

## **Сравнительный анализ влияния кузовов Chrysler Grand Voyager III и Toyota Camry 2014 года на пассивную безопасность при ударе сзади в рамках методики создания автомобильных кресел, отвечающих требованиям пассивной безопасности**

# 12, декабрь 2016

Зузов В. Н.<sup>1,\*</sup>, Солопов Д. Ю.<sup>1</sup>

УДК: 629.113

<sup>1</sup>Россия, МГТУ им. Н.Э. Баумана

<sup>\*</sup>[zuzov@mx.bmstu.ru](mailto:zuzov@mx.bmstu.ru)

### **Введение**

Существующий комплекс испытаний кресел по EURO NCAP и Правилам ЕЭК ООН не учитывает особенности конструкции автомобиля, что затрудняет разработку конструкции кресла, которая могла бы обеспечить наибольший уровень безопасности при установке на данную модель автомобиля. При этом кресло, удовлетворяющее нормативным требованиям, может быть установлено на любую модель автомобиля независимо от его технических характеристик и уровня пассивной безопасности. Такой подход связан с тем, что краш-тесты автомобилей являются более дорогостоящими по сравнению с расчётами в современных программных комплексах FEM анализа [9-13], при которых не происходит разрушения оцениваемого образца.

Расчет автомобиля совместно с установленным на него креслом позволяет более точно оценить обеспечиваемый уровень пассивной безопасности, чем расчет кресла в отдельности. Проведение данного расчета рекомендуется на базе разработанной методики [1-7] и особенно в случае, если необходимо получить более точный результат расчета.

Целью данной статьи является оценка степени влияния кузова автомобиля на параметры пассивной безопасности при ударе сзади. Так как энергоемкость каждого кузова автомобиля при ударе сзади имеет «свое» значение, то расчеты следует проводить для конкретного автомобиля с креслом, проектируемым под этот автомобиль.

В связи с этим, для анализа влияния кузова на пассивную безопасность были выполнены сравнительные расчеты, при которых моделировался удар тележкой сзади по автомобилям Toyota Camry 2014 года (Рис. 1) и Chrysler Grand Voyager III (Рис. 2).



**Рис. 1.** Toyota Camry 2014 года



**Рис. 2.** Chriseler Grand Voyager III

Для расчета выбраны автомобили разных поколений. Chriseler Grand Voyager III выпускался с 1995 по 2001 год, и конструкция его кузова на данный момент устарела, а Toyota Camry 2014 года является автомобилем, отвечающим современным требованиям пассивной безопасности. В связи с этим конструкции задней части автомобилей значительно отличаются.

Итак, задача статьи - оценить расчетным путем, на сколько будет отличаться уровень пассивной безопасности при ударе сзади, который обеспечивают данные автомобили.

## Основные положения методики создания автомобильных кресел, отвечающих требованиям пассивной безопасности

Данный сравнительный анализ выполняется в рамках методики создания автомобильных кресел (рис. 3), отвечающих требованиям пассивной безопасности, процесс разработки которой описан в статьях [1-7].

Методика позволяет повысить эффективность процесса проектирования автомобильных сидений, обеспечив, при этом, необходимый уровень пассивной безопасности.

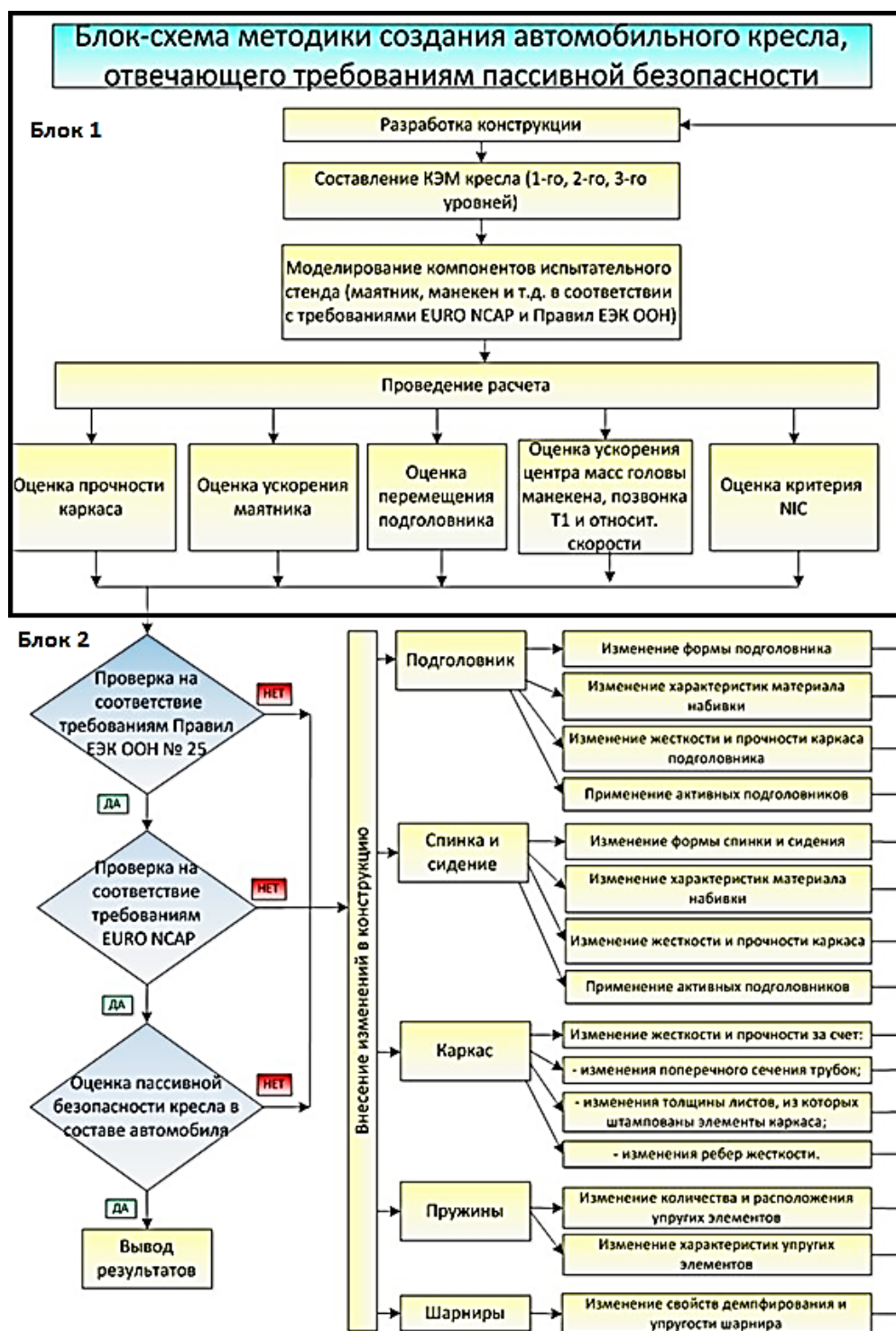
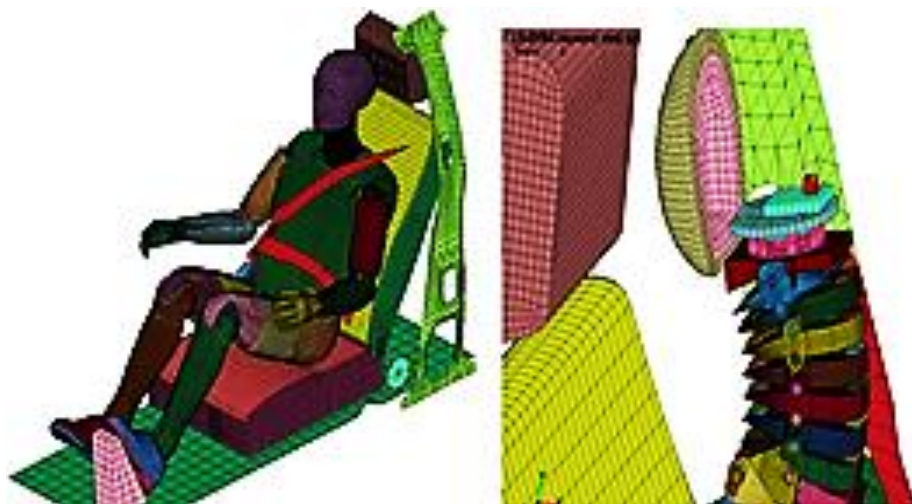


Рис. 3. Блок-схема методики создания автомобильного кресла, отвечающего требованиям ПБ

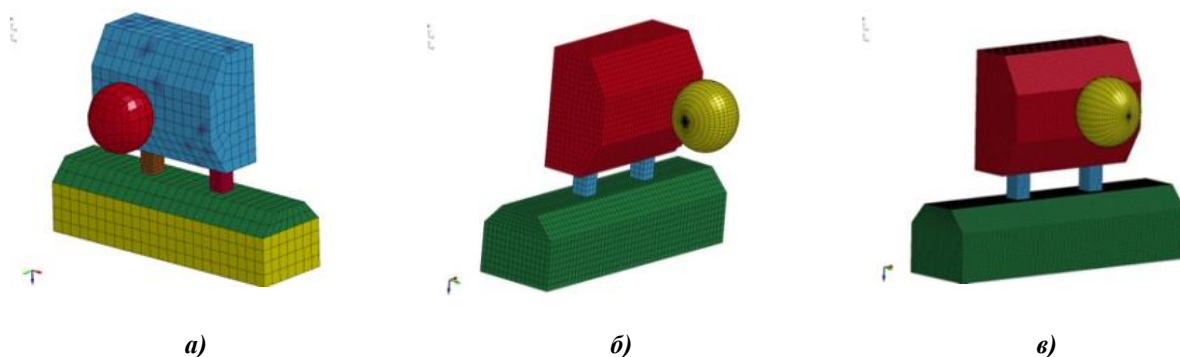
При разработке методики была создана конечно-элементная модель (КЭМ) автомобильного сидения [3, 4] и проведена серия расчетов по оценке пассивной безопасности в соответствии с требованиями Правил ЕЭК ООН и EURO NCAP, которую оно позволяет обеспечить. При этом, экспериментальным путем была выполнена оценка точности данных расчетов. Созданная модель сидения (рис. 4) далее была использована при расчетах кресла в составе автомобиля.



**Рис. 4.** КЭМ кресла с пассивным подголовником для расчетов в соответствии с требованиями EURO NCAP

На начальном этапе создания методики проводились исследования подголовника в отдельности от сидения [1, 2]. При этом, была создана КЭМ подголовника (рис. 5) и проведена работа по моделированию материалов в расчетной программе LS-DYNA [8]. Выполнена серия экспериментов и расчетов, что позволило смоделировать материалы сидения таким образом, чтобы обеспечить сходимость результатов расчета на удар с натурными испытаниями.

Кроме того, в процессе исследования подголовника в отдельности от кресла проведена оценка влияния основных факторов (характеристики материала набивки, особенности конструкции каркаса и т. д.) на точность результатов, которую обеспечивает модель и обоснован выбор рациональных КЭМ подголовников.



**Рис. 5.** КЭМ подголовника:

*а)* низшего уровня (6 628 КЭ); *б)* среднего уровня (20 907 КЭ); *в)* высшего уровня (164 952 КЭ)

На следующем этапе согласно методики проводились исследования кресла автомобиля с пассивным подголовником (рис. 4). На этом этапе созданы КЭМ кресла трех уровней детализации [3, 4] и проведен их расчет в соответствии с требованиями международных методик. При этом проведена оценка степени влияния кресла на точность результатов; обоснован выбор типа элементов, используемых при построении базовых КЭМ, и отработаны основные подходы для решения быстротекущих нелинейных задач; обоснован выбор характеристик пеноматериала набивки, обеспечивающих наилучший уровень пассивной безопасности в соответствии с требованиями Правил ЕЭК ООН № 25.

Кроме того, были разработаны КЭМ кресел с активными подголовниками различных типов и расчетным путем была выполнена оценка эффективности данных конструкций [5].

На заключительном этапе согласно методики была выполнена оценка влияния кузова автомобиля на пассивную безопасность применительно к сиденью [6]. Для проведения исследований была создана расчетная модель, включающая в себя автомобиль, на который была установлена разработанная КЭМ кресла с усаженным в него манекеном BioRIDII.

Расчет показал, что кузов оказывает влияние на пассивную безопасность, которую позволяет обеспечить кресло. В связи с этим, целесообразно провести серию расчетов на удар сзади по различным автомобилям с установленной на них КЭМ кресла. Очевидно, что исследование влияния различных кузовов при ударе сзади позволит добиться улучшения показателей пассивной безопасности.

### **Краш-тест при ударе по автомобилю сзади в соответствии с требованиями Правил ЕЭК ООН №32**

Цель испытания на задний удар о недеформируемый барьер с полным перекрытием (рис. 6) состоит в имитации условий удара сзади, вызываемого другим движущимся транспортным средством. Испытание должно показать, удовлетворяет ли транспортное средство предписаниям в отношении поведения конструкции автомобиля.

В соответствии с пунктом 2.2 Правила ЕЭК ООН №32, ударный элемент должен быть выполнен из стали и иметь жесткую конструкцию. Поверхность удара должна быть вертикальной и перпендикулярной к среднему продольному сечению ударяемого транспортного средства. Направление движения ударного элемента должно быть горизонтальным и параллельным среднему продольному сечению ударяемого транспортного средства. Скорость барьера в момент удара должна составлять 35 – 38 км/ч. Общая масса тележки и ударного элемента должна составлять  $1100 \pm 20$  кг.



Рис. 6. Испытания безопасности в соответствии с требованиями Правил ЕЭК ООН №32 при ударе сзади

### Расчет КЭМ автомобиля с установленным на него КЭМ автомобильного кресла

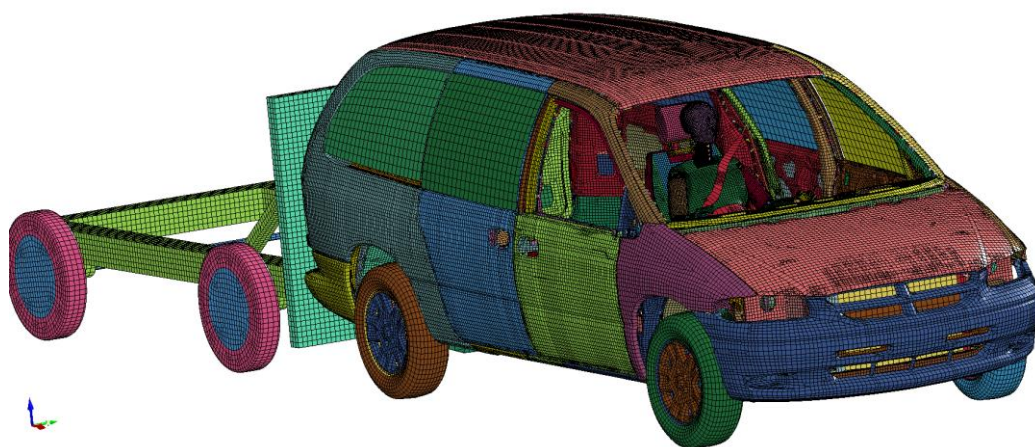
Для проведения исследований были разработаны две КЭМ, включающие расчетные модели автомобилей Toyota Camry 2012 года и Chrysler Grand Voyager III, кресло с зафиксированным в нем при помощи ремней безопасности манекеном, и тележку. Расчет выполнялся в соответствии с требованиями Правил ЕЭК ООН №32. Модели автомобилей для расчета в LS-DYNA были взяты с официального сайта National Crash Analysis Center (Университет Джорджа Вашингтона, США).

Задний бампер Grand Voyager заметно выдвинут назад относительно плоскости задней двери, у Camry бампер и крышка багажника представляют практически единую плоскость. Балка бампера и задние краш-боксы на Camry имеют закрытое сечение, на Grand Voyager – открытое. Кроме того, один автомобиль является минивеном, другой – седаном. В связи с этим, поглощение энергии при ударе сзади кузовами данных автомобилей должно существенно отличаться. Соответственно, ударное воздействие, передаваемое на кресло автомобиля и манекена, должно быть различным.

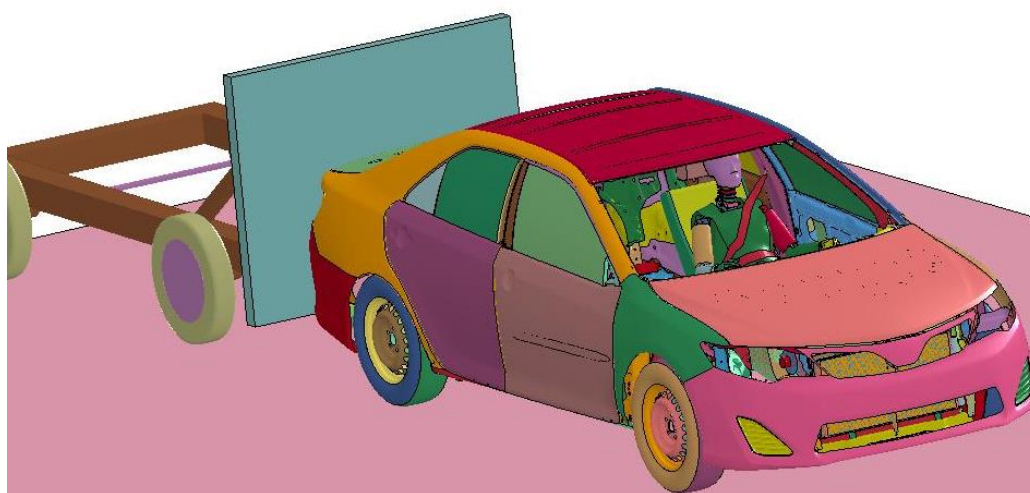
Особенности расчетных моделей автомобилей представлены в таблице:

Таблица 1. Особенности моделей автомобилей

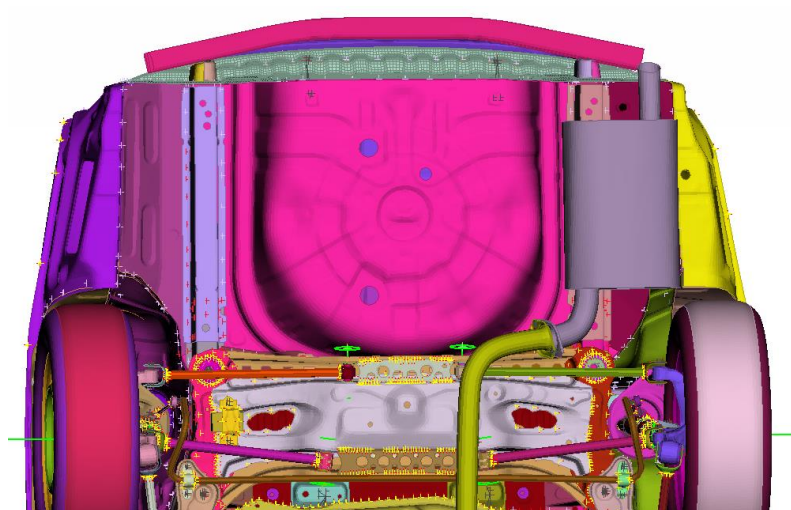
|                                                | Chrysler Grand Voyager III | Toyota Camry 2014 года |
|------------------------------------------------|----------------------------|------------------------|
| КЭМ автомобиля                                 | Рис. 7                     | Рис. 8                 |
| Количество конечных элементов                  | 933 780                    | 1 678 781 КЭ           |
| Масса, заданная для расчетной модели           | 1820 кг                    | 1510 кг                |
| Тип транспортного средства                     | Седан                      | Минивэн                |
| Конструкция задней части                       | Рис. 9                     | Рис. 10                |
| Конструкция задней балки бампера и краш-боксов | Открытое сечение           | Закрытое сечение       |



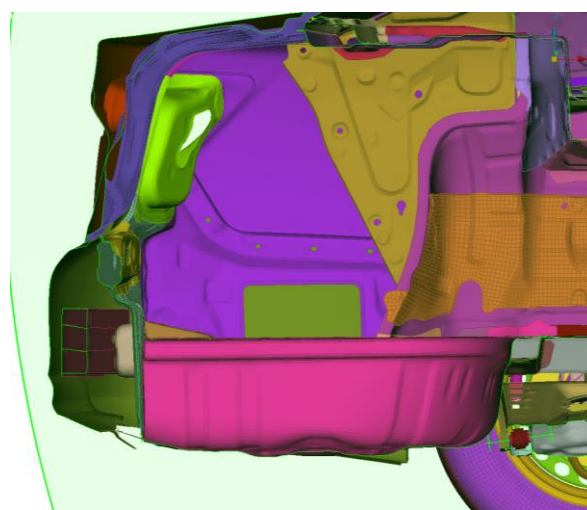
**Рис. 7.** Конечно-элементная модель автомобиля Chrysler Grand Voyager III, в который установлено кресло с манекеном BioRIDII



**Рис. 8.** Конечно-элементная модель автомобиля Toyota Camry 2014 года с креслом и манекеном BioRIDII

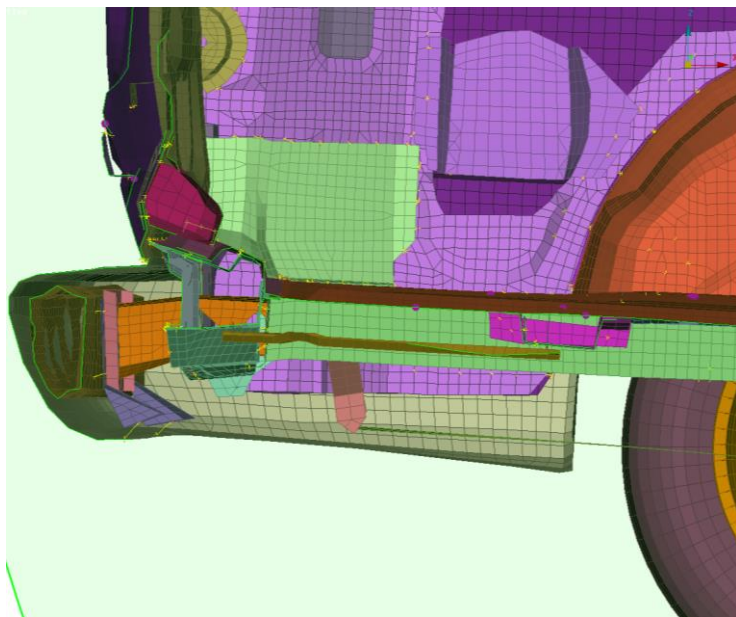


*а)*

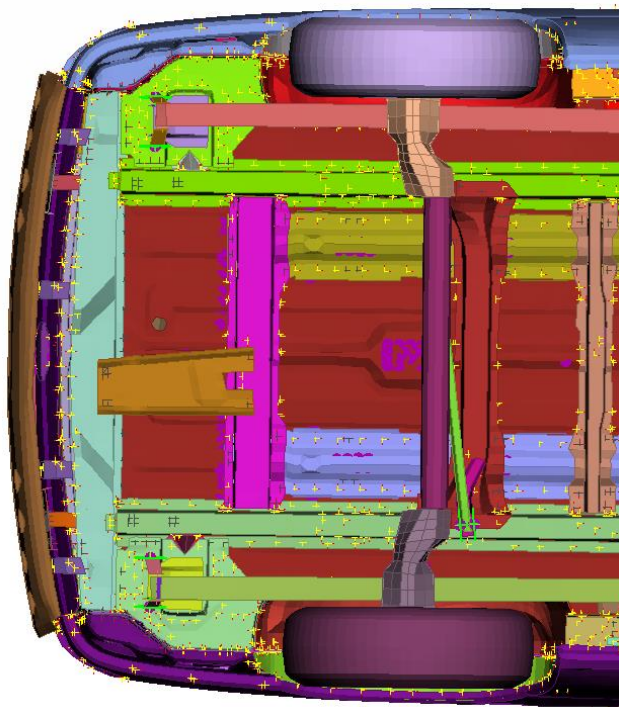


*б)*

**Рис. 9.** Конструкция задней части Toyota Camry 2012: *а)* вид снизу; *б)* вид сбоку



а)



б)

Рис. 10. Конструкция задней части Chrysler Grand Voyager IV: а) вид снизу; б) вид сбоку

Общие особенности для двух расчетных моделей:

- кузов автомобиля моделируется shell элементами. Компоненты моторного отсека моделируется упрощенно solid элементами, для которых задаются значения массы (рис. 11);

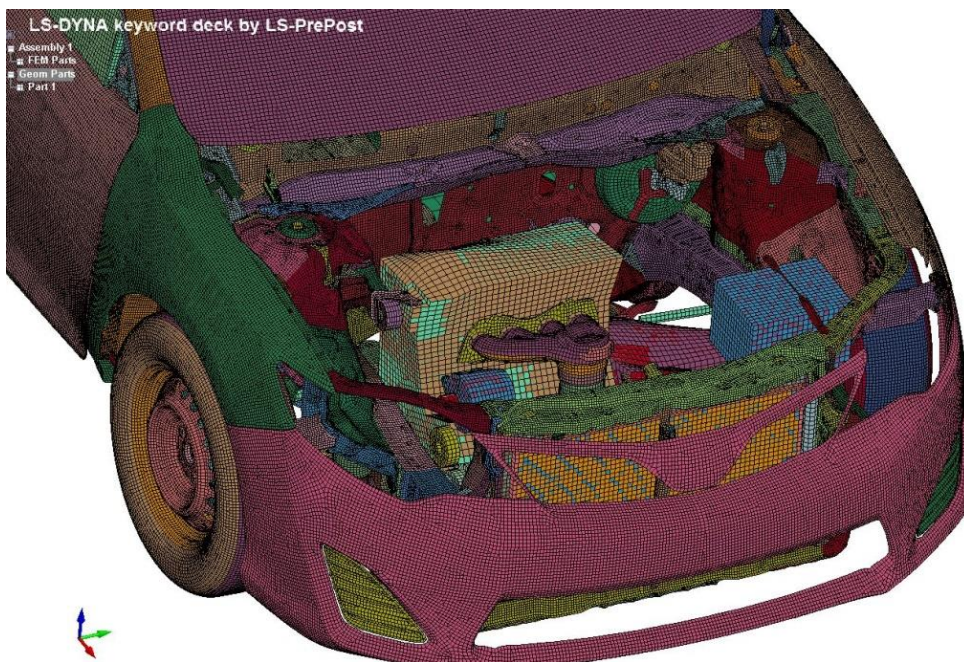
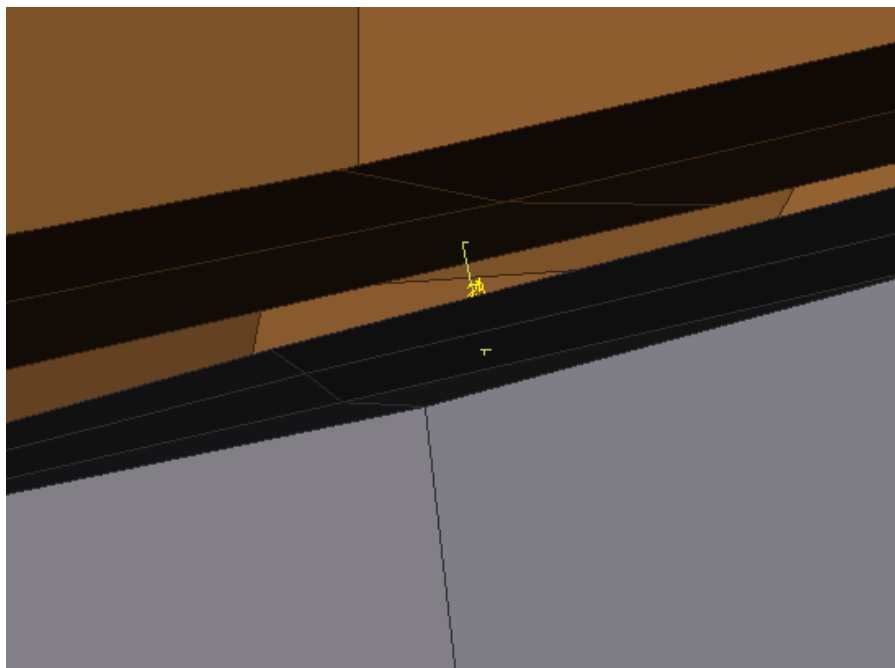


Рис. 11. Конечно-элементная модель моторного отсека Toyota Camry

- сварные соединения моделируются beam элементами (рис. 12). Пары точек соединяются по контуру деталей;



**Рис. 12.** Моделирование сварных швов деталей кузова при помощи beam элементов

- в автомобилях установлено автомобильное кресло, в котором зафиксирован манекен BioRIDII. Кресло прикреплено к полу автомобиля при помощи элементов CNRB (Constrained Nodal Rigid Body);

- манекен пристегнут ремнем безопасности. Выполнена имитация натяжителя ремня при помощи карт `*ELEMENT_SEATBELT_RETRACTOR`, `*ELEMENT_SEATBELT_ACCELEROMETER`, `*ELEMENT_SEATBELT_SENSOR`. При этом задается закон натяжения ремня, а также ускорение, при котором он блокируется. Кроме того, при помощи карты `*ELEMENT_SLIPRING` выполнена имитация контактного кольца, через которое пропускается ремень безопасности;

- шины моделируются как подушки безопасности при помощи карты `*AIRBAG_SIMPLE_PRESSURE_VOLUME`;

- измерение ускорений осуществляется в голове и на позвонке T1 манекена;

- платформа массой 1100 кг ударяет автомобиль сзади с начальной скоростью 38 км/ч (в соответствии с требованиями Правил ЕЭК ООН №38);

- каркас кресла состоит из штампованных листов и трубчатых элементов;

- учитывается жесткость элементов каркаса (материал сталь (`MAT_ELASTIC`): плотность  $7,88E+03$  кг/м<sup>3</sup>; модуль Юнга 200 ГПа, коэффициент Пуассона 0,3);

- к каркасу сидения и спинки прикреплены пружины, на которые опираются набивки спинки и сидения (жесткость пружин  $20E+03$  Н/м, коэффициент демпфирования 0, материалы `MAT_SPRING` и `MAT_DAMPER`);

- материал набивки подголовника и мягких элементов кресла – пеноматериал (`MAT_LOW_DENSITY_FOAM` [3]) плотностью 27 кг/м<sup>3</sup>, коэффициент Пуассона 0, модуль Юнга 100 МПа, кроме того, задается кривая зависимости напряжения от перемещения (рис. 5 [3]);

- на набивку надет чехол из текстильного материала (MAT\_FABRIC);
- спинка кресла и сидение соединены шарнирно, шарнирам заданы свойства упругости и демпфирования.

В качестве допущения нами принято не учитывать гистерезисные потери при трении в пенополиуретановом (MAT\_LOW\_DENSITY\_FOAM [3]) материале набивки кресла (в виду малости их влияния).

### Оценка полученных результатов

По результатам проведенных экспериментов была выполнена оценка ускорения головы манекена, позвонка T8 и скорости головы относительно позвонка T8. Результаты удара сзади по автомобилю Chrysler Grand Voyager III приведены на рисунках 13-15, по автомобилю Toyota Camry – на рисунках 16-18.

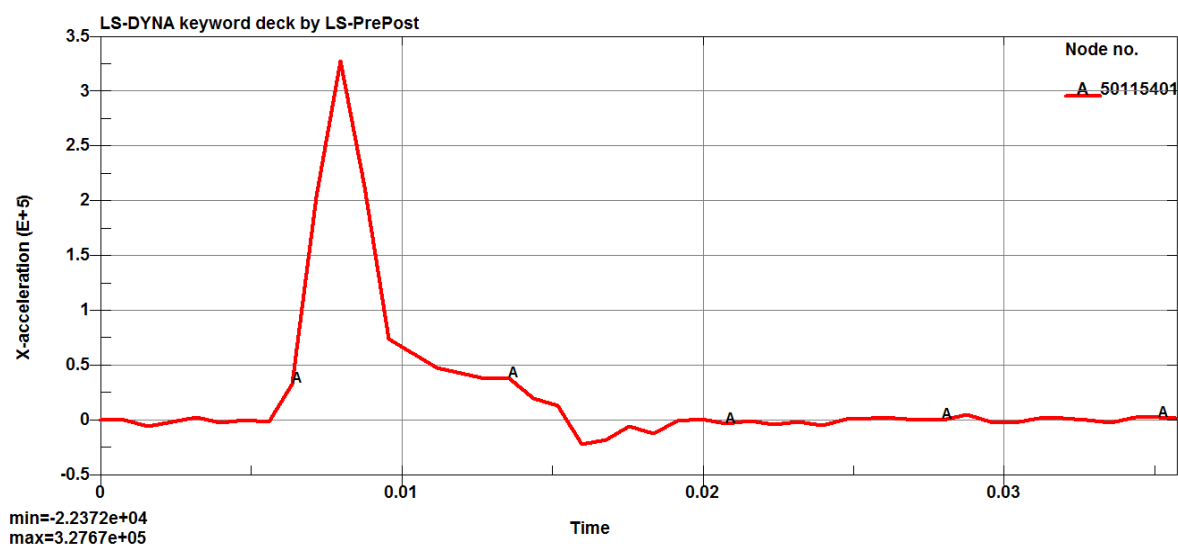


Рис. 13. Ускорение головы манекена ( $\text{м/с}^2$ ) при ударе сзади по автомобилю Chrysler Grand Voyager III

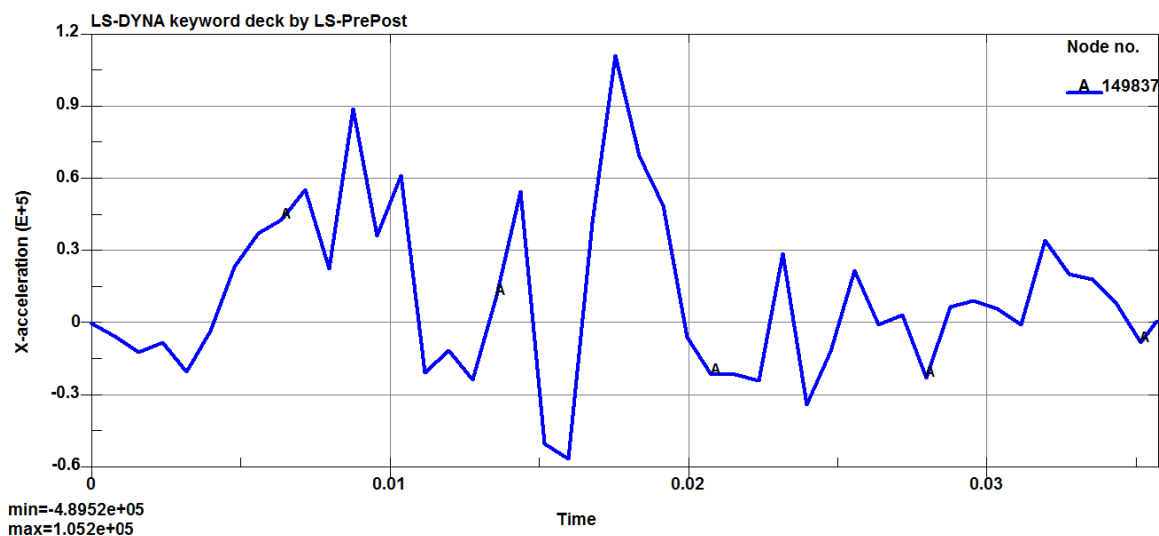


Рис. 14. Продольное ускорение позвонка T1 ( $\text{м/с}^2$ ) при ударе сзади по автомобилю Chrysler Grand Voyager III

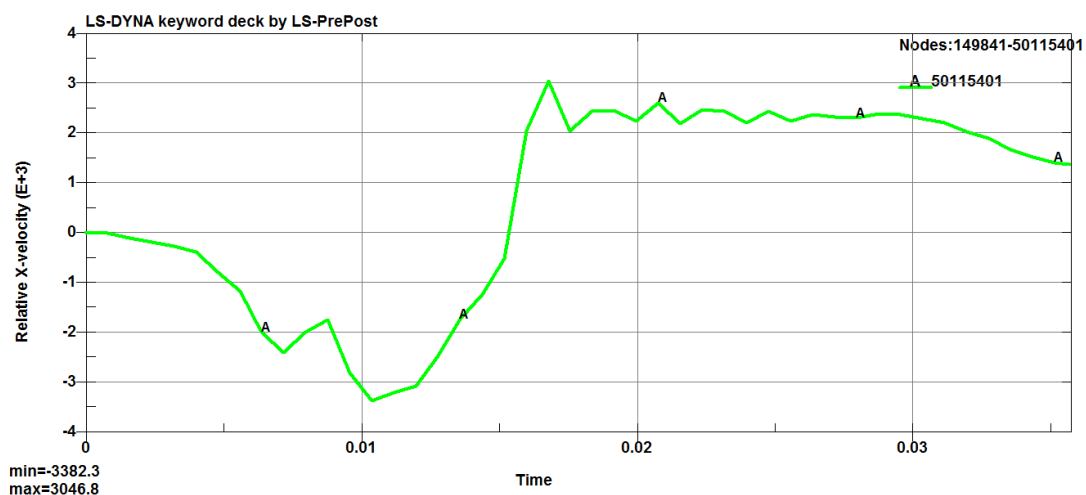


Рис. 15. Скорость головы (м/с) относительно позвонка T1 при ударе сзади по автомобилю Chrysler Grand Voyager III

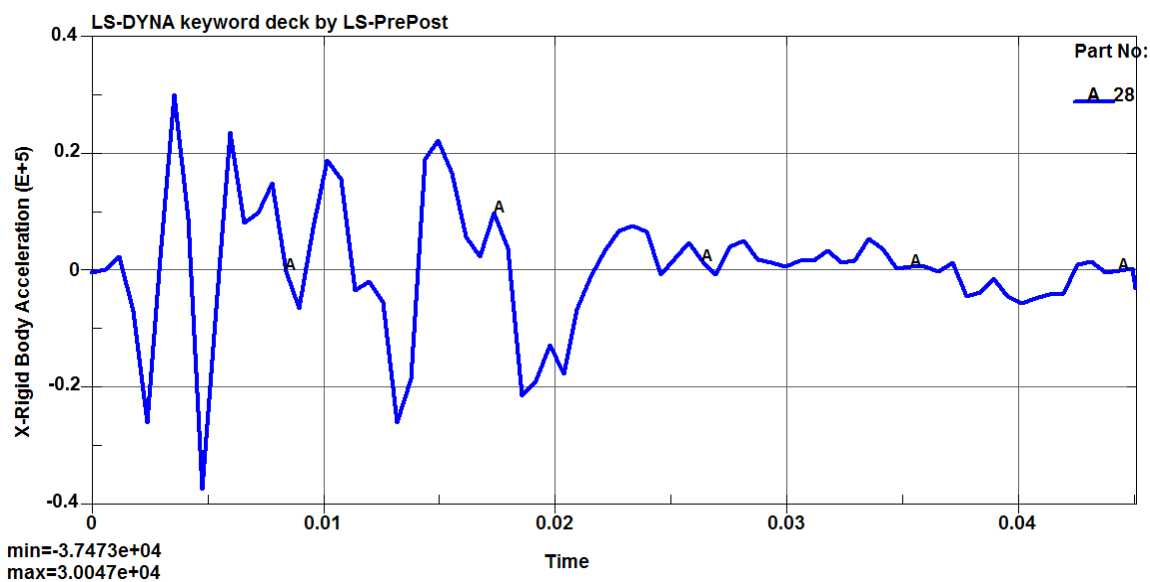


Рис. 16. Продольное ускорение ( $\text{мм/с}^2$ ) позвонка T1 при ударе сзади по автомобилю Toyota Camry

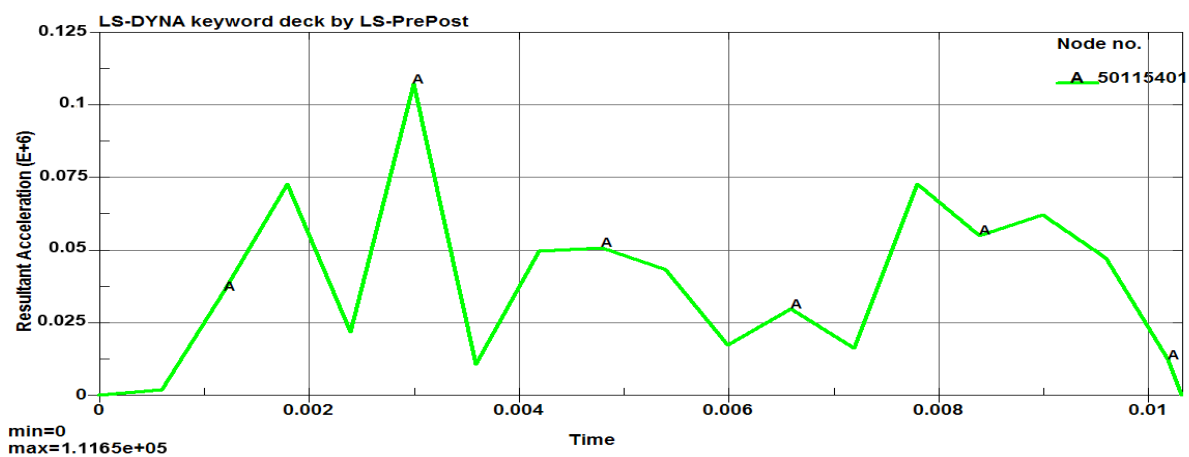


Рис. 17. Продольное ускорение ( $\text{мм/с}^2$ ) головы при ударе сзади по автомобилю Toyota Camry

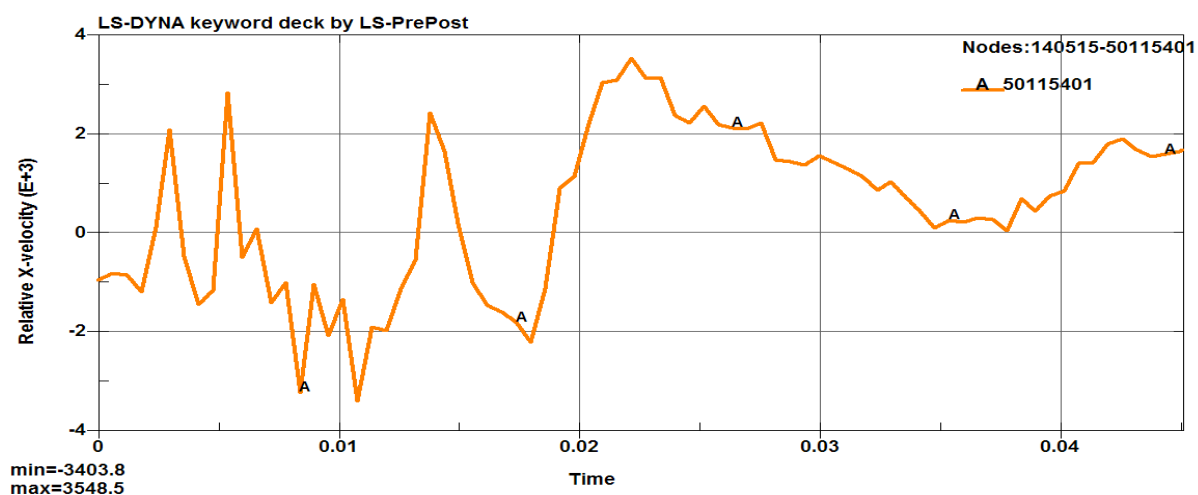


Рис. 18. Скорость головы (мм/с) относительно позвонка T1 по продольной оси при ударе сзади по автомобилю Toyota Camry

Таблица 2. Результаты расчетов при ударе сзади по автомобилям Chriseler Grand Voyager III и Toyota Camry

|                                                             | Toyota Camry | Chriseler Grand Voyager III |
|-------------------------------------------------------------|--------------|-----------------------------|
| Продольное ускорение головы (X), g                          | 11,3         | 33,31                       |
| Продольное ускорение позвонка T1(X) , g                     | 3,7          | 49,8                        |
| Ускорение головы по оси Z (X), g                            | 3,1          | 4,2                         |
| Полное ускорение головы манекена $a_{\text{полное головы}}$ | 11,71        | 33,56                       |
| Относительная скорость, м/с                                 | 3,5          | 3,3                         |
| Критерий NIC (предельное значение 45,5)                     | 24,17        | 35,712                      |
| Время выполнения расчета программой LS-DYNA, час/мин        | 30ч13мин     | 25ч 17мин                   |

По результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

- полное ускорение головы изменилось на 21.85 g, диапазон изменения критерия NIC составил 11.542, что говорит о влиянии кузова на его значение;
- при оценке пассивной безопасности автомобиля с установленным на него креслом, значения скоростей, ускорений и критерия NIC при ударе по автомобилю Toyota Camry получились ниже, чем при расчете на удар по автомобилю Chriseler Grand Voyager III. Это

говорит о том, что кузов Toyota Camry обеспечивает лучший уровень пассивной безопасности при ударе сзади;

- современные нормативные требования, в соответствии с которыми испытываются сидения (Правила ЕЭК ООН № 17, 25 и 32, а также требования EURO NCAP) не позволяют в полной мере оценить пассивную безопасность, которую обеспечивает автомобиль при ударе сзади. Для обеспечения пассивной безопасности при ударе сзади следует проводить испытания и расчеты с учетом конструкции кузова автомобиля. При этом исследования КЭМ кресла в составе автомобиля дают возможность спроектировать кресло (с пассивным или активным подголовником), обеспечивающее наилучший уровень пассивной безопасности для данного автомобиля.

### **Заключение**

Анализ влияния кузовов Chrysler Grand Voyager III и Toyota Camry 2014 года на пассивную безопасность при ударе сзади подтвердил рекомендацию авторов о необходимости проведения расчетов и экспериментальных исследований по оценке пассивной безопасности с учетом конструкции кузова автомобиля.

### **Список литературы**

- [1]. Солопов Д.Ю., Зузов В.Н. Решение проблемы создания конечно-элементных моделей для проектирования автомобильных кресел с активными подголовниками, отвечающими требованиям пассивной безопасности // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2013 № 6. С. 131-150. DOI: 10.7463/0613.0574693.
- [2]. Солопов Д.Ю., Зузов В.Н. Проблема создания конечно-элементных моделей автомобильных кресел с активными подголовниками, отвечающими требованиям пассивной безопасности // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2013 № 7. С.115-144. DOI: 10.7463/0713.0578993.
- [3]. Солопов Д.Ю., Зузов В.Н. Разработка конечно-элементных моделей автомобильных кресел с пассивными подголовниками, отвечающих требованиям пассивной безопасности // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2014. № 4. С. 64-89. DOI: 10.7463/0414.0706991.
- [4]. Солопов Д.Ю., Зузов В.Н. Разработка конечно-элементных моделей автомобильных кресел с пассивными подголовниками с целью проведения исследований на соответствие требованиям EURO NCAP // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2014. № 8. С. 78-100. DOI:10.7463/0814.0724400.
- [5]. Солопов Д.Ю., Зузов В.Н. Использование активных подголовников с целью повышения безопасности автомобильных кресел при ударе сзади в соответствии с требованиями EURO NCAP // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2014. № 12. С. 323–338. DOI: 10.7463/1214.0740048.

- [6]. Солопов Д.Ю., Зузов В.Н. Исследование влияния конструкции кузова автомобиля на пассивную безопасность при ударе сзади // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2015. №7. С. 66-75. DOI: 10.7463/0715.0780850
- [7]. Солопов Д.Ю., В.Н. Зузов. Методика повышения безопасности автомобилей за счет улучшения параметров кресел с пассивными и активными подголовниками // Изв. ВУ-Зов. Машиностроение. 2016. № 6 (675). С.50-61. DOI: 10.18698/0536-1044-2016-6-50-61
- [8]. Hallquist J. LS-Dyna Keyword User's Manual. Livermore, USA, Livermore Software Technology Corporation. 1993-2003. 2206 p.
- [9]. Рубцова Б.Г. Возможности программы Ansys (CadFem). Гл.: ANSYS программа конечно-элементного анализа / Пер. и ред. Б.Г. Рубцова; оформление Л.П. Остапенко. М.: CAD-FEM GmbH. 1998. 66 с.
- [10]. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике. Пер. с англ. М.: Мир. 1975. 541 с.
- [11]. Шимкович Д.Г. Расчет конструкций в MSC. Visual Nastran for Windows. 2-е изд., перераб. и доп. М.: ДМК Пресс. 2004. 704 с.
- [12]. Шимкович Д.Г. Расчет конструкций в MSC / Nastran for Windows. М.: ДМК Пресс. 2003. 448 с.
- [13]. Чигарев А.В., Кравчук А.С., Смалюк А.Ф. Ansys для инженеров: Справочное пособие. М.: Машиностроение. 2004. 512 с.