

С. И. Медведицков¹, Г. М. Бабынина¹, А. А. Дзема²

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ УПРАВЛЯЕМОСТИ
ЛЕГКОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ РАЗЛИЧНОЙ КОМПОНОВКИ**

¹ Бобруйский филиал Белорусского государственного экономического университета

² Белорусский национальный технический университет

(e-mail: medsim@rambler.ru)

Проведены экспериментальные исследования автомобилей различных компоновок: классической ВАЗ-2107 и переднеприводной ВАЗ-2170. Данные исследования проводились в Центре испытаний «НАМИ» г. Дмитров, Московской обл. на горизонтальной площадке с асфальтобетонным покрытием в различных дорожных и климатических условиях. Испытания проводились в соответствии ГОСТ Р 52302-2004 «АТС, Управляемость и устойчивость» с использованием специальной аппаратуры фирмы «CORRSYS DATRON».

Для проведения испытаний по управляемости автомобилей выполнялись маневры: «спираль», «стабилизация», испытания «поворот» и «переставка». В ходе испытаний получены зависимости по установившимся реакциям автомобилей и по характеру протекания реакции автомобиля управляемых колес от угла поворота рулевого колеса по времени характеристики стабилизации. По результатам этих испытаний отмечено, что абсолютные значения установившейся реакции автомобиля ВАЗ-2107 на 18–20 % меньше, чем у автомобиля ВАЗ-2170. Угол первого заброса, на который рулевое колесо отклоняется в противоположную сторону при переходе его через нейтральное положение автомобиля переднеприводной компоновки ВАЗ-2170 существенно выше, чем у автомобиля классической компоновки ВАЗ-2107 и составляет 38 %, время затухания колебаний рулевого колеса соответственно составляет для автомобиля ВАЗ-2170 – 1,9 с. у автомобиля ВАЗ-2107 – 1,2 с. При выполнении маневров «поворот» и «переставка» на сухом и мокром покрытии существенной разницы выявить не удалось, однако, при выполнении маневра «поворот» на укатанном снеге скорость прохождения на автомобиле ВАЗ-2170 несколько превосходила на 5–7 км/час, чем на автомобиля ВАЗ-2107, но при этом наступал снос, что приводило к потере управляемости, тогда как на автомобиле классической компоновки поворот можно пройти в управляемом заносе.

Ключевые слова: управляемость, автомобиль заднеприводный, переднеприводный; испытания, стабилизация, установившаяся реакция.

S. I. Medveditskov¹, G. M. Babynina¹, A. A. Dzioma²

**EXPERIMENTAL STUDY OF CONTROLLABILITY
OF PASSENGER CARS OF DIFFERENT DESIGN**

¹ Bobruisk branch of the Belarusian State Economic University

² Belarusian National Technical University

Experimental studies of passenger cars with different arrangement were carried out: classical VAZ -2107 and front-drive VAZ -2170. These studies were performed at the Vehicle Testing Centre «NAMI» in Dmitrov, Moscow district on a horizontal ground with asphalt-concrete surface in different road and climate conditions. The tests were carried out in accordance to GOST P 52302-2004 «Motor Vehicles, Steerability and Roadability» with implementation of special instruments produced by «CORRSYSDATRON» company. During tests for vehicle steerability the following manipulations were performed: «spiral», «stabilization» «turning» and «elk» tests.

In the course of tests we obtained correlation upon static vehicle response and upon character of vehicle steering wheel reaction from wheel steering angle along time of stabilization characteristics. Upon results of these tests it was admitted that absolute values of static response of the VAZ-2107 vehicle was 18–20 % less than that of the VAZ-2170.

Angle of the first overspeed for which the driving wheel is rotated to the opposite direction at its passing across neutral position of the front-drive vehicle VAZ-2170 is significantly higher than of classical VAZ -2107 and makes 26,7 %. Time of decay of driving wheel oscillations accordingly makes 1,9 sec. for VAZ-2170 and 1,2 sec. for VAZ-2107.

During performance of «turning» and «elk» manipulations on dry and wet surface no significant difference was found. However, during performance of «turning» manipulation on packed snow the speed of VAZ-2170 was 5–7 km/h higher than that of VAZ-2107, but at that a drift took place, which resulted in a loss of control, while it was possible to corner at the controlled skidding on a classical arrangement vehicle.

Keywords: steerability, rear drive vehicle, front drive vehicle; tests, stabilization, static response.

Исследованиям управляемости автомобилей посвящено достаточно много работ отечественных и зарубежных ученых. В данной работе под управляемостью мы понимаем то, насколько четко автомобиль реагирует на поворот руля, и с какой скоростью можно проходить повороты, не опасаясь срыва колес. Большой вклад в теории управляемости и устойчивости автомобилей внесли русские ученые А. С. Литвинов, Д. А. Антонов и др. В работе А. С. Литвинова [1] были рассмотрены вопросы влияния характеристик эластичного колеса, трансмиссии и рулевого управления на управляемость и курсовую устойчивость автомобиля. Д. А. Антонов в работе [2] предложил нелинейную теорию увода, в которой ввел коэффициент коррекции, представляющий собой произведение частных коэффициентов коррекции, учитывающих различные условия работы эластичного колеса. В работе [3] в математической модели автомобиля рекомендуется учитывать характеристики шин так как управляемость автомобиля зависит от боковой силы, создаваемой парой колес. В других работах посвященных исследованию влияния на устойчивость и управляемость уделялось внимание изменению конструктивных параметров автомобиля в части кинематических, жесткостных характеристик подвесок и рулевого управления [4, 5], а также шин [6].

В настоящее время вопросы влияния изменения типа привода автомобиля в процессе движения на устойчивость и управляемость не достаточно изучены. В работе [7] разработана

математическая модель, позволяющая исследовать влияние смены привода, во время движения автомобиля, на устойчивость и управляемость, но в этом исследовании использовался автомобиль комбинированной энергетической установки (КЭУ). Автомобили с КЭУ отличаются от традиционных наличием двух двигателей (двигателя внутреннего сгорания и электрического), имеющих разные источники энергии и работающих по определенному алгоритму. Для исследуемого автомобиля при смене привода с переднего на задний, по результатам расчетов статических характеристик, было отмечено, что тип привода автомобиля оказывает незначительное влияние на его устойчивость и управляемость при движении с постоянной скоростью по окружности постоянного радиуса. С теоретической точки зрения, учитывая воздействия боковой силы ветра и его моменты вокруг полюса поворота, а также поперечные и продольные составляющие центробежной силы, возникающие в процессе управления автомобилем, можно отметить, что переднеприводный автомобиль склонен к недостаточной поворачиваемости, заднеприводный к избыточной поворачиваемости и полноприводный близкую к нейтральной поворачиваемости [8, 9 и др.]. Для оценки динамики разгона и управляемости автомобиля с разными типами привода (переднеприводный, заднеприводный и полноприводный) в работе [10] были проведены испытания. Испытания проводились в зимних условиях по укатанному снегу на автомобилях, со следующими типами привода: переднеприводный –

Volvo S40 T4, заднеприводный – BMW 320i и полноприводный – Subaru Impreza Turbo.

Оценка управляемости осуществлялась при движении автомобиля по кругу, при этом выяснилось, что на переднеприводном – Volvo S40 T4 и заднеприводном – BMW 320i время прохождения круга оказалось практически одинаковым. Как следует из этой работы, оценка управляемости осуществлялась по двум видам испытаний, чего недостаточно для оценки влияния различных типов приводов на управляемость. Для объективной оценки управляемости необходимо дополнительно провести испытания такие как, «вход в поворот» или «переставка», маневры которых приближены к условиям реальной эксплуатации. В связи с вышеизложенным данная работа, направленная на исследование влияния различного типа привода в ходе движения автомобиля на его управляемость, является актуальной.

К настоящему времени сложилось два направления оценки влияния автомобиля на управляемость: объективное и субъективное.

Объективная оценка предусматривает замер при помощи приборов, ряда параметров при выполнении автомобилем определенных маневров. Существует достаточно много различных методов объективной оценки влияния различных конструктивных параметров и шин на управляемость автомобилей. Однако дополнительно рекомендуется проводить субъективные методы оценки опытными водителями-испытателями. Эти испытания на многих зарубежных автомобильных фирмах проводятся при выполнении определенных маневров или при движении по замкнутым трассам с различной кривизной поворотов, спусков и подъемов. Следует отметить, что, как правило, субъективные методы оценки управляемости и устойчивости базируются на балльной оценке, проводимой экспертами-специалистами. Оценка производится в этом случае не устойчивости и управляемости в прямом смысле, а комплексного показателя, так называемого «держания дороги», оценивающего работу подвески, рулевого управления автомобиля и сцепные свойства шины.

Одним из важных факторов обеспечения требований активной безопасности автомобиля является его оптимальная устойчивость и управляемость, которая в свою очередь зависит от привода автомобиля, степени износа шин передних и задних колес состояния дорожного покрытия и др.

С целью оценки влияния привода автомобиля на управляемость, в качестве объекта ис-

следования использовались автомобили классической компоновки ВАЗ – 2107 и переднеприводный ВАЗ – 2170. Данные исследования проводились в Центре испытаний "НАМИ" г. Дмитров, Московской обл.

Для проведения испытаний по управляемости автомобилей выполнялись маневры: «спираль», «стабилизация (выход из круга)», испытания «поворот» и «переставка». Испытания проводились в соответствии ГОСТ Р 52302-2004 «АТС, Управляемость и устойчивость» [11], на горизонтальной площадке с асфальтобетонным покрытием (Восточная площадка спец. дороги автополигона НАМИ), при температуре окружающего воздуха в летних условиях (25 ± 5) °С, в зимних (-20 ± 3) °С. В летних условиях испытания осуществлялись на сухом и мокром асфальтобетонном покрытии, в зимнее время на укатанном снеге. Скорость ветра не превышала 3 м/с, без порывов. Перед проведением зачетных испытательных заездов проводился разогрев шин и агрегатов автомобиля протяженностью 50 км со средней скоростью автомобиля 90 км/ч по скоростной дороге. В летнее время одни и те же эксперименты проводились в течение одного дня. В практической деятельности испытаний известно, что в зимнее время структура снежного покрытия изменяется как в течение дня, так и по мере увеличения заездов, поэтому испытания проводились в течение трех дней и в разное время дня. Испытания проводились тремя опытными водителями-испытателями по 5 заездов при выполнении каждого маневра. Автомобили ВАЗ-2107 и ВАЗ-2170 в летних условиях комплектовались шинами размера 175/70R13 модели Бел-100 ОАО «Белшина», в зимних условиях размера 175/70R13 модели Nordman RS фирмы «Nokian». Причем испытания «вход в поворот» проводились как в летних, так и в зимних условиях.

Давление в шинах передних колес автомобиля ВАЗ-2107 устанавливалось на «холодных шинах» равным 170 кПа, а в задних – 190 кПа. Для автомобиля ВАЗ-2170 давление в шинах передних и задних колес составляло 200 кПа. При проведении экспериментальных исследований фиксировались следующие параметры:

- 1) момент на рулевом колесе и угол поворота рулевого колеса;
- 2) углы крена кузова автомобиля;
- 3) угловая скорость поворота автомобиля в горизонтальной плоскости;
- 4) поперечное, продольное и вертикальное ускорение;

5) продольная и поперечная скорости движения автомобиля.

В настоящее время различают два типа испытаний автомобиля при установившемся движении: поворот с постоянным радиусом и различными скоростями движения и поворот с различными радиусами при постоянной скорости [3].

Имеющаяся аппаратура для измерения угловой скорости или бокового ускорения автомобиля позволяет успешно применять любой из этих способов.

Данные испытания проводились при постоянной скорости с равномерным поворотом управляемых колес, т. е. движение автомобиля «по спирали», так как эти испытания являются более показательными в отношении его поведения на дороге. В качестве оценочных параметров статической поворачиваемости использовалась установившаяся реакция автомобиля по угловой скорости в горизонтальной плоскости на поворот управляемых колес ω/Θ . Установившаяся реакция автомобиля характеризуется изменением угловой скорости поворота автомобиля в горизонтальной плоскости (продольной оси автомобиля) ω , отнесенной к углу поворота управляемых колес Θ при различных значениях поперечного ускорения. При росте поперечного ускорения установившаяся реакция у автомобиля с избыточной поворачиваемостью растет, а в случае недостаточной по-

ворачиваемости – падает. Нейтральная поворачиваемость характеризуется неизменной установившейся реакцией. Для проведения исследований в дорожных условиях была использована специальная аппаратура фирмы «CORRSYS DATRON». Комплект аппаратуры включает в себя приборы и датчики.

На рис. 1 показана схема установки датчиков ускорений TANS-1 и TANS-2 для определения продольного, поперечного и вертикального ускорения на автомобиле при испытаниях.

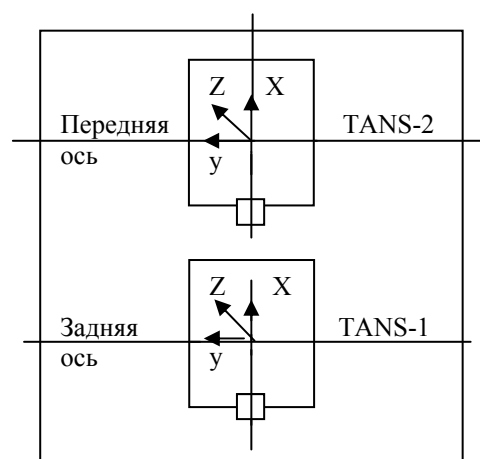


Рис. 1. Схема установки датчиков ускорений на автомобиле при испытаниях

На рис. 2 представлены установившиеся характеристики автомобилей классической компоновки ВА3-2107 и переднеприводной ВА3-2170.

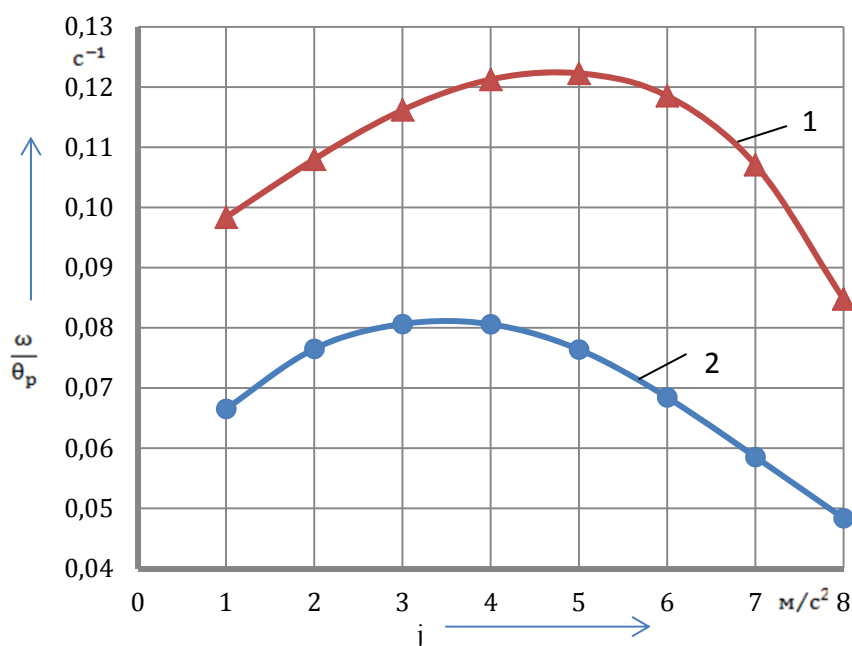


Рис. 2. Установившиеся реакции автомобилей: 1 – для ВА3-2170; 2 – для ВА3-2107

Из анализа рис. 2 следует, что характер изменения установившейся реакции автомобилей ВАЗ-2170 и ВАЗ-2107 практически идентичен. Однако абсолютные значения установившейся реакции автомобиля ВАЗ-2107 на 18–20 % мень-

ше, чем у автомобиля ВАЗ-2170.

Характер протекания реакции автомобиля управляемых колес от угла поворота рулевого колеса по времени характеристики стабилизации приведены на рис. 3.

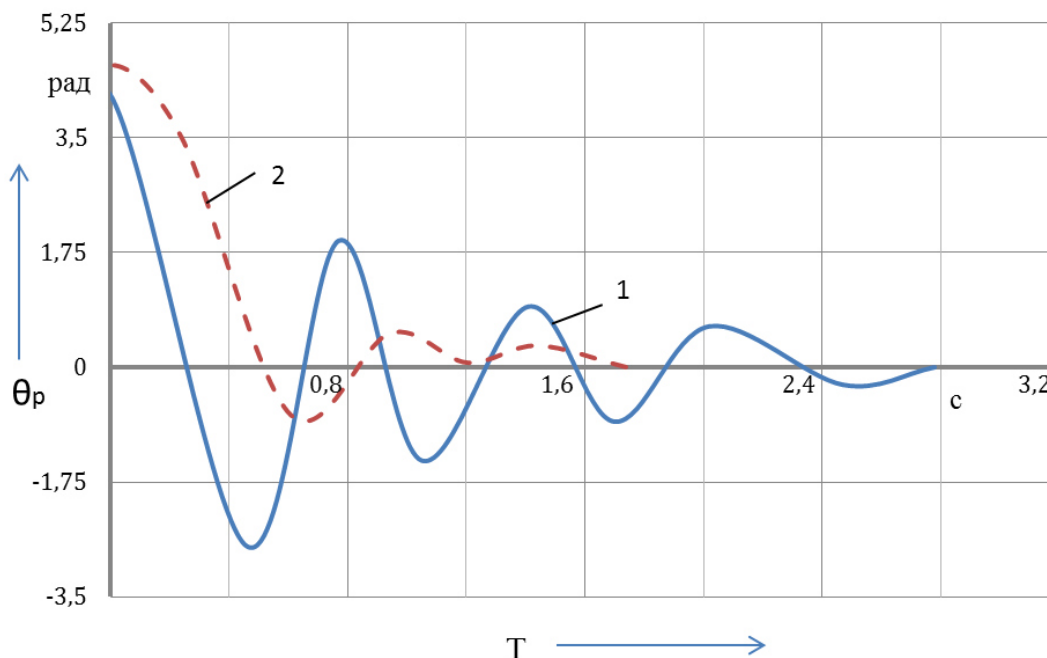


Рис. 3. Реакция стабилизации управляемых колес автомобиля:
1 – для ВАЗ-2170; 2 – для ВАЗ-2107

Характер протекания реакции автомобиля управляемых колес от угла поворота рулевого колеса, приведенный на рис. 3 показывает, что угол первого заброса, на которое рулевое колесо отклоняется в противоположную сторону при переходе его через нейтральное положение автомобиля переднеприводной компоновки ВАЗ-2170 существенно выше, чем у автомобиля классиче-

ской компоновки ВАЗ-2107 и составляет 38 %. Время затухания колебаний рулевого колеса соответственно отмечено для автомобиля ВАЗ-2170 – 1,9 с, у автомобиля ВАЗ-2107 – 1,2 с.

Результаты дорожных испытаний автомобилей различных приводов при выполнении маневров «поворот» и «переставка» приведены в таблице.

Результаты дорожных испытаний автомобилей различных приводов

| Тип привода | Предельная скорость выполнения маневра «Поворот» ($R = 35$ м), км/ч | | | | | Предельная скорость выполнения маневра «Переставка» ($S_n = 20$ м), км/ч | |
|------------------|--|-----------------|---------------------------|-----------|-----------|---|-----------------|
| | Сухое покрытие | Мокрое покрытие | Покрытие укатанное снегом | | | Сухое покрытие | Мокрое покрытие |
| | | | 1-ый день | 2-ой день | 3-ий день | | |
| Классический | 74,8 | 68,7 | 55,8 | 53,2 | 58,8 | 86,7 | 78,6 |
| Переднеприводный | 73,4 | 70,5 | 60,6 | 59,1 | 65,9 | 84,8 | 80,7 |

По результатам таблицы можно отметить, что при выполнении маневров «поворот» и «переставка» на сухом и мокром покрытии существенной разницы выявить не удалось, однако,

при выполнении маневра «поворот» на укатанном снеге, скорость прохождения на автомобиле ВАЗ-2170 несколько превосходила, на 5–7 км/ч, чем на автомобиле ВАЗ-2107, но при этом на-

ступал снос, что приводило к потере управляемости, тогда как на автомобиле классической компоновки поворот можно пройти в управляемом заносе.

Под сносом в работе [12] подразумевают потерю управляемости, то есть это такое явление, при котором автомобиль перестает откликаться на рулевое управление и движется в сторону воздействия инерционной силы.

На основании полученных экспериментальных исследований и их анализа можно сделать следующие выводы:

1. Характер изменения установившейся реакции автомобиля ВАЗ-2170 и ВАЗ-2107 практически идентичен. Чувствительность к управлению автомобиля ВАЗ-2107 на 18–20 % меньше, чем у автомобиля ВАЗ-2170.

2. При определении характеристики стабилизации управляемых колес автомобиля отмечено, что угол первого заброса, на которое рулевое колесо отклоняется в противоположную сторону при переходе его через нейтральное положение автомобиля переднеприводной компоновки ВАЗ-2170 существенно выше (на 2 рад.), чем у автомобиля классической компоновки ВАЗ-2107 и составляет 38 %, время затухания колебаний рулевого колеса при этом соответственно для автомобиля ВАЗ-2170 – 1,9 с, а у автомобиля ВАЗ-2107 – 1,2 с.

3. При выполнении маневров «поворот» и «переставка» на сухом и мокром покрытии существенной разницы выявить не удалось, однако, при выполнении маневра «поворот» на укатанном снеге скорость прохождения превосходила, на 5–7 км/ч на автомобиле ВАЗ-2170, чем на автомобиле ВАЗ-2107, но при этом наступал снос, что приводило к потере управляемости, тогда как на автомобиле классической компоновки поворот можно пройти в управляемом заносе.

4. Поскольку переднеприводные и заднеприводные автомобили имеют свои особенности управления и у каждого автомобиля существует своя критическая скорость прохождения поворотов, при которой начинается занос или снос, то независимо от типа привода при пересяживании на незнакомый автомобиль, необходимо время для привыкания («вкатывания»), особенно это важно на скользком дорожном покрытии при выборе скорости движения.

5. Переднеприводные автомобили обладают недостаточной поворачиваемостью, поэтому они ведут себя более устойчиво, чем заднеприводные автомобили такого же класса, особенно на мокрой и обледенелой дороге. Кроме этого, при движении по скользкой колее или поверхности асфальта, имеющей многослойный пирог из воды, льда и снега, переднеприводный автомобиль ведет себя более уверенно.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Литвинов, А. С. Управляемость и устойчивость автомобиля / А. С. Литвинов. – М.: Машиностроение, 1971. – 416 с.
2. Антонов, Д. А. Расчет устойчивости движения многоосных автомобилей / Д. А. Антонов. – М.: Машиностроение, 1984. – 168 с.
3. Эллис, Д. Р. Управляемость автомобиля / Д. Р. Эллис. – М.: Машиностроение, 1975. – 215 с.
4. Брылев, В. В. Исследование влияния угловой жесткости подвески на управляемость и устойчивость автомобиля: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.03 / Брылев В. В. – М., 1972. – 171 с.
5. Мирзоев, Г. К. О влиянии жесткости крепления картера рулевого механизма к кузову на жесткость рулевого управления и управляемость автомобиля / Г. К. Мирзоев, Л. В. Ермолин, А. В. Сергеев // Автотракторостроение. Промышленность и высшая школа. К 60-летию воссоздания МАМИ: материалы XXVII науч.-техн. конф. ААИ, М., 27–28 сентября 1999 г. / Московский гос. технический ун-т МАМИ; редкол.: А. П. Гусарев [и др.]. – М., 1999. – С. 14–15.
6. Медведицков, С. И. Влияние износа шин на характеристики увода колеса, устойчивость и управляемость автомобиля: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.03 / С. И. Медведицков. – Волгоград, 1988. – 182 л.
7. Баулина, Е. Е. Методика повышения устойчивости и улучшения управляемости автомобиля с комбинированной энергетической установкой при изменении типа привода в процессе движения: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.05.03 / Е. Е. Баулина; МГТУ «МАМИ». – М., 2010. – 24 с.
8. Управляемость автомобиля [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.rae.ru> – Дата доступа: 19.09.2016.
9. Влияние типов привода на управляемость автомобиля [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.autospecialist.info/wp-content/uploads/2013/07/Глава-35-Виды-трансмиссий.pdf> – Дата доступа: 21.09.2016.
10. Влияние типа привода на управляемость автомобиля и динамику его разгона [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://eurol-rus.ru/poleznoe/vliyanie-tipa-privoda-na-upravlyaemost-avtomobilya-i-dinamiku-ego-razgona.html> – Дата доступа: 22.09.2016.
11. Управляемость и устойчивость. Автотранспортные средства. Технические требования. Методы испытаний: ГОСТ Р 52302 – 2004. – Введ. 01.01.2006 – М: ИПК Изд-во стандартов, 2005. – 31 с.
12. Снос и занос. Особенности нестабильного движения [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://gebros.ru/snos-i-zanos-osobennosti-nestabilnogo-dvizheniya> – Дата доступа: 30.09.2016.