

УДК 629.113

Е.И. Торопов, А.С. Вашурин, А.В. Тумасов, А.А. Васильев

**ВЕРИФИКАЦИЯ МЕТОДИКИ ВИРТУАЛЬНО-ФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ДИНАМИКИ КРИВОЛИНЕЙНОГО ДВИЖЕНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ
ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ДОРОЖНЫХ ИСПЫТАНИЙ**

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

В статье рассматриваются результаты проведенных испытаний по оценке эффективности системы электронного контроля устойчивости (ЭКУ) легкого коммерческого автомобиля согласно правилам ООН №13-11. Основная цель исследования – апробация методики виртуально-физических испытаний, а также валидация и верификация математической модели криволинейного движения легкого коммерческого автомобиля по результатам натуральных испытаний.

Ключевые слова: Правила ООН № 13-11, sine with dwell, программно-аппаратный комплекс, hardware-in-the-loop, HIL, системы электронного контроля устойчивости, ЭКУ, ISO 19365.

Введение

Одной из актуальных проблем современного автомобилестроения является проблема повышения активной безопасности транспортных средств, которая определяется их тормозными свойствами, а также свойствами устойчивости и управляемости.

Наиболее перспективным методом оценки эксплуатационных свойств транспортных средств является применение имитационного моделирования движения автомобилей с использованием гибридных стендовых установок, включающих в себя как реальные агрегаты конструкции транспортного средства, так и специальное программное обеспечение. Такие комплексы позволяют моделировать практически любые условия движения автомобиля с учетом особенностей работы реальных компонентов, что расширяет возможности инженеров конструкторов при выполнении исследовательских работ, направленных на совершенствование конструкции автомобиля с целью улучшения его эксплуатационных свойств и повышения уровня активной безопасности. Специалистами Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева был разработан подобный стенд виртуально-физического моделирования (HIL-стенд), который должен позволить проводить оценку поведения легкого коммерческого автомобиля с установленной системой ЭКУ. 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 г. № 218) [1].

Внешний вид HIL-стенда изображен на рис. 1. Особенностью данной системы является то, что в качестве физической части используется реальная тормозная система от легкого коммерческого автомобиля (рис. 2).

Классический способ подтверждения эффективности работы электронных систем курсовой устойчивости – это проведение динамических маневров на реальном автомобиле, предписанных Правилами ООН № 13-11 (Приложение 21) и ООН № 140 [3, 4]. Стоит отметить, что данными правилами предусмотрена проверка соответствия требованиям нормативных документов модификаций транспортных средств, созданных на основе базового автомобиля по результатам моделирования на HIL-стенде (Добавление 1 «Моделирование динамической устойчивости» и Добавление 2 «Средство моделирования динамической стабильности и его аттестация»).

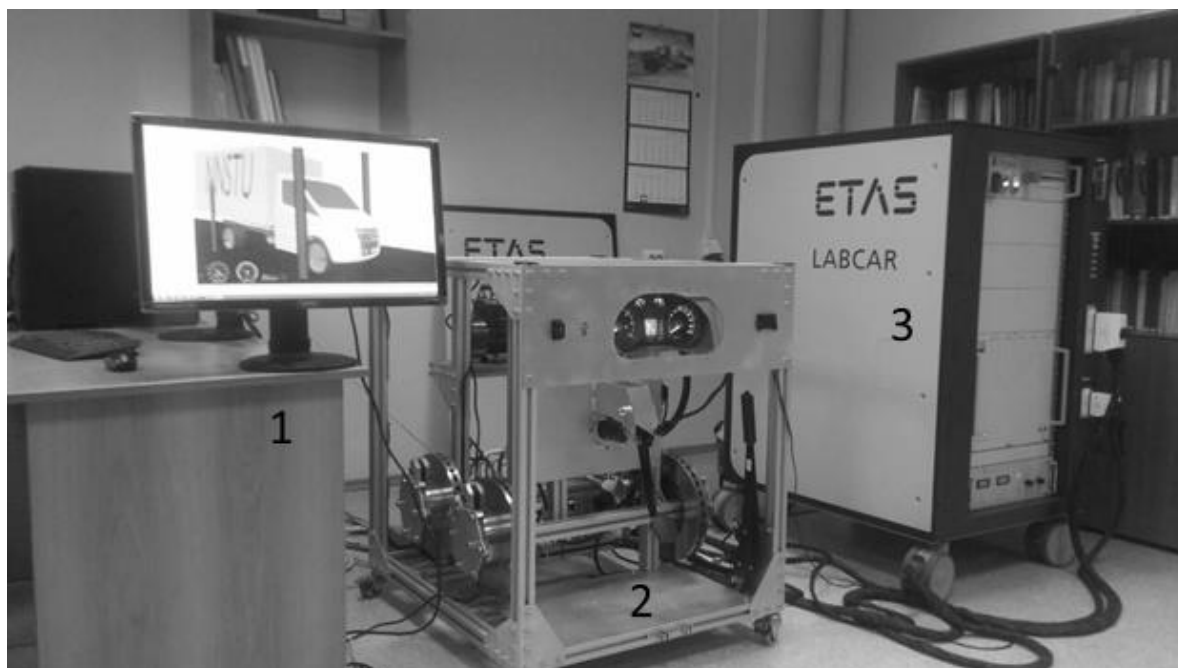
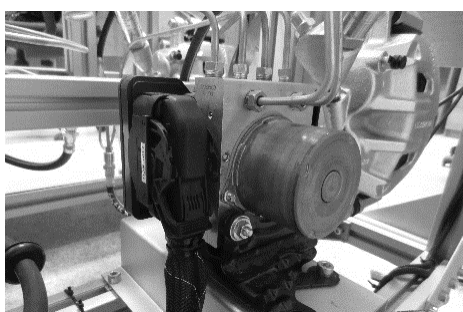
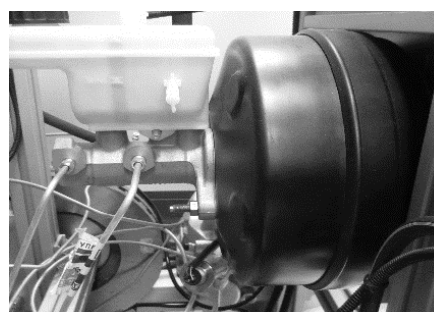


Рис. 1. Внешний вид НЦ-системы, разработанной в НГТУ:

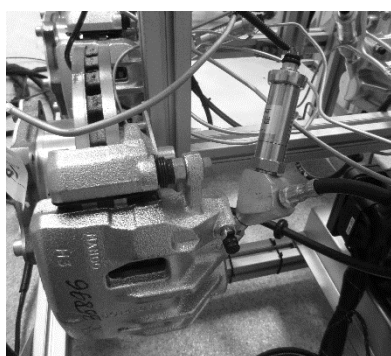
- 1 – виртуальная часть: компьютер со средой Vi-Grade CRT Software;
- 2 – физическая часть с компонентами тормозной системы автомобиля, в том числе, с электронным блоком системы ЭКУ);
- 3 – компьютер реального времени (среда ETAS LabCAR)



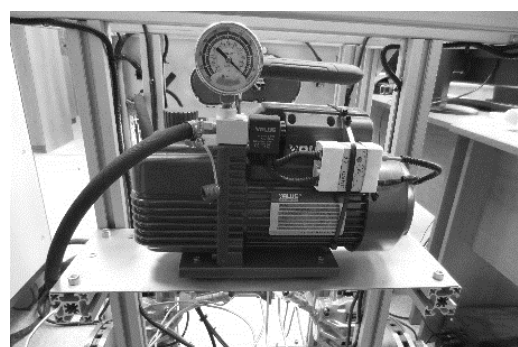
а)



б)



в)



г)

Рис. 2. Компоненты физической части стенда полунатурных испытаний:

- а) электрогидравлический блок системы ЭКУ;
- б) главный тормозной цилиндр + вакуумный усилитель;
- в) рабочий тормозной цилиндр с установленным датчиком давления;
- г) вакуумный насос

Подготовка и проведение натурных испытаний

Для отладки комплекса и его аттестации была проведена серия натурных испытаний на легком коммерческом автомобиле (ЛКА), оснащённом ЭКУ. На автомобиле было установлено измерительное оборудование ЦКП «Транспортные системы» НГТУ для получения массива экспериментальных данных [1, 2]. Расположение измерительного оборудования в транспортном средстве показано на рис. 3, схема измерительной установки представлена на рис. 4.



а)



б)



в)



г)

Рис. 3. Установка измерительного оборудования в испытуемом транспортном средстве:
а) установка комплекта многофункционального измерителя скорости; б) «рулевой» робот;
в, г) установка датчиков давления в тормозную магистраль

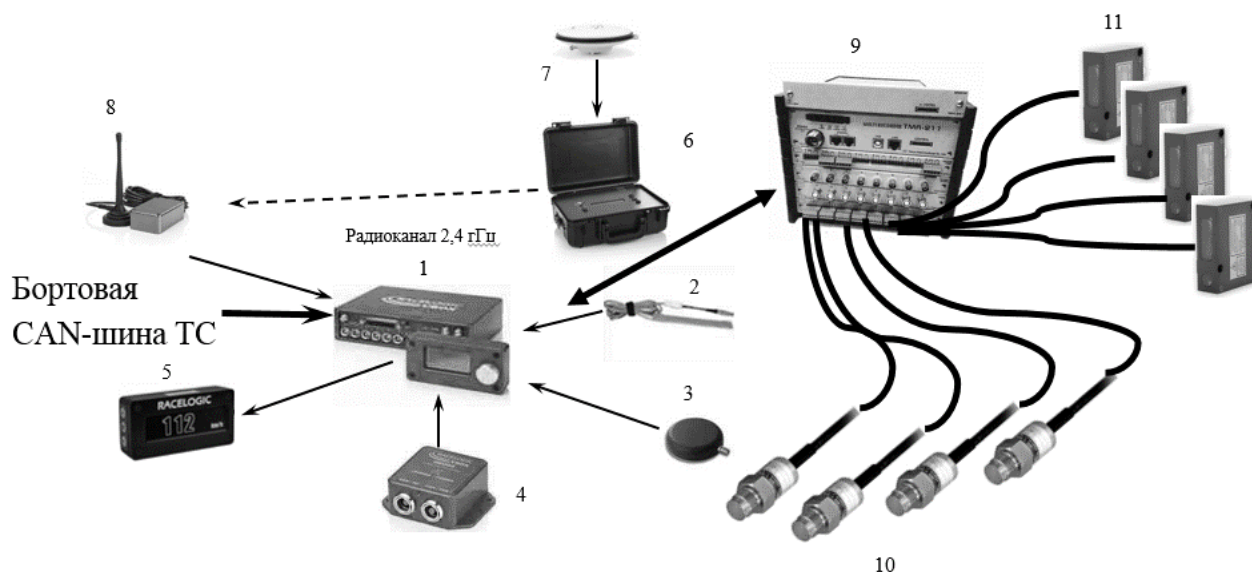


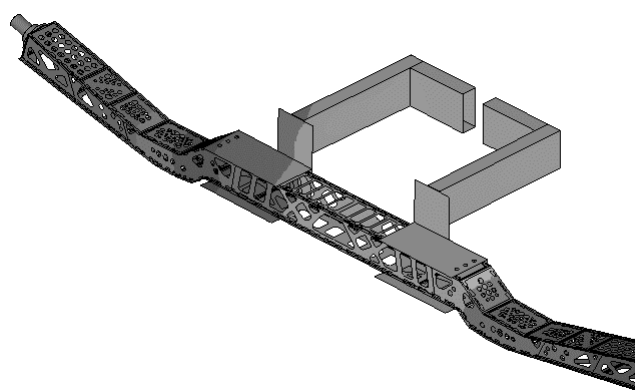
Рис. 4. Принципиальная схема измерительной установки:

- 1 – многофункциональный измеритель скорости Racelogic VBox 3i 100Hz; 2 – ручной триггер;
- 3 – GPS-антенна измерителя скорости; 4 – 3-х осевой гироскоп; 5 – монитор;
- 6 – RTK-базовая станция; 7 – GPS-антенна базовой станции; 8 – телеметрия базовой станции;
- 9 – система сбора данных TMR-200; 10 – датчики давления, встроенные тормозные магистрали;
- 11- лазерные датчики отрыва колес

Для предотвращения опрокидывания автомобиля при выполнении маневров с «рулевым» роботом было решено изготовить дополнительные опоры. На основании результатов собственных экспериментов и исследований NHTSA (Национальное управление безопасностью движения на трассах – США) была разработана конструкция «аутригера», учитывающая особенности конструкции ЛКА «ГАЗ» и выдерживающая необходимую нагрузку (установка на транспортном средстве – рис. 5а). Также были проведены необходимые прочностные расчеты (рис. 5б).



а)



б)

Рис. 5. «Аутригер» НГТУ:

- а) установка на испытуемом транспортном средстве; б) конечно-элементная модель

Испытания проводились на полигонах «Березовая пойма» ГАЗ и НИЦИАМТ ФГУП «НАМИ» с активированной и деактивированной системой ЭКУ (всего было выполнено

более 500 заездов). В различных погодных условиях (сухой / влажный асфальт). При активированной системе ЭКУ испытания проводились при нажатой и отпущенной педали акселератора. Были выполнены следующие маневры:

- «вход в поворот радиусом 35м» (по ГОСТ 31507-2012 «Автотранспортные средства. Управляемость и устойчивость. Технические требования. Методы испытаний»);
- переставка 20 м (по ГОСТ 31507-2012);
- двойная переставка по ISO 3888-2;
- синусоида с остановкой (sine with dwell);
- «рыболовный крючок» (fishhook);
- ассиметричная синусоида;
- рывок руля;
- двойная переставка по ISO 3888-1;
- переставка (20 м) с переходом с высокого коэффициента сцепления на низкий.

С помощью измерительного оборудования фиксировались следующие параметры движения транспортного средства: траектория, скорость, продольное и поперечное ускорения, скорость рыскания, давления в тормозных механизмах, отрыв колес. Также часть необходимой информации была получена из бортовой CAN-шины: угол поворота руля, обороты двигателя, крутящий момент двигателя, угловая скорость вращения колеса, запрашиваемый водителем крутящий момент двигателя, запрашиваемый ЭКУ крутящий момент двигателя, срабатывание функций ЭКУ [1, 2]. После проведения маневров и обработки полученных данных встала задача по сопоставлению результатов моделирования и натурных испытаний.

Проверка адекватности моделирования

Подтверждение адекватности моделирования проводится путем сопоставления с результатами типовых натурных испытаний, предписанных Правилами ООН №13-11. Наиболее показательным маневром является «Sine with dwell», требования к адекватности получаемых результатов при моделировании данного маневра приведены в ISO 19365 «Passenger cars – Validation of vehicle dynamic simulation – Sine with dwell stability control testing» [5]. Результаты сопоставления приведены в табл. 1 и на рис. 6. Была получена приемлемая сходимость результатов моделирования с реальными испытаниями.

Таблица 1

Таблица сопоставления результатов моделирования и натурных испытаний

| Параметр | Значение | | Расхождение | Максимальное расхождение по ISO 19365 |
|--|----------------------|---------------|-------------|---------------------------------------|
| | Натурный эксперимент | Моделирование | | |
| Значение первого пика скорости рыскания (ψ'_1), °/с | 23,5 | -22,47 | 4,1 % | ±15 % |
| Значение второго пика скорости рыскания (ψ'_2), °/с | 24,44 | 29,15 | 19 % | ±25 % |
| Время перехода скорости рыскания через ноль, с | 1,15 | 1,19 | 0,04 | ±0.1 s |
| Боковое перемещение центра тяжести т.с, м | 4.64 | 4,22 | 7,5 % | ±18 % |

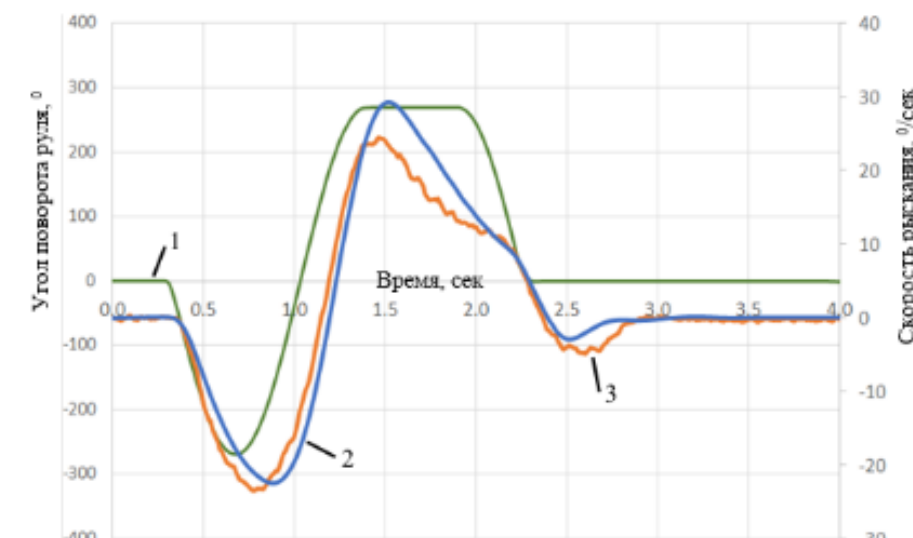


Рис. 6. График результатов натурных испытаний и результатов моделирования
 1 – график воздействия на рулевое колесо; 2 – скорость рыскания (эксперимент);
 3 – скорость рыскания (моделирование)

Заключение

1. Максимальные значения сопоставляемых параметров имеют хорошую сходимость и не превышают значений, предписанных в ISO 19365.
2. Получена валидированная модель криволинейного движения легкого коммерческого автомобиля с возможностью компиляции в С-код для тестирования в режиме жесткого реального времени.

Библиографический список

1. **Вашурин, А.С.** Программно-аппаратный комплекс для оценки управляемости легких коммерческих автомобилей, оснащенных системами электронного контроля устойчивости. Проведение натурных испытаний для отладки работы комплекса / А.С. Вашурин, Ю.П. Трусов, Е.И. Торопов // Актуальные вопросы машиноведения. – Т.6. – 2017.
2. **Вашурин, А.С.** 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 / Е.И. Торопов, Ю.П. Трусов, П.С. Мошков, А.А. Аникин, А.С. Вашурин, Ю.И. Палутин // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – № 4. – 2017. – С. 172-177.
3. Правила ООН №13-11 Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения механических транспортных средств категорий М, N и O в отношении торможения. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200027802>, свободный.
4. Правила ООН №140 Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения пассажирских автомобилей в отношении систем электронного контроля устойчивости (ЭКУ). - Режим доступа: <http://rdocs3.cntd.ru/document/456073635>, свободный.
5. ISO 19365 Passenger cars – Validation of vehicle dynamic simulation – Sine with dwell stability control testing.

*Дата поступления
 в редакцию: 04.02.2019*

E.I. Toropov, A.S. Vashurin, A.V. Tumasov, A.A. Vasiliev

**VERIFICATION OF THE VIRTUAL PHYSICAL TESTING METHODOLOGY
OF THE VEHICLES DYNAMICS BY RESULTS OF ROAD TESTS**

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

Purpose: The aim is verification of virtual model for HIL-testbench electronic stability control system by results of the road tests.

Design/methodology/approach: International standards of road testing electronic stability control system were studied and was developed.

Findings: The obtained results of convergence satisfy requirements of ISO 19635. Also autriggers for testing were patented.

Research limitations/implications: A verified model of the curvilinear motion of the vehicle was developed based on the results of scientific developments.

Originality/value: Results and scientific developments of this project will allow to implement the national program of import substitution in transport engineering.

Keywords: UN Regulation No. 13-11, sine with dwell, HIL-testbench, Hardware-in-the-loop, HIL, electronic stability control system, ESC, ISO 19635.