

УДК 629.113

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРОННОЙ СИСТЕМЫ ДИНАМИЧЕСКОЙ СТАБИЛИЗАЦИИ ЛЕГКОГО КОММЕРЧЕСКОГО АВТОМОБИЛЯ НА БЕЗОПАСНОСТЬ КРИВОЛИНЕЙНОГО ДВИЖЕНИЯ

Вашурин А.С., Мошков П.С., Трусов Ю.П., Торопов Е.И., Тумасов А.В.

ФГОУ ВПО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева»,
Нижний Новгород, e-mail: nntu@nntu.nnov.ru

В статье рассматриваются результаты проведенных испытаний по оценке эффективности электронной системы динамической стабилизации (ESP) легкого коммерческого автомобиля. Основная цель исследования – изучение поведения автомобиля, оснащенного системами обеспечения курсовой устойчивости, в условиях криволинейного движения и определение моментов срабатывания системы ЭКУ и степени её влияния на динамику движения. Объект исследования – цельнометаллический грузовой коммерческий автомобиль Renault Master 2.3 dci 125, оснащенный системой ESP Bosch 9.0. В процессе испытаний выполнялись заезды с различными скоростями по ГОСТ 31507-2012 («вход в поворот 35 м» и «переставка 20 м») на полигоне ООО «Автомобильный завод ГАЗ». Производилась фиксация скорости движения и рыскания, продольных и поперечных ускорений транспортного средства, а также угол поворота рулевого колеса. В процессе обработки экспериментальных данных установлено, что при выполнении маневра «вход в поворот 35 м» порог срабатывания системы динамической стабилизации составил 58–59 км/ч, а при выполнении «переставка 20 м» – 60–65 км/ч.

Ключевые слова: электронная система динамической стабилизации, угол поворота рулевого колеса, скорость рыскания, ускорение, криволинейное движение

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF THE ELECTRONIC STABILITY SYSTEM OF LIGHT COMMERCIAL VEHICLES BY THE SAFETY OF CURVILINEAR MOVEMENT

Vashurin A.S., Moshkov P.S., Trusov Y.P., Toropov E.I., Tumasov A.V.

Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev,
Nizhny Novgorod, e-mail: nntu@nntu.nnov.ru

Results of conducted tests to assess the effectiveness of the electronic system Dynamic Stability Control light commercial vehicle are considered in this article. The main objective of the research is the study of the behavior of a vehicle, equipped ESP system, in a curvilinear movement and determination a response time of the ESP system and its degree of an influence on the dynamics of movement. The object of the research is metal cargo commercial vehicle Renault Master 2.3 dci 125, equipped the system ESP Bosch 9.0. Races at different rates were performed according to GOST 31507-2012 («entry into the 35 m turn» and «lane change 20 m») at the training ground of «Automobile Plant GAZ». The movement speed and yaw, the longitudinal and lateral accelerations of the vehicle and the steering angle were recorded. During the analysis of the experimental data we found that during maneuvering «entrance into the turn 35 m» threshold of dynamic stabilization was 58–59 km/h, and during maneuvering «ane change 20 m» was 60–65 km/h.

Keywords: electronic stability system, steering wheel angle, yaw rate, acceleration, curvilinear movement

Причиной большого числа ДТП является человеческий фактор. Даже при обычных условиях движения водитель и автомобиль могут достигнуть своих физических пределов. Система динамической стабилизации (ESP) вносит значительный вклад в преодоление таких ситуаций, помогая водителю сохранить управляемость автомобиля в физических рабочих пределах. Данная система использует тормозную систему автомобиля и силовой агрегат для коррекции продольного и поперечного движения автомобиля в критических ситуациях [1].

Цель системы управления динамикой – сохранить три степени свободы автомобиля в плоскости дороги – линейную скорость v_x , поперечную скорость v_y и скорость ψ вра-

щения вокруг вертикальной оси – в контролируемых пределах [1].

Система ESP состоит из автомобиля как управляемой системы, датчиков, определяющих входные переменные, исполнительных органов для коррекции тормозных, движущих и поперечных сил, а также иерархически структурированных контроллеров – контроллера поперечной динамики (высший уровень) и контроллеров колес (низший уровень) (рис. 1). Контроллер высшего уровня определяет заданные значения для контроллеров низшего уровня в виде моментов или скольжения или их изменений. Внутренние системные переменные, не измеряемые напрямую, такие как угол дрейфа β , определяются при оценке условий движения [1].

Чтобы определить номинальное поведение, анализируются сигналы, соответствующие командам водителя. Оцениваются сигналы от датчика положения рулевого колеса, датчика давления в тормозной системе и положения педали акселератора. При вычислении номинального поведения также учитывается используемый потенциал коэффициента сцепления шин с дорогой и скорость автомобиля. Эти параметры оцениваются на основе сигналов, получаемых от датчиков частоты вращения колес, датчика поперечного ускорения, датчика скорости вращения вокруг вертикальной оси и датчика давления в тормозной системе. Затем вычисляется момент относительно вертикальной оси, который необходим для приближенного приведения параметров действительного состояния к параметрам требуемого состояния [1].

Для определения стабилизирующих вмешательств важно не только знать сигналы от датчиков угловых скоростей ко-

лес ω_{Whl} , давление на впуске p_{Adm} , скорость вращения вокруг вертикальной оси ψ , поперечное ускорение a_y , угол поворота рулевого колеса δ и крутящий момент двигателя, но и ряд других внутренних системных переменных, которые могут быть измерены косвенно. К ним, к примеру, относятся силы, действующие на шины в продольном, поперечном и нормальном направлениях (F_x , F_y и F_N), линейная скорость v_x , значения относительного скольжения шин λ_i , угол бокового увода колес α на одной оси, угол дрейфа β , поперечная скорость автомобиля v_y и коэффициент сцепления μ . Они определяются по сигналам датчиков на базе вычислительных моделей. Линейная скорость автомобиля v_x имеет ключевую важность для всех контроллеров бокового увода колес и поэтому должна вычисляться с отклонением в несколько процентов для обеспечения стабилизирующего вмешательства в необходимой степени [1].

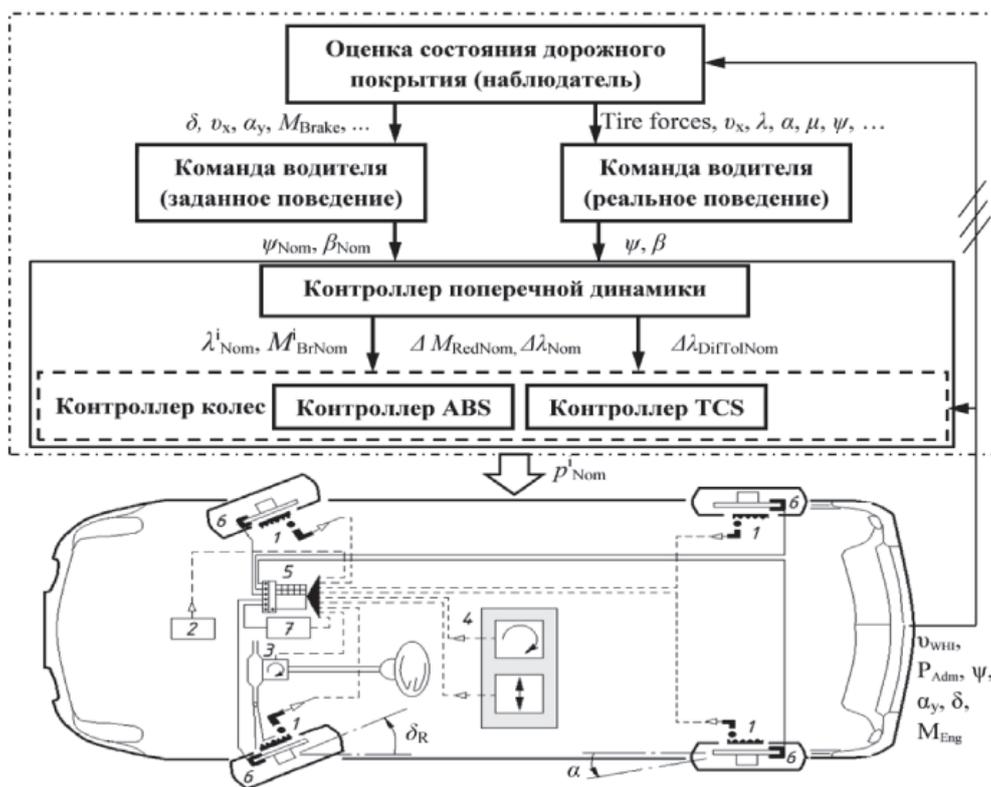


Рис. 1. ESP – общая система управления;

1 – датчики угловых скоростей колес; 2 – датчик тормозного давления (встроен в гидравлический блок); 3 – датчик угла поворота рулевого колеса; 4 – датчик вращения вокруг вертикальной оси со встроенным датчиком поперечного ускорения; 5 – гидравлический блок (гидравлический модулятор) ESP с ЭБУ; 6 – тормоза колес; 7 – ЭБУ двигателя; λ^i_{Nom} – номинальная величина относительного скольжения шины на колесе i ; M^{BrNom} – номинальный тормозной момент на колесе i ; ΔM_{RedNom} – приращение номинального момента двигателя; $\Delta \lambda^i_{DifTotNom}$ – номинальное изменение допустимой разности в относительном скольжении приводной оси (осей)

Стоит отметить, что с 1 ноября 2014 года все новые легковые автомобили массой до 3,5 тонн и легкие коммерческие машины, продаваемые на территории Евросоюза, обязаны иметь систему динамической стабилизации в качестве базового оснащения. В 2015 году это требование распространится и на другие виды транспорта. С 1 января 2016 г. все новые автомобили, не прошедшие ранее оценку соответствия в РФ, должны быть оснащены системой ABS и ESP. В России пока нет специалистов и оборудования, которые смогли бы произвести и настроить данную систему, поэтому отечественные автопроизводители пользуются услугами именитых корпораций (Bosch, Wabco, Knorr-Bremse и др.).

Исследованиям систем динамической стабилизации посвящены работы В.Г. Дыгало, Е.С. Балясникова, В.В. Баева, М.П. Малиновского и др. Сложная дорожно-транспортная ситуация в России показывает, что уже в настоящее время существует острая необходимость в соответствующих исследованиях и научно-практических работах, полученные знания и результаты могут быть применены в разработке отечественных импортозамещающих систем [6].

Работа систем ЭКУ регламентируется международными нормативными документами:

- 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».

При испытании систем динамической стабилизации используется маневр по усеченной синусоиде, регламентированный в глобальных технических правилах № 8.

На удорожании процесса проведения испытаний сказывается необходимость существенного вложения средств в полигоны для исследования динамики автомобиля с автоматизированными системами (наличие специально подготовленной площадки, оборудование автомобиля рулевым роботом и системами GPS) [3, 4, 5]. На данный момент в Российской Федерации этим требованиям соответствует только Научно-исследовательский центр по испытаниям и доводке автотехники ФГУП «НАМИ». В связи с этим было принято решение об исследовании криволинейного движения по ГОСТ 31507-2012 «Автотранспортные средства. Управляемость и устойчивость. Технические требования. Методы испытаний», проведя испытания «вход в поворот» и «переставка».

При испытаниях «вход в поворот 35 м» и «переставка 20 м» выполняют заданные разметками маневры (соответственно рис. 2, а и б) при постепенном увеличении скорости от заезда к заезду. В процессе испытаний регистрируют скорость АТС на участке 1 и отмечают заезды, в которых происходит отрыв колес от поверхности дороги или выход их за пределы размеченного коридора [2].

Объект исследования – цельнометаллический грузовой коммерческий автомобиль Renault Master 2.3 dci 125. Данное транспортное средство оснащено системой ESP Bosch 9.0. В этой модификации датчики измерения угловой скорости, продольного и поперечного ускорения встроены в блок управления и способны выдерживать высокую температуру в моторном отсеке.

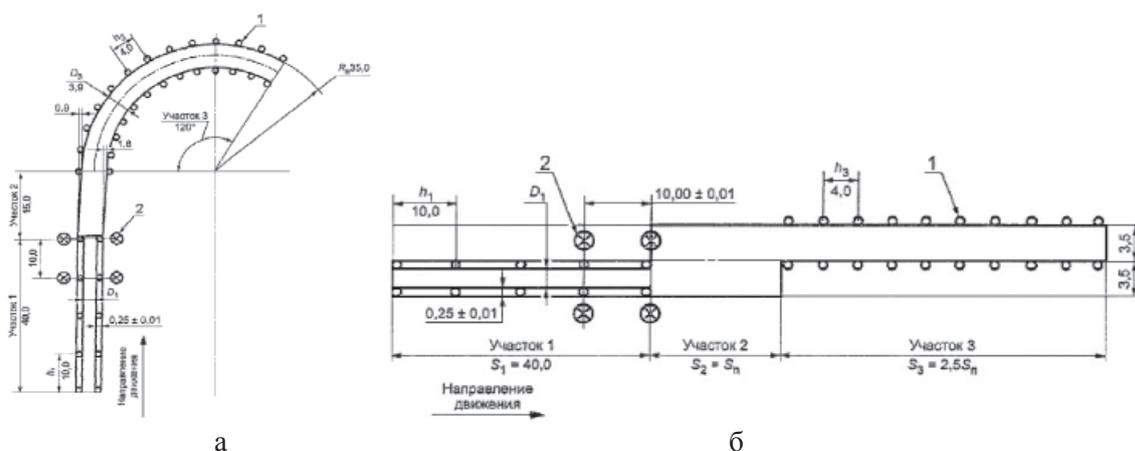


Рис. 2. Разметки маневров по ГОСТ 31507-2012:
а – вход в поворот 35 м; б – переставка 20 м

Настоящее исследование предусматривает проведение практического эксперимента, целью которого является изучение поведения автомобиля, оснащенного системами обеспечения курсовой устойчивости, в условиях криволинейного движения и определение моментов срабатывания системы ЭКУ и степени её влияния на динамику движения.

Испытания проводились на полигоне ОАО ГАЗ «Березовая пойма». Исследования выполнены при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках проекта по договору № 02.G25.31.0006

от 12.02.2013 г. (постановление Правительства Российской Федерации от 9 апреля 2010 года № 218). Экспериментальные исследования выполнены с использованием измерительного оборудования Центра коллективного пользования НГТУ «Транспортные системы».

Во время выполнения маневров «вход в поворот 35 м» и «переставка 20 м» производилась запись данных об угле поворота рулевого колеса оборудованием Kistler Automotive GmbH (угол поворота – $\pm 1250^\circ$, погрешность – $\pm 0,1\%$), скорость движения т.с фиксировалась при помощи прибора



Рис. 3. Принципиальная схема соединения измерительной аппаратуры

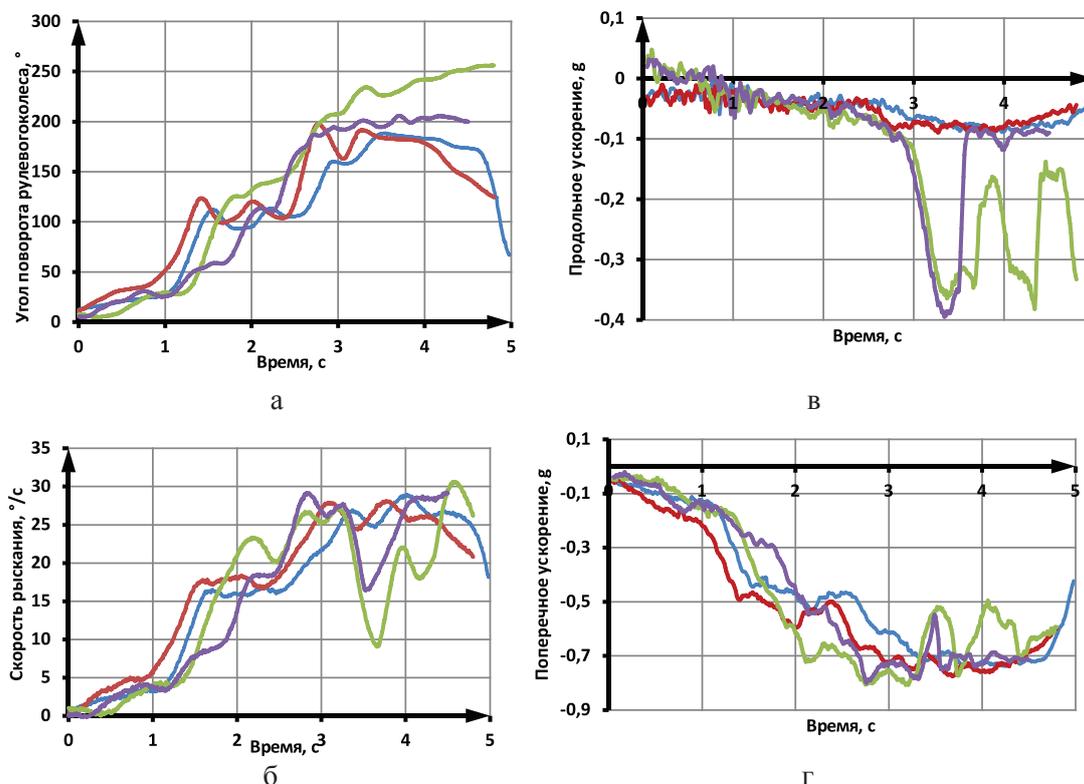


Рис. 4. Результаты испытания «вход в поворот 35 м»:

а – график угла поворота рулевого колеса; б – график скорости рыскания; в – график продольного ускорения; г – график поперечного ускорения;
синяя линия – скорость в коридоре 1 составляла 55 км/ч (ESP не сработало); красная – 57,7 км/ч (ESP не сработало); фиолетовая – 59,2 км/ч (ESP сработало); зеленая – 63 км/ч (ESP сработало)

RacelogicVBOX3i 100 Hz Data Logger (абсолютная погрешность $\pm 0,1$ км/ч, абсолютная погрешность измерения расстояния $\pm 0,2\%$), для измерения скорости рыскания и продольных, поперечных ускорений использовался инерционный сенсор IMU04 Racelogic Ltd. (диапазон измерений: угловая скорость $\pm 450^\circ/\text{с}$; ускорение ± 5 g; погрешность измерений: угловая скорость – $0,014^\circ/\text{с}$; ускорение – $0,00015$ g). В начале и конце движения ручным триггером ставилась временная метка.

Принципиальная схема соединения измерительного оборудования представлена на рис. 3.

При выполнении маневра «вход в поворот 35 м» порог срабатывания системы динамической стабилизации составляет 58–59 км/ч (рис. 4). По характеру изменения угла поворота рулевого колеса (рис. 4, а) и скорости рыскания (рис. 4, б) можно сделать вывод, что при данном испытании включалась особая функция ESP – RMF – подавления опрокидывания. Система ЭКУ, подтормаживая колеса (рис. 4, в), уменьшала критическое поперечное ускорение (рис. 4, г) и скорость вращения вокруг вертикальной оси (рис. 5, в), таким образом, не происходил отрыв.

Произведя анализ графиков (рис. 5), можно сделать вывод, что при маневре «переставка 20 м» срабатывал контроллер поперечной динамики. В данном испытании (в отличие от «входа в поворот 35 м») кривые угловой скорости вращения вокруг вертикальной оси (рис. 5, б) повторяют характер изменения угла поворота рулевого колеса (рис. 5, а), таким образом, сохранялась курсовая устойчивость, т.е. автомобиль продолжал двигаться по траектории, заданной водителем. Порог срабатывания системы ЭКУ при испытании «переставка 20 м» составил 60–65 км/ч. ESP, подтормаживая колеса (рис. 5, в), корректировала поперечное ускорение (рис. 5, г), таким образом, восстанавливая устойчивость.

Результаты измерений представлены на рис. 4 и 5.

Данное исследование было проведено в сухую погоду на сухом асфальте, как и предусмотрено в ГОСТ 31507-2012. Интерес представляют испытания при аналогичных режимах движения, но по мокрому асфальту, дороге с низким коэффициентом сцепления. Анализ режимов системы динамической стабилизации в данных условиях может являться дальнейшим продолжением выполненной работы.

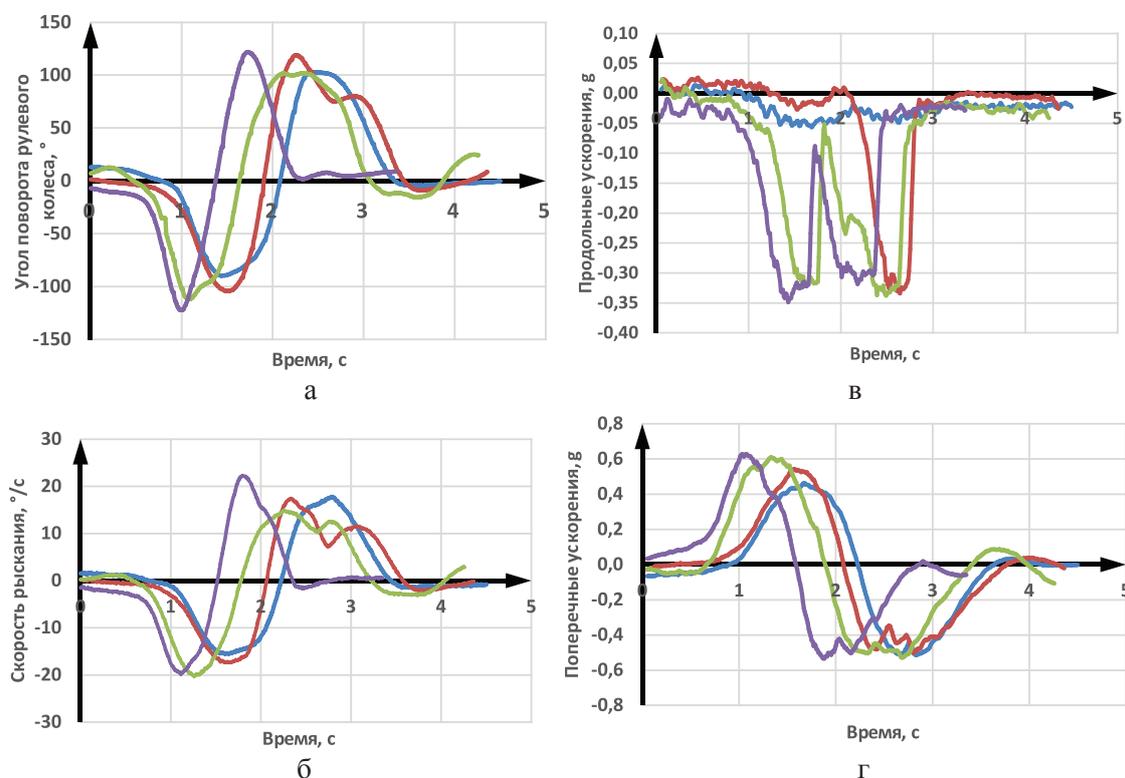


Рис. 5. Результаты испытания «переставка 20 м»:

а – график угла поворота рулевого колеса; б – график скорости рыскания;
 в – график продольного ускорения; г – график поперечного ускорения;
 синяя линия – скорость в коридоре I составляла 60 км/ч (ESP не сработало); красная – 65 км/ч (ESP сработало); зеленая – 77 км/ч (ESP сработало); фиолетовая – 84 км/ч (ESP сработало)

Список литературы

1. Автомобильный справочник: пер. с англ. ООО «СтарСПб». – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: ООО Книжное издательство «За рулем», 2012 – 1280 с.

2. ГОСТ 31507-2012. Автотранспортные средства. Управляемость и устойчивость. Технические требования. Методы испытаний.

3. Дыгало В.Г., Ревин А.А. Технологии испытания систем активной безопасности автотранспортных средств: монография – М.: Машиностроение, 2012. – 388 с.

4. Правила ЕЭК ООН № 8. Электронные системы контроля устойчивости.

5. Правила ЕЭК ООН № 13-10. Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения транспортных средств категорий М, N и O в отношении торможения.

6. Тумасов, А.В., Грошев А.М., Палкович Л. Применение электронных систем курсовой устойчивости на коммерческом транспорте российского производства // Журнал ассоциации автомобильных инженеров. – 2010. – № 1 (60). – С. 34–37.

References

1. Avtomobilnyj spravochnik [Car Handbook] Moscow, ООО Knizhnoe izdatelstvo «Za rulem», 2012, 1280 p.

2. GOST 31507-2012. Avtotransportnye sredstva. Upravlyaemost i ustojchivost. Tekhnicheskie trebovaniya. Metody ispytaniy. [State Standard 31507-2012. Motor vehicles. Handling and stability. Technical requirements. Test methods].

3. Dygalo V.G., Revin A.A. Tehnologii ispytaniya sistem aktivnoj bezopasnosti avtotransportnyh sredstv [Technology testing of active safety of vehicles]. Moscow, Mashinostroenie, 2012, 388 p.

4. Pravila EJeK OON no. 8. Jelektronnye sistemy kontrolja ustojchivosti [UNECE Regulation no. 8. Electronic stability control systems].

5. Pravila EJeK OON no. 13–10. Edinoobraznye predpisanija, kasajushiesja oficialnogo utverzhdenija transportnyh sredstv kategorij M, N i O v otnoshenii tormozhenija. [UNECE Regulations no. 13–10. Uniform provisions concerning the approval of vehicles of categories M, N and O with regard to braking.]

6. Tumasov, A.V., Groshev A. M., Palkovich L. The using of electronic stability systems in commercial vehicles of russian production [Primenenie jelektronnyh sistem kursovoj ustojchivosti na kommercheskom transporte rossijskogo proizvodstva] Zhurnal asociacii avtomobilnyh inzhenerov, 2010, no. 1 (60), pp. 34–37.