



# ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ

УДК 629.113

Л.В. БАРАХТАНОВ, д-р техн. наук  
профессор кафедры «Автомобили и тракторы»<sup>1</sup>  
E-mail: ait.ngtu@gmail.com

А.М. ГРОШЕВ, канд. техн. наук, доц.  
директор Института транспортных систем НГТУ<sup>1</sup>  
E-mail: am.groshev@gmail.com

П.В. СЕРЕДА  
Директор дивизиона «Легкие коммерческие и легковые автомобили», Директор по стратегическому развитию  
«Группы ГАЗ»<sup>2</sup>

А.В. ТУМАСОВ, канд. техн. наук, доц.  
заместитель директора по развитию Института транспортных систем НГТУ<sup>1</sup>  
E-mail: anton.tumasov@nntu.ru

<sup>1</sup>Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, г. Нижний Новгород, Россия

<sup>2</sup>«Группа ГАЗ», г. Нижний Новгород, Россия

Поступила в редакцию 12.09.2016.

## ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ УСТОЙЧИВОСТИ ЛЕГКИХ КОММЕРЧЕСКИХ АВТОМОБИЛЕЙ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ РАСЧЕТНЫХ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

*В работе рассмотрен вопрос исследования параметров устойчивости легкого коммерческого автомобиля. В отличие от ранее опубликованных работ отечественных и зарубежных ученых, в настоящей публикации при оценке устойчивости автомобиля учитывается угловая жесткость его несущей системы. В работе представлены результаты компьютерного моделирования условий стендовых и дорожных испытаний, позволяющих оценить устойчивость автомобиля. Особенностью моделирования является то, что несущая система в модели (рама, кабина, кузов) представлены не набором жестких тел, а конечно-элементными моделями, которые могут деформироваться в результате действующих на них нагрузок (так, как это происходит в реальных конструкциях). Положительные результаты сравнительного анализа расчетов и экспериментов показали, что такой подход позволяет получить более точные результаты при прогнозировании параметров устойчивости коммерческих автомобилей. По результатам исследования разработана методика оценки параметров устойчивости коммерческих автомобилей. Методика ориентирована на использование возможностей компьютерного моделирования, но предполагает проверку адекватности используемых компьютерных моделей по результатам сравнения с данными стендовых и дорожных испытаний.*

**Ключевые слова:** легкий коммерческий автомобиль, устойчивость, угловая жесткость несущей системы, скорость совершения маневра, угол опрокидывания

Вопросам устойчивости транспортных средств традиционно уделяется особое внимание при проектировании, доводке и сертификации. В настоящее время среди широкой гаммы наземных

транспортных средств особую группу составляют автомобили класса легких коммерческих автомобилей, ключевой особенностью которых является то, что на базе одного шасси возможна

разработка модельного ряда автомобилей, включающего множество различных модификаций. Каждая модификация, в свою очередь, может быть доработана и реконструирована таким образом, чтобы автомобиль максимально эффективно выполнял необходимые потребительские функции. При этом каждая модификация должна обладать достаточной устойчивостью, обеспечивающей безопасную эксплуатацию транспортного средства. Принимая во внимание сказанное, объектами исследования настоящей работы были выбраны легкие коммерческие автомобили ГАЗ с полной массой до 3,5 т.

Известно, что вопросам исследования устойчивости автомобилей посвящено не малое количество работ ученых-соотечественников, а также зарубежных специалистов. Среди исследований, опубликованных за последние несколько лет [1–6], следует отметить работы Смирнова И.А., Сергеева А.В., Шадрина С.С., Кушвида Р.П., Богомолова С.В., Гаевского В.В., Гинцбурга Л.Л. Немало и зарубежных работ по данной теме [7, 8]. Авторы внесли существенный вклад в развитие теории автомобиля по вопросам устойчивости колесных транспортных средств, тем не менее, в работах встречаются следующие упрощения и допущения:

- основное внимание уделяется вопросам устойчивости транспортных средств при криволинейном движении с высокими скоростями. Исследованию статической поперечной устойчивости уделяется малое внимание;
- элементы рамы и кузова жесткие, т. е. не учитывается влияние возможных деформаций несущей системы и ее влияние на устойчивость, в т. ч. на заносы и опрокидывания, т. е. на критическую скорость совершения маневра;
- объектами исследования являлись преимущественно легковые и грузовые автомобили, но не легкие коммерческие автомобили, характеризующиеся широким многообразием возможных надстроек.

В связи с указанными особенностями ранее выполненных работ были определены задачи исследования:

- исследование параметров статической поперечной устойчивости легких коммерческих автомобилей ГАЗ;
- исследование поперечной устойчивости транспортных средств, а также устойчивости при криволинейном движении с высокими скоростями;
- анализ влияния отдельных конструктивных параметров на курсовую и поперечную устойчивость, в частности оценка влияния упругих деформаций несущей системы на параметры устойчивости.

Требования к устойчивости регламентируются техническим регламентом Таможенного союза «О безопасности колесных транспортных средств» (ТРТС 018/2011), приложениями № 3, 6 и 9, а также

Правилами ЕЭК ООН № 107 (п. 5.4), в которых основное внимание уделяется обеспечению необходимой поперечной статической устойчивости. Дополнительно можно выделить требования ГОСТ 31507-2012 «Автотранспортные средства. Управляемость и устойчивость. Технические требования. Методы испытаний», регламентирующего условия проведения таких дорожных испытаний, как «вход в поворот» и «переставка», позволяющих оценить устойчивость в условиях маневрирования на высоких скоростях движения.

С целью более детального исследования устойчивости легких коммерческих автомобилей по результатам моделирования была разработана многомассовая модель легкого коммерческого автомобиля «ГАЗель NEXT» в программном комплексе MSC.ADAMS/Car (рисунок 1). Модель учитывает массово-инерционные характеристики рамы, кабины, кузова, параметры трансмиссии автомобиля, геометрические, жесткостные и демпфирующие характеристики передней и задней подвески, а также рулевого управления.

Созданная пространственная многомассовая модель позволяет учесть большее количество конструктивных параметров и наиболее полным образом сымитировать особенности конструкции автомобиля.

Особое внимание при разработке модели уделялось выбору и обоснованию характеристик упругодемпфирующих элементов конструкции, а именно:

- шин (на кафедре «Автомобили и тракторы» НГТУ проводились статические испытания по опреде-

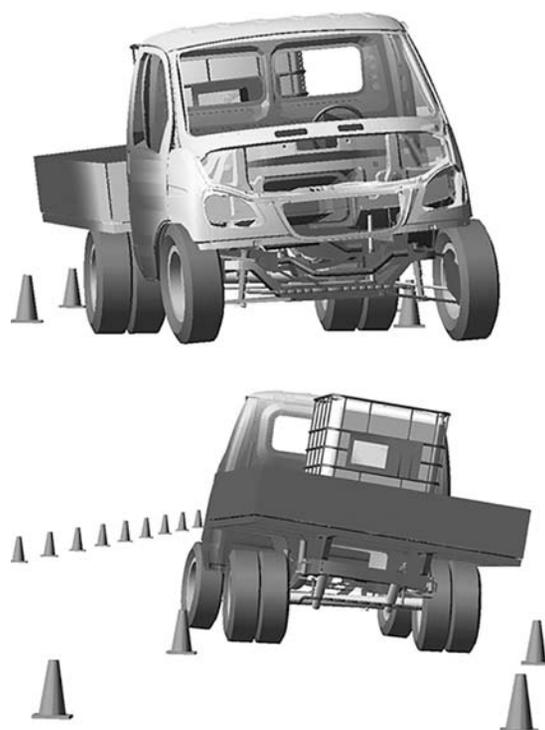


Рисунок 1 — Многомассовая модель легкого коммерческого автомобиля

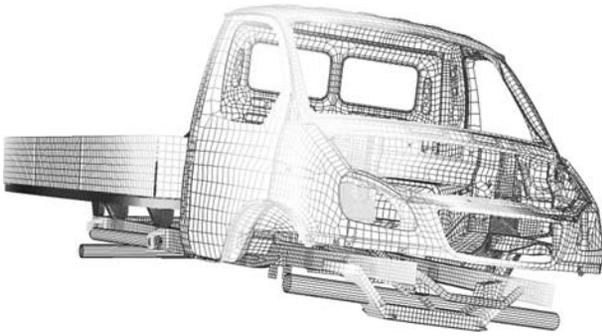


Рисунок 2 — Конечно-элементные модели рамы, кабины и грузовой платформы

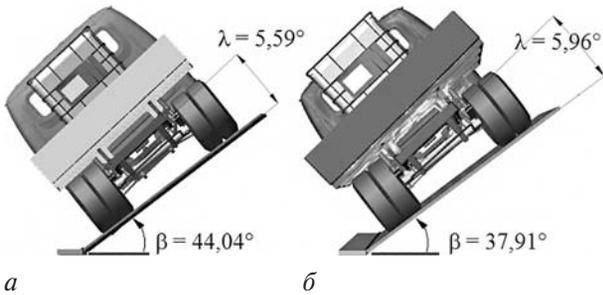


Рисунок 3 — Схема измерения углов крена поддресоренной массы на модели с недеформируемыми (а) и деформируемыми (б) элементами

лению упругих характеристик шин в вертикальном, продольном и поперечном направлениях);  
 - сайлентблоков рычагов подвески (экспериментальным образом определялись жесткостные характеристики в радиальном и осевом направлениях);  
 - ограничителей хода (буферов) и амортизаторов (характеристики определялись по результатам испытаний в ООО «ОИЦ» Группы ГАЗ).

Полученные данные закладывались в разработанную модель в виде констант и графиков и впоследствии, использовались при расчете.

Отдельное внимание уделялось вопросу имитации деформирования несущей системы автомобиля, возникающего в результате действия скручивающих нагрузок, обусловленных поперечными силами, действующими на центр масс автомобиля при статическом опрокидывании, а также при криволинейном движении. С этой целью рама, кабина и кузов были представлены в виде конечно-элементных моделей (рисунок 2). Имитация статического опрокидывания автомобиля на стенде показала, что учет крутильной (угловой) жесткости несущей системы приводит к более существенным углам наклона поддресоренных масс и, как следствие, более раннему отрыву колес от поверхности поворотной плиты (рисунок 3).

Разработанная модель использовалась также для оценки устойчивости в условиях криволинейного движения входа в поворот и переставки (смены полосы движения). Для этого был разработан виртуальный полигон с участками дороги, форма и размеры которых соответствовали требованиям, указанным в нормативных документах. При моделировании движения оценивался характер движения автомобиля, а именно сохранение траектории движения и отсутствие выхода модели автомобиля за пределы разметки. Кроме этого, отслеживалось возникновение момента отрыва колеса автомобиля от полотна пути по графику изменения нормальной реакции (нулевое значение реакции свидетельствовало об отрыве колеса). Все это позволило по результатам компьютерного

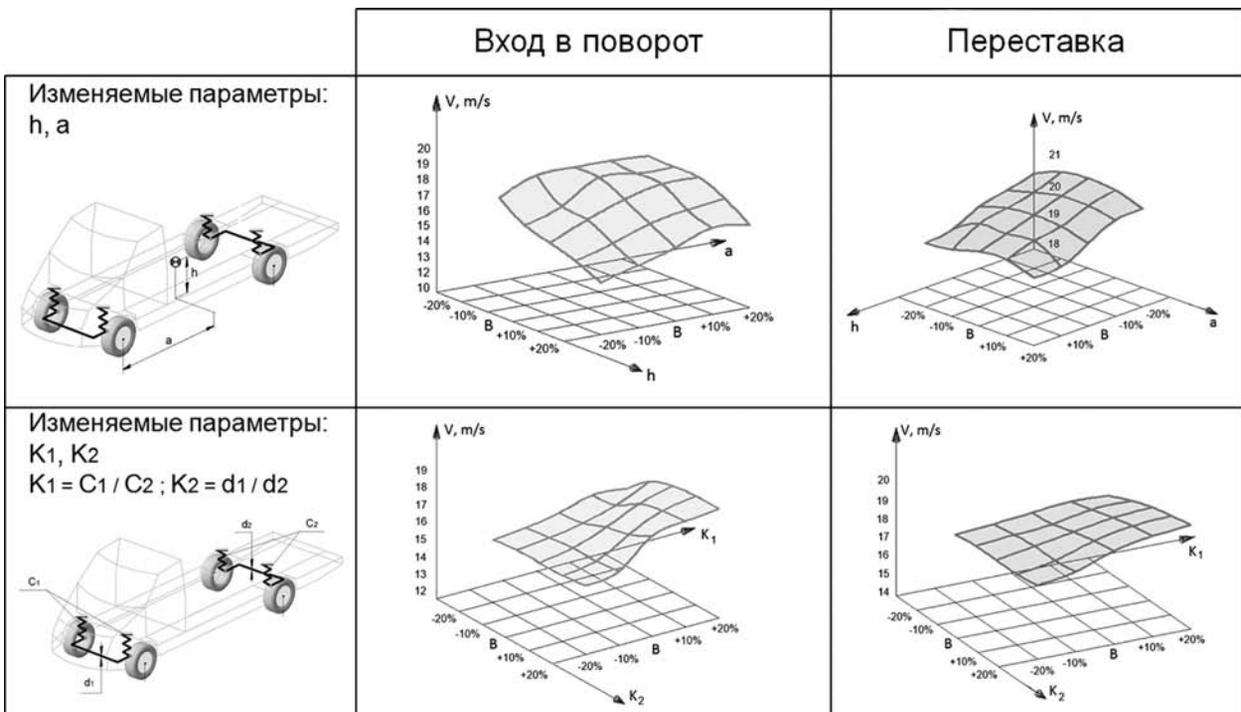


Рисунок 4 — Исследование влияния параметров подвески и расположения центра масс на устойчивость транспортного средства

моделирования оценить критическую скорость совершения маневра.

Одной из задач исследования являлось определение степени влияния параметров отдельных элементов конструкции коммерческих автомобилей на их устойчивость. На рисунке 4 изображены трехмерные графики. На верхних графиках показана степень влияния геометрического расположения центра масс на критическую скорость входа в поворот и переставки. На нижних графиках показана степень влияния жесткостных параметров передней и задней подвески на критические скорости совершения маневров, предусмотренных требованиями нормативных документов.

Дополнительно были проведены исследования влияния угловой жесткости несущей системы на показатели устойчивости. На рисунке 5 показано изменение критической скорости совершения маневров (входа в поворот и переставки) автомобилей с разной угловой жесткостью несущей системы.

Для подтверждения достоверности результатов компьютерного моделирования были проведены лабораторные и дорожные экспериментальные исследования. Объектом исследования был автомобиль «ГАЗель NEXT» с бортовой платформой. Автомобиль был забалластирован таким образом, чтобы его полная масса составляла 3,5 т,

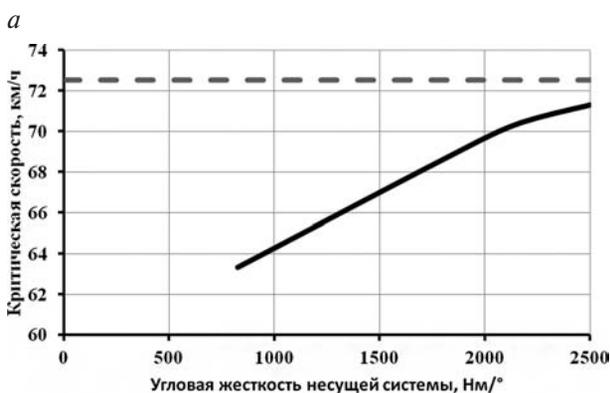
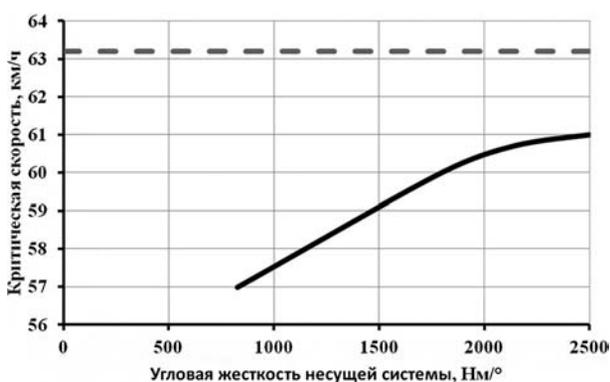


Рисунок 5 — Графики зависимости критической скорости совершения маневров (а — вход в поворот; б — переставка) от угловой жесткости несущей системы. Пунктирной линией показан результат полученный для модели с абсолютно жесткой несущей системой. Сплошной линией — результаты для модели с деформируемой несущей системой



Рисунок 6 — Фрагменты экспериментальных исследований

а развесовка по осям соответствовала значениям, указанным в ОТТС транспортного средства. На автомобиле был установлен комплекс измерительной и регистрирующей аппаратуры. Комплекс обеспечивал регистрацию траектории движения автомобиля, его скорости, боковых ускорений, а также угла поворота рулевого колеса.

На рисунке 6 показаны фрагменты испытаний «вход в поворот» и «переставка». Важно отметить, что для более полного сопоставления поведения виртуальной модели автомобиля и реального объекта, испытания проводились для нескольких вариантов: с двумя стабилизаторами, только с передним стабилизатором, без стабилизаторов поперечной устойчивости. Последовательно «отключая» из работы подвесок стабилизаторы, происходило изменение угловых жесткостей подвесок и, следовательно, изменение поведения автомобиля.

В результате сравнения экспериментальных данных с результатами моделирования установлено их хорошее соответствие и малое расхождение. Для примера, на рисунке 7 показаны графики изменения угла поворота рулевого

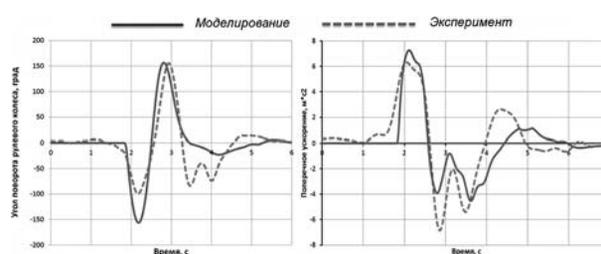


Рисунок 7 — Сопоставление результатов моделирования с данными экспериментальных исследований (на примере маневра «переставка»)

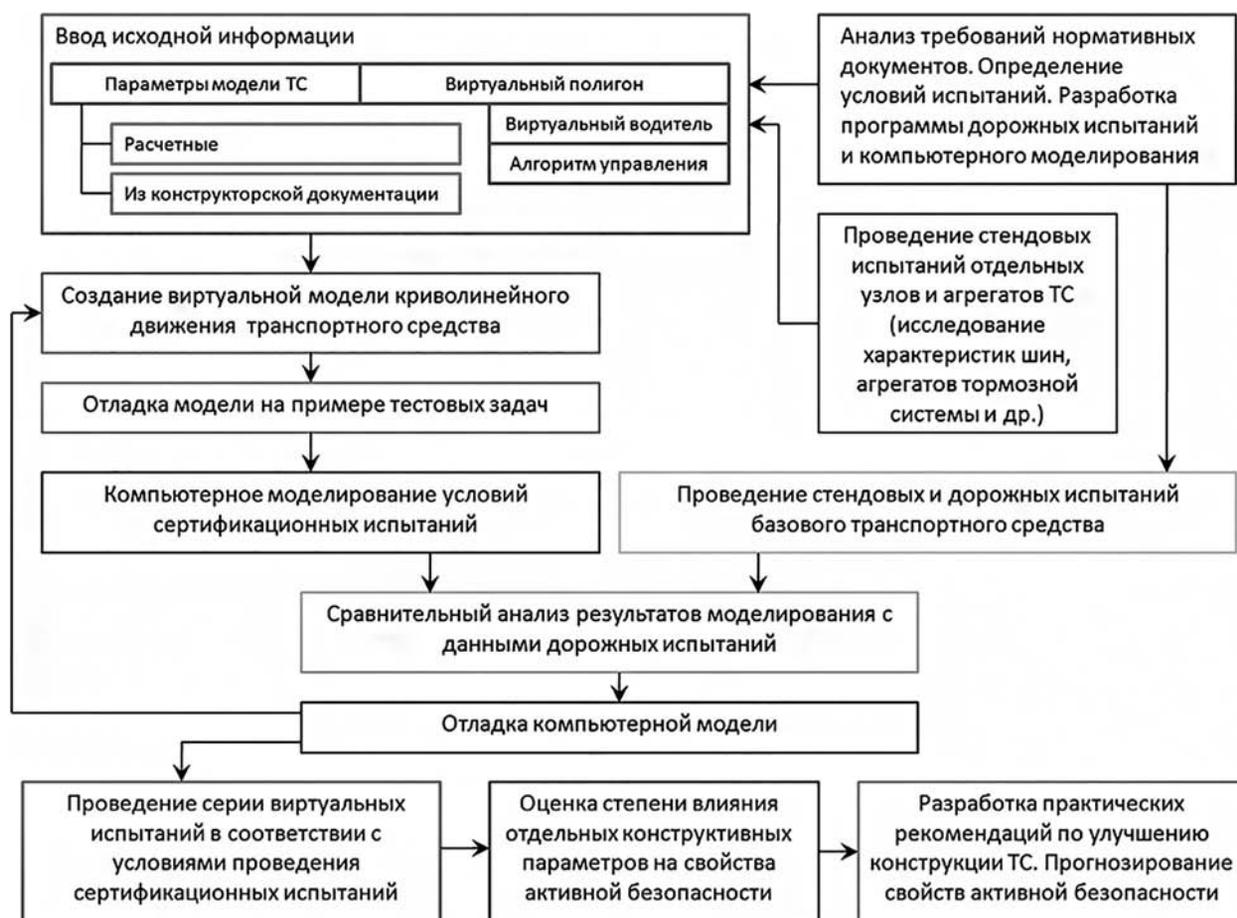


Рисунок 8 — Блок-схема методики оценки параметров устойчивости легких коммерческих автомобилей

колеса и поперечных ускорений, полученные при моделировании и дорожных испытаниях. Видно, что пиковые значения и характер изменения величин схожи между собой.

Положительные результаты сравнительного анализа экспериментальных данных и результатов моделирования явились основанием для обобщения выполненных работ в виде методики оценки и повышения устойчивости коммерческих автомобилей (рисунок 8). Методика включает в себя следующие ключевые этапы:

- анализ требований нормативных документов и подготовка исходных данных;
- моделирование стендовых и дорожных испытаний;
- сравнение результатов моделирования с данными натурных испытаний, отладка модели;
- прогнозирование устойчивости автомобиля (в том числе с внесенными в конструкцию изменениями) по результатам компьютерного моделирования.

Разработанная методика, а также результаты теоретических и экспериментальных исследований внедрены ЦК «Расчеты» и ЦК «Шасси» ООО «ОИЦ» Группы ГАЗ при разработке модельного ряда новых автомобилей ГАЗель, выпускаемых ООО «Автомобильный завод «ГАЗ». Методические разработки диссертационного исследования внедрены в учебный процесс кафедры

«Автомобили и тракторы» Института транспортных систем НГТУ.

#### Список литературы

1. Смирнов, И.А. Математическое моделирование заноса автомобиля: дис. ... канд. техн. наук / И.А. Смирнов. — МГУ им. М.В. Ломоносова, 2010.
2. Сергеев, А.В. Влияние жесткости каркаса кузова на управляемость легкового автомобиля: дис. ... канд. техн. наук / А.В. Сергеев. — ТПИ, 2000.
3. Шадрин, С.С. Методика расчетной оценки управляемости и устойчивости автомобиля на основе результатов полигонных испытаний дис. ... канд. техн. наук / С.С. Шадрин. — МАДИ, 2009.
4. Кушвид, Р.П. Прогнозирование показателей управляемости и устойчивости автомобиля с использованием комплекса экспериментальных и теоретических методов: дис. ... д-ра техн. наук / Р.П. Кушвид. — МГТУ МАМИ, 2010.
5. Богомолов, С.В. Методика совершенствования управляемости и устойчивости автомобиля на основе многокритериальной оптимизации его реакций на управляющие и возмущающие воздействия: дис. ... канд. техн. наук / С.В. Богомолов. — МГТУ МАМИ, 2000.
6. Гаевский, В.В. Расчетное определение показателей управляемости и устойчивости для сертификации АТС: дис. ... канд. техн. наук / В.В. Гаевский. — Московский автомобильно-дорожный институт, 1998.
7. Analysis of Operating Vehicle Handling and Driving Stability Impact Elements / G. Xingdong [et al.] // International, CSIE 2011. — Part II, CCIS 153. — Pp. 42–47.
8. Research on an AKF Estimator of the Gravity Centre and States of Commercial Vehicles / B. Zhang [et al.] // SAE Technical Paper 2013-01-2818. — 2013.

BARAKHTANOV Lev V., D. Sc. in Eng.

Professor of the Department "Automobiles and Tractors"<sup>1</sup>

E-mail: ait.ngtu@gmail.com

GROSHEV Anatoly M., Ph. D. in Eng., Assoc. Prof.

Director of the Institute of Transport Systems<sup>1</sup>

E-mail: am.groshev@gmail.com

SEREDA Pavel V.

Director for Strategic Development of GAZ Group, Director of Light Commercial and Passenger Vehicle Division of GAZ Group

TUMASOV Anton V., Ph. D. in Eng., Assoc. Prof.

Deputy Development Director of the Institute of Transport Systems<sup>1</sup>

E-mail: anton.tumasov@nntu.ru

<sup>1</sup>Nizhny Novgorod State Technical University n. a. R.E. Alekseev, Nizhny Novgorod, Russia

<sup>2</sup>GAZ Group, Nizhny Novgorod, Russia

Received 12 September 2016.

## ESTIMATION OF LIGHT COMMERCIAL VEHICLES STABILITY PARAMETERS BY RESULTS OF SIMULATION AND EXPERIMENTAL RESEARCH

*The paper deals with the problem of estimation of stability parameters of light commercial vehicle. In contrast to previously published works of domestic and foreign scientists in this publication the evaluation the stability of vehicle is made with considering of the angular stiffness of vehicles bearing system. The paper presents the results of computer simulation of conditions of bench and road tests that allow evaluating the stability of the vehicle. A feature of the simulation is that the support system in the model (chassis, cab, body) is not a set of rigid bodies, but the finite element model, which can be deformed as a result of loads acting (as it happens in reality). Positive results of a comparative analysis of simulation results and experimental data have shown that this approach allows getting more accurate results in predicting the parameters of stability of commercial vehicles. The study allows developing a method of estimating of commercial vehicles parameters of stability. The methodology focuses on using of computer modeling capabilities, but requires the adequacy of the computer models by means for comparison of the simulation results with the data of bench and road tests.*

**Keywords:** light commercial vehicle, stability, angular stiffness of the bearing system, speed of the maneuver, angle of rollover

### References

- Smirnov I.A. *Matematicheskoe modelirovanie zanosa avtomobilja*. Dis. kand. tehn. nauk [Mathematical modeling of the vehicle skidding. Ph. D. in Eng. diss.]. Moscow, MGU im. M.V. Lomonosova, 2010.
- Sergeev A.V. *Vlijanie zhestkosti karkasa kuzova na upravljaemost legkovogo avtomobilja*. Dis. kand. tehn. nauk [Influence of rigidity body structure on controllability of a light vehicle. Ph. D. in Eng. diss.]. TPI, 2000.
- Shadrin S.S. *Metodika raschetnoj ocenki upravljaemosti i ustojchivosti avtomobilja na osnove rezultatov poligonnyh ispytaniy*. Dis. kand. tehn. nauk [Methods of estimation of controllability and stability of a vehicle on the basis of the field tests results. Ph. D. in Eng. diss.]. MADI, 2009.
- Kushvid R.P. *Prognozirovanie pokazatelej upravljaemosti i ustojchivosti avtomobilja s ispolzovaniem kompleksa jeksperimentalnyh i teoreticheskikh metodov*. Dis. dokt. tehn. nauk [Forecasting performance handling and stability of a vehicle using experimental and theoretical methods. D. Sc. in Eng. diss.]. MGTU MAMI, 2010.
- Bogomolov S.V. *Metodika sovershenstvovaniya upravljaemosti i ustojchivosti avtomobilja na osnove mnogokriterialnoj optimizacii ego reakcij na upravljajushhie i vozmushhajushhie vozdejstviya*. Dis. kand. tehn. nauk [Methods of improving the controllability and stability of a vehicle on the basis of multi-criteria optimization of its reactions to the control and disturbance variables. Ph. D. in Eng. diss.]. MGTU MAMI, 2000.
- Gaevskiy V.V. *Raschetnoe opredelenie pokazatelej upravljaemosti i ustojchivosti dlja sertifikacii ATS*. Dis. kand. tehn. nauk [Calculated definition of indicators of handling and stability for certification of ATS. Ph. D. in Eng. diss.]. Moscow, 1998.
- Xingdong G. [et al.] *Analysis of Operating Vehicle Handling and Driving Stability Impact Elements*. *CSIE*, 2011, pp. 42–47.
- Zhang B. [et al.] *Research on an AKF Estimator of the Gravity Centre and States of Commercial Vehicles*. *SAE Technical Paper*, 2013.