

УДК 629.113

Исследование влияния конструкции кузова автомобиля на пассивную безопасность при ударе сзади

Солопов Д. Ю.¹, Зузов В. Н.^{1,*}

* zuzvalery@rambler.ru

¹МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

В работе создана конечно-элементная модель автомобиля, в котором установлено кресло с манекеном. С помощью программных комплексов, реализующих метод конечных элементов (МКЭ) (ANSYS, Femap и LS DYNA), проведена оценка автомобильных кресел с точки зрения пассивной безопасности в составе автомобиля в соответствии с требованиями EURO NCAP. Выполнено сравнение результатов расчетов по оценке пассивной безопасности автомобиля при ударе сзади с использованием конечно-элементных моделей всего автомобиля с установленным на него креслом и результатов, полученных при расчете кресла в отдельности. Проведенные расчёты на базе МКЭ, дали возможность выполнить оценку степени влияния кузова автомобиля на параметры пассивной безопасности при ударе сзади.

Ключевые слова: пассивная безопасность, краш-тест, автомобильное кресло, манекен, ударные нагрузки, деформации, напряжения, погрешность, МКЭ, LS-DYNA, EU-RO NCAP

Существующий комплекс испытаний кресел по Правилам EURO NCAP и 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 требованиям Правил, 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 испытаниями, при которых не происходит разрушения оцениваемого образца.

Поскольку метод конечных элементов (МКЭ) позволяет моделировать еще на стадии проектирования испытания любой сложности, то целесообразно проводить оценку автомобильных кресел с точки зрения пассивной безопасности в составе автомобиля.

Данная статья является развитием статей [1-4], в которых отражен процесс разработки методики улучшения пассивной безопасности автомобилей за счет создания автомобильных кресел как с активными, так и с пассивными подголовниками, отвечающих требованиям пассивной безопасности.

Целью данной статьи является оценка степени влияния кузова автомобиля на параметры пассивной безопасности при ударе сзади.

Расчет автомобиля совместно с установленным на него креслом позволяет более точно оценить обеспечиваемый уровень пассивной безопасности по сравнению с расчетом кресла в отдельности в соответствии с существующими методиками испытаний.

Энергоемкость каждого кузова автомобиля при ударе сзади имеет «свое» значение. Поэтому расчеты следует проводить для конкретного автомобиля с креслом, проектируемым под этот автомобиль. Для предварительных оценок можно использовать осредненные значения параметров автомобиля (кузова) как в случае использования деформируемого препятствия при испытаниях на фронтальный удар с частичным перекрытием.

Режимы нагружения в работе задавались в соответствии с требованиями Национальной Администрации США по Безопасности на Транспорте (NHTSA) и стандарту FMVSS 301 [12] (США), в процессе которых выполняется удар по стоящему автомобилю сзади другим автомобилем или специальной тележкой (в правилах ЕЭК ООН и EURO NCAP такие испытания не предусмотрены).



Рис.1 Схема испытаний по стандарту FMVSS 301

При этом барьер массой 1814 кг ударяет сзади стоящий на месте автомобиль со скоростью 48 км/ч (Рис. 1).

Расчет КЭМ автомобиля с установленным на него КЭМ автомобильного кресла

Для проведения исследований в качестве объекта был выбран автомобиль Chrysler Grand Caravan, для которого разработана КЭМ (Рис. 2), имеющая следующие особенности:

- модель состоит из 2 133 017 конечных элементов;
- в автомобиле установлено автомобильное кресло, в котором зафиксирован манекен BioRIDII;
- манекен пристегнут ремнем безопасности;
- измерение ускорений осуществляется в голове и на позвонке T1 манекена;
- платформа массой 1814 кг ударяет автомобиль сзади с начальной скоростью 48 км/ч (в соответствии с Правилами);
- с высокой детальностью смоделирован кузов автомобиля и упрощенно смоделированы узлы и агрегаты, находящиеся в подкапотном пространстве автомобиля;
- каркас кресла состоит из штампованных листов и трубчатых элементов;
- учитывается жесткость элементов каркаса (материал сталь (MAT_ELASTIC): плотность $7,88\text{E}+03 \text{ кг/м}^3$; модуль Юнга 200 ГПа, коэффициент Пуассона 0,3);
- к каркасу сидения и спинки прикреплены пружины, на которые опираются набивки спинки и сидения (жесткость пружин $20\text{E}+03 \text{ Н/м}$, 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^3 , 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).

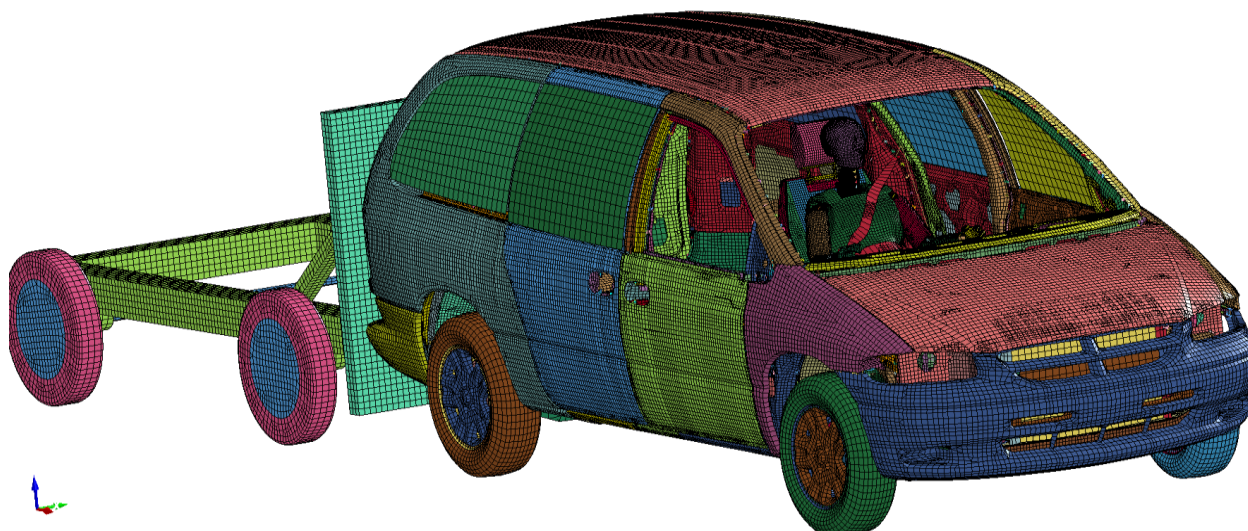


Рис. 2. Конечно-элементная модель автомобиля, в который установлено кресло с манекеном BioRIDII



Рис. 3. Изменение скорости и ускорения кресла при имитация «опасного» удара по автомобилю сзади (разгон до скорости 24 км/ч с ускорением 14g в течение 20 мс)

Оценка полученных результатов

По результатам проведенных экспериментов была выполнена оценка ускорения головы манекена, позвонка T8 и скорости головы относительно позвонка T8 (Рис. 4, Рис. 5, Рис. 6).

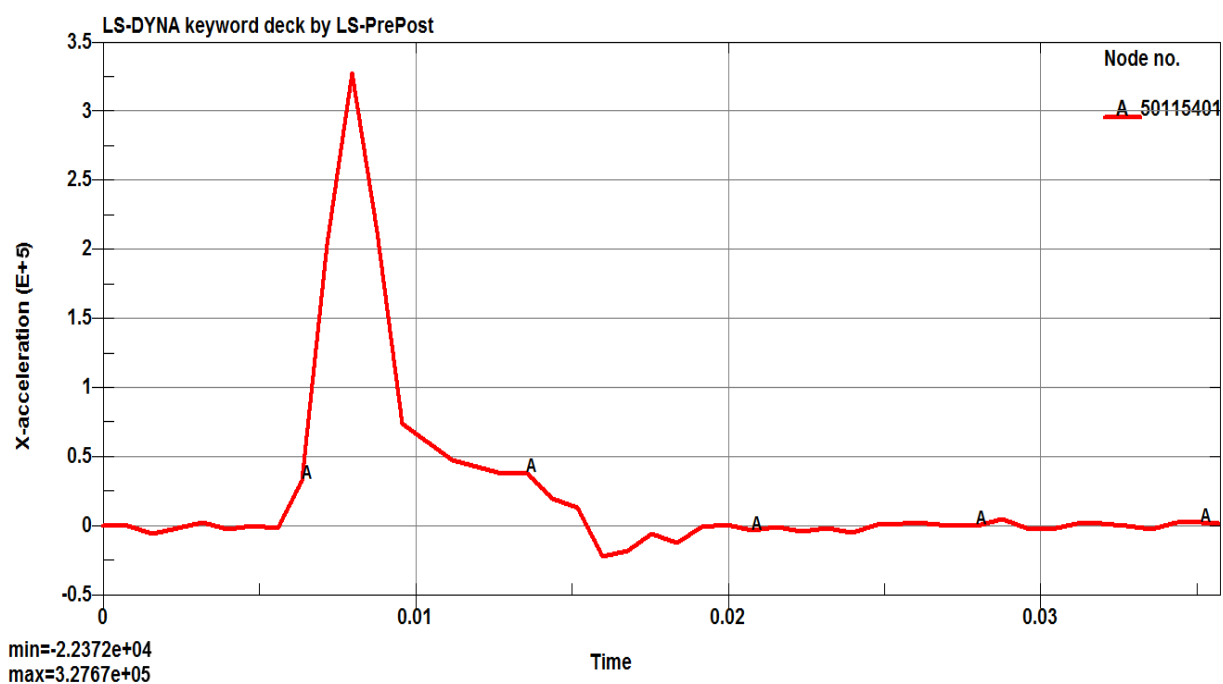


Рис. 4. Ускорение головы манекена при оценке пассивной безопасности при расчетах кресла в составе автомобиля

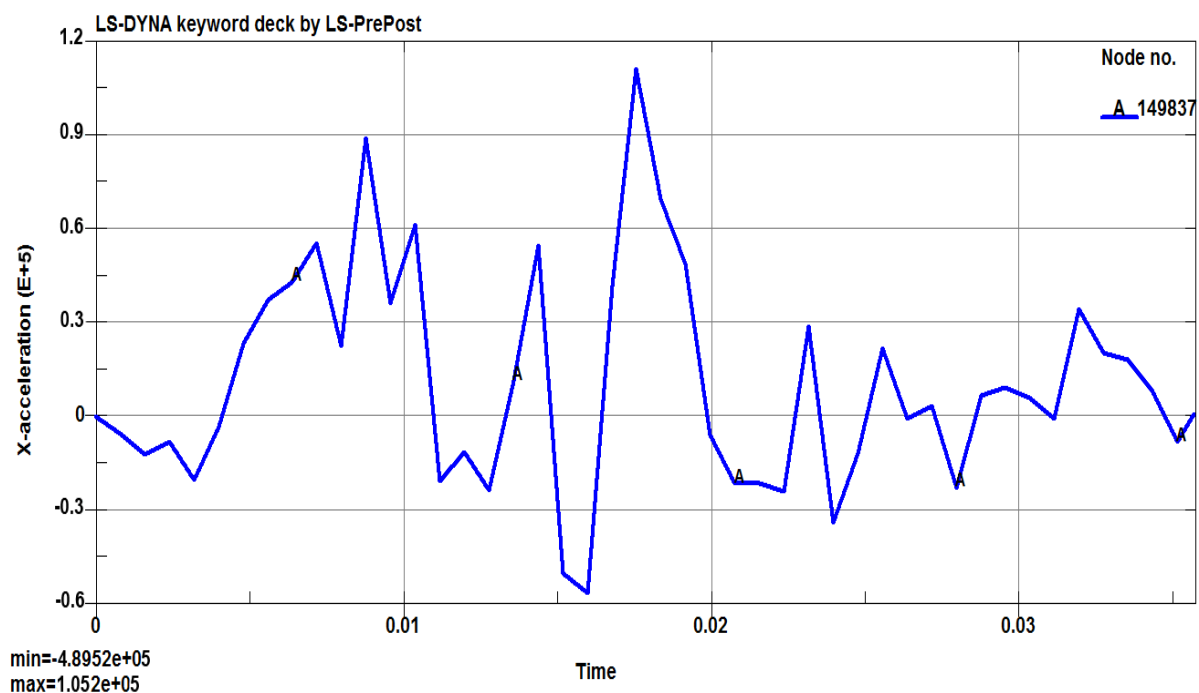


Рис. 5. Продольное ускорение позвонка T1 при оценке пассивной безопасности при расчетах кресла в составе автомобиля

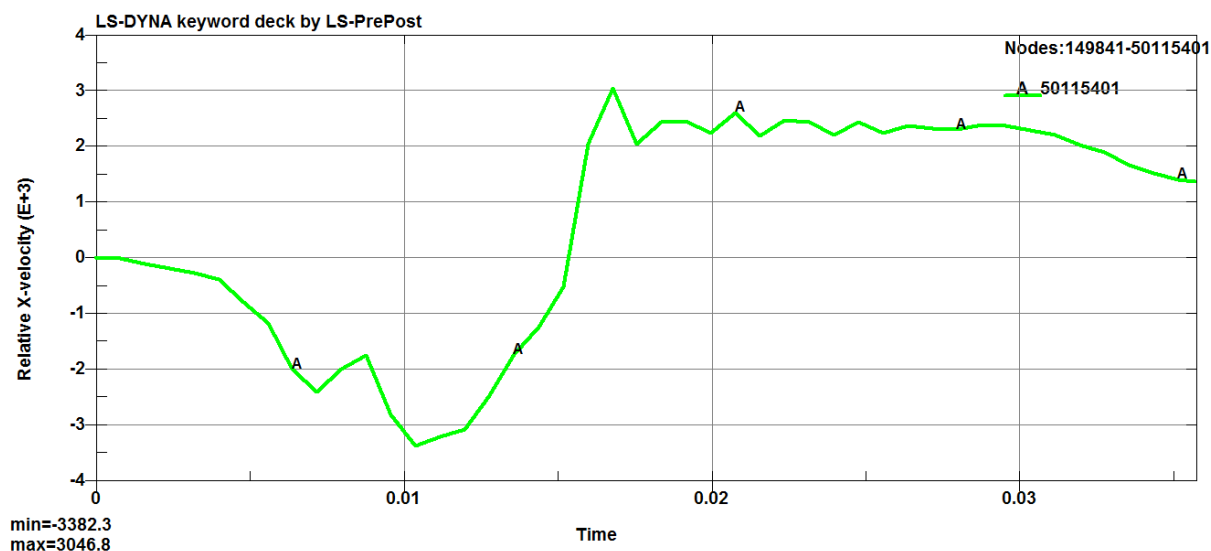


Рис. 6 Скорость головы относительно позвонка Т1 при оценке пассивной безопасности при расчетах кресла в составе автомобиля

Таблица 1.Результаты, полученные при испытаниях КЭМ кресла в составе автомобиля

Момент удара головы о подголовник, мс	0,008мс
Режим нагружения	Рис. 3
Продольное ускорение головы (X), g	33,3g
Продольное ускорение позвонка Т1(X) , g	10,7g
Ускорение головы по оси Z (X), g	4,2
Полное ускорение головы манекена $a_{\text{полное головы}}$	33,56g
Относительная скорость, м/с	1,8м/с
Критерий NIC	25,712
Перемещение набивки подголовника, мм	33,951
Время выполнения расчета программой LS-DYNA, час/мин	25ч 17мин

Сравнение результатов проведенных расчетов оценки пассивной безопасности автомобиля при ударе сзади с использованием КЭМ всего автомобиля, в котором установлено кресло с манекеном, свидетельствует о повышении точности результатов по сравнению с расчетом только кресла на 20 % [1].

По результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

- при оценке пассивной безопасности автомобиля с установленным на него креслом, значения скоростей, ускорений и критерия NIS получились ниже, чем при испытаниях кресла с манекеном в отдельности. Относительная погрешность (относительно результатов расчетов в режиме «опасного» удара КЭМ кресла высшего уровня в соответствии с требованиями EURO NCAP [1]) полного ускорения составила 32 %, относительная погрешность критерия NIS составила 33 %;
- при проведении расчетов на базе КЭМ автомобиля в целом получаются более точные результаты, чем при использовании нагрузочных режимов, имитирующих поглощение энергии кузовом автомобиля (на 20%);
- исследования КЭМ кресла в составе автомобиля дают возможность спроектировать кресло (с пассивным или активным подголовником), обеспечивающее наилучший уровень пассивной безопасности для данного автомобиля.

Список литературы

1. 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](https://doi.org/10.7463/0814.0724400)
2. 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](https://doi.org/10.7463/0414.0706991)
3. 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](https://doi.org/10.7463/0713.0578993)
4. 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](https://doi.org/10.7463/0613.0574693)
5. Hallquist J. LS-Dyna Keyword User's Manual. Livermore (USA): Livermore Software Technology Corporation, 1993-2003. 2206 p.
6. ANSYS программа конечно-элементного анализа / пер. и ред. Б.Г. Рубцова; оформл. Л.П. Остапенко. М.: CAD-FEM GmbH, 1998. 66 с.
7. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике: пер. с англ. М.: Мир, 1975. 541 с.
8. Шимкович Д.Г. Расчет конструкций в MSC Visual Nastran for Windows. М.: ДМК Пресс, 2004. 704 с.

9. Шимкович Д.Г. Расчет конструкций в MSC/Nastran for Windows. М.: ДМК Пресс, 2001. 448 с.
10. Чигарев А.В., Кравчук А.С., Смалюк А.Ф. ANSYS для инженеров: справ. пособие. М.: Машиностроение-1, 2004. 512 с.
11. 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](https://doi.org/10.7463/1214.0740048)
12. Federal Motors Vehicle Safety Standard 301 (FMVSS). N.Y. (USA): National Highway Safety & Traffic Administration (NHTSA), 2003. 56 p.

Investigating Car Body Construction Influence on the Passive Safety in a Rear Impact

D.Yu. Solopov¹, V.N. Zuzov^{1,*}

[*zuzvalery@rambler.ru](mailto:zuzvalery@rambler.ru)

¹Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

Keywords: passive safety, crush test, car seat, dummy, impact loads, deformations, stress, accuracy, finite element method (FEM), LS-DYNA, EURO NCAP

This article solves the task to assess how much a car body construction influences on the parameters of passive safety in a rear impact. The task concerns the impact and, as a result, is highly nonlinear with large values of deformations, stresses, and accelerations. A finite element method based on software systems LS-DYNA, ANSYS, FEMAP, and others solves this task.

One of the most important stages of the work was to develop the finite element models (FEM) of the car as a whole, as well as the car seat with a dummy mounted in the car. Body of the Chiseler Grand Caravan car, which parameters are close to average ones, was used as an object of research.

The results of calculations and experiments allowed us to find that in assessing the passive safety of a car, taking into consideration the body design with a seat mounted in it, values of velocities, accelerations, and NIC criterion turned out to be lower than when calculating the seat with a dummy separately. The relative error (relative to the results of calculations in the "dangerous" impact of FEM seat of the highest level in accordance with EURO NCAP) was 32% for full acceleration and was 33% for NIC criterion.

It was found that in the calculations based on the FEM car, as a whole, the results are more accurate than when using the load operation conditions simulating energy absorption by the car body (20%).

This leads to the conclusion that the calculations based on the FEM car with the seat mounted in it gives the possibility to design a seat (with passive or active headrest) to ensure the best level of passive safety of this car.

References

1. Solopov D.Yu., Zuzov V.N. Finite Element Models Development of Car Seats with Passive Head Restraints to Study Their Meeting Requirements for EURO NCAP. *Nauka i obrazovanie MGTU im. N.E. Baumana = Science and Education of the Bauman MSTU*, 2014, no. 8, pp. 78-100. DOI: [10.7463/0814.0724400](https://doi.org/10.7463/0814.0724400) (in Russian).

2. Solopov D.Yu., Zuzov V.N. Creating the finite element models of car seats with passive head restraints to meet the requirements of passive safety. *Nauka i obrazovanie MGTU im. N.E. Baumana = Science and Education of the Bauman MSTU*, 2014, no. 4, pp. 64-89. DOI: [10.7463/0414.0706991](https://doi.org/10.7463/0414.0706991) (in Russian).
3. Solopov D.Yu., Zuzov V.N. Problem of creating finite-element models of car seats with active head restraints to meet the requirements of passive safety. *Nauka i obrazovanie MGTU im. N.E. Baumana = Science and Education of the Bauman MSTU*, 2013, no. 7, pp. 115-144. DOI: [10.7463/0713.0578993](https://doi.org/10.7463/0713.0578993) (in Russian).
4. Solopov D.Yu., Zuzov V.N. Solving the problem of creation of finite element models for car seats with active head restraints designed to meet the requirements of passive safety. *Nauka i obrazovanie MGTU im. N.E. Baumana = Science and Education of the Bauman MSTU*, 2013, no. 6, pp. 131-150. DOI: [10.7463/0613.0574693](https://doi.org/10.7463/0613.0574693) (in Russian).
5. Hallquist J. *LS-Dyna Keyword User's Manual*. Livermore, USA, Livermore Software Technology Corporation, 1993-2003. 2206 p.
6. Rubtsov B.G., ed. *ANSYS programma konechno-elementnogo analiza* [ANSYS program of finite element analysis]. Transl. from English. Moscow, CAD-FEM GmbH, 1998. 66 p.
7. Zienkiewicz O.C. *The Finite Element Method in Engineering Science*. McGraw-Hill Publishing Co., London, 1971. 521 p. (Russ. ed.: Zienkiewicz O.C. *Metod konechnykh elementov v tekhnike*. Moscow, Mir Publ., 1975. 542 p.).
8. Shimkovich D.G. *Raschet konstruktsey v MSC Visual Nastran for Windows* [Calculation of designs in MSC Visual Nastran for Windows]. Moscow, DMK Press, 2004. 704 p. (in Russian).
9. Shimkovich D.G. *Raschet konstruktsey v MSC/Nastran for Windows* [Calculation of designs in MSC/Nastran for Windows]. Moscow, DMK Press, 2001. 448 p. (in Russian).
10. Chigarev A.V., Kravchuk A.S., Smalyuk A.F. *ANSYS dlya inzhenerov* [ANSYS for engineers]. Moscow, Mashinostroenie-1 Publ., 2004. 512 p. (in Russian).
11. Solopov D.Yu., Zuzov V.N. Active Head Restraints Used to Improve the Car Seats Safety in a Rear Impact Situation, in Accordance with the Requirements of EURO NCAP. *Nauka i obrazovanie MGTU im. N.E. Baumana = Science and Education of the Bauman MSTU*, 2014, no. 12, pp. 323-338. DOI: [10.7463/1214.0740048](https://doi.org/10.7463/1214.0740048) (in Russian).
12. Federal Motors Vehicle Safety Standard 301 (FMVSS). N.Y. (USA), National Highway Safety & Traffic Administration (NHTSA), 2003. 56 p.