

УДК 629.113

Е.И. Торопов, Ю.П. Трусов, П.С. Мошков, А.А. Аникин, А.С. Вашурин, Ю.И. Палутин

**ПРОВЕДЕНИЕ НАТУРНЫХ ИСПЫТАНИЙ ДЛЯ ОТЛАДКИ  
ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ОЦЕНКИ УПРАВЛЯЕМОСТИ  
ЛЕГКИХ КОММЕРЧЕСКИХ АВТОМОБИЛЕЙ, ОСНАЩЕННЫХ СИСТЕМАМИ  
ЭЛЕКТРОННЫМИ КОНТРОЛЯ УСТОЙЧИВОСТИ. ОСОБЕННОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ  
МАНЕВРОВ НА СУХОМ И ВЛАЖНОМ АСФАЛЬТЕ**

Нижегородский государственный технический университет им. П.Е. Алексеева

Одним из способов решения проблемы снижения количества дорожно-транспортных происшествий является установка на автомобили электронных систем помощи водителю, в частности, системы электронного контроля устойчивости (ЭКУ). Для сокращения объема натурных испытаний в настоящее время активно развиваются технологии компьютерного моделирования движения транспортных средств с использованием систем виртуально-физического моделирования (Hardware-in-the-loop (HIL)) в режиме реального времени. Для отладки работы такого оборудования необходимо наличие большой выборки данных с натурных испытаний. Испытания проводятся в различных условиях, на дорогах с низким коэффициентом покрытия (сырой асфальт, снег, лед, микст), при выполнении различных маневров. В работе приводятся результаты выполнения маневра «Переставка» на дорогах с различным коэффициентом сцепления.

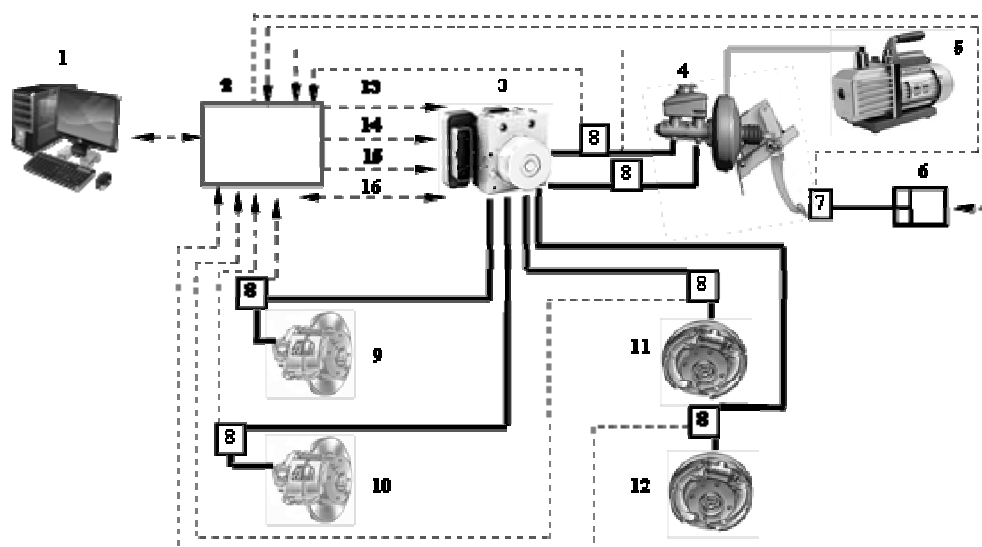
*Ключевые слова:* система электронного контроля устойчивости (ЭКУ), легкий коммерческий автомобиль, системы виртуально-физического моделирования, Hardware-in-the-loop, HIL, Правила ЕЭК ООН № 13-11, управляемость, переставка, CAN.

Повышение уровня активной безопасности невозможно без применения электронных систем курсовой устойчивости (ЭКУ). В Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 018/2011 «О безопасности колесных транспортных средств» требования в отношении оснащения автомобилей функцией обеспечения устойчивости для вновь выпускаемых ТС категории M<sub>1</sub> и N<sub>1</sub> планируется ввести с 2018 года.

Для сокращения объема натурных испытаний, проведение которых не всегда возможно или целесообразно, например, на начальном этапе проектных работ, когда еще нет действующего прототипа или при создании на базовом шасси единичных или малосерийных модификаций, в настоящее время применяются технологии компьютерного моделирования движения транспортных средств в реальном времени. Оценка динамики движения автомобилей по результатам моделирования является сложной задачей, поскольку необходимо моделировать не только конструкцию транспортного средства (тормозную систему, рулевое управление, подвеску, несущую систему и др.), но и управляющие воздействия. Для учета поведения реальных агрегатов автомобилей при компьютерной оценке динамики движения ТС, используются системы виртуально-физического моделирования (Hardware-in-the-loop (HIL)) в режиме реального времени. Общая схема стенда для оценки динамики движения автомобиля оснащенного ЭКУ приведена на рис. 1 [1-3].

Требования к квалификации водителя при управлении автомобилем на дороге с низким коэффициентом покрытия (сырой асфальт, снег, лед) значительно выше, чем при управлении на сухом ровном асфальте. Электронная система контроля курсовой устойчивости может помочь сохранить контроль над автомобилем на различных дорогах водителю любой квалификации. Для отладки работы стенда виртуально-физического моделирования был выполнен большой объем испытаний, включающий в себя выполнение различных маневров, таких как «вход в поворот радиусом 35 м», «переставка 20 м» (по ГОСТ 31507-2012), «двойная переставка» по ISO 3888-2 и др. На автомобиле было установлено измерительное оборудование ЦКП «Транспортные системы» НГТУ для получения массива экспериментальных

данных. Испытания проводились на покрытиях с разным коэффициентом сцепления (сухой/мокрый асфальт). Исследования выполнены при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках проекта по договору № 02.G25.31.0193 от 27.04.2016 г. (постановление Правительства Российской Федерации от 9 апреля 2010 года №218). Рассмотрим поведение машины и работу системы ЭКУ на примере выполнения маневра «Переставка» на дорогах с различным коэффициентом сцепления.



**Рис. 1. Принципиальная схема ПАК для испытаний тормозных гидравлических систем с ЭКУ:**

1 – п.к с установленным п.о.; 2 – согласующее устройство; 3 – ЭБУ+ГБУ системы ЭКУ; 4 – ГТЦ+ВУТ+педаль тормоза; 5 – вакуумный насос; 6 – исполняющее устройство (например: робот педали тормоза); 7 – датчик силы нажатия на педаль; 8 – датчики давления, врезанные в тормозную гидравлическую систему (сплошные линии – условное обозначение тормозных гидравлических трубок; пунктир – сигнальные провода от датчиков или устройств); 9 – передний правый тормозной механизм; 10 – передний левый тормозной механизм; 11 – задний правый тормозной механизм; 12 – задний левый тормозной механизм; 13 – генерируемый согласующим устройством сигнал датчика угла поворота рулевого колеса (CAN-шина), 14 – генерируемые сигналы датчиков скорости вращения колес (4 цифровых канала); 15 – генерируемые сигналы датчика продольных и поперечных ускорений (CAN-шина); 16 – управление работой электронной системы управления двигателем (CAN-шина)



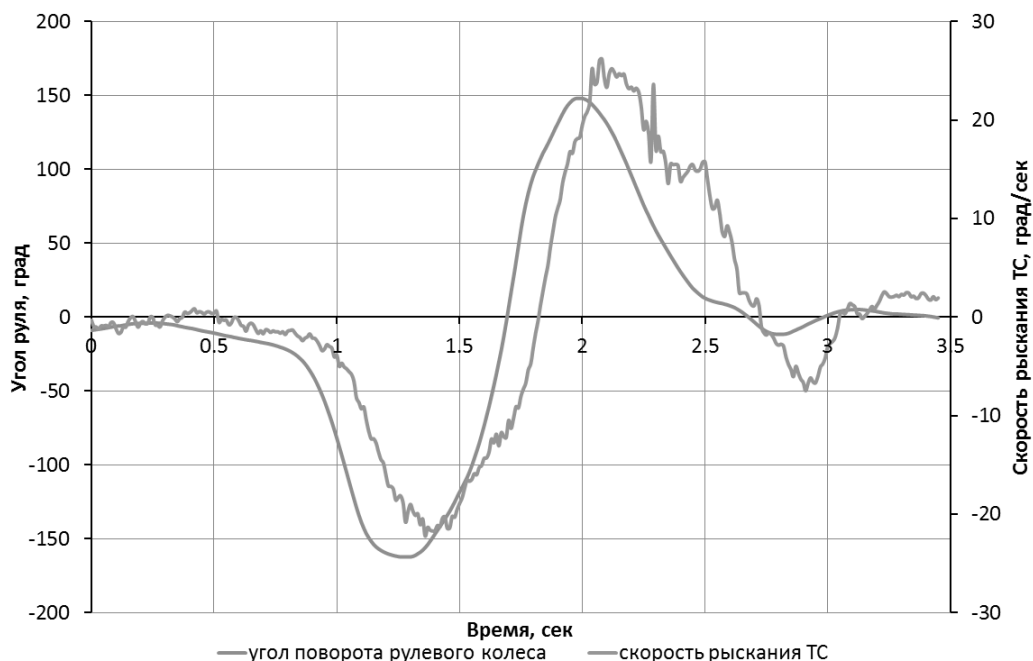
а)



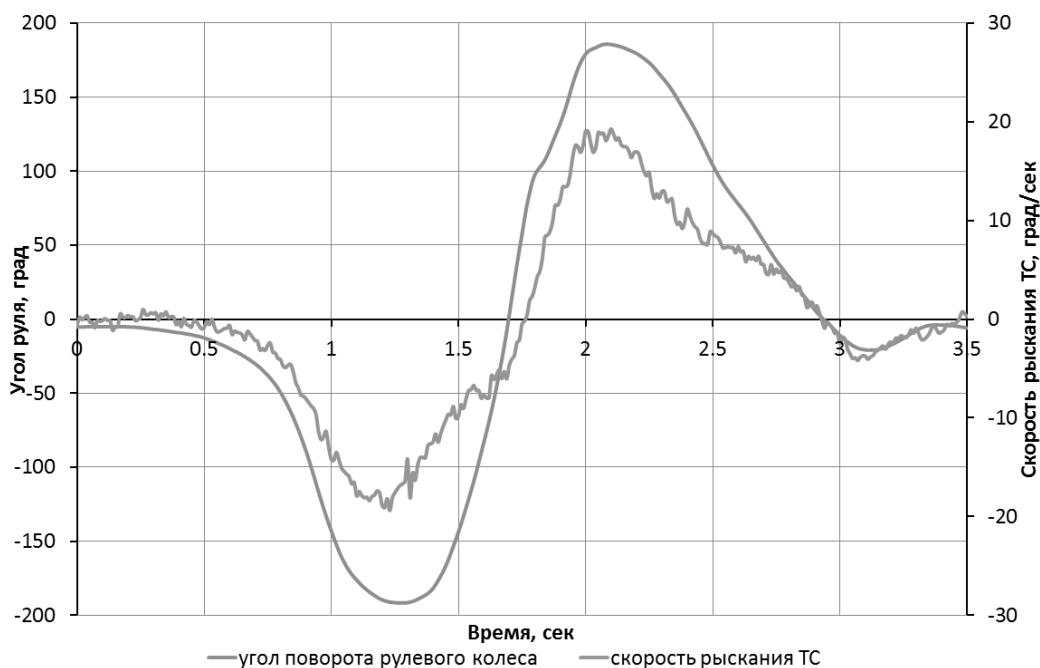
б)

**Рис. 2. Фрагменты проведения испытания «переставка 20м» в различных условиях:**  
а – на сухом покрытии; б – на сыром покрытии

При выполнении маневра на сыром асфальте, как видно из графиков рисунок, водитель поворачивает руль на  $35-40^\circ$  больше чем на сухом при одинаковой скорости, при этом скорость рыскания на 5 град/с или на 20% ниже.



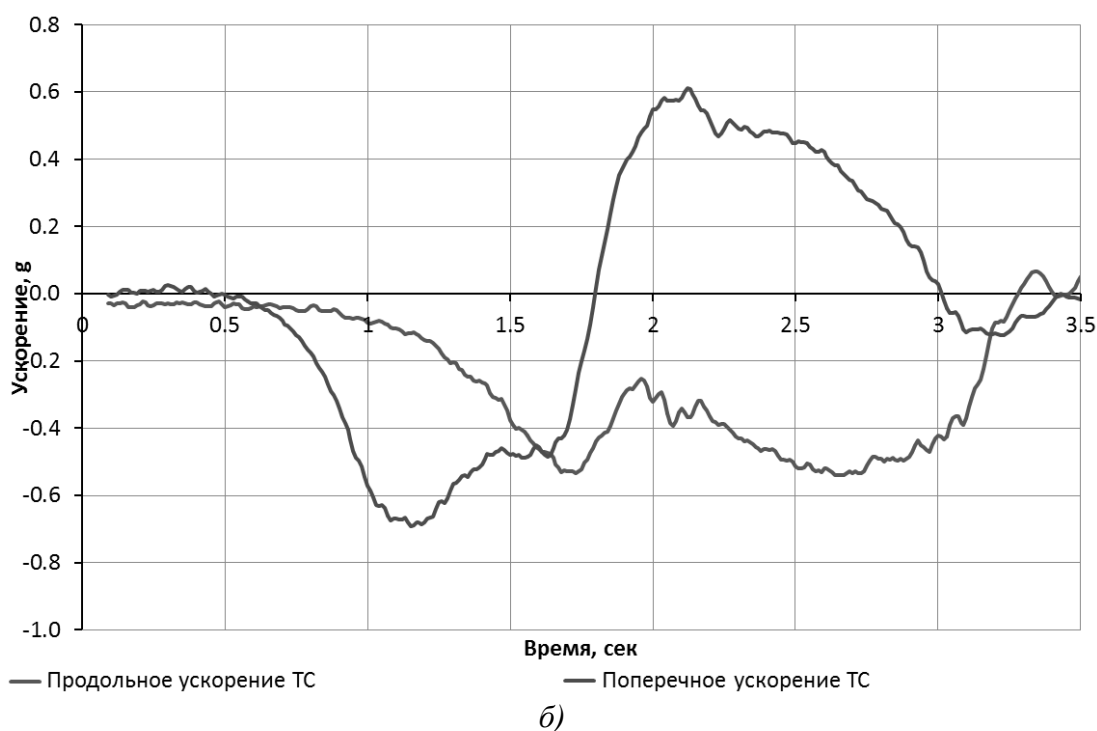
а)



б)

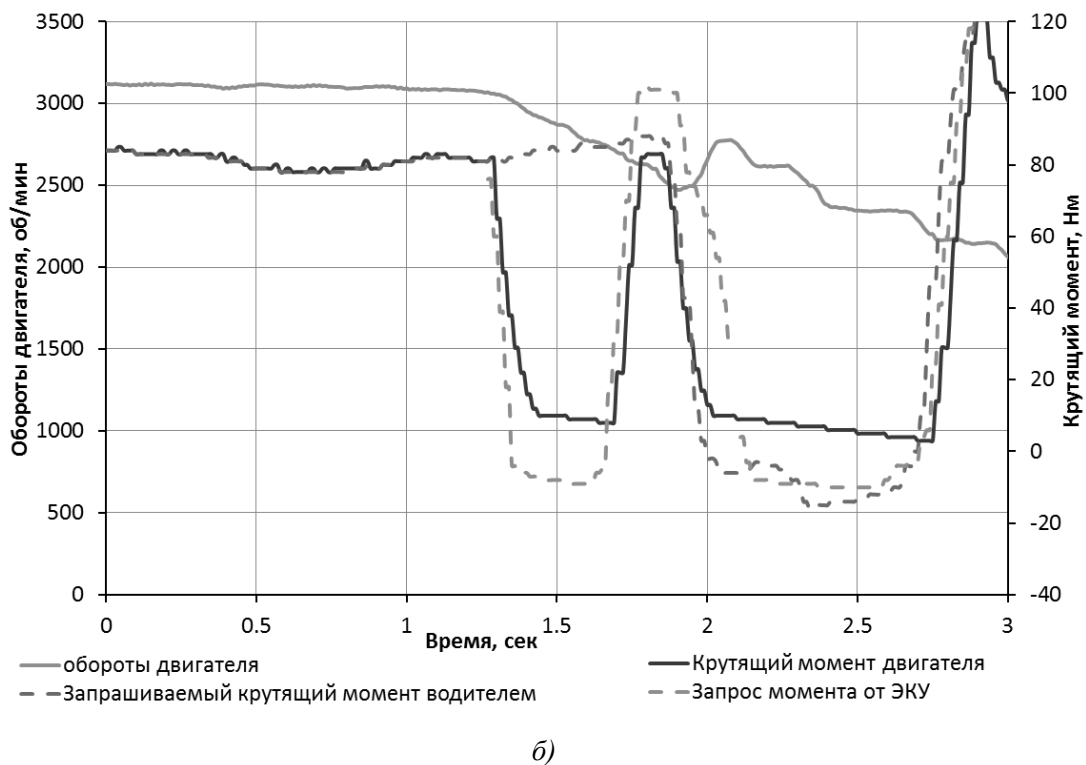
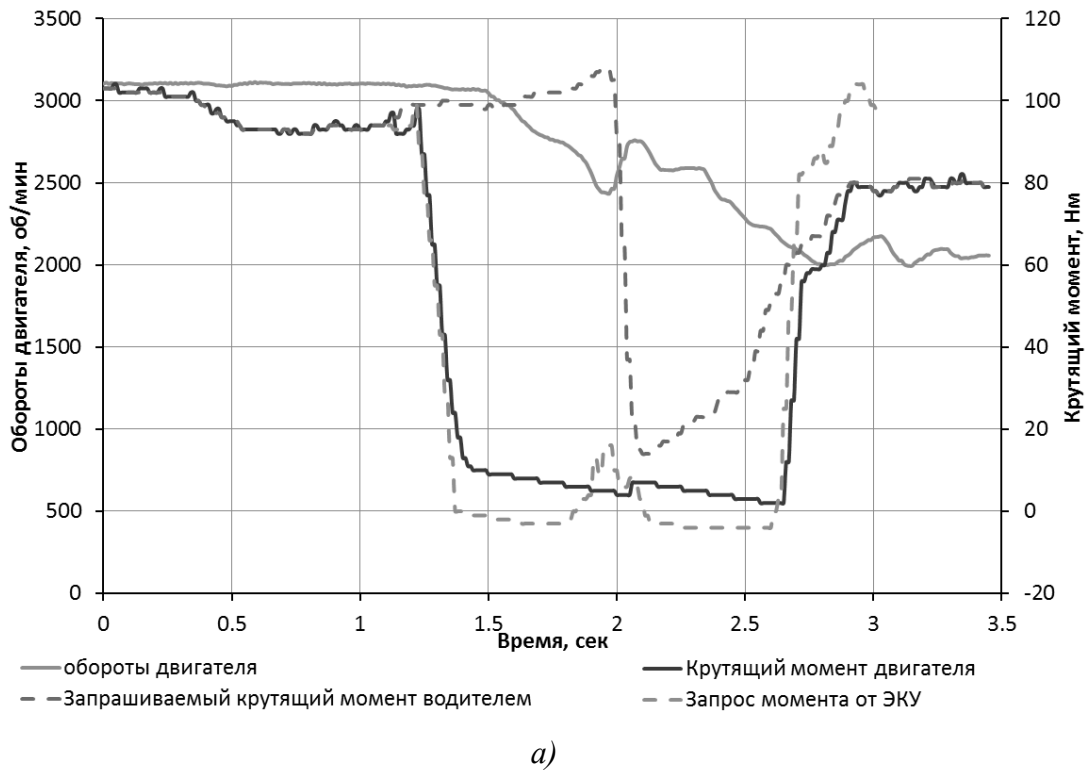
**Рис. 3. Графики изменения угла поворота рулевого колеса и скорости рыскания ТС во времени:**  
а – на сухом покрытии; б – на сыром покрытии

Пиковое поперечное ускорение на сыром покрытии достигает  $0,6g$ , а на сухом  $0,75g$ , при этом пиковое продольное замедление может достигать  $0,55g$  на сыром покрытии и  $0,72g$  на сухом. Система ЭКУ активирует функцию срабатывания тормозной системы при смене полосы движения ТС.



**Рис. 4. Скорость движения ТС:**  
*а* – на сухом покрытии; *б* – на сыром покрытии

При нажатой педали акселератора система ЭКУ дополнительно рассчитывает оптимальный крутящий момент двигателя для сохранения стабильности поведения ТС. Система запрашивает нулевой крутящий момент в зоне максимального поворота рулевого колеса влево при значениях скорости рыскания 17-18 град/с. При выполнении маневра на сыром покрытии после смены полосы движения система запрашивает крутящий момент даже выше запрашиваемого водителем, при выполнении маневра на сухом покрытии этого не происходит.



**Рис. 6. Графики изменения параметров двигателя:**  
*а* – на сухом покрытии; *б* – на сыром покрытии

При выполнении маневра на сыром покрытии с активированной электронной системой курсовой устойчивости существенно повышается стабильность выполнения маневров, на мокром покрытии процент удачных заездов остается практически на уровне сухого покрытия. С деактивированной системой ЭКУ на сыром асфальте даже высококлассный водитель-испытатель при выполнении маневра на предельной скорости не всегда успевает скорректировать возникающий занос и сбивает конусы в выходном коридоре.

## Библиографический список

1. Klaus Wüst, Albert Lutz "Simulation-aided Homologation of ESP Systems for NAFTA Vans by Software-in-the-Loop Simulation" / Daimler AG, Robert Bosch GmbH // IPG Technology Conference Ettlingen, 18.-19. September 2012.
2. Hahn, K., Holzmann, H., Weyer, F., Roemer, M. et al., "Simulation-based Certification of ESC Systems for Passenger Vehicles in Europe" / SAE Int. J. Passeng. Cars - Electron. Electr. Syst. 5(1):89-99, 2012, doi:10.4271/2012-01-0235.
3. M. Vogel, O. von Stryk, R. Bulirsch "Real-Time Simulation of Vehicle Dynamics: On-line Control and Handling Investigations", Technical University at Munich, Chair for Higher Mathematics and Numeric mathematics, Munich. <http://www.math.chalmers.se/Conf/ECMI98/standard / Abstracts/Vehicles-aerodynamics/voegel.pdf>

*Дата поступления  
в редакцию 10.11.2017*

**E.I. Toropov, A.S. Vashurin, Y.P. Trusov, P.S. Moshkov, A.A. Anikin, Y.I. Palutin**

**FIELD TESTS FOR DEBUGGING OF A SOFTWARE AND HARDWARE COMPLEX FOR THE NEEDS OF EVALUATION OF CONTROLLABILITY OF LIGHT COMMERCIAL VEHICLES (LCV) EQUIPPED WITH ELECTRONIC STABILITY CONTROL (ESC) SYSTEMS. PARTICULARITIES OF MANEUVERS ON DRY AND WET ASPHALT**

Nizhny Novgorod technical state university n.a. R.E. Alekseev

**Purpose:** fulfillment of special tests for debugging of a software and hardware complex for the needs of evaluation of controllability of light commercial vehicles (LCV) equipped with electronic stability control (ESC) systems.

**Design/methodology/approach:** field tests were fulfilled under different conditions (wet and dry asphalt) and implied maneuver called "elk test" by GOST 31507-2012. The maneuver was performed for the cases when ESC system was activated and deactivated. The data was obtained by use of measuring equipment of NNSTU CCU "Transport systems" that was installed on a vehicle.

**Findings:** stability of the vehicle during elk test was much higher when ESC system was activated. This difference is especially noticeable for wet asphalt. Even a very experienced test driver often could not manage to correct the arising drift when maneuvering at the maximum speed on wet asphalt.

**Research limitations/implications:** described works doesn't imply any significant limitations.

**Originality/value:** installation of ESC on each vehicle model requires a large volume of adaptation tests to be implemented. The use of modern computer aided design tools and hardware-in-the-loop techniques could help to simplify and speed up this process as well as to decrease volume of field tests.

*Key words:* electronic stability control systems (ESC), light commercial vehicle (LCV), hardware-in-the-loop (HIL) testing, UNECE No. 13-11, controllability, elk test, CAN.