

УДК 656.025

**М.И. Чичкина, Н.А. Кузьмин, Ю.П. Трусов**  
**ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ УСТОЙЧИВОСТИ И УПРАВЛЯЕМОСТИ**  
**ПРИ ВНЕСЕНИИ ИЗМЕНЕНИЙ В КОНСТРУКЦИЮ АВТОМОБИЛЯ**

*Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева*

В статье представлены методики расчетных и экспериментальных исследований устойчивости и управляемости автомобиля при внесении изменений в его конструкцию. Приведены результаты исследований автомобиля КО-440-2, дается заключение о правомерности внесения изменений в его конструкцию.

**Ключевые слова:** управляемость, устойчивость, дорожные испытания, стендовые испытания, виртуальное моделирование.

В соответствии с техническим регламентом Таможенного союза (ТР ТС) 018/2011 [1], в случае внесения изменений в конструкцию транспортных средств (ТС), находящихся в эксплуатации, осуществляется предварительная техническая экспертиза конструкции на предмет возможности внесения изменений и последующая проверка безопасности конструкции. Изменения, вносимые в конструкцию транспортного средства, могут изменить координаты центра масс, колесную базу, колею, характеристики подвески и рулевого управления и повлиять на устойчивость и управляемость автомобиля. Классификация и виды вносимых в конструкцию ТС изменений, влияющих на их устойчивость и управляемость, приведены в работе [2].

Существуют различные методы оценки влияния внесённых изменений в конструкцию ТС на его устойчивость и управляемость: инженерный расчет, компьютерное моделирование, стендовые и дорожные испытания. Инженерный расчет является универсальным и часто употребляемым способом оценки параметров устойчивости. С помощью данного метода возможно определение показателей статической устойчивости, как с учетом жесткости подвески, так и без неё. В этой связи важным показателем является угол косогора по боковому опрокидыванию, который определяется [3]:

$$\beta_{\text{опр}} = \arctg[B/(2h_g)]. \quad (1)$$

Из формулы видно, что на критический угол косогора по боковому опрокидыванию влияют два параметра: колея и высота центра масс. Таким образом, статическую устойчивость можно оценить инженерным расчетом, если изменения, вносимые в конструкцию автомобиля, привели к изменению высоты центра масс и колеи. Метод хорошо подходит для экспресс-оценки, так как позволяет сэкономить временные и финансовые ресурсы. Вместе с тем, инженерный расчет является приближённым, поэтому для более точной оценки необходимо проводить специальные стендовые испытания.

Статическую поперечную устойчивость определяют в стационарных условиях на соответствующем стенде. Показателями поперечной статической устойчивости являются: угол статической устойчивости  $\alpha_{\text{cy}}$  – угол наклона опорной поверхности опрокидывающей платформы относительно горизонтальной плоскости и угол крена поддресоренных масс  $\varphi$  – угол между опорной поверхностью опрокидывающей платформы и поперечной осью поддресоренных масс. При определении угла поперечной устойчивости в стационарных условиях испытываемое ТС устанавливается на жёсткой платформе. Затем одну сторону этой платформы или рамы поднимают с помощью механического подъёмника или гидродъёмника. Стенд в обязательном порядке оборудуется устройством, предохраняющим опрокидывание машины. Платформа поднимается постепенно с интервалами угла наклона не более  $5^\circ$ , вплоть до начала отрыва ТС от опорной поверхности колёс с одной стороны. При достижении предельного (критического) положения ТС угол наклона платформы фиксируется угломерным

прибором. Опыты повторяются для двух весовых состояний – без груза и с полной нагрузкой [4]. Величина угла статической устойчивости  $\alpha_{cy}$  против опрокидывания должна быть не меньше нормативного значения  $\alpha_n$ , зависящего от коэффициента поперечной устойчивости  $q_s$ . Величина угла крена поддрессоренных масс  $\varphi$  не должна превышать предельного значения  $\varphi_n$ , заданных в зависимости от коэффициента поперечной устойчивости  $q_s$ . Коэффициент поперечной устойчивости определяется по выражению [5]:

$$q_s = \frac{0,5b}{h}, \quad (2)$$

а высота центра масс вычисляется по выражению:

$$h = \frac{0,5b - h_{кп} \cdot tg\alpha_{cy} - \Delta}{tg\alpha \cdot \cos\varphi + \sin\varphi} + h_{кп}. \quad (3)$$

Поперечная устойчивость транспортного средства в основном зависит от перераспределения нагрузок между колесами правого и левого бортов и высоты центра масс. В свою очередь, практически любое внесение изменений в конструкцию ТС влияет на положение центра тяжести. При незначительных изменениях конструкции автомобиля предпочтительнее использовать стендовые испытания, так как этот способ является наиболее эффективным для определения угла опрокидывания. Однако стендовые испытания не позволяют оценить динамику движения автомобиля. В связи с этим применяются дорожные испытания, при которых точнее определяется реальный угол опрокидывания на различных опорных поверхностях, так как при этом действуют многие внешние воздействия, которые не могут быть учтены на стендах. В соответствии с ГОСТ 31507-2012 «Автотранспортные средства. Управляемость и устойчивость. Технические требования. Методы испытаний» выделяют испытания по специально размеченным траекториям, которые включают движение по прямой (курсовая устойчивость), перевод автомобиля с одной полосы движения на другую (переставка), поворот с переходом на круговую траекторию (вход в поворот). При испытаниях определяют показатели, характеризующие устойчивость по опрокидыванию, курсовую устойчивость (способность сохранять заданное направление движения) и боковую устойчивость, которая характеризует боковые смещения при движении. Показатели управляемости и устойчивости определяются при движении автомобиля как в нормальных эксплуатационных условиях, так и по размеченным траекториям на специальных площадках. Во время испытаний определяется комплекс показателей, характеризующих управляемость и устойчивость автомобиля – боковые отклонения автомобиля, колебания курсового угла, крены автомобиля, чувствительность автомобиля к управлению, стабилизацию положения управляемых колес, величины усилий на рулевом колесе. Данный государственный стандарт содержит следующие технические требования, касающиеся дорожных испытаний:

- максимальную скорость автомобиля при выполнении маневра ( $V_m$  – скорость маневра) 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 своих нормативных значений;
- при значении  $V_m$  для испытуемого автомобиля ниже нормативного значения более чем на 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).

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

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 [6].

Дорожные испытания позволяют в полной мере оценить параметры устойчивости и управляемости автомобиля, так как они направлены на изучение активной безопасности в динамике автомобиля. С помощью дорожных испытаний возможно оценить изменения, влияющие не только на положение центра масс и перераспределение нагрузок на колеса, но и на кинематику подвески. При этом параметры подвески воздействуют на факторы, влияющие на величину и характер бокового увода. Однако натурные испытания являются дорогостоящими, поэтому их применение с экономической точки зрения нельзя считать однозначно эффективными.

Всё большую значимость для данных целей приобретает имитационное моделирование. Комплексная методика имитационного моделирования проводится в несколько этапов: ввод информации по исследуемому объекту, анализ требований нормативных документов, определение параметров и условий, имитирующих создание виртуального полигона. После создания имитационной модели выполняются тестовые виртуальные испытания, по результатам которых оценивается поведение ТС и определяются параметры движения. По окончании проводится сравнительный анализ расчетных и экспериментальных данных. В связи с этим принимается решение об адекватности модели ТС. В случае больших расхождений выполняется корректировка модели посредством уточнения характеристик и зависимостей, описывающих параметры ТС и условия работы отдельных агрегатов. После выявления достоверности расчетной модели становится возможным проведение виртуальных испытаний в соответствии с требованиями нормативных документов либо любые другие испытания, имеющие важное значение с точки зрения оценки свойств активной безопасности. Далее осуществляется обработка и анализ полученных результатов по итогам которых делается заключение в отношении эксплуатационных свойств исследуемого объекта [6]. Однако виртуальное моделирование требует немалых временных затрат при создании новых моделей ТС, поэтому для исследований влияния изменений, вносимых в их конструкцию, находящихся в эксплуатации, целесообразнее применить модель базового ТС и внести в неё изменения, связанные с переоборудованием.

Исследованием устойчивости и управляемости с использованием методов виртуального моделирования посвящены работы [6-8]. В работах [6,7] представлены результаты расчетно-экспериментальных исследований свойств управляемости и устойчивости легкого коммерческого автомобиля без учета угловой жесткости несущей системы, а в работе [8] – с учетом угловой жесткости несущей системы. Данные исследования направлены на изучение устойчивости и управляемости при создании новых автотранспортных средств (АТС). В данном случае временные и финансовые ресурсы значительно отличаются, по сравнению с оценкой влияния конструктивных изменений АТС в процессе эксплуатации [4].

В качестве объекта исследований представлен мусоровоз с боковой загрузкой на шасси автомобиля ГАЗ-3309. В состав специального оборудования входят: кузов, задний борт, толкающая плита, боковой манипулятор, гидравлическая и электрическая системы. В результате переоборудования изменилась высота центра масс. Важные размерные и технические характеристики автомобиля КО-440-2 представлены в табл. 1-5.

**Таблица 1**  
**Показатели масс**

Распределение масс, кг	по НТД	Фактическая
Полная масса	8180	8175
Нагрузка на па переднюю ось	2180	2455
Нагрузка на заднюю ось	6000	5720

Важными размерными характеристиками ТС являются: база – 3770 мм, колея передних колёс 1630 мм, задних – 1690 мм (значения одинаковые и по НТП, и фактические).

**Таблица 2**  
**Параметры шин**

Размер	Индекс нагрузки	Категория скорости	Давление при максимальной нагрузке
8,25R20	129	J	Передние – 0,41 МПа Задние – 0,64 МПа

**Таблица 3**  
**Рулевое управление**

Тип рулевого механизма	Усилитель рулевого управления	Производительность насоса	Переда- точное число	Диаметр рулевого колеса, мм	Управляемые колеса
3302-3400014-01, г. Борисов, Беларусь «Винт-шариковая гайка-рейка-сектор»	Гидравлический, раздельного типа	Не менее 9 л/мин при 600 мин <sup>-1</sup> , не более 18 л/мин при 2000 мин <sup>-1</sup>	23,09	425	Передние

**Таблица 4**  
**Подвеска**

<b>Передняя</b>	Зависимая, на продольных полуэллиптических рессорах, с телескопическими амортизаторами, со стабилизатором поперечной устойчивости Ø30 мм.
<b>Задняя</b>	Зависимая, на продольных полуэллиптических рессорах, с телескопическими амортизаторами, без стабилизатора поперечной устойчивости

**Таблица 5**  
**Показатели спецоборудования**

<b>Вместимость кузова, м<sup>3</sup></b>	8
<b>Масса загружаемых отходов, кг</b>	3155
<b>Коэффициент уплотнения мусора</b>	1,5 до 4
<b>Грузоподъемность манипулятора, кг до</b>	500
<b>Масса спецоборудования, кг не более</b>	1900
<b>Полная масса, кг</b>	8180
<b>Габаритные размеры (Д × Ш × В), мм</b>	6600 × 2500 × 3200

Задача исследования – подтвердить соответствие автомобиля с боковой загрузкой КО-440-2 на шасси автомобиля ГАЗ-3309 требованиям ТР ТС 018/11. Для базового АТС инженерным расчетом с использованием (1) определяем критический угол по опрокидыванию. Значение критического угла по опрокидыванию для базового АТС составляет  $\beta_{\text{опр}} = 35^{\circ}12'$ . Аналогичный расчет проводим с переоборудованным автомобилем. После переоборудования изменился центр тяжести автомобиля, поэтому дальнейший расчет сводим к нахождению высоты центра масс, для определения которой воспользуемся данными табл. 1 и 5. Значение критического угла по опрокидыванию переоборудованного автомобиля составляет  $\beta_{\text{опр}} = 32^{\circ}20'$ .

В результате сравнения критических углов по опрокидыванию базового и переоборудованного АТС установлено, что внесение изменений в конструкцию данного автомобиля соответствует требованиям ТР ТС 018/11 в отношении устойчивости. Для подтверждения достоверности расчета в соответствии с методикой испытаний, приведенной в [5], были проведены испытания на статическую устойчивость (рис. 1).



**Рис. 1. Испытание на поперечную устойчивость**

Условия проведения испытаний:

- методы проведения испытаний по ГОСТ 31507-2012;
- место проведения испытаний – ИЛ НГТУ.

Средства измерений и оборудование:

- весы автомобильные CAS10RW-2601P №06043115;
- стенд определения поперечной статической устойчивости АТС;
- квадрант оптический КО-60М.

В ходе проведения испытаний были определены основные показатели статической устойчивости – угол статической устойчивости  $\alpha_{cy}$  и угол крена поддресоренных масс  $\varphi$  (по результатам рассчитана высота центра масс). По окончании эксперимента проведена экспертиза, в ходе которой рассчитаны нормативные показатели поперечной устойчивости и произведена сравнительная оценка экспериментальных данных нормативным показателям. Экспертиза показала, что конструктивные отличия заявленного объекта испытаний незначительно влияют на оцениваемые показатели. Далее по выражениям (2) и (3) определены показатели устойчивости. Результаты испытаний и расчета приведены в табл. 6.

**Таблица 6**  
**Результаты исследований**

Показатели при опрокидывании ТС на стенде	Нормативные показатели	Результаты испытаний	Расчет
Высота центра масс $h$ , мм	–	1150	1311
Коэффициент поперечной устойчивости $q_s$	–	0,8	–
Угол опрокидывания $\alpha$ , градус	не менее 31°52'	33,49	32,20
Угол относительного крена поддресоренных масс $\varphi$ , градус	не более 7,36	6,738	–

В результате анализа расчетной методики определения угла поперечной статической устойчивости  $\alpha_{cy}$  и угла крена подрессоренной массы  $\varphi$  приходим к выводу, что расчетная методика оценки рассматриваемых показателей с высокой достоверностью может быть применена лишь для расчета близких по характеристикам к исследуемому АТС аналогам, для которых имеются все параметры, определенные по результатам испытаний на платформе опрокидывания. Для вновь созданных АТС, по которым нет данных испытаний и данных по аналогам, единственно верный способ оценки параметров поперечной устойчивости – испытания на платформе опрокидывания. Проведенный анализ подтверждает основной недостаток инженерного расчета – расчетные методики оценки рассматриваемых свойств зачастую теряют свои преимущества ввиду отсутствия достоверных исходных данных об исследуемом объекте. Изменение центра тяжести приводит к перераспределению нагрузки по осям, изменяя тем самым развесовку автомобиля. Перераспределение веса по осям влияет на динамику движения и управляемость АТС. Как уже говорилось ранее, стендовые испытания позволяют оценить лишь статическую устойчивость, поэтому для изучения устойчивости и управляемости в динамике, необходимо проводить дорожные испытания.

Условия проведения испытаний:

- методы проведения испытаний по ГОСТ 31507-2012;
- дорожные условия – сухое асфальтобетонное покрытие;
- погодные условия – сухая дорога, температура  $-2^{\circ}\text{C}$ ;
- место проведения испытаний – комплекс специальных дорог и сооружений, полигон ООО «ГАЗ».

Средства измерений и оборудование:

- тензометрическое рулевое колесо ИПРК-2;
- частотомер Ф-5080;
- рулетка РЗ-20.

На этапе «Управляемость и устойчивость при испытаниях «рывок руля» проверяется курсовая устойчивость, которая оценивается характеристиками поворачиваемости и чувствительности к управлению автомобилем. Испытания проводились на сухом асфальтобетонном покрытии с ограниченной величиной неровностей и с установленными на дорогах искусственными препятствиями определенной формы и размеров. Результаты испытаний и замеров представлены в табл. 7, 8.

**Таблица 7**  
Усилие на рулевом колесе АТС-КО-440-2

Условия измерений	Нормативные требования (не более)		Результаты измерений			
			Поворот влево		Поворот вправо	
	Усилие, даН	Время поворота, с	Усилие, даН	Время поворота, с	Усилие, даН	Время поворота, с
Неподвижный автомобиль	18,0	—	4,9	—	4,9	—
Исправное рулевое управление: вход в поворот радиусом 12 м со скоростью 10 км/ч	25	не более 4	3,5	3,2	3,9	3,1

Окончание табл. 7

Неисправный усилитель: вход в поворот радиусом 20 м со скоростью 10 км/ч	40	не более 4	25,4	3,85	25,4	3,74
--	----	------------	------	------	------	------

**Таблица 8**  
Испытания «Стабилизация»  $R_{\text{круга}} = 50 \text{ м}$

Показатели	Нормативные требования	Результаты испытаний	
		Поворот влево	Поворот вправо
Скорость движения $V$ , км/ч	—		
Угол поворота рулевого колеса, градус	начальный	438,7	438,3
	остаточный	4.2	4.1
Возврат рулевого колеса в нейтральное положение	Наличие возврата. Допускается один переход рулевого колеса через нейтральное положение без колебаний	Соотв.	Соотв.
Увеличение угла поворота рулевого колеса после его освобождения	Отсутствие увеличения угла	Соотв.	Соотв.

Управляемость и устойчивость в критических условиях движения включает в себя два режима – переставка и поворот. Переставка производится при обгоне, при подготовке к повороту, при объезде внезапно появившегося препятствия. При входе в поворот определяют предельную скорость движения на поворотах постоянного радиуса дороги с высоким коэффициентом сцепления в момент потери управляемости автомобилем, вызванной опрокидыванием, заносом или неписываемостью автомобиля в заданную траекторию движения [1]. Результаты испытаний и замеров приведены в табл. 9 и 10.

**Таблица 9**  
Испытания «Поворот»  $R_{\text{п}} = 35 \text{ м}$

Показатели	Нормативные требования (не ниже), км/час	Результаты испытаний, км/час
Предельная скорость выполнения маневра $V_{\text{пр.}}$ , км/ч	47,5*	48,5
*Предельная скорость ограничена опасностью опрокидывания автомобиля. Для специализированных АТС, нормативные значения скоростей снижаются на 5% (п.4.5.4 ГОСТ 31507-2012).		

**Таблица 10**  
Испытания «Переставка»  $S_{\text{п}} = 20 \text{ м}$

Показатели	Нормативные требования (не ниже), км/час	Результаты испытаний, км/час
Предельная скорость выполнения маневра $V_{\text{пр.}}$ , км/ч	56,05*	60,5

*Окончание табл. 10*

\*Предельная скорость ограничена опасностью опрокидывания автомобиля.  
Для специализированных АТС, нормативные значения скоростей снижаются на 5%,  
(п.4.5.4 ГОСТ 31507-2012).

В результате проведенных дорожных испытаний установлено, что транспортное средство категории №2 в отношении управляемости и устойчивости удовлетворяет предписаниям технического регламента о безопасности колесных транспортных средств (п. 2.2. Приложения № 2; п. 4 Приложения № 3).

При сравнении экспериментальных данных с результатами инженерного расчета установлено их малое расхождение. Анализ показал, что расхождение значений угла по опрокидыванию, определяемое посредством испытаний и расчета на статическую устойчивость не превышает 4%. В связи с этим данные методики могут использоваться при подтверждении соответствия в случае внесения изменений в конструкцию автомобиля.

Проведенные исследования позволили в полной мере оценить влияния конструктивных изменений автомобиля КО-440-2 на его устойчивость и управляемость. В ходе проведения технической экспертизы выявлено, что после внесения изменений в конструкцию АТС сохраняется его соответствие требованиям настоящего технического регламента, действовавшим на момент выпуска транспортного средства в обращение [1]. Исследования показали, что при незначительных изменениях возможно применение инженерного расчета, в случае предоставления необходимых исходных данных об исследуемом объекте. Если в конструкцию автомобиля вносятся существенные изменения, влияющие не только на статическую устойчивость, но и на динамику движения, то для оценки параметров устойчивости и управляемости необходимо использовать дорожные испытания и виртуальное моделирование. При этом для подтверждения соответствия следует использовать модель базового АТС и вносить в неё изменения, связанные с переоборудованием автомобиля, тем самым минимизировав затраты.

***Библиографический список***

1. Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 018/2011 «О безопасности колесных транспортных средств» Утвержден Решением Комиссии Таможенного союза от 9 декабря 2011 г. № 877.
2. Беляев, В.П. Испытания автомобилей: учебное пособие [Текст] / В.П. Беляев. – Челябинск: Издательский центр ЮУрТУ, 2013. – 293 с.
3. Кравец, В.Н. Теория автомобиля: учебное пособие [Текст] / В.Н. Кравец. – Нижний Новгород: НГТУ, 2007. – 368 с.
4. Чичкина, М.И. Анализ влияния изменений, вносимых в конструкцию транспортных средств на их устойчивость и управляемость [Текст] // Будущее технической науки: сборник материалов XVI Международной молодежной науч.-техн. конф.; НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – Нижний Новгород, 2017. – 763 с.
5. ГОСТ 31507-2012 Автотранспортные средства. Управляемость и устойчивость. Технические требования. Методы испытаний.
6. Барахтанов, Л.В. Комплексная методика оценки свойств активной безопасности легких коммерческих автомобилей по результатам имитационного моделирования и данных дорожных испытаний [Текст] / Л.В. Барахтанов, П.В. Середа, А.В. Тумасов, К.М. Шашкина // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 6.
7. Коникина, Г.А. Расчетно-экспериментальное исследование свойств управляемости и устойчивости легкого коммерческого автомобиля [Текст] / Г.А. Коникина, П.В. Середа, Ю.П. Трусов, К.М. Шашкина // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2013. № 5 (102). С. 253-259.
8. Барахтанов, Л.В. Оценка параметров устойчивости легких коммерческих автомобилей по результатам расчетных и экспериментальных исследований [Текст] / Л.В. Барахтанов, А.М. Грошев, П.В. Середа, А.В. Тумасов // Механика машин, механизмов и материалов. 2017. № 1 (38). С. 87-92.