

НАЗЕМНЫЕ ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ

УДК 629.113

А.А. Васильев¹, С.Ю. Костин¹, С.А. Сергиевский², Е.В. Степанов¹, А.В. Тумасов¹

МОДЕЛИРОВАНИЕ УСЛОВИЙ КРИВОЛИНЕЙНОГО ДВИЖЕНИЯ АВТОПОЕЗДА В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ ADAMS/CAR

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева¹,
ООО «Эм-Эс-Си Софтвэр РУС»²

Представлены результаты расчетно-экспериментальных исследований свойств управляемости и устойчивости автопоезда в составе тягача категории N3 и полуприцепа категории O4 массой 40,5 т. Компьютерное моделирование выполнено в программном комплексе Adams/Car лицензионного пакета University MD FEA Bundle + Motion Bundle, переданного в НГТУ компанией MSC.Software GmbH в рамках соглашения о стратегическом сотрудничестве.

Ключевые слова: автопоезд, моделирование, управляемость, устойчивость, отрыв колеса.

Повышение активной безопасности транспортных средств является актуальной и значимой проблемой в автомобилестроении, при этом особое внимание традиционно уделяется повышению свойств управляемости и устойчивости [1]. Все большее значение при выполнении работ, направленных на повышение активной безопасности автотранспортных средств, приобретает имитационное моделирование [2, 3]. Моделирование представляет процесс конструирования на ЭВМ модели сложной реальной системы, функционирующей во времени, и постановки экспериментов на этой модели с целью либо понять поведение системы, либо оценить различные стратегии, обеспечивающие функционирование данной системы [4].

В данной работе представлены результаты моделирования условий криволинейного движения автопоезда, имитирующих различные виды сертификационных испытаний, предусмотренных ГОСТ Р 52302-2004 «Автотранспортные средства. Управляемость и устойчивость. Технические требования. Методы испытания» [5].

В качестве программного комплекса для проведения исследований был выбран программный комплекс Adams/Car лицензионного пакета University MD FEA Bundle + Motion Bundle, обладающий значительным функционалом и имеющий широкий спектр возможностей:

- моделирование транспортного средства с учетом ключевых конструктивных параметров, оказывающих влияние на динамику движения;
- моделирование автомобильных шин с использованием специального модуля Adams/tire, обеспечивающего учет жесткостных и демпфирующих свойств покрышки;
- возможность задания типовых управляющих воздействий на органы управления;
- обеспечение высококачественной текстурированной трехмерной визуализации;
- вывод графиков измеряемых величин (в частности, скорости, нормальных реакций на колесах, углов увода и пр.).

Объектом исследования являлся автопоезд в составе тягача категории N3 и полуприцепа категории O4 массой 40,5 т. В качестве аналога был выбран полуприцеп, разработанный специалистами голландской фирмы Welgro [6], имеющий три оси, последняя из которых является управляемой, т.е. обеспечивающей поворот колес оси при повороте на

определенный угол, в зависимости от кривизны траектории (рис. 1). В качестве тягача автопоезда выбран автомобиль DAF, информация о конструктивных особенностях которого получена с официального сайта компании DAF [7]. Остальные параметры автопоезда приняты по результатам аналитических расчетов, проведенных специалистами НГТУ.

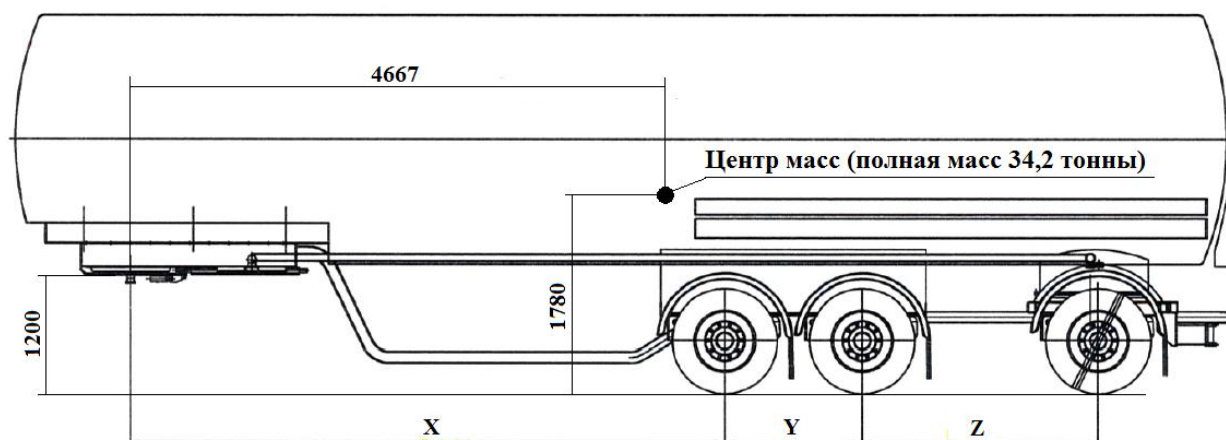


Рис. 1. Схема полуприцепа Wegro с задней управляемой осью

Моделирование движения транспортного средства в программном комплексе Adams/Carможно разделить на два основных этапа:

1. Создание виртуального полигона:

- моделирование дорожного полотна;
- «разметка» участков виртуального испытания в соответствии с требованиями нормативных документов;

2. Создание модели автопоезда:

- создание подсистем и агрегатов транспортного средства;
- сборка модели транспортного средства из подсистем;
- задание управляющего воздействия (формирование алгоритма управления транспортным средством);

3. Моделирование криволинейного движения.

4. Анализ и обработка результатов моделирования.

В соответствии с требованиями ГОСТ Р 52302-2004 наиболее значимыми являются результаты статических испытаний на стенде опрокидывателя (определение предельного угла поперечного наклона автопоезда, при котором начинается его опрокидывание), а также динамические испытания (определение критической скорости совершения маневров: вход в поворот и смена полосы движения).

На рис. 2 показана схема созданного виртуального полигона, представляющего собой набор определенных участков, необходимых для имитации условий сертификационных испытаний (смена полосы движения) в соответствии с ГОСТ Р 52302-2004.

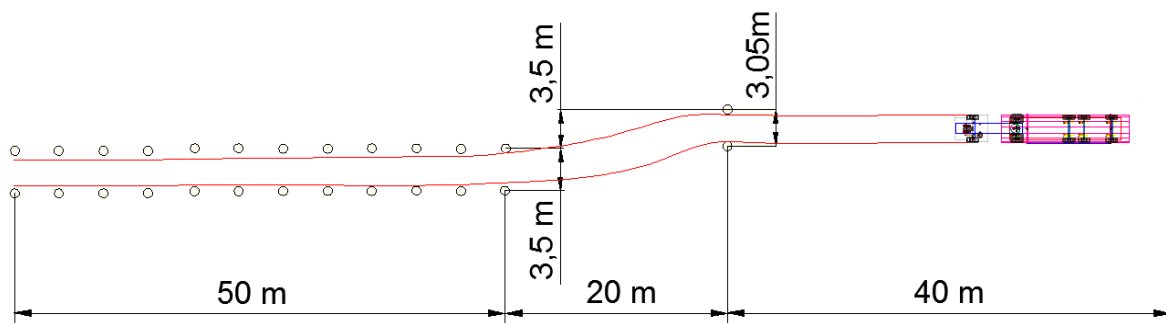


Рис. 2. Схема виртуального полигона для имитации испытания «смена полосы движения»

На рис. 3 показана модель автопоезда, учитывающая основные конструктивные параметры: развесовку, расположение высот центров тяжести тягача и полуприцепа, кинематику и упругодемпфирующие свойства подвесок и пр.

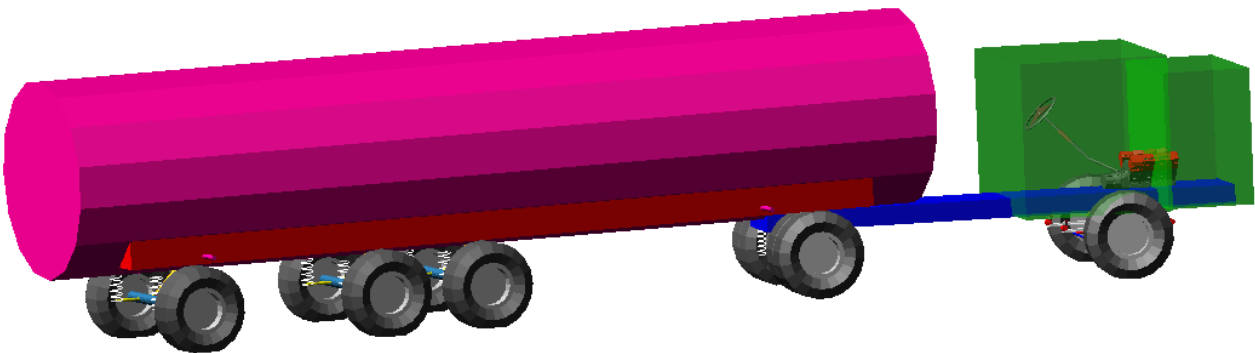


Рис. 3. Схема модели автопоезда (тягач DAF, полуприцеп Welgro)

На первом этапе моделирования с целью проверки работоспособности и предварительной оценки адекватности поведения имитационной модели были выполнены тестовые испытания «статическое опрокидывание на стенде». По результатам данного испытания можно судить о положении центра тяжести полуприцепа относительно поверхности дороги, а также оценить основной показатель поперечной статической устойчивости – угол, при котором происходит отрыв всех колес одной стороны одного из звеньев седельного автопоезда от опорной поверхности.

На рис. 4 показаны результаты компьютерного моделирования, при котором модель автопоезда, установленная на поворотную плиту, наклонялась в сторону до момента полного отрыва колес от опорной поверхности.

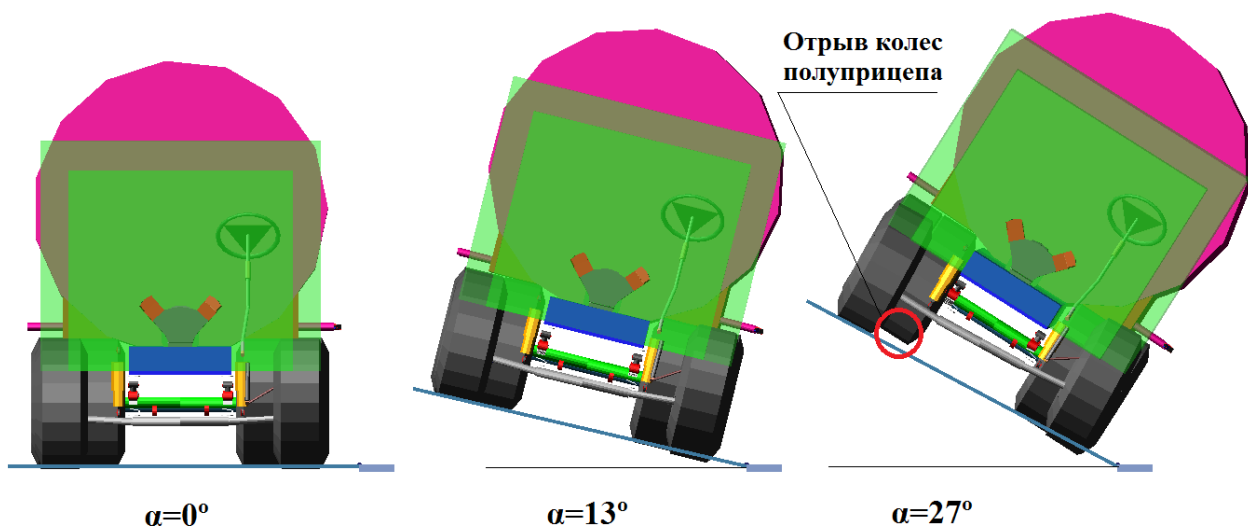


Рис. 4. Имитация испытания «опрокидывание на стенде»

На рис. 5 показаны графики изменения нормальных реакций на колесах правого борта полуприцепа. Из рисунка видно, что первым отрывается колесо 2 (колесо средней оси полуприцепа) в момент времени $t = 39$ с, соответствующий углу поворота платформы равному $26,5^\circ$ (рис. 6).

На рис. 7 показан фрагмент натуральных испытаний, выполненных в Голландии специалистами Испытательной лаборатории НГТУ (Г.А. Кониковой и А.Л. Безруковым) при поддержке компании Welgro. Сравнительный анализ результатов испытаний с данными имита-

ционного моделирования представлен в табл. 1. Видно, что расхождение значений угла наклона, при котором наблюдается отрыв колеса полуприцепа, составляет 5,6%, что является вполне приемлемым и свидетельствует об адекватном поведении модели и корректном выборе положений центров масс тягача и полуприцепа.

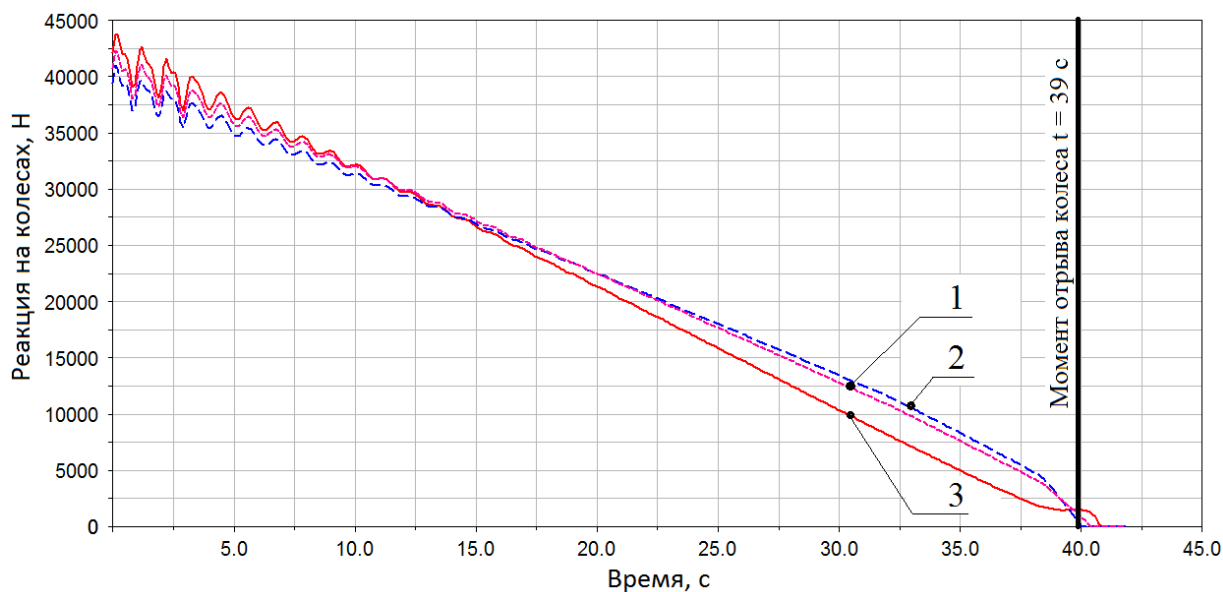


Рис. 5. Графики изменения нормальных реакций на колесах правого борта полуприцепа: 1 – колесо первой оси; 2 – колесо средней оси; 3 – колесо управляемой оси

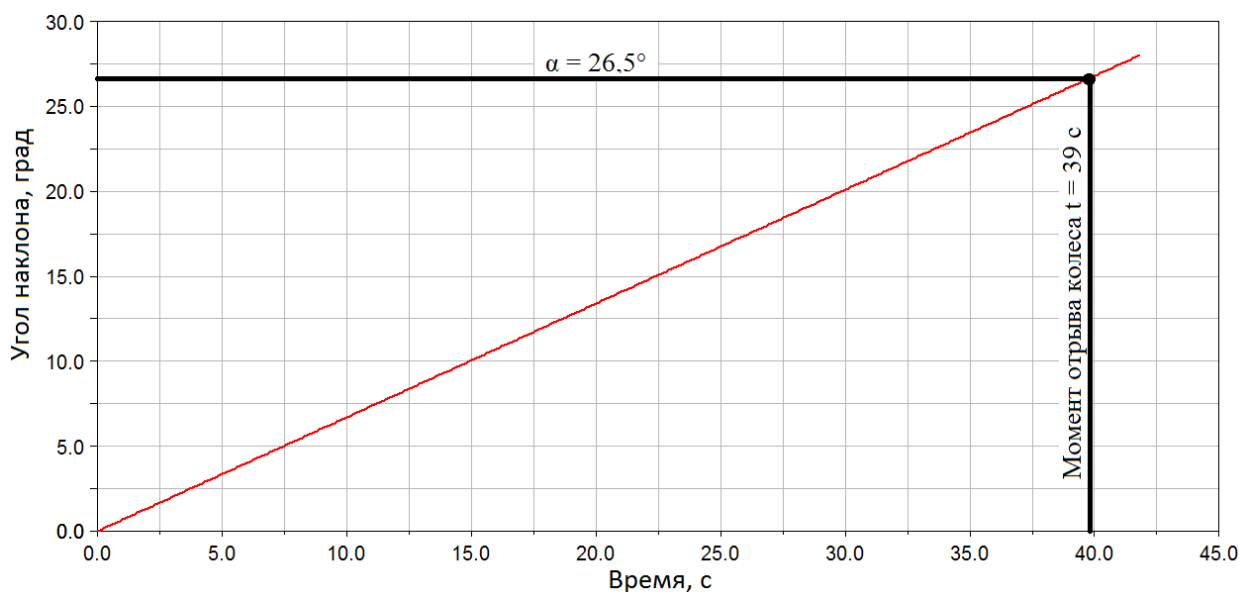


Рис. 6. График зависимости угла поворота платформы от времени

Таблица 1

Сравнение результатов компьютерного моделирования с данными экспериментальных исследований

	Угол статической устойчивости, град
Экспериментальные исследования (рис. 7)	25,1
Моделирование (рис. 4 - 6)	26,5
Расхождение, %	5,6



Рис. 7. Фрагмент натуральных испытаний по оценке статической поперечной устойчивости

С использованием разработанного виртуального полигона (рис. 2) и модели автопоезда (рис. 3) было выполнено виртуальное испытание, имитирующее условия сертификационных испытаний «смена полосы движения (переставка)». На рис. 8 показан фрагмент компьютерного моделирования.

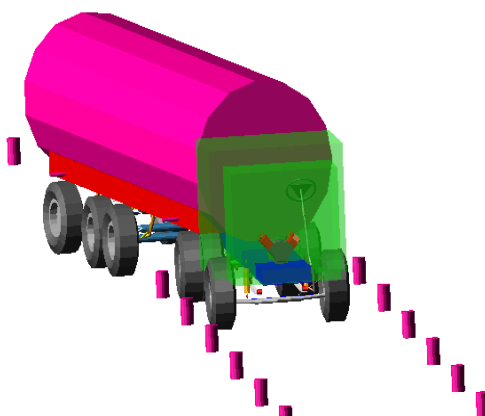


Рис. 8. Фрагмент виртуальных испытаний «смена полосы движения (переставка)»

Для точной оценки момента возникновения отрыва хотя бы одного из колес в ходе виртуальных испытаний были проанализированы графики изменения нормальных реакций на колесах автопоезда (рис. 9). На графике показаны данные по вертикальным реакциям, соответствующие криволинейному движению на скорости 52 км/ч. Данная скорость регламентирована требованиями ГОСТ Р 52302-2004 для исследуемого автопоезда в составе тягача категории N3 и полуприцепа категории O4. Результаты, представленные на рис. 9, позволяют констатировать факт отсутствия отрыва колес во время испытаний, поскольку не одна из величин не имеет нулевого (либо отрицательного) значения.

Результаты моделирования показали, что критической скоростью совершения маневра «переставка» является 52,6 км/ч. При этой скорости наблюдается отрыв одного из колес (колеса средней оси) полуприцепа от полотна пути, что по требованиям ГОСТ является недопустимым.

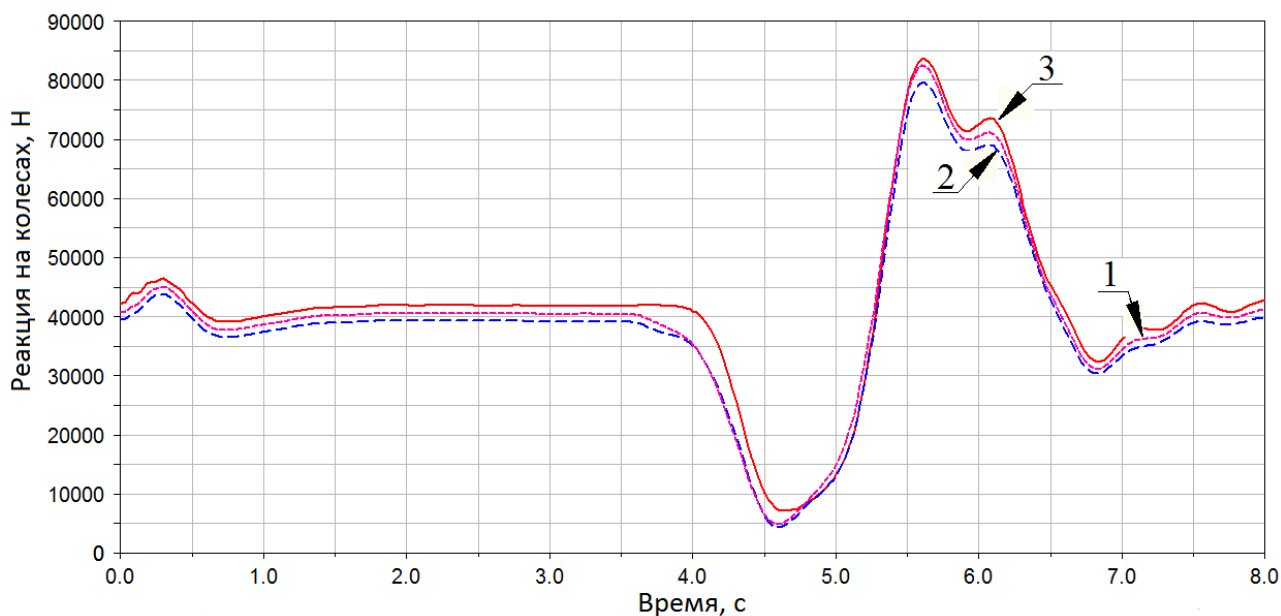


Рис. 9. Графики изменения нормальных реакций на колесах правого борта полуприцепа при выполнении маневра «переставка»:

1 – колесо первой оси; 2 – колесо средней оси; 3 – колесо управляемой оси

На рис. 10 показан фрагмент натурных испытаний, при которых критическая скорость совершения маневра составила 54 км/ч. Сравнительный анализ результатов дорожных испытаний с данными моделирования показал, что расхождение значений предельной скорости совершения маневра не превышает 3%. Относительно малое расхождение свидетельствует об адекватном поведении модели и приемлемой точности моделирования.



Рис. 10. Фрагмент дорожных испытаний «смена полосы движения (переставка)»

Удовлетворительная сходимость результатов расчетов с данными натурных испытаний свидетельствует о правильности выбранных подходов моделирования. Это позволяет использовать разработанную модель для оценки влияния отдельных параметров на свойства управляемости и устойчивости автопоезда. Например, интересным является оценка влияния расстояний X , Y и Z , указанных на рис. 1, на характер криволинейного движения автопоезда как при смене полосы движения, так и при входе в поворот. Очевидно, что по результатам

моделирования можно выделить область параметров, при которых автопоезд будет иметь наилучшие показатели управляемости и устойчивости. Одновременно с этим возможно выявление геометрических параметров, при которых движение автопоезда будет неустойчивым. В совокупности полученные результаты могут представлять большой практический интерес для инженеров, занимающихся проектированием полуприцепов.

Библиографический список

1. **Бахмутов, С.В.** Совершенствование метода интегральных силовых диаграмм для оценки управляемости и устойчивости автомобиля / С.В. Бахмутов, А.А. Ахмедов, А.Б. Орлов // Известия МГТУ «МАМИ». 2011. № 1 (11). С. 22–26.
2. **Дыгало, В.Г.** Применение виртуально-физической технологии моделирования для проектирования систем активной безопасности / В.Г. Дыгало, А.А. Ревин // Безопасность транспортных средств в эксплуатации: сб. материалов 79-й Международной научно-технической конференции «Ассоциации автомобильных инженеров» /НП «ИНСАТ». Н.Новгород. 2012. С. 55–63.
3. **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.
4. **Шеннон, Р.** Имитационное моделирование систем – искусство и наука / Р. Шеннон. – М.: Мир, 1978. – 415 с.
5. **ГОСТ Р 52302-2004** «Автотранспортные средства. Управляемость и устойчивость. Технические требования. Методы испытания». – М., 2004.
6. <http://www.welgro.nl> (дата обращения 01.10.2013)
7. <http://www.daf.com> (дата обращения 05.10.2013)

*Дата поступления
в редакцию 02.12.2013*

A.A. Vasiliev¹, S.Y. Kostin¹, S.A. Sergievskiy², E.V. Stepanov¹, A.V. Tumasov¹

SIMULATION OF CURVILINEAR MOTION OF ROAD TRAIN IN ADAMS/CAR SOFTWARE

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.Y. Alexeev¹,
Limited Liability Company “MSC Software RUS”²

Purpose: Estimating of road train behavior in lane changing 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 ADAMS/CARsoftware that allows taking into account main vehicle parameters, road conditions and driver behavior.

Findings: It is possible to apply the research results for estimation of road train active safety characteristics on the basis of simulation results that shows high convergence with experimental data.

Research limitations/implications: The present study provides a starting-point for further research in the field of road train safety and estimation of effectiveness of active safety systems components.

Originality/value: The main peculiarity of the study is original approach of computer simulation of road train behavior that could have a good practical application.

Key words: road train, simulation, steer ability, stability, cornering breakaway.