

Транспортное и энергетическое машиностроение

УДК 629.113

Сравнительная оценка результатов компьютерного моделирования и испытаний рамы легкого коммерческого автомобиля на прочность*

Л.Н. Орлов, А.В. Тумасов, А.В. Герасин

Актуальность работы состоит в обосновании правомерности применения разрабатываемых конечно-элементных моделей для оценки прочности и жесткости конструкции при проектировании и доводке. Поэтому обязательным является проведение сравнительной оценки результатов компьютерного моделирования и испытаний. В предлагаемой статье такая оценка выполнена на примере рамы легкого коммерческого автомобиля. Впервые достоверность полученных результатов расчета обоснована с использованием подобных конечно-элементных моделей. Описана конечно-элементная модель, особенности представления в ней реальных элементов рамы и их соединений. Приведены сравнительные данные по напряжениям в характерных местах рамы, ее перемещениям и углам закручивания, подтверждающие удовлетворительную сходимость результатов расчетов и экспериментов. На основании этого сделан вывод о том, что применяемые особенности разработки подобных моделей правомерны и могут использоваться инженерами-проектировщиками в конструкторских отделах автомобильных предприятий.

Ключевые слова: сравнительная оценка, прочность, жесткость, режим кручения, рама.

Comparative evaluation of the results of computer simulation and strength tests of the frame of a light commercial vehicle

L.N. Orlov, A.V. Tumasov, A.V. Gerasin

The aim of this work is to justify the use of developed finite element models to assess the strength and stiffness of structures being designed and developed. For

*Исследования выполнены при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках проекта по договору № 02.G25.31.0006 от 12.02.2013 г.



ОРЛОВ
Лев Николаевич
ORLOV
Lev Nikolaevich



ТУМАСОВ
Антон Владимирович
TUMASOV
Anton Vladimirovich



ГЕРАСИН
Андрей Владимирович
GERASIN
Andrey Vladimirovich

(Нижегородский
государственный технический
университет
им. Р.Е. Алексеева)

(Nizhny Novgorod, Russian
Federation, Nizhny Novgorod
State Technical University
n.a. R.E. Alekseev)

this purpose, it is necessary to compare the results of computer simulation and strength tests. In this article, the numerical results obtained by using a finite element model of the frame of a light commercial vehicle are validated for the first time. The finite element model is distinguished by the representation of particular frame elements and their joints. The comparison of stresses at characteristic points of the frame, as well as its movements and twist angles, confirmed a satisfactory convergence of the results of calculations and experiments. It was concluded that such models are adequate and can be used by design engineers at automobile enterprises.

Keywords: comparative evaluation, strength, stiffness, torsion, frame.

Проведение сравнительной оценки результатов компьютерного моделирования и экспериментов — одно из необходимых условий при выполнении расчетной оценки работоспособности несущих конструкций транспортных средств. Важность этой работы состоит в следующем: обоснование правомерности выбора расчетных моделей и их адекватности реальным конструкциям [1]; выбор типов конечных элементов, шага сетки [2–4], условий их соединений, задание характеристик материалов [5–7], граничных условий и других особенностей [8].

В данной работе приведены результаты испытаний и расчетов рамы легкого коммерческого автомобиля на прочность и жесткость, выполненные на кафедре «Автомобили и тракторы» Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексева, а также рассмотрены особенности выбора конечно-элементной модели.

Статические испытания рамы изгибными и скручивающими нагрузками проведены на стенде, изображенном на рис. 1. При этом для детальной верификации результатов воспроизводились разные условия действия нагрузки и закрепления рамы: изгиб рамы, кручение рамы и ее кручение на фальшрессорах. Нагрузка создавалась гидроцилиндром, а контролировалась тензометрической струбциной ИИ-Т2. Напряжения (относительные деформации) в характерных местах рамы измерялись с помо-



Рис. 1. Установка рамы с фальшрессорами на стенде для испытания в режиме кручения

щью тензодатчиков FLA-5-11 и тензостанции TDS-150 и регистрировались на компьютере.

Перемещения контрольных точек лонжеронов и поперечин рамы измерялись с помощью лазерных триангуляционных датчиков LS5-100/200. С помощью квадранта определялись углы поворота рамы (рис. 2).

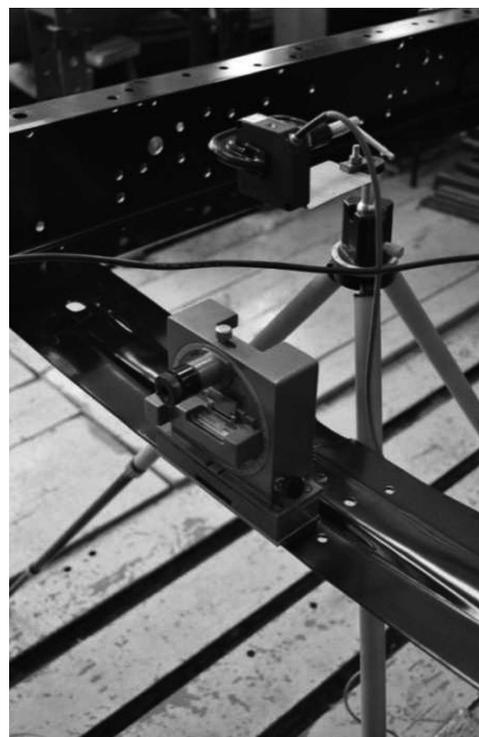


Рис. 2. Установка квадранта на поперечине и лазерного датчика перемещений на стойке

Компьютерное моделирование условий испытаний осуществлялось с использованием разработанной конечно-элементной модели в программном комплексе MSC.Nastran лицензионного пакета University MD FEA. Модель состоит из 164 837 пластинчатых элементов. Средний шаг сетки составляет 5 мм. Места расположения тензодатчиков имеют сетку с шагом 1...2 мм. В модель также входит 463 жестких элемента типа Rigid, воспроизводящих сварные, заклепочные и болтовые соединения. В ней учтены все имеющиеся отверстия. Фрагменты модели показаны на рис. 3. В качестве примера на рис. 4 приведены результаты сравнительного анализа двух режимов нагружения. Фальшпрессора позволяет более точно воспроизвести геометрию расположения рамы относительно опор и условие действия нагрузки. Схема расположения контролируемых зон относительных деформаций (напряжений) и номера тензодатчиков приведены на рис. 5, а на рис. 6 — фрагменты отдельных из них, взятые из расчетной модели и с натурального образца рамы.

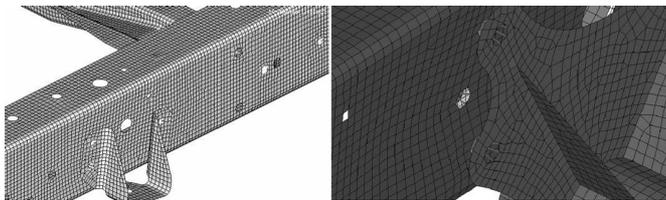


Рис. 3. Конечно-элементная модель рамы и ее фрагменты

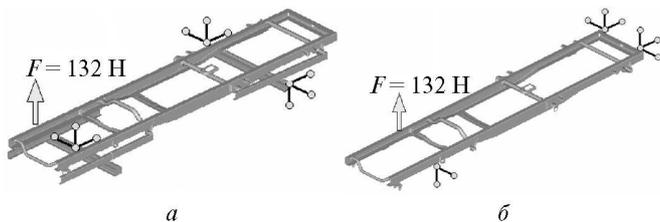


Рис. 4. Схемы нагружения и закрепления модели рамы: а — с фальшпрессорами; б — без фальшпрессор

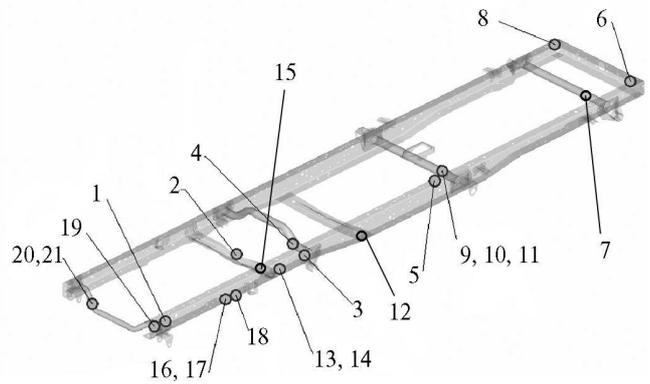


Рис. 5. Нумерация поперечин рамы и схема расположения контролируемых зон (тензодатчиков)

Распределение напряжений в модели рамы с фальшпрессорами при кручении моментом 1078 Н·м представлено на рис. 7, в табл. 1 приведены значения напряжений в отдельных характерных зонах, полученные расчетным путем и экспериментально. Экспериментальные данные взяты по результатам пяти испытаний. Из данных, приведенных в табл. 1, следует что расчетные значения имеют удовлетворительную сходимость с экспериментальными.

Датчик	Расчетная модель	Натурный образец
1		
4		
18		

Рис. 6. Фрагменты зон модели и мест наклейки тензодатчиков

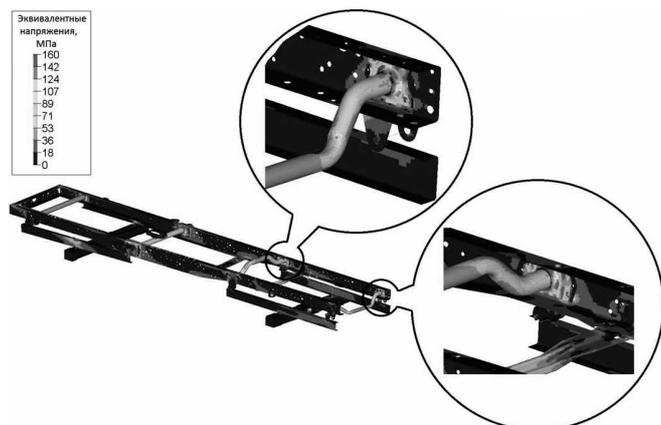


Рис. 7. Распределение напряжений в модели рамы с фальшрессорами

Испытания и расчеты рамы без фальшрессор при кручении моментом 382 Н·м с внешними опорами в трех местах, показанных на рис. 5, б, дают лучшую сходимость результатов по напряжениям (табл. 2). Это объясняется отсутствием погрешностей, вносимых зазорами и трением в соединениях фальшрессор с кронштейнами подвески.

Значения перемещений отдельных характерных точек рамы при кручении приведены в табл. 3, значения углов поворота поперечин рамы — в табл. 4.

Из сравнения приведенных данных видна их удовлетворительная сходимость. Это дает основание считать, что применяемые принципы (выбор шага сетки элементов, способы моделирования сварных, заклепочных, болтовых соединений и др.) разработки подробных ко-

Таблица 1

Значения напряжений, МПа, для модели с фальшрессорами при кручении

Номер датчика	Номер испытания					Эксперимент (среднее значение)	Модуль доверительного интервала	Расчет
	1	2	3	4	5			
2	-27,67	-28,07	-27,67	-28,07	-27,87	-27,9	0,25	-30,2
3	64,49	64,49	64,09	64,29	64,09	64,3	0,25	74,1
4	91,76	91,17	90,17	90,57	89,97	90,7	0,91	71,2
5	85,59	85,19	85,00	85,00	84,60	85,1	0,45	75,1
6	80,82	81,21	80,42	81,01	80,62	80,8	0,39	67,7
8	-66,09	-65,69	-65,29	-65,69	-65,29	-65,6	0,41	-48,4
18	0,80	0,80	1,00	0,80	1,00	0,9	0,14	1,3
21	73,25	72,46	71,86	72,46	71,66	72,3	0,77	84,9

Таблица 2

Значения напряжений, МПа, для модели без фальшрессор при кручении

Номер датчика	Номер испытания					Эксперимент (среднее значение)	Модуль доверительного интервала	Расчет
	1	2	3	4	5			
1	-57,53	-57,53	-57,33	-57,53	-57,13	-57,4	0,22	-60,9
4	49,37	49,37	49,17	49,17	48,77	49,2	0,30	52,1
5	40,21	40,01	40,01	40,21	40,01	40,0	0,14	33,5
12	36,03	35,83	36,23	36,23	36,03	36,1	0,21	42,8
13	15,33	15,13	15,13	15,13	15,33	15,2	0,14	13,9
16	-140,93	-141,10	-140,10	-140,70	-140,10	-140,6	0,58	-119
20	30,65	30,65	30,46	30,65	30,46	30,6	0,13	34,1
21	26,87	26,67	26,47	26,87	26,67	26,7	0,21	29,6

Перемещения точек рамы в местах установки датчиков

Номер датчика	Номер испытания					Эксперимент (среднее значение)	Модуль доверительного интервала	Расчет
	1	2	3	4	5			
1	21,92	20,64	20,64	20,54	20,68	20,9	0,72	18,70
2	1,48	1,28	1,26	1,32	1,36	1,3	0,11	1,36
3	1,38	1,02	1,04	0	0	0,9	0,80	0,93

нечно-элементных моделей рам правомерны и могут использоваться при оценке прочности и жесткости на практике.

Выполненная работа имеет важное практическое значение. Полученные результаты могут быть полезны для специалистов, занимающихся проектированием рам, исследованием и оценкой их прочности. Рассмотренные подходы могут быть использованы при исследовании прочности микроавтобусов, выполненных на базе шасси легких коммерческих автомобилей.

Таблица 4

Углы поворота поперечин рамы

Номер поперечины	Угол поворота, град	
	Эксперимент	Расчет
1	4,55	3,87
2	3,45	2,83
3	3,05	2,64
4	2,80	2,15
5	1,69	1,41
6	0,35	0,26

Литература

[1] Орлов Л.Н., ред. *Основы разработки конечно-элементных моделей кузовных конструкций автотранспортных средств. Расчеты на безопасность и прочность*. Н. Новгород, НГТУ, 2009, 153 с.

[2] Тумасов А.В., Орлов Л.Н., Рогов П.С., Вашурин А.С., Феоктистов Н.Ф. Оценка несущей способности каркаса кузова автобуса по результатам компьютерного моделирования. *Тр. НГТУ им. Р.Е. Алексеева*. Нижний Новгород, 2012, № 3 (96), с. 150—156.

[3] Ким И.В., Зузов В.Н. Оценка прочности силовой структуры кузовов автобусов методами математического моделирования (часть 1). *Журнал АИИ*, 2008, № 5(52), с. 30—31.

[4] Ким И.В., Зузов В.Н. Оценка прочности силовой структуры кузовов автобусов методами математического моделирования (часть 2). *Журнал АИИ*, 2008, № 6(53), с. 40—41.

[5] Годжаев З.А., Фараджев Ф.А., Матвеев Е.А., Надеждин В.С. Перспективные методы проектирования несущих систем автотранспортных средств, в том числе по критериям безопасности. *Журнал АИИ*, 2012, № 4(75), с. 34—38.

[6] Исаков А.С., Хабибуллин Р.Г., Макарова И.В. Применение методов инженерного анализа для повышения надежности несущей системы грузовых автомобилей. *Журнал АИИ*, 2012, № 2(73), с. 44—46.

[7] Горелов С., Казак А. Компьютерное моделирование и изучение поведения под нагрузкой несущей конструкции автомобиля УАЗ. *САПР и графика. Спец. вып. Машиностроение*, 2004, (№ 1) <http://www.apm.ru/articles/04-01.htm> (дата обращения 03 июня 2013).

[8] Yusof M., Abdul R., Tamin M. Development of a truck chassis. Project Report. *Faculty of Mechanical Engineering of Universiti Teknologi Malaysia Institutional Repository*; Nasir. Skudai, Johor, 2009, 96 p. http://www.academia.edu/897399/Development_of_a_truck_chassis.

References

[1] Orlov L.N., Tumasov A.V., Kochanov E.V. *Osnovy razrabotki konechno-elementnykh modelei kuzovnykh konstruktssii avtotransportnykh sredstv. Raschety na bezopasnost' i prochnost'* [Fundamentals of the development of finite element models of body structures of vehicles. Calculations for safety and durability]. N. Novgorod, NGTU publ., 2009. 153 p.

[2] Tumasov A.V., Orlov L.N., Rogov P.S., Vashurin A.S., Feoktistov N.F. *Otsenka nesushchei sposobnosti karkasa kuzova avtobusa po rezul'tatam komp'yuternogo modelirovaniia* [Estimate the bearing capacity of the bus body structure according to the results of computer simulation]. *Trudy NGTU im. R.E. Alekseeva* [Proceedings of the NSTU n.a. R.E. Alexeeva]. Nizhnii Novgorod, 2012, no. 3 (96), pp. 150—156.

[3] Kim I.V., Zuzov V.N. Otsenka prochnosti silovoi struktury kuzovov avtobusov metodami matematicheskogo modelirovaniia (chast' 1) [Estimate the structural strength of bus bodies by means of mathematical modeling (Part 1)]. *Zhurnal avtomobil'nykh inzhenerov* [Journal of Automotive Engineers], 2008, no. 5(52), pp. 30—31.

[4] Kim I.V., Zuzov V.N. Otsenka prochnosti silovoi struktury kuzovov avtobusov metodami matematicheskogo modelirovaniia (chast' 2) [Estimate the structural strength of bus bodies by means of mathematical modeling (Part 2)]. *Zhurnal avtomobil'nykh inzhenerov* [Journal of Automotive Engineers]. 2008, no. 6(53), pp. 40—41.

[5] Godzhaev Z.A., Faradzhev F.A., Matveev E.A., Nadezhdin V.S. Perspektivnye metody proektirovaniia nesushchikh sistem avtotransportnykh sredstv, v tom chisle po kriteriiam bezopasnosti [Advanced Methods of designing support systems of motor vehicles, including safety criteria]. *Zhurnal avtomobil'nykh inzhenerov* [Journal of Automotive Engineers]. 2012, no. 4(75), pp. 34—38.

[6] Iskhakov A.S., Khabibullin R.G., Makarova I.V. *Primenenie metodov inzhenernogo analiza dlia povysheniia nadezhnosti nesushchei sistemy gruzovykh avtomobilei* [Application of the methods of engineering analysis to increase the reliability of the support system of trucks]. *Zhurnal avtomobil'nykh inzhenerov* [Journal of Automotive Engineers]. 2012, no. 2(73), pp. 44–46.

[7] Gorelov S., Kazak A. *Komp'yuternoe modelirovanie i izuchenie povedeniia pod nagruzkoj nesushchei konstruksii avtomobilia UAZ* [Computer simulation study of the behavior and load bearing structure of the UAZ]. *SAPR i grafika* [CAD and

graphics]. Special issue of Mechanical Engineering, 2004, no. 1. Available at: <http://www.apm.ru/articles/04-01.htm> (Accessed 3 June 2013).

[8] Yusof M., Abdul R., Tamin M. *Development of a truck chassis*. Project Report. Faculty of Mechanical Engineering of Universiti Teknologi Malaysia Institutional Repository; Nasir. Skudai, Johor, 2009, 96 p. Available at: [http://www.academia.edu/897399/Development_of a truck chassis](http://www.academia.edu/897399/Development_of_a_truck_chassis).

Статья поступила в редакцию 05.06.2013

Информация об авторах

ОРЛОВ Лев Николаевич (Нижний Новгород) — доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой «Автомобили и тракторы». ГОУ ВПО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева» (603950, Н. Новгород, Российская Федерация, ул. Минина, д. 24, e-mail: boris.reutov@gmail.com).

ТУМАСОВ Антон Владимирович (Нижний Новгород) — кандидат технических наук, доцент кафедры «Автомобили и тракторы». ГОУ ВПО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева» (603950, Н. Новгород, Российская Федерация, ул. Минина, д. 24, e-mail: anton.tumasov@gmail.com).

ГЕРАСИН Андрей Владимирович (Нижний Новгород) — инженер кафедры «Автомобили и тракторы». ГОУ ВПО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева» (603950, Н. Новгород, Российская Федерация, ул. Минина, д. 24, e-mail: veselo_85@mail.ru).

Information about the authors

ORLOV Lev Nikolaevich (Nizhny Novgorod) — Dr. Sc. (Eng.), Professor, Head of «Cars and Tractors» Department. Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev (NNSTU, Minina str., 24, 603950, Nizhny Novgorod, Russian Federation, e-mail: boris.reutov@gmail.com).

TUMASOV Anton Vladimirovich (Nizhny Novgorod) — Cand. Sc. (Eng.), Associate Professor of «Cars and Tractors» Department. Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev (NNSTU, Minina str., 24, 603950, Nizhny Novgorod, Russian Federation, e-mail: anton.tumasov@gmail.com).

GERASIN Andrey Vladimirovich (Nizhny Novgorod) — Engineer of «Cars and Tractors» Department. Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev (NNSTU, Minina str., 24, 603950, Nizhny Novgorod, Russian Federation, e-mail: veselo_85@mail.ru).