

УДК 629.113

А.А. Васильев, Е.В. Степанов, С.Ю. Костин

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАСПОЛОЖЕНИЯ ОСЕЙ ПОЛУПРИЦЕПА НА СВОЙСТВА УПРАВЛЯЕМОСТИ И УСТОЙЧИВОСТИ АВТОПОЕЗДА В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ MSC.ADAMS/CAR**

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Представлены результаты исследований свойств управляемости и устойчивости автопоезда в составе тягача категории  $N_3$  и полуприцепа категории  $O_4$  массой 40,5 т. Компьютерное моделирование выполнено в программном комплексе MSC.ADAMS/CAR лицензионного пакета University MD FEA 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 сертификационного испытания «переставка», предусмотренного ГОСТ Р 52302-2004 «Автотранспортные средства. Управляемость и устойчивость. Технические требования. Методы испытания» [6].

В качестве программного комплекса для проведения исследований был выбран программный комплекс MSC.ADAMS/CAR лицензионного пакета University MD FEA 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  $N_3$  и полуприцепа категории  $O_4$  массой 40,5 т. В качестве аналога был выбран полуприцеп, разработанный специалистами голландской фирмы Welgro [7], имеющий три оси. Полуприцеп Welgro представлен в двух исполнениях: без поворотной оси и с задней поворотной осью (рис 1 и рис 2). Во втором исполнении полуприцеп имеет заднюю управляемую ось, т.е. обеспечивающую поворот колес оси при повороте на определенный угол, в зависимости от кривизны траектории (рис. 3). В качестве тягача автопоезда выбран автомобиль DAF, информация о конструктивных особенностях которого получена с официального сайта компании DAF [8]. Остальные параметры автопоезда приняты по результатам аналитических расчетов, проведенных специалистами НГТУ им. Р.Е. Алексеева.

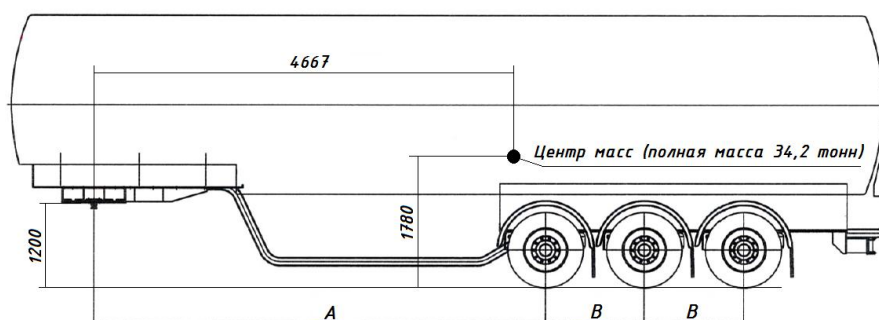


Рис. 1. Схема полуприцепа Welgro без управляемой оси

Таблица 1

Диапазоны размеров полуприцепа без управляемой оси

Размер	Минимум	Максимум
A, мм	4500	6800
B, мм	1360	2000

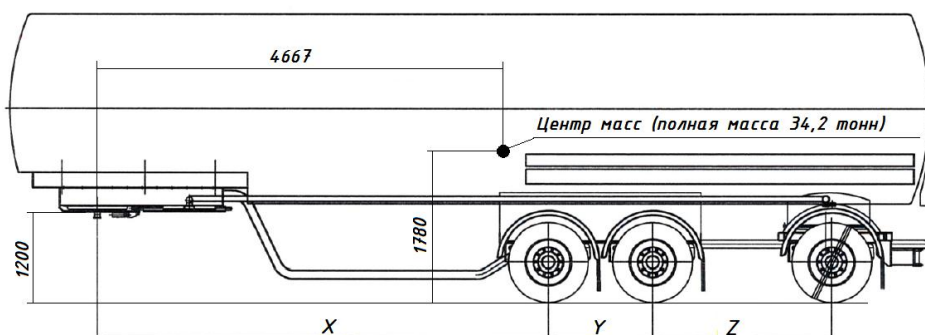


Рис. 2. Схема полуприцепа Welgro с задней управляемой осью

Таблица 2

Диапазоны размеров полуприцепа с управляемой осью

Размер	Минимум	Максимум
X, мм	4500	6800
Y, мм	1360	1810
Z, мм	1500	3000

Полуприцеп Welgro без управляемой оси имеет варьируемые размеры:  $A$  – расстояние между соединительным шкворнем и первой осью полуприцепа,  $B$  – расстояние между осями полуприцепа. Диапазон изменения размеров  $A$  и  $B$  представлен в табл. 1.

Полуприцеп Welgro с управляемой осью также имеет варьируемые размеры:  $X$  – расстояние между соединительным шкворнем и первой осью полуприцепа,  $Y$  – расстояние между первой и второй осью,  $Z$  – расстояние между второй и третьей (управляемой) осью полуприцепа. Диапазон изменения размеров  $X, Y, Z$  представлен в табл. 2.

В соответствии с требованиями ГОСТ Р 52302-2004 наиболее значимыми являются результаты динамических испытаний (определение критической скорости совершения маневров: вход в поворот и смена полосы движения).

На рис. 4 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.

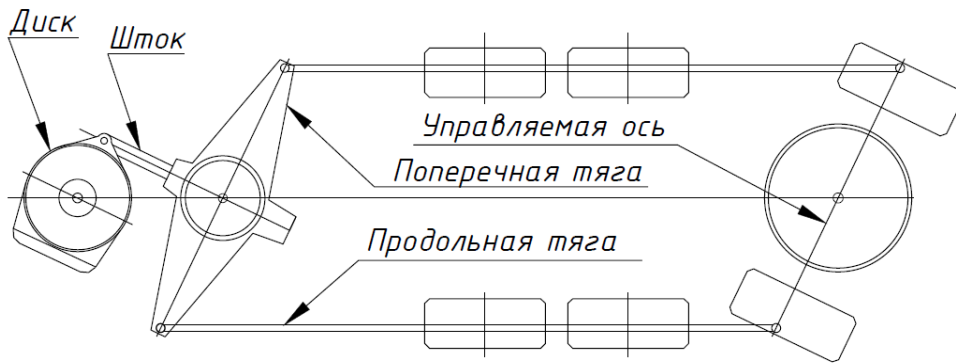


Рис. 3. Схема поворотного устройства полуприцепа Welgro

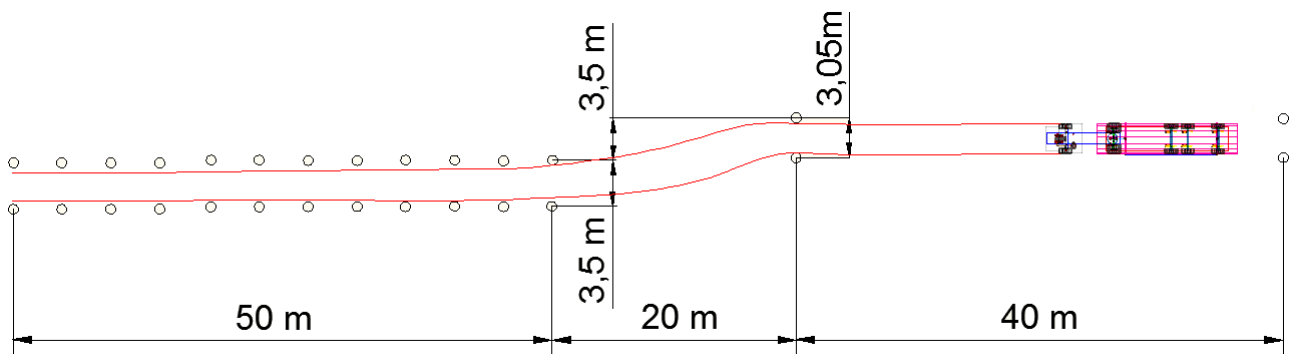


Рис. 4. Схема виртуального полигона для имитации испытания «смена полосы движения»

На рис. 5 показана модель автопоезда, учитывающая основные конструктивные параметры: развесовку, расположение высот центров тяжести тягача и полуприцепа, кинематику и упруго-демпфирующие свойства подвесок и пр.

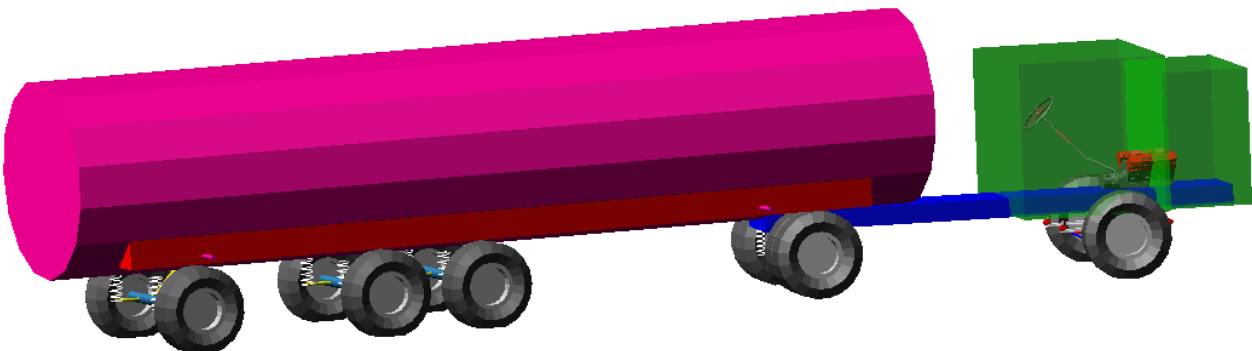


Рис. 5. Схема модели автопоезда (тягач DAF, полуприцеп Welgro) в ADAMS/Car

Моделирование сертификационного испытания смены полосы движения осуществлялось на скорости 52 км/ч, регламентированной для седельных автопоездов [6].

Целью исследования является нахождение наиболее рациональных сочетаний размеров, представленных в табл. 1 и 2, а также изучение влияние наличия поворотной оси на свойства управляемости и устойчивости седельного автопоезда. Другими словами, определялось какие размеры необходимо применить (сочетание размеров  $A$  и  $B$  для полуприцепа без управляемой оси; сочетание размеров  $X, Y, Z$  для полуприцепа с управляемой осью) для того, чтобы автопоезд удовлетворял требованиям ГОСТ Р 52302-2004 при прохождении маневра «переставка», а именно: автопоезд должен пройти маневр на скорости не менее 52 км/ч

при этом ни одна из частей автопоезда не должна выходить за пределы габаритного коридора движения (см. рис. 4) и ни одно из колес транспортного средства не должно отрываться от опорной поверхности дорожного полотна.



Рис. 6. Автопоезд в составе тягача DAF и полуприцепа Welgro

Для полуприцепа без управляемой оси:

Имеем размеры  $A$  и  $B$ . Размер  $A$  принимает следующие значения: (4500, 4900, 5300, 5500, 5700, 6000, 6400, 6800 мм). Размер  $B$  принимает значения: (1360, 1500, 1750, 2000 мм). Зафиксируем размер  $B = 1360$  мм. При фиксированном размере  $B$  размер  $A$  последовательно принимает значения (4500, 4900, 5300, 5500, 5700, 6000, 6400, 6800 мм). Получаем массив возможных конфигураций полуприцепа, представленных в табл. 3.

Таблица 3

**Массив конфигураций полуприцепа без управляемой оси при  $B=1360$  мм**

$A \backslash B$	4500	4900	5300	5500	5700	6000	6400	6800
1360	конф.1.1	конф.1.2	конф.1.3	конф.1.4	конф.1.5	конф.1.6	конф.1.7	конф.1.8

Далее алгоритм повторяется для других значений размера  $B$  (1500, 1750, 2000 мм).

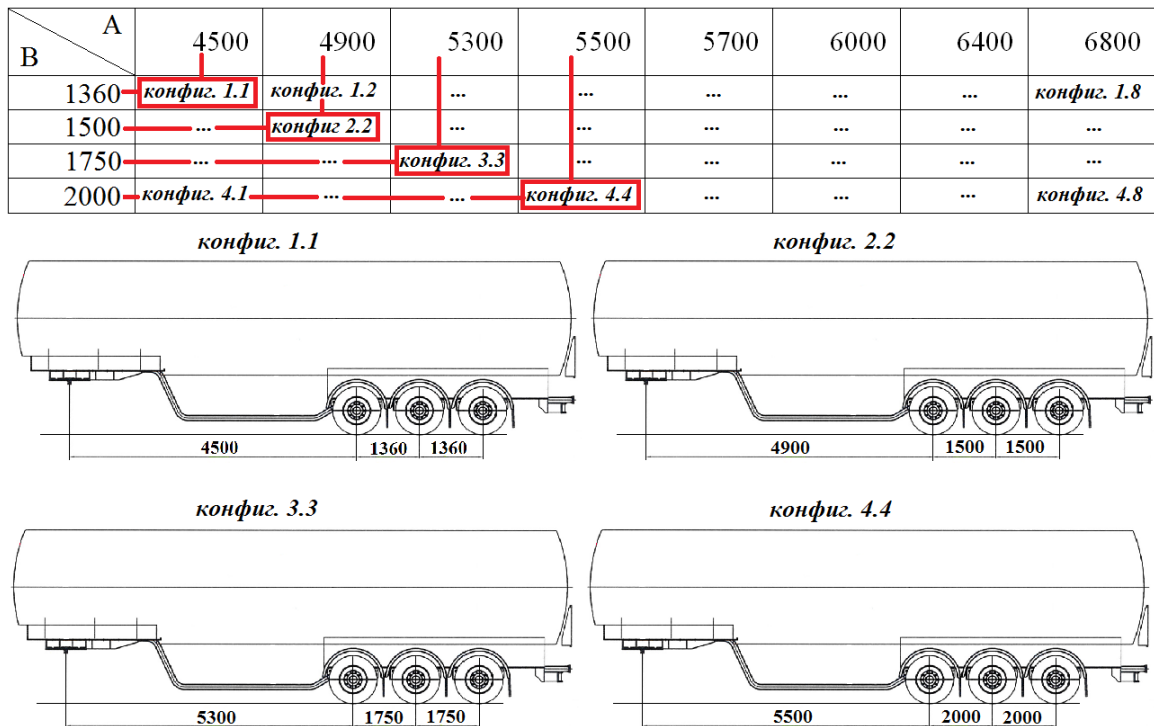
Таким образом, получаем двумерный массив из возможных конфигураций полуприцепа без управляемой оси. Каждая ячейка табл. 4 отвечает за определенную конфигурацию полуприцепа Welgro.

Таблица 4

**Массив конфигураций полуприцепа без управляемой оси**

$A \backslash B$	4500	4900	5300	5500	5700	6000	6400	6800
1360	конф.1.1	конф.1.2	конф.1.3	конф.1.4	конф.1.5	конф.1.6	конф.1.7	конф.1.8
1500	конф.2.1	конф.2.2	конф.2.3	конф.2.4	конф.2.5	конф.2.6	конф.2.7	конф.2.8
1750	конф.3.1	конф.3.2	конф.3.3	конф.3.4	конф.3.5	конф.3.6	конф.3.7	конф.3.8
2000	конф.4.1	конф.4.2	конф.4.3	конф.4.4	конф.4.5	конф.4.6	конф.4.7	конф.4.8

На рис. 7 изображены некоторые конфигурации полуприцепа без управляемой оси с указанием размеров  $A$  и  $B$ . Наглядно показано, что каждой ячейке табл. 4 соответствует конфигурация полуприцепа с конкретными размерами.



**Рис. 7. Графическая интерпретация различных конфигураций полуприцепа Welgro без управляемой оси**

Для полуприцепа с управляемой осью:

Имеем размеры  $X$ ,  $Y$  и  $Z$ . Размер  $Y$  принимает следующие значения: (1360, 1500, 1810 мм). Размер  $X$  принимает значения: (4500, 4900, 5300, 5500, 5700, 6000, 6400, 6800 мм). Размер  $Z$  принимает значения: (1500, 2000, 2500, 3000 мм). Зафиксируем размер  $Y=1360$  мм. При этом размер  $X$  принимает значения: (4500, 4900, 5300, 5500, 5700, 6000, 6400, 6800 мм). А размер  $Z$  принимает значения: (1500, 2000, 2500, 3000 мм).

При фиксированном размере  $Y=1360$  мм. Повторяем описанный ранее алгоритм. В итоге получаем двумерный массив из возможных конфигураций полуприцепа с управляемой осью. Далее фиксируем размер  $Y$  на значениях 1500 мм и 1810 мм.

Окончательно получаем три двумерных массива из возможных конфигураций полуприцепа с управляемой осью.

**Таблица 5**

**Массив конфигураций полуприцепа с управляемой осью при  $Y=1360$  мм (аналогично для  $Y=1500$  мм и  $Y=1810$  мм)**

$X \setminus Z$	4500	4900	5300	5500	5700	6000	6400	6800
1500	конф.1.1	конф.1.2	конф.1.3	конф.1.4	конф.1.5	конф.1.6	конф.1.7	конф.1.8
2000	конф.2.1	конф.2.2	конф.2.3	конф.2.4	конф.2.5	конф.2.6	конф.2.7	конф.2.8
2500	конф.3.1	конф.3.2	конф.3.3	конф.3.4	конф.3.5	конф.3.6	конф.3.7	конф.3.8
3000	конф.4.1	конф.4.2	конф.4.3	конф.4.4	конф.4.5	конф.4.6	конф.4.7	конф.4.8

На рис. 8 изображены некоторые конфигурации полуприцепа с управляемой осью с указанием размеров  $X$  и  $Z$ . Наглядно показано, что каждой ячейке табл. 5 соответствует конфигурация полуприцепа с конкретными размерами.

В реальных условиях эксплуатации углы увода могут достигать  $7...8^\circ$ , а в некоторых случаях даже  $10...12^\circ$ . Такие углы увода соизмеримы с углами поворота управляемых колес, по-

этому они оказывают значительное влияние на кинематику поворота и определяют поведение автомобиля при криволинейном движении. Значение угла увода автомобильного колеса зависит от величины, приложенной к нему боковой силы и боковой эластичности шины.

X \ Z	4500	4900	5300	5500	5700	6000	6400	6800
1500	конфиг. 1.1	конфиг. 1.2	...	...	...	...	...	конфиг. 1.8
2000	...	конфиг. 2.2	...	...	...	...	...	...
2500	...	...	конфиг. 3.3	...	...	...	...	...
3000	конфиг. 4.1	...	...	конфиг. 4.4	...	...	...	конфиг. 4.8



Рис. 8. Графическая интерпретация различных конфигураций полуприцепа Welgro с управляемой осью

Многочисленными экспериментами установлена характерная зависимость угла увода от боковой силы, показанная на рис. 9. На приведенной кривой можно выделить три характерных участка. На участке 0-1 угол увода линейно зависит от боковой силы. Здесь увод колеса происходит только за счет упругой деформации элементов шины. Линейная зависимость сохраняется при углах увода  $\delta_0$ , не превышающих в среднем  $1,4...2^\circ$ . На участке 1-2 явление увода сопровождается проскальзыванием элементов шины, расположенных в задней части контакта и наиболее нагруженных в боковом направлении. Чем больше боковая сила, тем значительней длина линии контакта, скользящей по опорной поверхности. Это приводит к нарушению линейной зависимости между боковой силой и углом увода. В точке 2 боковая сила  $F_y$  достигает максимального значения. Условно боковое перемещение колеса под действием силы  $F_y$  на участке 0-2 называют *боковым уводом*, а на участке 2-3 – *боковым скольжением*. Величина угла, при котором начинается боковое скольжение, на сухой твердой опорной поверхности составляет  $12...20^\circ$  [5, с. 382].

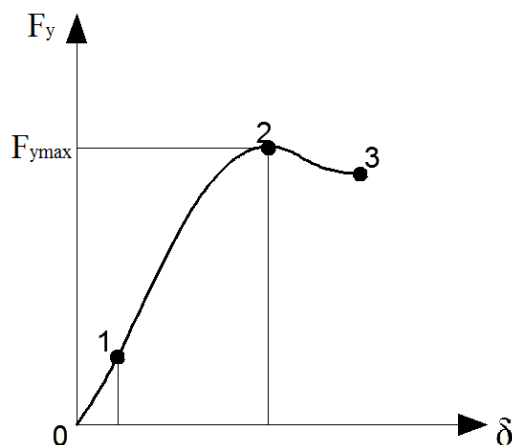


Рис. 9. Зависимость боковой силы от угла увода

Оценка максимальной величины угла бокового увода шин полуприцепа при прохождении испытания «переставка  $S_n = 20$  м»

Диапазон углов увода	
	Более 15 [град]
	11-15 [град]
	7-11 [град]

Для полуприцепа с управляемой осью:

Таблица 6

Оценка углов бокового увода шин полуприцепа при  $Y = 1360$  [град]

Z \ X	4900	5300	5500	5700	6000	6400	6800
1500	24	14	13	12	10	9	8,5
2000	18	13	12	11	9,5	8,5	8
2500	15	12	10,5	10	9	8	7,5
3000	13	11	10	9,5	9	7,5	7

Таблица 7

Оценка углов бокового увода шин полуприцепа при  $Y = 1500$  [град]

Z \ X	4900	5300	5500	5700	6000	6400	6800
1500	22	13,5	12,5	8,5	10	9	7,5
2000	16	12,5	11,5	9	9,5	8,5	7
2500	13,5	11,5	10,5	8,5	9	8	7
3000	11,5	11	10	8	8,5	7,5	7

Таблица 8

Оценка углов бокового увода шин полуприцепа при  $Y = 1810$  [град]

Z \ X	4900	5300	5500	5700	6000	6400	6800
1500	15,5	12	11	10,5	9,5	9	9
2000	13	11	10,5	9,5	9	8,5	8,5
2500	11,5	10,5	10,5	9,5	8,5	8	8
3000	10	10	9,5	9	8	7,5	7,5

Для полуприцепа без управляемой оси:

Таблица 9

Оценка углов бокового увода шин полуприцепа без управляемой оси [град]

B \ A	5300	5500	5700	6000	6400	6800
1360	14,5	12,5	11	10	8,5	7,5
1500	12,5	11,5	10,5	10	9,5	9
1750	11,5	11,5	10,5	10	9,5	9
2000	11,5	11	10,5	10	9,5	9

*Оценка свойств управляемости и устойчивости полуприцепа  
при прохождении испытания «переставка  $S_n=20$  м»*

Система оценок:

	Испытание не пройдено: Произошел отрыв хотя бы одного из колес автопоезда и/или выход за габаритный коридор какой-либо точки автопоезда
	Близко к прохождению: 1. Отсутствие отрыва хотя бы одного из колес автопоезда 2. Незначительный выход за габаритный коридор какой-либо точки автопоезда
	Испытание пройдено: 1. Отсутствие отрыва колес автопоезда 2. Отсутствие выхода за габаритный коридор любой из точек автопоезда

Для полуприцепа с управляемой осью:

Таблица 10

**Оценка свойств управляемости и устойчивости полуприцепа при  $Y = 1360$**

$Z \backslash X$	4500	4900	5300	5500	5700	6000	6400	6800
1500								
2000								
2500								
3000								

Таблица 11

**Оценка свойств управляемости и устойчивости полуприцепа при  $Y = 1500$**

$Z \backslash X$	4500	4900	5300	5500	5700	6000	6400	6800
1500								
2000								
2500								
3000								

Таблица 12

**Оценка свойств управляемости и устойчивости полуприцепа при  $Y = 1810$**

$Z \backslash X$	4500	4900	5300	5500	5700	6000	6400	6800
1500								
2000								
2500								
3000								

Для полуприцепа без управляемой оси:

Таблица 13

**Оценка свойств управляемости и устойчивости полуприцепа без управляемой оси**

$B \backslash A$	4500	4900	5300	5500	5700	6000	6400	6800
1360								
1500								
1750								
2000								

*Примечание:* моделирование испытания для сравнения показателей управляемости и устойчивости было произведено при скорости транспортного средства 52 км/ч. Полная масса тягача с полуприцепом – 40,5 т.





2000

## 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. **Кравец В. Н.** Теория автомобиля: учебник для вузов / В.Н. Кравец, В.В. Селифанов. – М.: ООО «Гринлайт+», 2011. – 884 с.
6. **ГОСТ Р 52302-2004.** Автотранспортные средства. Управляемость и устойчивость. Технические требования. Методы испытания. – М., 2004.
7. <http://www.welgro.nl> (дата обращения 01.10.2013)
8. <http://www.daf.com> (дата обращения 05.10.2013)

*Дата поступления  
в редакцию 29.01.2015*

**A.A. Vasiliev, E.V. Stepanov, S.Y. Kostin**

## **RESEARCH OF INFLUENCE OF AXLE ON SEMITRAILER ON THE PROPERTIES OF CONTROL AND STABILITY OF TANK TRAIN IN MSC.ADAMS/CAR SOFTWARE**

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

**Purpose:** Estimating of tank train behavior in lane changing conditions that are regulated by GOST R 52302-2004 on the basis of computer simulation results.

**Design/methodology/approach:** The simulation study based on dynamic analysis method with using of MSC.ADAMS/CAR software 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 tank train active safety characteristics on the basis of simulation results.

**Research limitations/implications:** The present study provides a starting-point for further research in the field of tank 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 tank train behavior that could have a good practical application.

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