикальной оси ω_z для двух типов шин (шипованных и нешипо-



Рисунок 3. Рулевой робот Steering Robot AB Dynamics Orbit



ванных) и для двух режимов системы ЭКУ (включённой и отключённой). Примеры этих зависимостей представлены на рис. 4. Временные интервалы участков испытательного манёвра представлены на рис. 1.

Идеализированная угловая скорость $\omega_{z\text{ид}}$ автомобиля была рассчитана по формуле (1) и представлена на рис. 4:

$$\omega_{z\text{ид}} = V_a / R, \quad (1)$$

где V_a — скорость кузова автомобиля над центром задней оси, м/с; R — идеализированный радиус траектории движения кузова автомобиля над центром задней оси, м.

Идеализированный радиус траектории движения кузова над центром задней оси автомобиля определяется исходя из угла поворота рулевого колеса α в манёвре «усечённая синусоида» [7]:

$$R = L / \operatorname{tg}(\alpha / U_{py}),$$

где α — угол поворота рулевого колеса в манёвре «усечённая синусоида», град.; $L = 2,7$ м — база автомобиля; $U_{py} = 15,1$ — передаточное число рулевого управления.

Передаточное число рулевого управления было получено на стенде для регулировки углов установки колёс.

На основании построенных зависимостей (рис. 4) можно определить:

- моменты времени срабатывания системы ЭКУ;
- каким образом работа системы ЭКУ влияет на угловую скорость автомобиля относительно вертикальной оси.

Анализ построенных графиков (рис. 4) показал:

1) система чаще срабатывает на нешипованных шинах, чем на шипованных;

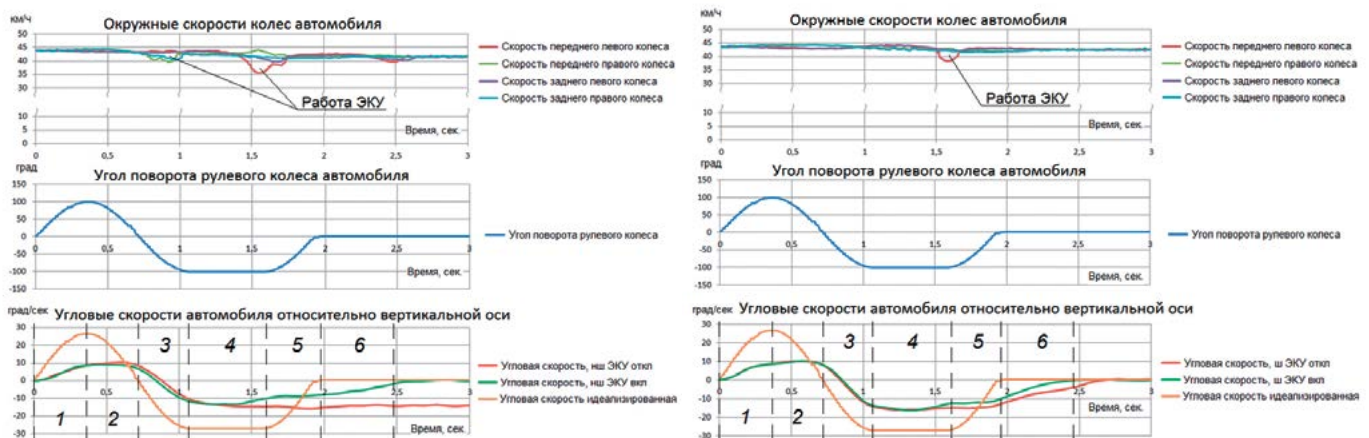


Рисунок 4. Зависимости окружных скоростей колёс, угла поворота рулевого колеса, реальных и идеализированных угловых скоростей автомобиля относительно вертикальной оси от времени: а — для нешипованной шины; б — для шипованной

Таблица 1. Значения средних реального и идеализированного угловых ускорений автомобиля вокруг вертикальной оси (автомобиль с нешипованными шинами)

№ участка	$\varepsilon_{z\text{ ср ид}}$, град/с ²	$\varepsilon_{z\text{ ср}}$, град/с ² (ЭКУ вкл.)	$\varepsilon_{z\text{ ср}}$, град/с ² (ЭКУ откл.)
1	73,4	24,6	25,1
2	73,4	3,8	1
3	73,4	52,6	53,7
4	0	1,7	8,9
5	73,4	5,6	2,9
6	0	13,1	2,4

Таблица 2. Значения средних реального и идеализированного угловых ускорений автомобиля вокруг вертикальной оси (автомобиль с шипованными шинами)

№ участка	$\varepsilon_{z\text{ ср ид}}$, град/с ²	$\varepsilon_{z\text{ ср}}$, град/с ² (ЭКУ вкл.)	$\varepsilon_{z\text{ ср}}$, град/с ² (ЭКУ откл.)
1	73,4	24,3	24,5
2	73,4	2,1	1
3	73,4	62,5	62,4
4	0	1,2	2
5	73,4	3,8	1,8
6	0	19,6	17,8

2) при отключённой системе характер изменения угловой скорости относительно вертикальной оси ближе к идеализированной на шипованных шинах, чем на нешипованных.

Оба этих факта объясняются более высокими сцепными свойствами шипованных шин, однако степень влияния ЭКУ на устойчивость автомобиля предстоит установить.

Значения средних реальных и идеализированного угловых ускорений автомобиля вокруг вертикальной оси по характерным участкам (табл. 1 и 2) определяются по следующим формулам (град/с²):

$$\varepsilon_{z\text{ ср } i} = \frac{\int_0^{t_{\text{уч } i}} \varepsilon_{zi}(t) dt}{t_{\text{уч } i}}; \tag{2}$$

$$\varepsilon_{z\text{ ср ид } i} = \frac{\int_0^{t_{\text{уч } i}} \varepsilon_{z\text{ ид } i}(t) dt}{t_{\text{уч } i}}, \tag{3}$$

где ε_z — реальное угловое ускорение автомобиля относительно вертикальной оси, рад/с²; $\varepsilon_{z\text{ ср}}$ — среднее реальное угловое ускорение автомобиля относительно вертикальной оси, рад/с²; $\varepsilon_{z\text{ ид}}$ — идеализированное угловое ускорение автомобиля относительно вертикальной оси, рад/с²; $\varepsilon_{z\text{ ср ид}}$ — среднее идеализированное угловое ускорение автомобиля относительно вертикальной оси, рад/с²; $t_{\text{уч}}$ — время участка, сек.; i — порядковый номер участка (i от 1 до 6).

Расчитанные значения угловых ускорений сравниваем друг с другом на одном типе пневматических шин. Наилучшим значением считается та величина,

которая ближе по своему значению к идеализированному угловому ускорению после первого срабатывания системы ЭКУ на участках № 1–5. Участок № 6 необходимо рассматривать особым образом: наилучшим значением углового ускорения следует считать наибольшую величину.

Анализ табл. 1 и 2 показал, что на участках № 2–5 значения угловых ускорений при включённой системе ЭКУ ближе к идеализированным значениям, чем при отключённой системе. На участке № 6 наибольшее значение углового ускорения достигается при включённой системе. Подобная закономерность характерна как для шипованной, так и для нешипованной шины. Таким образом, независимо от типа шины (шипованная, нешипованная) устойчивость и управляемость автомобиля при включённой системе не хуже, чем при отключённой.

Для того чтобы определить сравнительную оценку эффективности взаимодействия системы ЭКУ с шипованными или нешипованными шинами, следует выбрать наиболее информативный участок, где срабатывает система ЭКУ. В нашем случае это участок № 4, где идеализированное угловое ускорение равно 0.

Критерий эффективности действия ЭКУ на участке № 4 заезда с рулевым роботом K определяется следующим образом [1]:

$$K = \Delta_{\text{откл}} / \Delta_{\text{вкл}},$$

где $\Delta_{\text{вкл}}$ и $\Delta_{\text{откл}}$ — разности реальных и идеализированных ускорений на участке № 4 манёвра при включённой и выключенной системе ЭКУ соответственно:

$$\Delta_{\text{вкл}} = |\varepsilon_{z\text{ ид ср}} - \varepsilon_{z\text{ ср вкл}}| \text{ (при включённой системе ЭКУ);}$$

$$\Delta_{\text{откл}} = |\varepsilon_{z\text{ ид ср}} - \varepsilon_{z\text{ ср откл}}| \text{ (при выключенной системе ЭКУ).}$$

Результаты определения критерия эффективности действия ЭКУ представлены в табл. 3.

Сравнительная оценка эффективности взаимодействия ЭКУ с установленными шинами:

$$\Delta = K_{\text{ши}} / K_{\text{и}} = 3.$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведена экспериментальная оценка эффективности действия ЭКУ на автомобиле Nissan X-Trail. Критерий эффективности действия системы ЭКУ определялся на автомобиле, оснащённом шипованными

Таблица 3. Определение критерия эффективности действия ЭКУ на нешипованных и шипованных шинах

Нешипованные шины			Шипованные шины		
$\Delta_{\text{ни вкл}}$	$\Delta_{\text{ни откл}}$	$K_{\text{ни}}$	$\Delta_{\text{ш вкл}}$	$\Delta_{\text{ш откл}}$	$K_{\text{ш}}$
1,7	8,9	5,2	1,2	2	1,7

и нешипованными шинами. Испытания показали, что система ЭКУ оказывает положительное влияние на управляемость и устойчивость на всех участках экспериментального заезда с рулевым роботом.

Установлена взаимосвязь между ошиповкой протектора шины и эффективностью действия ЭКУ. На участке манёвра с фиксированным углом поворота рулевого колеса при идеализированном значении углового ускорения, равном 0, применение ЭКУ на автомобиле, оснащённом шипованными шинами, уменьшает угловое ускорение на указанном участке в 1,7 раза; на автомобиле, оснащённом нешипованными шинами, — в 5,2 раза. Соответственно, эффективность действия системы на нешипованных шинах почти в 3 раза выше, чем на шипованных шинах. Это может быть связано как с повышением общего коэффициента сцепления, так и с формой диаграмм $\varphi - S$ на шипованных и нешипованных шинах, которые имеют ярко выраженные отличия и особенности.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы статьи выражают благодарность за помощь в организации и проведении исследования:

- техническому центру Nissan Europe в лице главного инженера Филиппа Кирилловича Дьякова;
- компании YOKONAMA RUSSIA LLC в лице менеджера технического отдела Кирилла Булатовича Еникеева;
- Центру испытаний НАМИ в лице заведующего отделением безопасности автомобилей Александра Алексеевича Барашкова;
- ООО «Сенсорика-М» в лице ведущего разработчика Александра Владиславовича Желиговского.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Эффективность действия систем электронного контроля устойчивости на автомобилях, оснащённых шипованными шинами, и её комплексная оценка / А. М. Иванов, С. Р. Кристальный, Н. В. Попов и др. // Автомобиль. Дорога. Инфраструктура. — 2017. — № 1. — С. 5.
2. Правила ЕЭК ООН № 13Н «Едиобразные предписания, касающиеся официального утверждения легковых автомобилей в отношении торможения». — М.: Госстандарт России, 2011. — 116 с.
3. IMC C-series network-capable, fanless compact measurement devices: руководство пользователя. — Берлин: IMC Messsysteme GmbH, 2011. — 173 с.
4. Руководство по эксплуатации автомобиля Nissan X-Trail III. — М.: Ниссан Мэнюфэкчуринг РУС, 2015. — 325 с.
5. Шадрин С. С. Возможности использования бортовых сетей передачи данных автотранспортных средств в задачах интеллектуальных транспортных систем / С. С. Шадрин, А. М. Иванов // Автотранспортное предприятие. — 2014. — № 5. — С. 43–46.
6. Шадрин С. С. Методология создания систем управления движением автономных колёсных транспортных средств, интегрированных в интеллектуальную транспортную среду: дис. ... докт. техн. наук. — М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2017. — 400 с.
7. Фадин А. М. Методика расчёта углов поворота рулевого колеса по координатам движения автомобиля / А. М. Фадин, А. М. Иванов, С. С. Шадрин // Естественные и технические науки. — 2013. — № 4 (66). — С. 198–201.
8. Шинный тестер для исследования характеристик шипованных шин / С. Р. Кристальный, В. Н. Задворнов, Н. В. Попов и др. // Вестник Московского автомобильно-дорожного технического университета. — 2013. — № 3. — С. 11–18.
9. Легковой автомобиль — шинный тестер / С. Р. Кристальный, В. Н. Задворнов, Н. В. Попов, В. А. Фомичёв // Автомобильная промышленность. — 2014. — № 1. — С. 34–36.
10. Критерии оценки эффективности действия систем электронного контроля устойчивости автомобилей / С. Р. Кристальный, М. А. Топорков, В. А. Фомичёв, Н. В. Попов // Автомобиль. Дорога. Инфраструктура. — 2015. — № 2 (4). — С. 2.