УДК 629.113

ИССЛЕДОВАНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ЛЕГКОГО КОММЕРЧЕСКОГО АВТОМОБИЛЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ЖЕСТКОСТИ НЕСУЩЕЙ СИСТЕМЫ

¹Бутин Д.А., ¹Костин С.Ю., ¹Васильев А.А., ²Середа П.В.

¹Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева,
(Институт транспортных систем), Нижний Новгород, e-mail: Butin91@yandex.ru;

²Группа ГАЗ Россия, Нижний Новгород

Статья посвящена исследованию влияния жесткости несущей системы на устойчивость легкого коммерческого автомобиля по правилам ГОСТ 31507-2012. Исследования проводились методом имитационного моделирования в программном пакете ADAMS/CAR. Аprobация модели осуществлялась сопоставлением результатов полученными модельными и натурными испытаниями. В качестве методов исследований управляемости использовались такие испытания, как «Вход в поворот», «Переставка». В качестве методов исследований устойчивости использовались такие испытания, как «Устойчивость» и «Вход в поворот». В результате исследований была установлена положительная зависимость между крутильной жесткостью несущей системы вдоль продольной оси, а влияние крутильной жесткости несущей системы признано негативным. Зависимость крутильной жесткости на показатели управляемости и устойчивости не линейна. Крутильная жесткость исследуемого автомобиля оптимальна.

Ключевые слова: жесткость несущей системы, устойчивость, легкий коммерческий автомобиль

STUDY OF STABILITY OF LIGHT COMMERCIAL VEHICLES REGARD TO THE STIFFNESS OF THE FRAME

¹Butin D.A., ¹Kostin S.Yu., ¹Vasiliev A.A., ²Sereda P.V.

¹Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev, Transport Systems Institute,
Nizhny Novgorod, e-mail: Butin91@yandex.ru;

²GAZ Group, Nizhny Novgorod

The article devoted to the influence of the stiffness of the chassis system on the handling and stability of a light commercial vehicle by the rules GOST 31507-2012. The studies were conducted by simulation in ADAMS / CAR software package. Testing of the model was carried out by comparing the results obtained by the model and real car tests. As the methods of control studies used tests such as the «Going into corner», «Line change». As sustainability research methods were used such tests as: «Roll over» and «Going into a turn». Results studies have found a positive relationship between the torsional stiffness of the chassis system along the longitudinal axis, and the effect of the chassis system torsional stiffness to recognize negative. The dependence of the torsional stiffness on the performance handling and stability is not linear. The torsional stiffness of the test vehicle is optimal.

Keywords: stiffness of frame, stability, light commercial vehicle

Исследованием управляемости автомобиля, а также моделированием процесса управления занималось достаточно много ученых [1, 6]. Автомобиль настолько сложная динамическая система, что проведение реальных исследований влияния отдельных конструктивных параметров на показатели управляемости вызывает много сложностей. Влияние жесткости несущей системы на показатели управляемости автомобиля показано в работе [2].

Объектом исследования является автомобиль ГАЗель. Основные параметры были выбраны от автомобиля ГАЗель NEXT, имеющего полную массу 3500 кг с распределением между передней и задней осью 37,4 % к 62,5 % соответственно. Колесная база модели a21r22 составляет 3145 мм, ширина колеи передней оси 1750 мм, ширина колеи задней оси 1560 мм. Подвеска перед-

ней оси на двойных поперечных рычагах со стабилизатором поперечной устойчивости. Подвеска задней оси зависимая, на полуэллиптических рессорах с подрессорниками и стабилизатором поперечной устойчивости. Привод от двигателя осуществляется на заднюю ось. Рулевое управление реечного типа. На исследуемом образце установлены шины размерностью 185/75R16с.

Исследование влияния жесткости несущей системы проводилось методом имитационного моделирования в программном пакете MSC ADAMS/CAR, на рис. 1 представлена модель автомобиля. Для учета жесткости несущей системы, в модели использовались упругие тела, такие как рама, кабина, грузовая платформа. Упругие тела построены методом конечных элементов в ПО MSC Nastran/Patran. Подготовка моделей упругих тел для последующего их

использования в динамических системах MSC.Adams подразумевает использование метода модальной редукции конечно-элементных моделей или получение матриц Крэйга – Бэмптона. Этот метод позволяет моделировать в MSC.Adams только упругие (линейные) деформации гибких тел, что является допущением.

В модели учитывается кинематика направляющего механизма подвесок, а также характеристики упругих и демпфирующих элементов. При исследованиях управляемости скорость движения достигает 80 км/ч, на таких скоростях влияние сопротивления воздуха становится значительным, поэтому в модели учитывается сила лобового сопротивления воздуха. В модели автомобиля

используется модель шин PAC2002, учитывающая жесткость по вертикальной, поперечной и продольной оси, а также жесткость к боковому уводу. Модель автомобиля показала хорошую сходимость с результатами реальных испытаний, результаты апробации модели приведены в статье [4]. При создании модели использовались материалы Феоктистова о моделировании автомобилей с деформируемыми телами [1].

Испытание «Устойчивость» проводилось в рамках исследования статической устойчивости АТС в поперечной плоскости. В качестве испытательной методики применялся ГОСТ 31507-2012. На рис. 2 представлены фрагменты с реального и виртуально-го испытания устойчивости автомобиля.

Рис. 1. Визуальное представление модели с упругими элементами несущей системы

а) натурные испытания

б) моделирование

Рис. 2. Испытание «Устойчивость»

Основным показателем испытания «Устойчивость» является критический угол наклона опорной площадки. На рис. 2 а) и б) представлены АТС и его модель с упругой несущей системой во время испытания. Сравнение результатов натурных испытаний и моделирования испытания показало расхождение критического угла наклона опорной поверхности у модели с недеформируемой несущей системой 4,2% и 5,2% у модели с деформируемой несущей системой. Наибольший критический угол был получен при натурном испытании 38,8°, модель с неупругой несущей системой имела критический угол 37,2°, модель с деформируемой несущей системой достигла критического угла в 36,79°. Во время поперечного наклона платформы вследствие несимметричного распределения массы между осями и неодинаковой жесткостью подвесок происходит деформация несущей системы. Деформация выражается в виде закручивания рамы автомобиля вдоль продольной оси, что приводит к дополнительному перераспределению вертикальных сил на колесах. На основании этого был сделан вывод о негативном эффекте влияния крутильной жесткости несущей системы на устойчивость автомобиля.

При исследовании управляемости и устойчивости по методикам, описанным в ГОСТ 31507-2012, устойчивость имеет прямое влияние на показатели управляемости, так как критическая скорость прохождения испытания, которая является одним из основных показателей управляемости, определяется по отрыву колес от опорной поверхности или наезда на элементы вертикальной разметки. Поскольку во время статического испытания устойчивости было определено, что крутильная жесткость несущей системы оказывает влияние на показатели устойчивости, возникло предположение о влиянии крутильной жесткости несущей системы на показатели управляемости.

Для установления зависимости, влияния крутильной жесткости несущей системы автомобиля на показатели управляемости и устойчивости, были проведены испытания «Вход в поворот» и «Переставка» с моделями автомобилей обладающих различной крутильной жесткостью. В исследованиях участвовало 4 модели различающихся жесткостью несущей системы. Модели и их отличительные особенности описаны в таблице.

Модели и их отличительные свойства

Модель	Колесная база, м	Тип несущей системы	Крутильная жесткость несущей системы, Нм/град
1	3,1	Неупругая	—
2	3,1	Упругая стандартной толщины	1780
3	3,1	Упругая: продольные лонжероны утолщены на 2 мм, а поперечные на 1 мм	2138
4	3,1	Упругая: продольные лонжероны утончены на 2 мм, а поперечные на 1 мм	826

а) натурные испытания

б) моделирование

Рис. 3. Испытание «Вход в поворот»

Испытание «Вход в поворот» проводилось в рамках исследования управляемости АТС. В качестве испытательной методики применялся ГОСТ 31507-2012. На рис. 3 представлены фрагменты с реального и виртуального испытания управляемости автомобиля.

Основным показателем управляемости выступает критическая скорость прохождения испытания. На рис. 4 представлены графики с зависимостью критической скорости от крутильной жесткости несущей системы относительно продольной оси

автомобиля. Сравнение результатов испытаний реального автомобиля и модели с упругими элементами несущей системы показало расхождение 2%. Анализ результатов испытаний сводится к установлению зависимости критической скорости от крутильной жесткости.

Из графиков видно, что жесткость несущей системы относительно продольной оси автомобиля имеет положительную связь с критической скоростью прохождения испытания «Вход в поворот».

Рис. 4. Зависимость критической скорости прохождения испытания «Вход в поворот» от крутильной жесткости несущей системы относительно продольной оси автомобиля

— критическая скорость модели с неупругой несущей системой;
— линия изображающая тенденцию критической скорости от крутильной жесткости несущей системы

а) натурные испытания

б) моделирование

Рис. 5. Испытание «Переставка»

Рис. 6. Зависимость критической скорости прохождения испытания «Переставка» от крутильной жесткости несущей системы относительно продольной оси автомобиля
 — критическая скорость модели с неупругой несущей системой;
 — линия изображающая тенденцию критической скорости от крутильной жесткости несущей системы

Испытание «Переставка» проводилось в рамках исследования управляемости АТС. В качестве испытательной методики применялся ГОСТ 31507-2012. На рис. 5 представлены фрагменты с реального и виртуального испытания управляемости автомобиля.

Основным показателем управляемости выступает критическая скорость прохождения испытания. На рис. 6 представлены графики с зависимостью критической скорости от крутильной жесткости несущей системы относительно продольной оси автомобиля. Сравнение результатов испытаний реального автомобиля и модели с упругими элементами несущей системы показало расхождение 3,6%. Анализ результатов испытаний сводится к установлению зависимости критической скорости от крутильной жесткости.

Из графиков видно, что жесткость несущей системы относительно продольной оси автомобиля имеет положительную связь с критической скоростью прохождения испытания «Переставка».

Испытание «Вход в поворот» показало, что уменьшение крутильной жесткости несущей системы на 53,6% (с 1780 Н•м/град до 826 Н•м/град) приводит к снижению критической скорости прохождения маневра на 5,1% (с 59,95 км/ч до 56,988 км/ч), а увеличение крутильной жесткости несущей системы на 20,11% (с 1780 Н•м/град до

2138 Н•м/град) приводит к незначительному увеличению скорости.

Испытание «Переставка» показало, что уменьшение крутильной жесткости несущей системы на 53,6% (с 1780 Н•м/град до 826 Н•м/град) приводит к снижению максимальной скорости прохождения маневра на 10,61% (с 70,86 км/ч до 63,34 км/ч), а увеличение крутильной жесткости несущей системы на 20,11% приводит к незначительному уменьшению скорости прохождения маневра на 3,53% (с 70,86 км/ч до 68,36 км/ч).

Выводы

С увеличением крутильной жесткости улучшаются показатели устойчивости — критическая скорость выполнения маневров «Вход в поворот» и «Переставка». Критическая скорость с увеличением крутильной жесткости несущей системы стремится к значению соответствующему неупругой несущей системе, это видно по линиям тренда на рис. 4 и 6, зависимость критической скорости от крутильной жесткости не линейна. Увеличение крутильной жесткости несущей системы положительно влияет на устойчивость легких коммерческих автомобилей. Зависимость крутильной жесткости от показателей управляемости и устойчивости не линейна. Крутильная жесткость исследуемого автомобиля оп-

тимальна, так как дальнейшее увеличение крутильной жесткости не приведет к существенному увеличению показателей управляемости и устойчивости, которые и сейчас достаточные, а увеличение массы может быть существенным.

Список литературы

1. Литвинов А.С. Управляемость и устойчивость автомобиля. – М.: Машиностроение, 1971.
2. Сергеев А.В. Влияние жесткости каркаса кузова на управляемость легкового автомобиля: дис. ... канд тех наук: 05.05.03. – М., 2000.
3. Tumasov K., Shashkina G., Konikova A., Groshev A., Bezrukov Y. Trusov Estimation Of Steerability And Cornering Stability Of Light Commercial Vehicle By Results Of Road Tests And Simulation. FISITA 2014 World Automotive Congress, the Netherlands, Maastricht, 2–6 June – F2014-IVC-048. <http://www.fisita2014.com/programme/sessions/F2014-IVC-048>.
4. Tumasov R., Musarsky G., Konikova A., Groshev S., Kostin Y. Trusov Estimation Of Light Commercial Vehicles Dynamics By Results Of Road Tests And Simulation . 16th International Conference on Advanced Vehicle Technologies (AVT), ASME 2014, USA, Buffalo NY, 17–20 August – DETC2014-34641. <http://www.asmeconferences.org/IDETC2014/ViewAcceptedAbstracts.cfm>.

5. Feoktistov M.N. Simulation of vehicle dynamics using the program package MSC.ADAMS And MSC.NASTRAN, 2004.

6. Milliken W.F. Milliken D.L. Race Car Vehicle Dynamics, 1994.

References

1. Litvinov A.S. Upravljaemost i ustojchivost avtomobilja. M.: Mashinostroenie, 1971.
2. Sergeev A.V. Vlijanie zhestkosti karkasa kuzova na upravljaemost legkovogo avtomobilja: dis. ... kand teh nauk: 05.05.03. M., 2000.
3. Tumasov K., Shashkina G., Konikova A., Groshev A., Bezrukov Y. Trusov Estimation Of Steerability And Cornering Stability Of Light Commercial Vehicle By Results Of Road Tests And Simulation. FISITA 2014 World Automotive Congress, the Netherlands, Maastricht, 2–6 June F2014-IVC-048. <http://www.fisita2014.com/programme/sessions/F2014-IVC-048>.
4. Tumasov R., Musarsky G., Konikova A., Groshev S., Kostin Y. Trusov Estimation Of Light Commercial Vehicles Dynamics By Results Of Road Tests And Simulation . 16th International Conference on Advanced Vehicle Technologies (AVT), ASME 2014, USA, Buffalo NY, 17–20 August DETC2014-34641. <http://www.asmeconferences.org/IDETC2014/ViewAcceptedAbstracts.cfm>.
5. Feoktistov M.N. Simulation of vehicle dynamics using the program package MSC.ADAMS And MSC.NASTRAN, 2004.
6. Milliken W.F. Milliken D.L. Race Car Vehicle Dynamics, 1994.