

УДК 629.3.02

**Сергей Робертович Кристальный**, канд. техн. наук, доц.,  
МАДИ, Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64, sportauto@rambler.ru

**Максим Алексеевич Топорков**, магистрант,  
МАДИ, Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64,  
makstoporkov@rambler.ru

**Владимир Александрович Фомичёв**, аспирант,  
МАДИ, Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64, cricetus90@mail.ru

**Николай Викторович Попов**, канд. техн. наук, доц.,  
МАДИ, Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64, niko-porov@yandex.ru

## **КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЙСТВИЯ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОННОГО КОНТРОЛЯ УСТОЙЧИВОСТИ АВТОМОБИЛЕЙ**

**Аннотация.** В статье приведены предпосылки разработки нового критерия оценки эффективности действия электронных систем контроля устойчивости (ЭКУ) автомобилей. Новый критерий должен адекватно отражать эффективность действия систем ЭКУ не только на покрытиях с высоким коэффициентом сцепления, но и на скользких поверхностях. Это даст возможность в будущем проводить работы по оценке эффективности действия систем ЭКУ на автомобилях, оснащённых зимними, в том числе, шипованными, шинами.

**Ключевые слова:** ЭКУ, VDC, шипованные шины, испытания.

**Sergey R. Kristalnyi**, Ph. D., associate professor,  
MADI, 64, Leningradsky Prosp., Moscow, 125319, Russia, sportauto@rambler.ru

**Maxim A. Toporkov**, master student,  
MADI, 64, Leningradsky Prosp., Moscow, 125319, Russia,  
makstoporkov@rambler.ru

**Vladimir A. Fomitchev**, graduate student,  
MADI, 64, Leningradsky Prosp., Moscow, 125319, Russia, cricetus90@mail.ru

**Nikolay V. Popov**, Ph. D., associate professor,  
MADI, 64, Leningradsky Prosp., Moscow, 125319, Russia, niko-popov@yandex.ru

## **THE CRITERIA FOR EVALUATING THE EFFICIENCY OF THE ELECTRONIC STABILITY CONTROL SYSTEMS OF VEHICLES**

**Abstract.** This paper presents the background for the development of a new evaluation criterion of the efficiency of electronic stability control systems of vehicles (ESC). The new criteria must adequately reflect the efficiency of the ESC systems not only on surfaces with a high coefficient of friction, but also on slippery surfaces. This will provide us the opportunity in the future to carry out work in assessing the efficiency of ESC systems on vehicles equipped with winter, including studded, tires.

**Key words:** ESC, studded tires, testing.

### **Введение**

Активная безопасность автомобиля является одним из важнейших факторов по предотвращению дорожно-транспортных происшествий (ДТП). По данным Всемирной Организации Здравоохранения (ВОЗ), в результате дорожно-транспортных происшествий на нашей планете ежегодно погибает 1 млн человек и более 2 млн человек получают ранения, а глобальные ежегодные экономические издержки ДТП составляют около 600 млрд долл. США [2]. Данные человеческие и экономические издержки распределяются по всем регионам, включая приблизительно 40 000 смертей ежегодно в Европе, свыше 40 000 в США, свыше 90 000 в Индии и свыше 100 000 в Китае. В этой связи органы, разрабатывающие новые нормы безопасности транспортных средств, заинтересованы в разработке новых технологий, которые, возможно, позволят снизить показатели смертности, заболеваемости и экономические издержки, связанные с дорожно-транспортными происшествиями. Системы электронного контроля устойчивости (ЭКУ) представляют собой

одну из наиболее перспективных и хорошо отработанных технологий, позволяющих повысить активную безопасность транспортных средств (ТС). Системы ЭКУ особенно эффективны для предотвращения аварий одиночных транспортных средств при съезде последних с дороги (результатом чего может стать опрокидывание ТС) [2].

Анализ данных о ДТП в США, Европе и Японии показывает, что системы ЭКУ весьма эффективны в снижении аварийности для одиночных транспортных средств. По оценкам [2] системы ЭКУ позволяют снизить число аварий одиночных легковых автомобилей на 34%, а число аварий кроссоверов – на 59%. Также проведенные в США исследования показывают, что системы ЭКУ позволяют предотвратить до 71% аварий одиночных транспортных средств с последующим опрокидыванием и 84% аварий кроссоверов с последующим опрокидыванием. По результатам все тех же исследований выявлено, что 55% водителей и пассажиров автомобилей малой грузоподъемности, погибших в результате аварий одиночных транспортных средств, приходится на аварии, связанные с опрокидыванием. Также подсчитано, что 88% случаев опрокидывания одиночных автомобилей произошло после их съезда с проезжей части, а 95% случаев обусловлено такими факторами, как бордюры, мягкая почва, рытвины, контакт с защитным ограждением, а не из-за сцепления между шиной и дорогой [2].

Таким образом, применение систем ЭКУ позволит существенно повысить активную безопасность автомобилей и снизить долю дорожно-транспортных происшествий среди одиночных транспортных средств, в том числе и связанных с возможным опрокидыванием.

### **Эффективность действия ЭКУ и регламентирующие её нормативные документы**

Работа систем ЭКУ регламентируется международными нормативными документами [4]:

– Глобальные технические правила №8 «Электронные системы контроля устойчивости» (приняты 26 июня 2008 г.).

– Правила №13-Н ЕЭК ООН «Торможение легковых автомобилей», Дополнение 7.

– Правила №13-11 ЕЭК ООН «Торможение грузовых автомобилей и автобусов».

В июле 2008 г. вступили в силу поправки серии 11 к правилам №13 ЕЭК ООН, в которых введены требования к системам обеспечения устойчивости механических транспортных средств и прицепов.

В Приложении 21 к Правилам №13-11 ЕЭК ООН содержатся требования к ТС, оснащенным функцией обеспечения устойчивости. Так для контроля траектории движения механических транспортных средств указанная выше функция должна в индивидуальном порядке автоматически контролировать скорости вращения левых и правых колес на каждой оси путем селективного торможения на основе результатов сравнения фактической траектории транспортного средства с той, которая задается водителем. Помимо селективного торможения, функция обеспечения устойчивости ТС должна предусматривать контроль над следующими параметрами: контролировать мощность на выходном вале двигателя; определять фактическое поведение транспортного средства на основе значений отклонения от задаваемой траектории, горизонтального ускорения, угловой скорости вращения колес; оценивать фактическое поведение ТС на основе значений вертикальной силы, действующей на шину (шины) [4].

В связи со сложностью оценки эффективности при испытаниях систем ЭКУ на скользких и переходных поверхностях, а также на ТС, оснащенных шипованными шинами, аналогичных требований, учитывающих вышеописанные особенности, пока нет [4]. Причем для климатических условий Российской Федерации, где дороги находятся во

влажном и скользком состоянии на протяжении большей части года, данная проблема приобретает особую актуальность. Частным, но не менее важным аспектом вышеозначенной проблемы является эффективность работы систем ЭКУ на автомобилях, оснащенных шипованными шинами. Существенным шагом в данном направлении будет разработка критерия и процедуры испытаний, которые позволят оценить эффективность действия систем ЭКУ независимо от погодных условий, типа шин и коэффициента сцепления с покрытием.

### **Анализ функционирования систем электронного контроля устойчивости автомобилей на покрытиях с низким коэффициентом сцепления**

На основании ранее проведенных исследований по оценке эффективности действия антиблокировочной системы колес (АБС) автомобиля, оснащенного шипованными шинами, на льду [3], можно предположить, что и эффективность действия систем ЭКУ на скользких покрытиях может быть снижена, в частности и при применении шипованных шин. Системы ЭКУ также поддерживают требуемый уровень относительного скольжения ( $S$ ) каждого из колес в отдельности. Под величиной относительного скольжения  $S$  понимается:

$$S = \frac{V_a - \omega \cdot r_d}{V_a},$$

где  $V_a$  – линейная скорость автомобиля (м/с);  $\omega$  – угловая скорость затормаживаемого колеса (рад/с);  $r_d$  – динамический радиус колеса (м) [5].

Используя узкий диапазон скольжений ( $S$ ), может достигаться высокое значение коэффициентов сцепления в продольном и поперечном направлении ( $\varphi_x, \varphi_y$ ). Зависимость коэффициентов продольного ( $\varphi_x$ ) и поперечного ( $\varphi_y$ ) коэффициентов сцепления от относительного скольжения ( $S$ ) колеса, иллюстрируется  $\varphi$ – $S$  диаграммой.

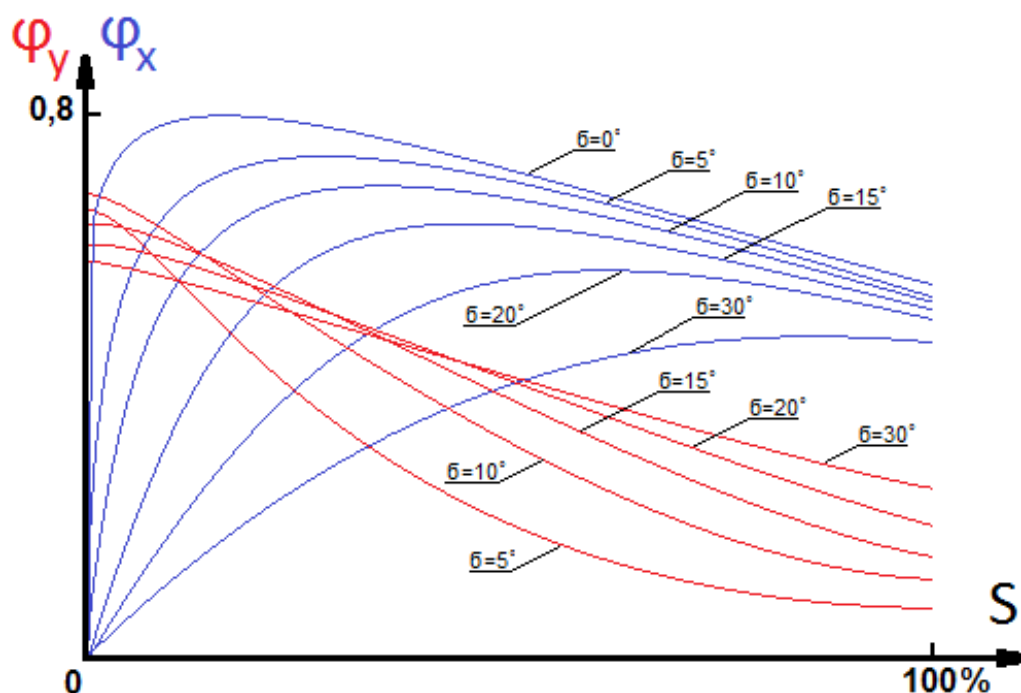


Рис. 1. Зависимости продольного и поперечного коэффициентов сцепления колеса от скольжения ( $S$ ) [1]

На рисунке 1 представлены  $\varphi$ – $S$  диаграммы в зависимости от углов увода и скольжения пневматической шины, построенные Диком А.Б. для летних шин на твердом покрытии с высоким коэффициентом сцепления [1]. Максимум значений  $\varphi_x$  приходится на скольжение примерно равное 10%. Именно это значение  $S$  поддерживают системы ЭКУ при своей работе. Следует также заметить, что и значение  $\varphi_y$  остается при этом достаточно высоким.

Однако при движении по льду на шипованных шинах  $\varphi$ – $S$  диаграмма будет иметь другой вид, как это показано в [3]. Согласно проведенным исследованиям максимум  $\varphi_x$  будет приходиться на большие значения скольжения ( $S$ ). Таким образом, при работе систем ЭКУ, возможны ситуации недоиспользования сцепных свойств шины, как в продольном, так и в поперечном направлении.

На основе вышесказанного мы предлагаем по аналогии с коэффициентом реализации тормозной силы (реализуемое сцепление  $\varepsilon$  [7]) ввести следующий критерий:

$$K = \frac{F_{\text{БР}}}{F_{\text{Бмаx}}},$$

где  $K$  – коэффициент реализации боковой силы;  $F_{\text{БР}}$  – реализуемая боковая сила;  $F_{\text{Бмаx}}$  – максимально возможное значение боковой силы.

### **Экспериментальные исследования**

До настоящего времени в открытой печати авторами не обнаружено сведений о построении  $\varphi_y$ – $S$  диаграмм на льду для шипованной шины. Основной проблемой при получении  $\varphi$ – $S$  диаграмм шипованных шин является невозможность их определения на барабанном стенде с намораживаемым слоем льда из-за его разрушения шипами противоскольжения. Поэтому для исследования работы систем ЭКУ на скользких покрытиях нами была создана ходовая лаборатория на базе автомобиля Nissan X-Trail последнего поколения (рис. 2). Выражаем огромную благодарность техническому центру Nissan Европа, предоставившему автомобиль, и лично главному инженеру Дьякову Филипу Кирилловичу за оперативную и качественную техническую поддержку.



*Рис. 2. Автомобиль Nissan X-Trail третьего поколения*



Автомобиль оснащался поочерёдно шипованными и нешипованными (снятыми с линии ошиповки) шинами YOKOHAMA Ice GUARD 55 225/55 R18 102T. Шины для исследований предоставлены производителем – компанией Yokohama.

На автомобиль была установлена следующая измерительная и регистрирующая аппаратура:

- выносные датчики частоты вращения колес WPT фирмы KISTLER (Германия) для определения окружной скорости колес;
- датчик усилия нажатия на тормозную педаль CPFTA фирмы KISTLER (Германия);
- универсальная измерительная система сбора и обработки данных CS 1016 FAMOS Online фирмы IMC, Германия;
- блок распределения питания Small 12V Power Distributor Box фирмы KISTLER (Германия);
- датчик ускорений и угловых скоростей Tri-Axial Navigational Sensor (TANS) фирмы KISTLER (Германия).

Оборудование IMC также позволяет регистрировать показания штатных датчиков автомобиля, получаемых через бортовую коммуникационную шину передачи данных CAN [6].

Авторы отмечают высокий уровень профессионализма сотрудников ООО «СЕНСОРИКА-М», поставляющего на российский рынок продукцию IMC, и благодарят технического директора Зайцева Бориса Викторовича, ведущего разработчика Желиговского Александра Владиславовича за помощь в настройке измерительной аппаратуры и выражают надежду на дальнейшее плодотворное сотрудничество.

Размещение измерительной и регистрирующей аппаратуры изображено на рис. 3.

Схема электрических соединений измерительной и регистрирующей аппаратуры представлена на рис. 4.



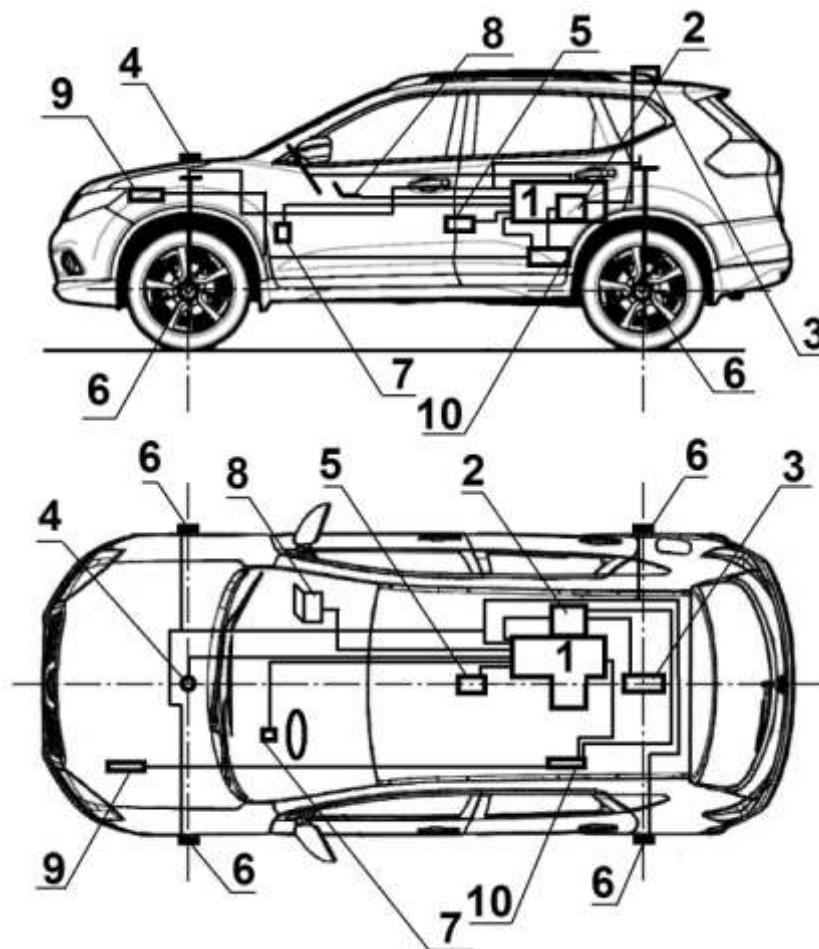


Рис. 3. Размещение измерительной и регистрирующей аппаратуры:  
1 – компактная мобильная система сбора и обработки данных CS 1016 FAMOS Online;  
2 – CDS-GPS-процессор; 3 – GPS-антенна CDS-GPS; 4 – GPS-антенна IMC;  
5 – датчик ускорений и угловых скоростей TANS; 6 – выносной датчик угловой скорости колеса WPT; 7 - датчик усилия нажатия на педаль тормоза CPFTA;  
8 – ноутбук с программным обеспечением IMC; 9 – аккумуляторная батарея автомобиля; 10 – блок распределения питания Small 12V Power Distributor Box

Также для проведения испытательных заездов согласно требованиям [2] на автомобиль был установлен рулевой робот OrbitTD фирмы Anthony Best Dynamics (ABD), Англия (рис. 5).

Рулевой робот и территория для испытаний были предоставлены Центром Испытаний НАМИ. Выражаем благодарность руководству Центра, а также лично заведующему отделением безопасности автомобилей – Барашкову Александру Алексеевичу, оказавшим необходимую поддержку при проведении экспериментальных исследований.

Автомобиль Nissan X-Trail оснащен системой электронного контроля устойчивости (ЭКУ) – VDC (Vehicle Dynamic Control). Испытательные заезды выполнялись как с функционирующей системой ЭКУ, так и без неё.

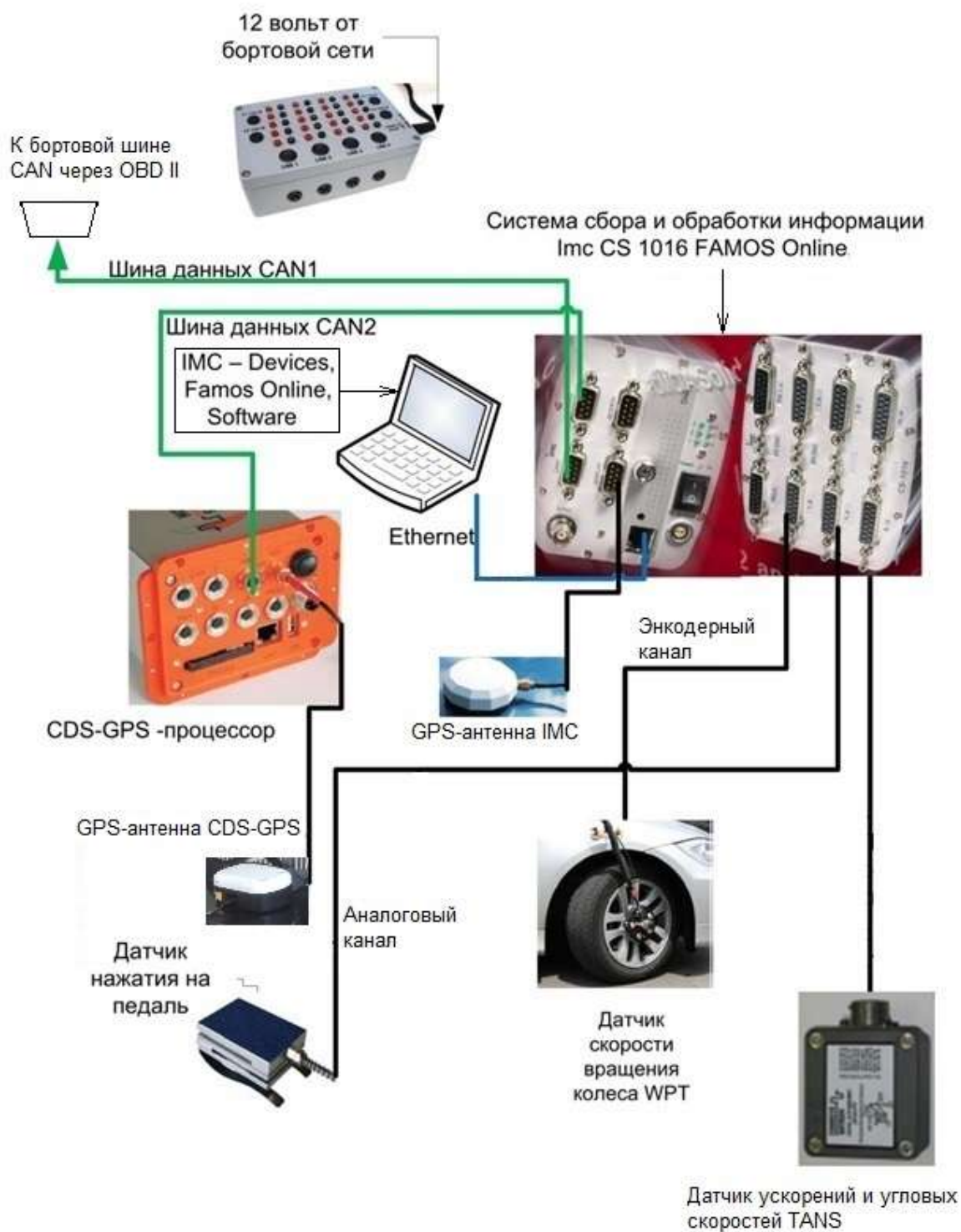


Рис. 4. Схема электрических соединений измерительной и регистрирующей аппаратуры фирм KISTLER и IMC



а

б

Рис. 5. Рулевой робот OrbitTD  
фирмы Anthony Best Dynamics (ABD):  
а – исполнительный механизм рулевого робота;  
б – управляющая аппаратура рулевого робота

### Предварительные результаты испытательных заездов

Графические результаты испытаний представлены на рис. 6–9.

Обработка экспериментальных данных производилась с использованием программного комплекса фирмы IMC FAMOS.

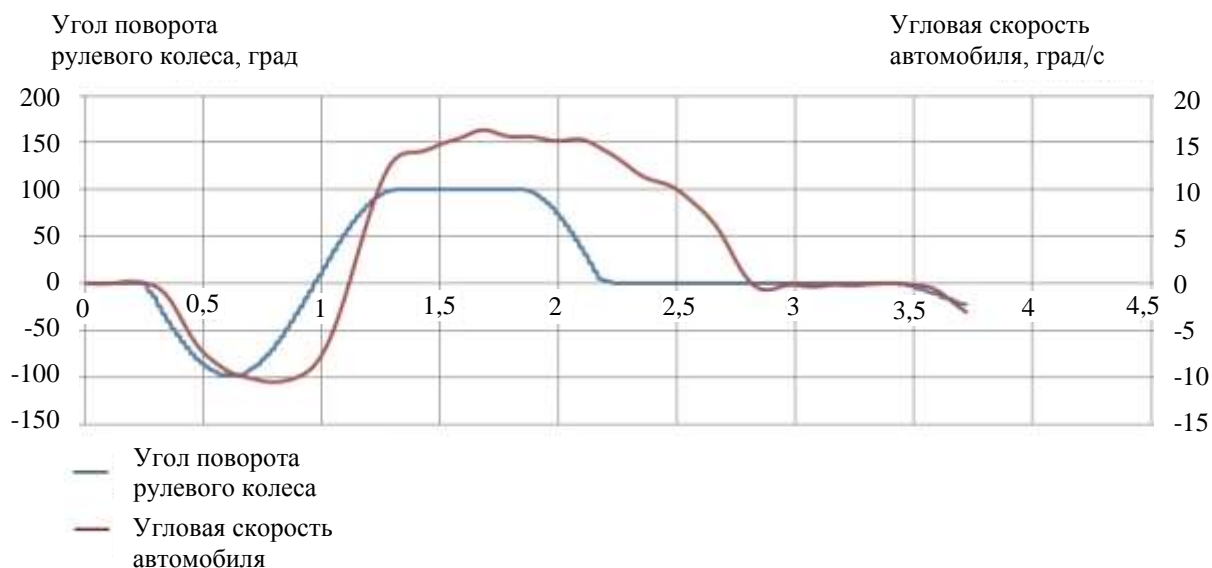
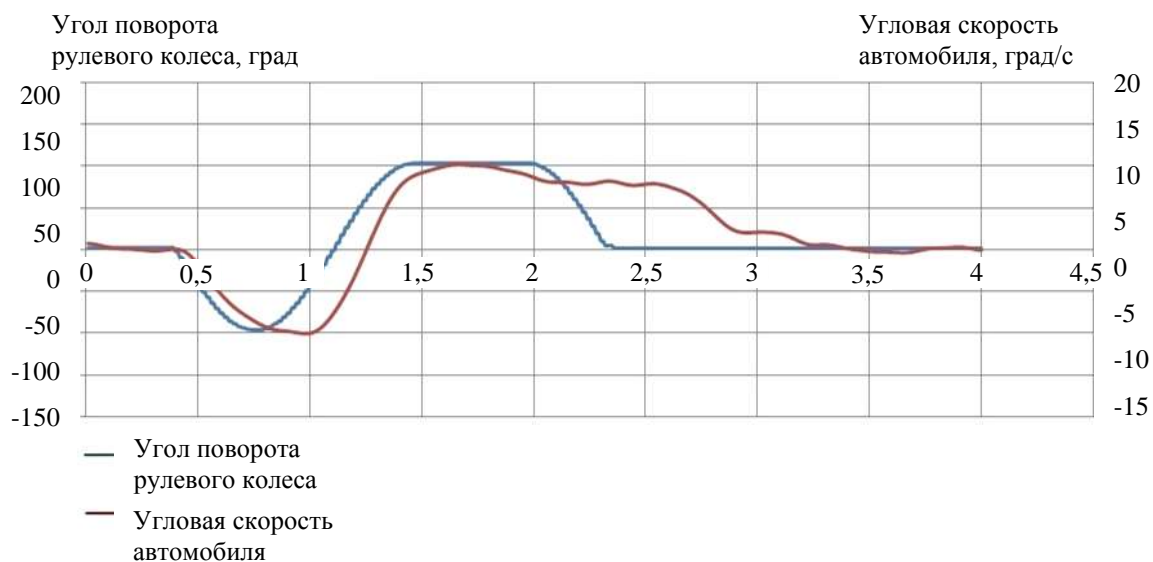


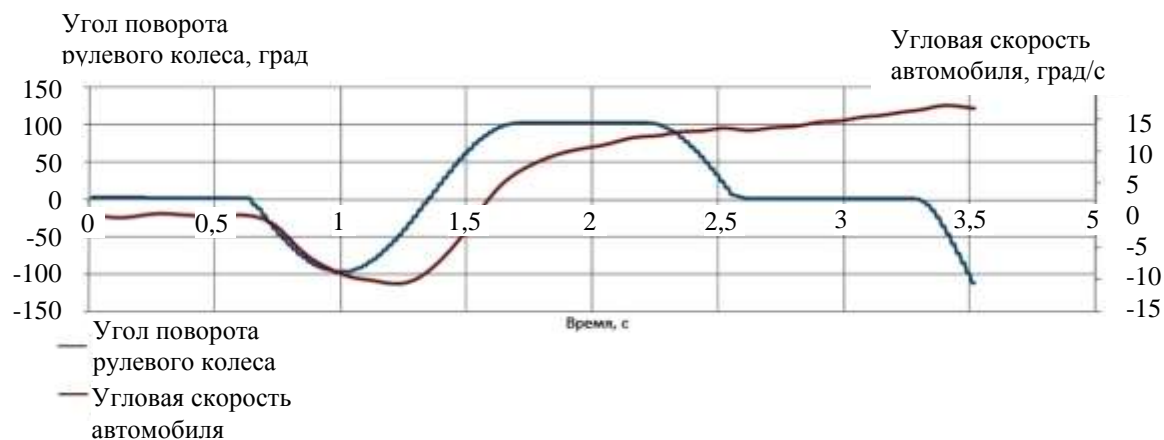
Рис. 6. Зависимости угла поворота рулевого колеса и угловой скорости автомобиля (скорости «рыскания») (при функционирующей ЭКУ, автомобиль оснащён шипованными шинами)



*Рис. 7. Зависимости угла поворота рулевого колеса и угловой скорости автомобиля (скорости «рыскания») (при функционирующей ЭКУ, автомобиль оснащён нешипованными шинами)*



*Рис. 8. Зависимости угла поворота рулевого колеса и угловой скорости автомобиля (скорости «рыскания») (при нефункционирующей ЭКУ, автомобиль оснащён шипованными шинами)*



*Рис. 9. Зависимости угла поворота рулевого колеса и угловой скорости автомобиля (скорости «рыскания») (при нефункционирующей ЭКУ, автомобиль оснащён нешипованными шинами)*

На приведенных графиках видно, что маневр «усеченная синусоида», предложенный в [2], может быть выполнен также и на покрытиях с низким коэффициентом сцепления. Дальнейшие результаты и выводы будут получены после обработки данных.

### **Заключение**

1. Выдвинуто предположение о возможном снижении эффективности действия систем ЭКУ на покрытиях с низким коэффициентом сцепления и при установке на автомобиль шипованных шин.

2. На основе [2] предложен критерий оценки эффективности действия систем ЭКУ и, предложено разработать методику его экспериментального определения.

3. В связи с невозможностью испытания шипованных шин на барабанных шинных стендах, разработана ходовая лаборатория и проведены заезды на ледовом покрытии. Испытательный маневр исполнен в соответствии с [2].

4. Получены первичные данные о работе систем ЭКУ на покрытии с низким коэффициентом сцепления как на нешипованных шинах, так и на шипованных.

5. После обработки экспериментальных данных станет возможным проверить работоспособность предложенного критерия оценки эффективности действия ЭКУ и методики его определения.

### **Список литературы**

1. Дик А.Б. Расчет стационарных и нестационарных характеристик тормозящего колеса при движении с уводом: дис. ... канд. техн. наук. М., 1988. 228 с.



2. Глобальные технические правила № 8 «Электронные системы контроля устойчивости». Введены в Глобальный регистр 26.06.2008.
3. Кристальный С.Р., Попов Н.В. Проблемы функционирования АБС на автомобилях, оснащённых шипованными шинами // Автомобильная промышленность. 2012. № 8. С. 20–22.
4. Сальников В.И., Козлов Ю.Н., Прокофьев А.А., Сыропатов М.Б. Оценка эффективности работы электронных систем контроля устойчивости АТС // Автомобильная промышленность. 2013. № 10. С. 31–34.
5. Фрумкин А.К., Алышев И.И., Попов А.И. Антиблокировочные и противобуксовочные системы легковых автомобилей. М.: ЦНИИТ ЭИАВТОПРОМ, 1989. 52 с.
6. Шадрин С.С., Иванов А.М. Возможности использования бортовых сетей передачи данных автотранспортных средств в задачах интеллектуальных транспортных систем // Автотранспортное предприятие. 2014. № 5. С. 43–46.
7. Правила ЕЭК ООН № 13-11. Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения механических транспортных средств категорий М, N и O в отношении торможения. 2008. 311 с.

### References

1. Dik A.B. *Raschet stacionarnyh i nestacionarnyh harakteristik tormozjashhego koleasa pri dvizhenii s uvodom* (Calculation of stationary and non-stationary characteristics of the braking wheel driving with gone): dis. ... kand. tehn. nauk, Moscow, 1988, 228 p.
2. Global'nye tehicheskie pravila №8 «Jelektronnye sistemy kontrolja ustojchivosti». Vvedeny v Global'nyj registr 26.06.2008.
3. Kristal'nyj S.R., Popov N.V. *Avtomobil'naja promyshlennost'*, 2012, no. 8, pp. 20–22.

4. Sal'nikov V.I., Kozlov Ju. N., Prokof'ev A.A., Syropatov M.B. *Avtomobil'naja promyshlennost'*, 2013, no. 10, pp. 31 – 34.
5. Frumkin A.K., Alyshev I.I., Popov A.I. *Antiblokirovochnye i protivobuksovochnye sistemy legkovyh avtomobilej*, Moscow, CNIIT JeIAVTOPROM, 1989, 52 p.
6. Shadrin S.S., Ivanov A.M. *Avtotransportnoe predpriyatie*, 2014, no. 5, pp. 43–46.
7. Pravila EJeK OON № 13-11. Edinoobraznye predpisanija, kasajushiesja oficial'nogo utverzhdenija mehanicheskikh transportnyh sredstv kategorij M, N i O v otnoshenii tormozhenija, 2008, 311 p.