

УДК 629.113

Г.А. Коникова<sup>1</sup>, П.В. Серeda<sup>2</sup>, Ю.П. Трусов<sup>1</sup>, К.М. Шашкина<sup>1</sup>**РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ  
УПРАВЛЯЕМОСТИ И УСТОЙЧИВОСТИ ЛЕГКОГО  
КОММЕРЧЕСКОГО АВТОМОБИЛЯ**Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева<sup>1</sup>,  
Группа ГАЗ, дивизион «Легкие коммерческие автомобили»<sup>2</sup>

Представлены результаты расчетно-экспериментальных исследований свойств управляемости и устойчивости легкого коммерческого автомобиля. Компьютерное моделирование выполнено в программном комплексе SDK.Simulation. Экспериментальные исследования выполнены на полигоне ООО «ОИЦ». Исследования проведены 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).

*Ключевые слова:* легкий коммерческий автомобиль, подвеска, моделирование, управляемость, устойчивость, дорожные испытания.

Повышению активной безопасности автотранспортных средств уделяется большое внимание как на стадии их проектирования, так и на стадии доводки, при этом о целесообразности тех или иных конструктивных решений судят не только по результатам дорожных испытаний, но также по результатам компьютерного моделирования [1, 2]. Виртуальные модели транспортных средств используются для оценки их эксплуатационных свойств, определения возможных способов совершенствования конструкции, а также для оценки влияния определенных конструктивных изменений на безопасность [3 - 5].

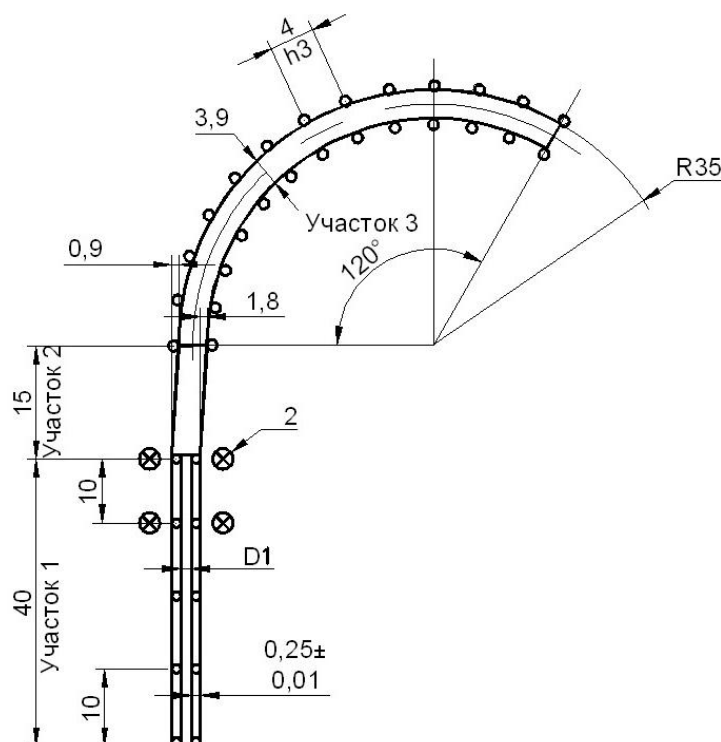
В настоящей работе исследовались свойства управляемости и устойчивости легкого коммерческого автомобиля ГАЗ-2752 «Соболь». Задачами исследования являлись создание пространственной модели автомобиля и виртуального полигона, необходимых для имитации условий сертификационных испытаний по ГОСТ Р 52302-2004 «Автотранспортные средства. Управляемость и устойчивость. Технические требования. Методы испытания» [6]. Данный государственный стандарт содержит следующие технические требования, касающиеся дорожных испытаний:

- Максимальную скорость автомобиля при выполнении маневра (далее — скорость маневра  $V_m$ ) определяют как среднее арифметическое значение скоростей трех заездов с наибольшей скоростью, при которой не было выхода за пределы разметки или отрыва одного из колес автомобиля от поверхности дороги.
- При выполнении маневров на автомобиле категории М1 не должен происходить отрыв всех колес одной из сторон от поверхности дороги.
- Значения  $V_m$ , полученные при испытаниях, не должны быть ниже нормативных значений  $V_m$ .
- При значении  $V_m$  для испытуемого автомобиля ниже нормативного значения  $V_m$  более 10% эксплуатация на дорогах общего пользования не допускается.

Испытание «поворот» проводят с целью определения показателей, характеризующих управляемость и устойчивость автомобиля в критических режимах движения, а также при движении по криволинейной траектории (криволинейному коридору) с определенными параметрами (радиусом), рис. 1.

Перед входом в поворот автомобиль вводят в режим равномерного прямолинейного движения. Передачу в коробке передач выбирают наивысшую, обеспечивающую устойчи-

вую работу двигателя. При пересечении передними колесами автомобиля границы между участками 1 и 2 размеченного коридора водитель должен быстро снять ногу с педали газа и начать поворачивать рулевое колесо вправо для выполнения маневра.



**Рис. 1. Разметка участка испытаний «поворот  $R_{\Pi} = 35$  м»:**

- 1 - вертикальные ограничители разметки коридоров движения на участках 1, 2 и 3;  
 2 - датчики измерения скорости;  $h_1$  - шаг установки вертикальных ограничителей на участке 1;  
 $h_3$  - шаг установки вертикальных ограничителей на участке 3;  
 $D_1$  - ширина коридора на участке 1;  $D_3$  - ширина коридора на участке 3

С целью расчетной оценки свойств управляемости и устойчивости легкого коммерческого автомобиля была разработана виртуальная модель транспортного средства с использованием средств программы SDK.Simulation. Параметры модели выбирались исходя из технической документации на автомобиль ГАЗ-2752 «Соболь».

Предварительно, для оценки адекватности разработанной модели проводилось исследование свойств статической устойчивости. С этой целью, при поддержке специалистов Испытательной лаборатории НГТУ, были выполнены стендовые испытания на реальном автомобиле. Показателем поперечной статической устойчивости, характеризующим склонность автомобиля к опрокидыванию, является угол статической устойчивости  $\alpha_{с.у}$ , при котором происходит отрыв всех колес одной стороны автомобиля. Величина угла  $\alpha_{с.у}$  статической устойчивости, полученная в результате испытаний, должна быть не менее нормативного значения  $\alpha_n$ . На рис. 2 показан фрагмент испытаний. Предварительно было проведено взвешивание микроавтобуса. Было установлено, что полная масса автомобиля, предоставленного для испытаний, составляет 2885 кг. Распределение массы по колесам оказалось следующим: передние колеса: 680 кг и 695 кг; задние колеса: 730 кг и 780 кг.

По результатам испытаний на статическую устойчивость было установлено, что отрыв заднего колеса происходит при угле наклона платформы на  $45^{\circ}41'$ . Отрыв обоих колес (переднего и заднего) наблюдается при следующих углах: передняя часть  $47^{\circ}30'$ ; задняя часть  $46^{\circ}58'$ . Угол наклона подрессоренной массы (при отрыве обоих колес) соста-

вил: впереди  $51^{\circ}46'$ ; сзади  $50^{\circ}57'$ . Полученные значения масс и углов использовались для определения расположения центра масс автомобиля. Было установлено:

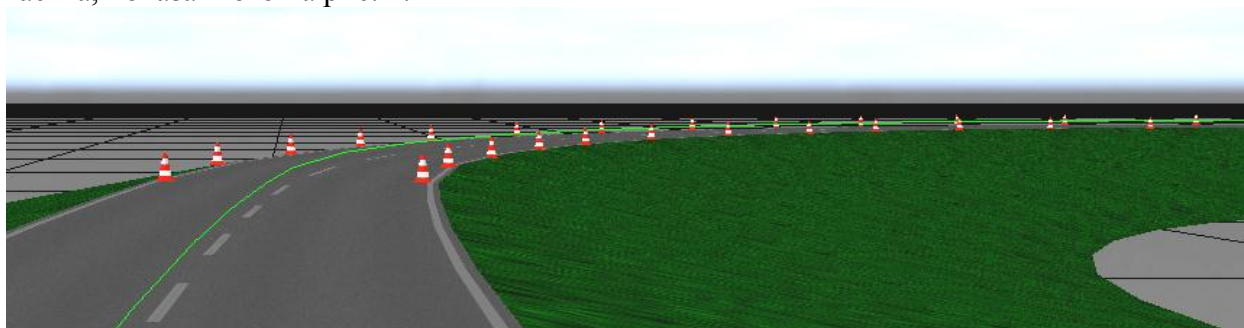
- что расстояние от центра масс до передней оси составляет 1,349 м;
- расстояние от центра масс до задней оси составляет 1,411 м;
- высота центра масс составляет 0,716 м.

Результаты стендовых испытаний использовались для корректировки параметров пространственной виртуальной модели исследуемого транспортного средства.



**Рис. 2.** Экспериментальные исследования статической устойчивости микроавтобуса

Для компьютерного моделирования испытания «вход в поворот» был разработан виртуальный полигон (рис. 3), полностью соответствующий размерам испытательного участка, показанного на рис. 1.



**Рис. 3.** Схема виртуального полигона (участок с криволинейной траекторией радиусом 35м)

Виртуальные испытания предполагают задание определенного управляющего воздействия, необходимого для заданного движения модели автомобиля. Для имитации испытания «вход в поворот» набор управляющих воздействий включает в себя следующие команды:

- 1) включить первую передачу;
- 2) установить педаль газа на 100 %;
- 3) если время равно 3 с, то включить вторую передачу в КПП;
- 4) если время равно 7 с, то включить третью передачу в КПП;
- 5) если время равно 15 с, то включить четвертую передачу в КПП;
- 6) если время равно 22 с, то включить пятую передачу в КПП;
- 7) если время равно 25 с, то удерживать постоянную скорость равную 58 км/ч;

8) если автомобиль пересекает дорожный объект номер 1 (виртуальный конус, установленный на входе в поворот), то установить педаль газа на 0% (т.е. прекратить подачу топлива);

9) если автомобиль пересекает дорожный объект номер 2 (виртуальный конус, установленный на выходе из поворота), то установить педаль тормоза на 100% (т.е. полностью остановить автомобиль).

В ходе виртуальных испытаний имеется возможность регистрации ключевых параметров движения модели: скорости, продольных и поперечных ускорений, вертикальных реакций на колесах и др. Для примера, на рис. 4 и 5 показаны графики изменения скорости и поперечных ускорений в ходе моделирования маневра. На рис. 6 показан фрагмент виртуальных испытаний с указанием условной нумерации колес модели.

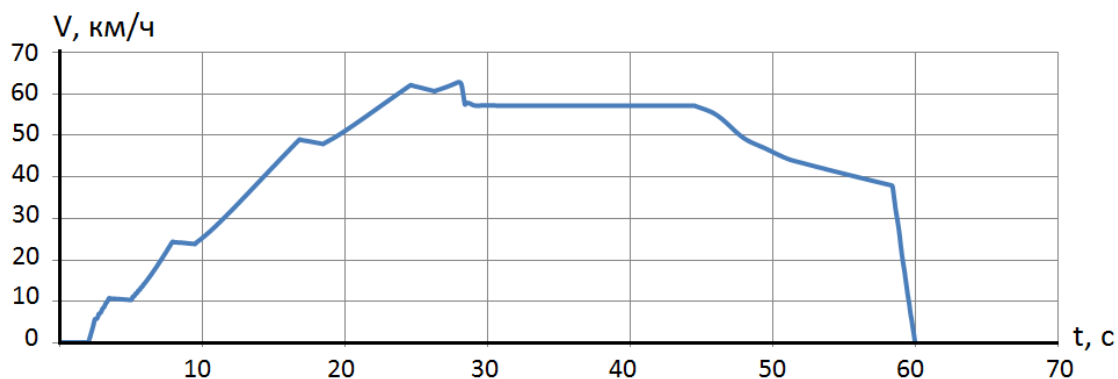


Рис. 4. График зависимости скорости автомобиля ( $V$ ) от времени ( $t$ )

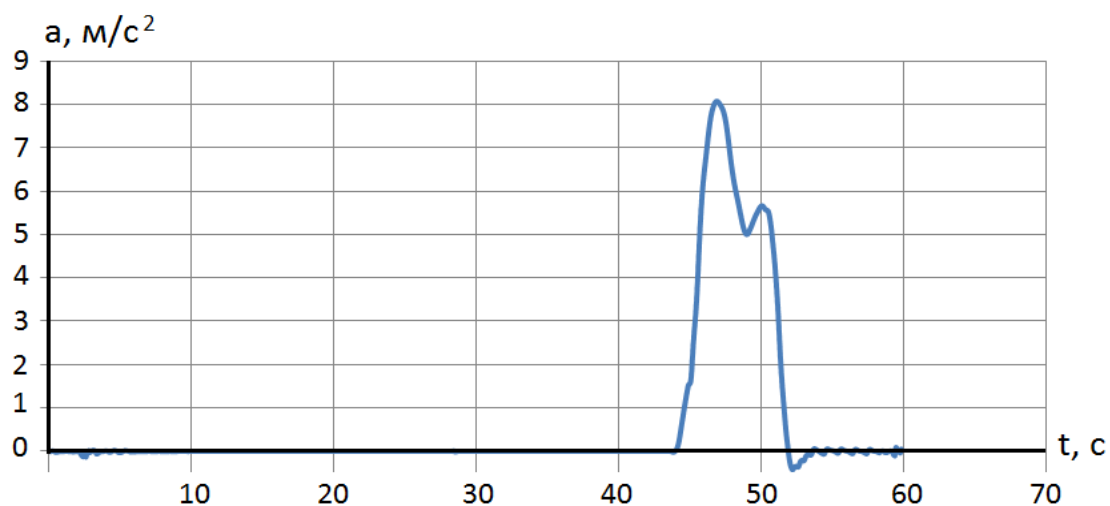
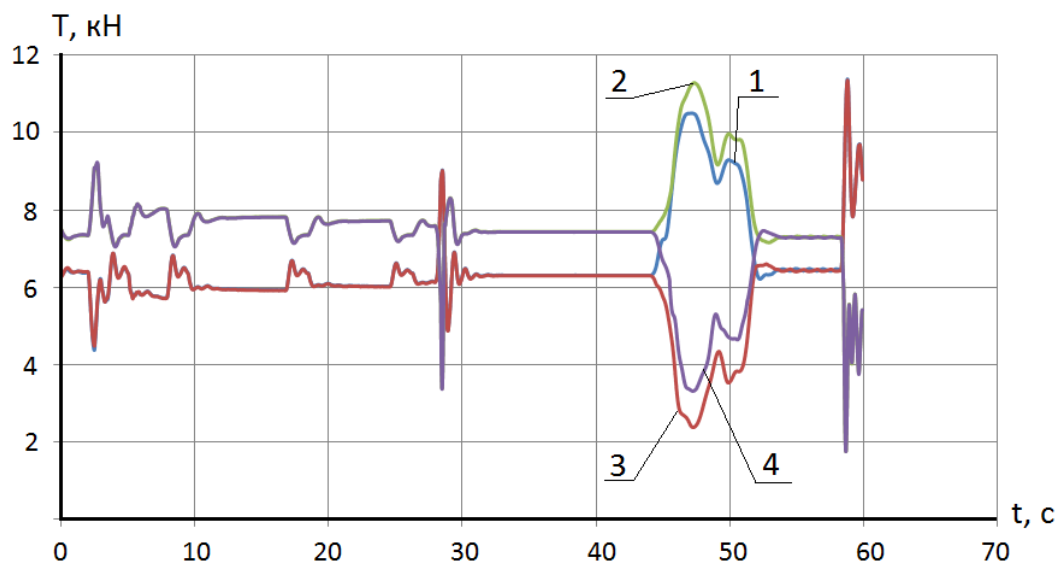


Рис. 5. График зависимости поперечного ускорения автомобиля ( $a$ ) от времени ( $t$ )



Рис. 6. Фрагмент виртуальных испытаний «вход в поворот»

Так как по требованию нормативных документов при проведении испытаний на управляемость и устойчивость не должен происходить отрыв колес от дорожного полотна, то наиболее информативными с этой точки зрения являются графики изменения вертикальных реакций на колесах. Для примера на рис. 7 изображен график зависимости реакций на колесах автомобиля от времени при прохождении испытания поворот на скорости 58 км/ч. Как видно из графика рис. 7, при скорости 58 км/ч отрыва колеса не происходит, так как реакции на колесах не достигают нулевого значения.



**Рис. 7. Графики изменения вертикальных реакций ( $T$ ) на колесах от времени ( $t$ )**  
(Нумерация кривых соответствует нумерации колес модели автомобиля рис. 6)

Параллельно с виртуальными, на автополигоне ООО «ОИЦ» Группы ГАЗ проводились дорожные испытания легкого коммерческого автомобиля. Использовалась современная измерительная система RaceLogic VB20SL3 20Hz GPS Data Logger With Slip, Pitch and Roll Angle. Принцип работы системы основан на использовании GPS технологий: на крышу автомобиля устанавливаются магнитные антенны, которые обеспечивают связь со спутником и позволяют зафиксировать скорость транспортного средства, ускорение (по двум осям), траекторию движения, угол крена и угловую скорость поворота. На рис. 8 показан фрагмент испытаний «вход в поворот».



**Рис. 8. Фрагмент испытания «вход в поворот»**

По результатам обработки данных дорожных испытаний были получены графики, характеризующие процесс движения автомобиля в разных условиях. Для примера на рис. 9 показаны графики изменения скорости автомобиля для четырех однотипных испытаний.

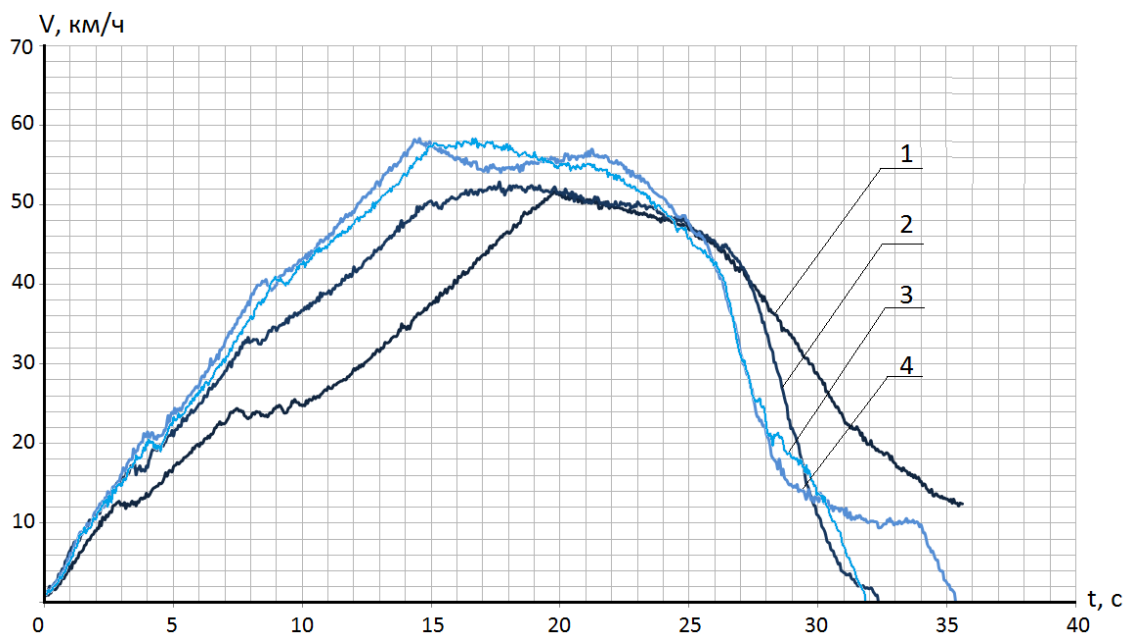


Рис. 9. Графики изменения скорости автомобиля при испытаниях «вход в поворот»

В табл. 1 представлен сравнительный анализ результатов компьютерного моделирования и данных дорожных испытаний.

Таблица 1

**Сравнение результатов моделирования с данными дорожных испытаний**

Скорость маневра «вход в поворот», км/ч	Поперечное ускорение, м/с <sup>2</sup>		Расхождение, %
	Испытания (среднее пиковое значение, по результатам четырех заездов)	Моделирование (пиковое значение)	
55	6,6	8,0	17,5

Анализ данных показывает, что результаты экспериментальных исследований и компьютерного моделирования имеют хорошую сходимость. Как при испытаниях, так и при компьютерном моделировании наблюдался одинаковый характер поведения исследуемого объекта. В этой связи разработанную модель криволинейного движения автомобиля следует признать адекватной. Однако желательным является снижение уровня расхождения результатов (в частности, по боковым ускорениям).

Следует отметить, что виртуальная модель имеет лучшие показатели свойств управляемости и устойчивости, по сравнению с аналогичными показателями реального транспортного средства. В некоторой степени это объясняется тем, что некоторые параметры модели были «идеализированы», а некоторые были выбраны исходя из общепринятых рекомендаций и упрощенных расчетов, например:

- характеристики шин (закладывались обобщенные характеристики типовых шин легковых автомобилей),
- инерционные свойства поддресоренной и неподдресоренной частей (определялись методом аналогий, на основе известных параметров для автомобилей-аналогов).

В совокупности это могло определенным образом повлиять на результаты моделирования. В этой связи необходимым является проведение дополнительных исследований и определение чувствительности модели к изменению того или иного параметра.

Проведенные исследования показали, что комплексное использование результатов дорожных испытаний и компьютерного моделирования позволяет выполнять широкий спектр работ по оценке свойств управляемости и устойчивости легких коммерческих автомобилей. Однако важным является четкое обоснование и выбор параметров виртуальной модели, существенным образом влияющих на достоверность имитации характера поведения реального объекта.

#### Библиографический список

1. **Мусарский, Р.А.** Математические модели колёсных экипажей: учеб. пособие / Р.А. Мусарский; ННГУ им. Н.И. Лобачевского. – Нижний Новгород, 2008. – 163 с.
2. **Кравец, В.Н.** Теория автомобиля: учебник для вузов / В.Н. Кравец, В.В. Селифонов. – М.: ООО «Гринлайт+», 2011. – 884 с.
3. **Тумасов, А.В.** Исследование свойств активной безопасности автобуса среднего класса методом имитационного моделирования / А.В. Тумасов, С.Ю. Костин, В.А. Колтунов // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2012. № 1 (94). С. 134–142.
4. **Грошев, А.М.** Исследование свойств активной безопасности транспортных средств методом имитационного моделирования / А.М. Грошев, В.Г. Дыгало, А.В. Тумасов [и др.] // Журнал ААИ. 2011. №2. С. 34–37.
5. **Костин, С.Ю.** Сравнительная оценка моделирования и дорожных испытаний управляемости и устойчивости автобуса / С.Ю. Костин, Р.А. Мусарский, В.Н. Кравец // Журнал ААИ. 2012. №6. С. 35–39.
6. **ГОСТ Р 52302-2004** «Автотранспортные средства. Управляемость и устойчивость. Технические требования. Методы испытания». – М., 2004.

*Дата поступления  
в редакцию 02.12.2013*

**G.A. Konikova<sup>1</sup>, P.V. Sereda<sup>2</sup>, Y.P. Trusov<sup>1</sup>, K.M. Shashkina<sup>1</sup>**

#### **SIMULATION AND EXPERIMENTAL STUDY OF LIGHT COMMERCIAL VEHICLES ACTIVE SAFETY**

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alxseev <sup>1</sup>,  
GAZ Group, division “Light commercial vehicles”<sup>2</sup>

**Purpose:** Estimating of light commercial vehicle behavior in road turning conditions that are regulated by GOST R 52302-2004 on the basis of computer simulation results and its comparison with experimental data.

**Design/methodology/approach:** The simulation study based on dynamic analysis method with using of SDK.Simulation software as well as road testing methodology.

**Findings:** It is possible to apply the research results for estimation of light commercial vehicles steer ability and stability at the initial stages of design.

**Research limitations/implications:** Present study provides a starting-point for development of methodology of improving of vehicles active safety by means of effective design solutions as well as using of advanced driver assistance systems.

**Originality/value:** The main peculiarity of the study is using of advantages of simulation and real road tests for predicting of vehicles active safety and analyzing of possible solutions for improving of vehicles stability.

*Key words:* light commercial vehicle, suspension, simulation, steer ability, stability, road test.