

УДК 629.113

Использование активных подголовников с целью повышения безопасности автомобильных кресел при ударе сзади в соответствии с требованиями EURO NCAP

Солопов Д.Ю.¹, Зузов В.Н.^{1,*}

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

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

В работе созданы конечно-элементные модели автомобильных кресел с активными подголовниками трех различных типов конструкций, в том числе модель активного подголовника, который снабжен надувающейся подушкой. С помощью программных комплексов, реализующих МКЭ (ANSYS, Femap и LS DYNA), выполнен анализ эффективности данных конструкций с точки зрения обеспечения пассивной безопасности в соответствии с требованиями EURO NCAP и дана их сравнительная оценка. Кроме того, проведен анализ по оценке эффективности данных конструкций по сравнению с креслами с пассивными подголовниками. Проведенные расчёты на базе МКЭ, дали возможность проанализировать большой массив информации о процессе аварийного нагружения, необходимой для проведения расчётной оценки безопасности кресел с активными подголовниками в случае удара по автомобилю сзади, и наметить пути по улучшению их конструкций.

Ключевые слова: пассивная безопасность, активный подголовник, кресло, манекен, ударные нагрузки, деформации, напряжения, погрешность, МКЭ, LS-DYNA, EURO NCAP

Автомобильные производители с каждым годом расширяют модельный ряд автомобилей, на которые устанавливаются кресла, оснащенные активными подголовниками. Конструкции таких кресел являются более сложными по сравнению с креслами, оснащенными пассивными подголовниками. В связи с этим процесс проектирования данных конструкций является более трудоемким и требует высокой квалификации от инженеров-расчетчиков.

Данная статья посвящена решению актуальной в настоящее время проблемы обеспечения наилучшего уровня пассивной безопасности автомобильных кресел с активными подголовниками, а также оценке эффективности разных конструкций.

Предлагаемая статья является развитием статей [1-4] применительно к оценке пассивной безопасности автомобильных кресел с активными подголовниками в соответствии с требованиями организации EURO NCAP.

Для решения поставленной задачи был проведен анализ существующих видов конструкций кресел с активными подголовниками. В результате выделены три группы конструк-

ций и типовые варианты для каждой группы. Для типовых конструкций разработаны конечно-элементные модели (КЭМ) кресел (Рис. 1, 10, 14) и проведены исследования, представленные ниже, с использованием ряда CAD (Computer Aided Design, Система Автоматизированного Проектирования) и CAE (Computer Aided Engineering) программ [6-10].

КЭМ кресла с активным подголовником, шарнирно соединенным со спинкой

Для КЭМ кресла, имитирующей активный подголовник, шарнирно соединенного со спинкой (Рис. 1), специально разработан закон движения подголовника (Рис. 2), позволяющий максимально снизить ускорения и нагрузки на голову и шею в момент удара. Эта КЭМ кресла соответствует модели высшего (3-го) уровня [1].

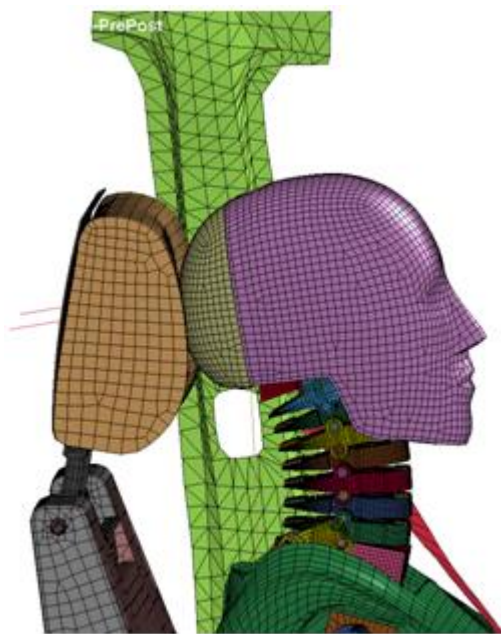


Рис. 1. КЭМ кресла с активным подголовником, шарнирно соединенным со спинкой

Модель имеет следующие особенности:

- каркас подголовника, шарнирно соединен с каркасом спинки;
- упругие и демпфирующие элементы, расположенные сзади подголовника (Рис. 1), обеспечивают выполнение закона его движения (Рис. 2), в соответствии с которым подголовник кинематически движется навстречу голове и после удара возвращается вместе с головой в исходное положение;
- в кресле усажен манекен BioRIDII, который пристегнут ремнем безопасности;
- измерение ускорений осуществляется в голове и на позвонке T1 манекена;
- кресло зафиксировано на движущейся платформе;

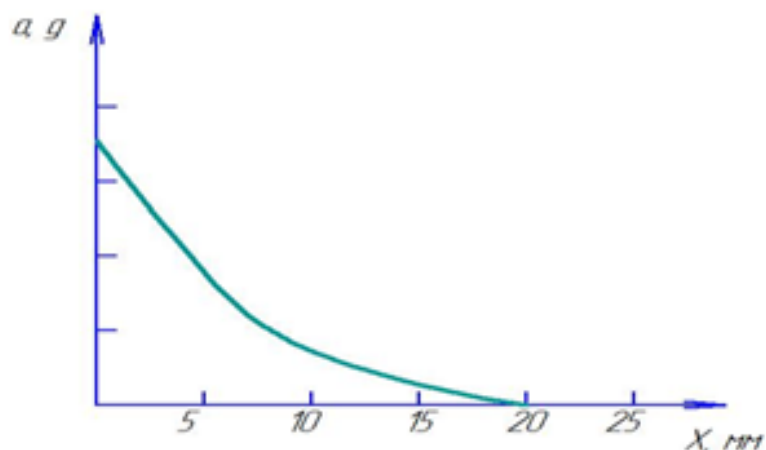


Рис. 2. График предлагаемой зависимости ускорения от перемещения подголовника в момент удара

- имитируется движение кресла вперед в режиме нагружения «тяжелый» удар в соответствии с рисунком 3;

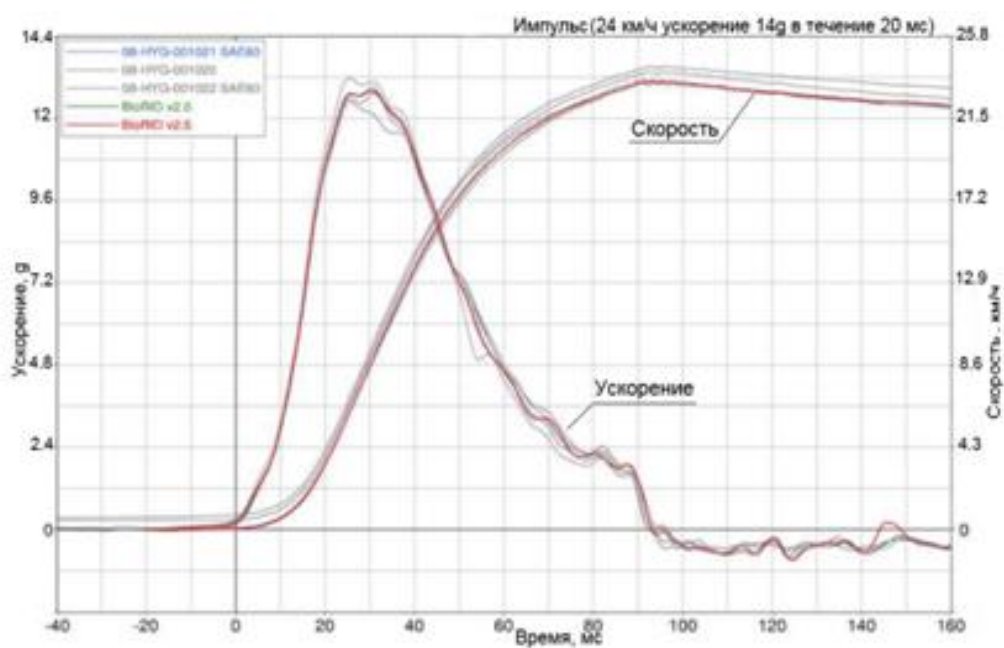


Рис. 3. Изменение скорости и ускорения кресла при имитация «опасного удара» по автомобилю сзади (разгон до скорости 24 км/ч с ускорением 14g в течение 20 мс)

- точки крепления ремня безопасности зафиксированы на стойке-элементе кузова;
- каркас кресла состоит из штампованных листов и трубчатых элементов;
- учитывается жесткость элементов каркаса (материал сталь (MAT_ELASTIC): плотность $7,88E+03$ кг/м³; 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 [5]) плотностью 27 кг/м^3 , коэффициент Пуассона 0, модуль Юнга 100 МПа, кроме того, задается кривая зависимости напряжения от перемещения № 5 (Рис. 4);

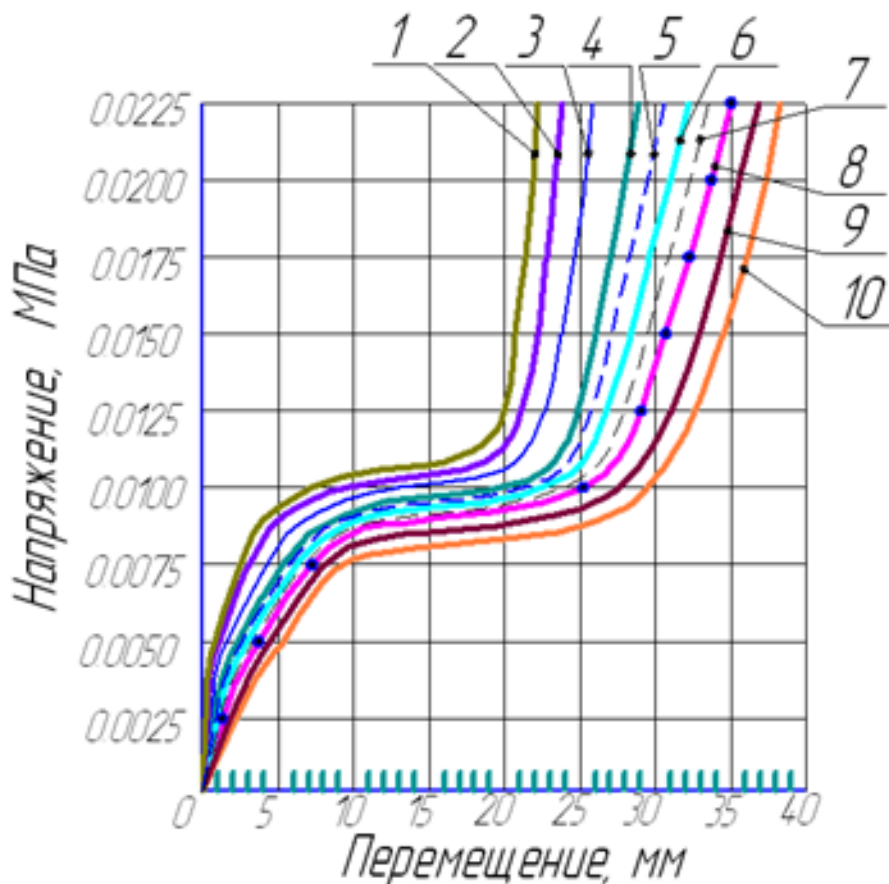


Рис. 4. Зависимость перемещения материала подголовника от напряжения на поверхности контакта

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

В модели сделаны допущения:

- не учитываются гистерезисные потери при трении в пенополиуретановом (MAT_LOW_DENSITY_FOAM [5]) материале набивки кресла.

При ударе использовался режим нагружения в соответствии с рис. 3, при этом, подголовнику был задан закон движения, при котором подголовник кинематически движется навстречу голове и после удара возвращается вместе с головой в исходное положение.

Испытания при ударе со скоростью 16 км/ч не проводились, так как на предыдущем этапе работы было установлено, что в этом режиме нагружения кресло соответствует требованиям методики EURO NCAP.

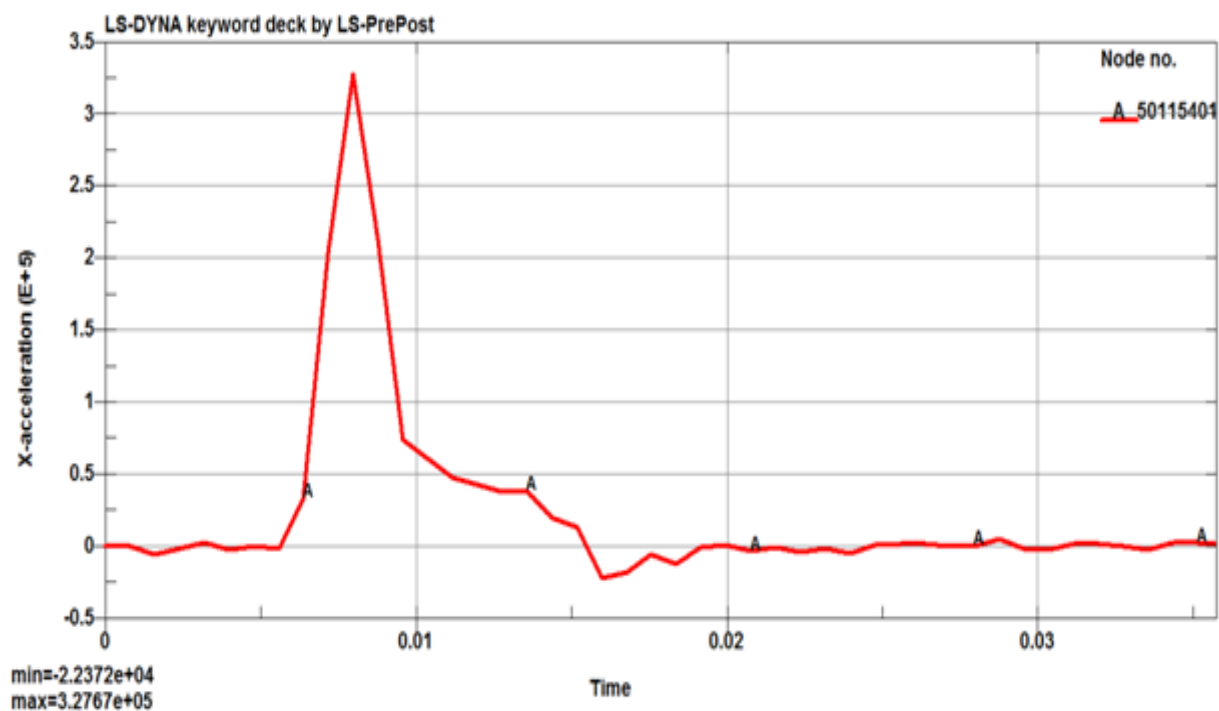


Рис. 5. Ускорение головы манекена в режиме нагружения «опасный удар»
(24 км/ч ускорение 14 g в течение 20 мс)

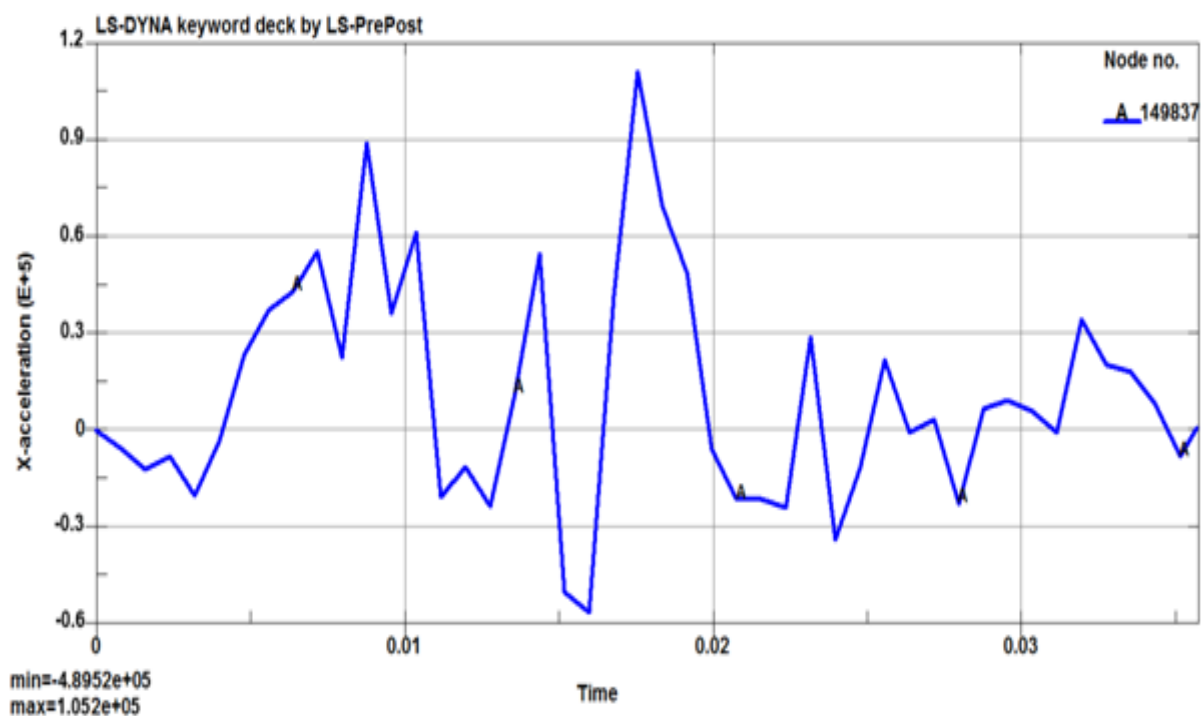


Рис. 6. Скорость головы относительно позвонка T1 по продольной оси («опасный удар»)

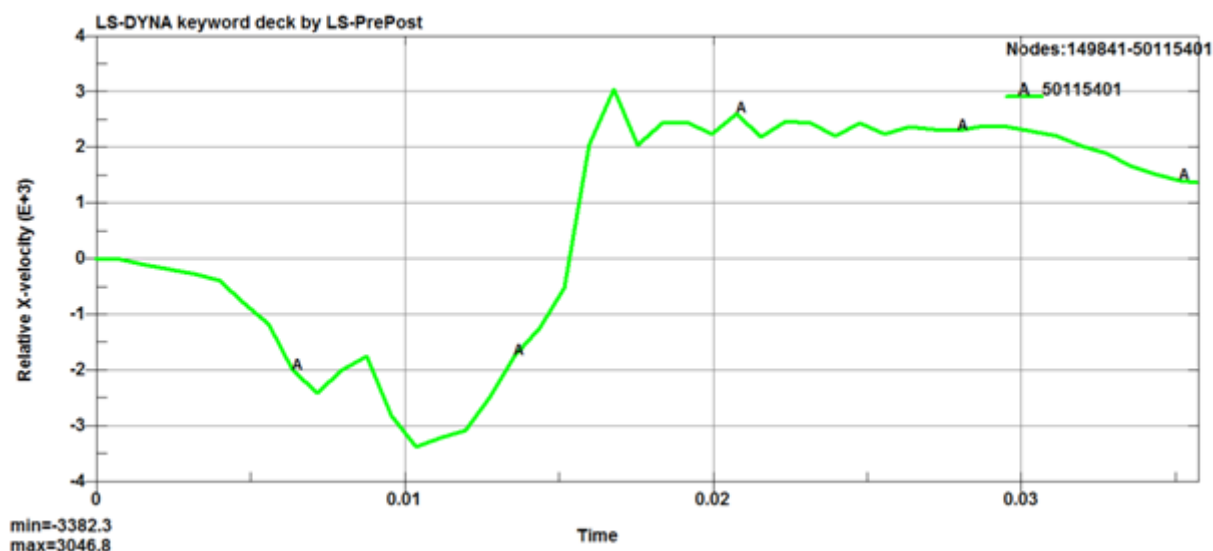


Рис. 7. Продольное ускорение позвонка T1 в режиме нагружения «опасный удар»
(24 км/ч ускорение 14 g в течение 20 мс)

КЭМ кресла с активным подголовником, который выдвигается навстречу голове при ударе

Для проведения исследований была создана КЭМ, имитирующая активный подголовник от кресла автомобиля марки Mercedes (Рис. 9), который можно рассматривать как типичный для такого вида конструкций. Подушка может выдвигаться за счет энергии сжатой пружины, активируемой при срабатывании датчика в момент удара (Рис. 10).



Рис. 9. Активный подголовник кресла автомобиля марки Mercedes

Здесь также предлагается использовать разработанный закон движения (Рис. 2), в соответствии с которым обеспечивается перемещение подголовника в прямолинейном направлении. Энергия удара гасится упругими элементами, установленными между подголовником и каркасом.

LS-DYNA keyword deck by LS-PrePost
Time = 0.0095999

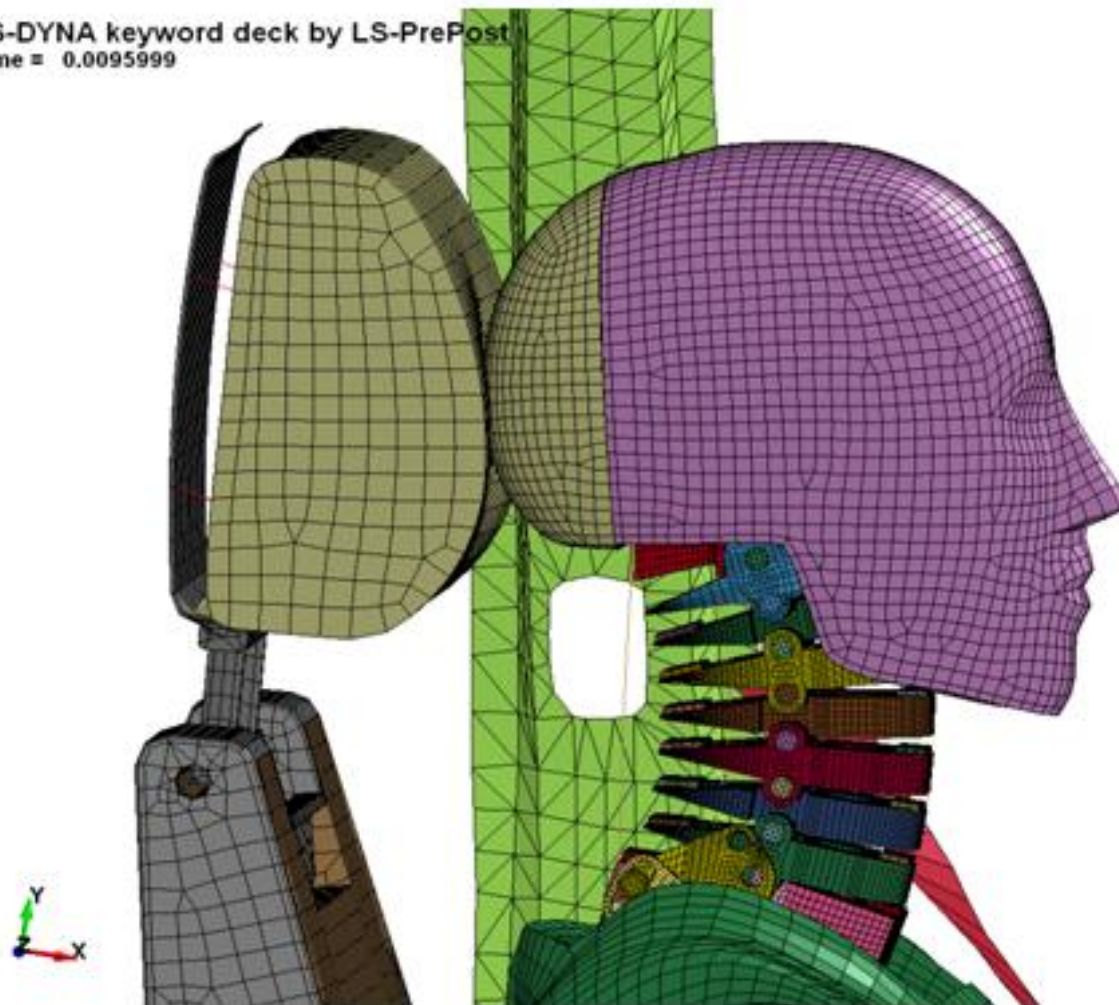


Рис. 10. КЭМ кресла с активным подголовником, который выдвигается навстречу голове при ударе

Разработанная КЭМ активного подголовника (Рис. 10) имеет следующие особенности:

- подушка подголовника, соединенная упругими и демпфирующими элементами с каркасной частью, выдвигается навстречу голове при ударе;
- задается закон движения (Рис. 2), в соответствии с которым подголовник кинематически движется навстречу голове и после удара возвращается вместе с головой в исходное положение;
- в кресле усажен манекен BioRIDII, который пристегнут ремнем безопасности;
- измерение ускорений осуществляется в голове и на позвонке T1 манекена;
- кресло зафиксировано на движущейся платформе;
- имитируется движение кресла вперед для режима нагружения в соответствии с Рис. 3;
- точки крепления ремня безопасности зафиксированы на стойке-элементе кузова;
- прочие характеристики кресла (характеристики материалов, пружин и т.д.) и его компонентов соответствуют предыдущей КЭМ (Рис. 1).

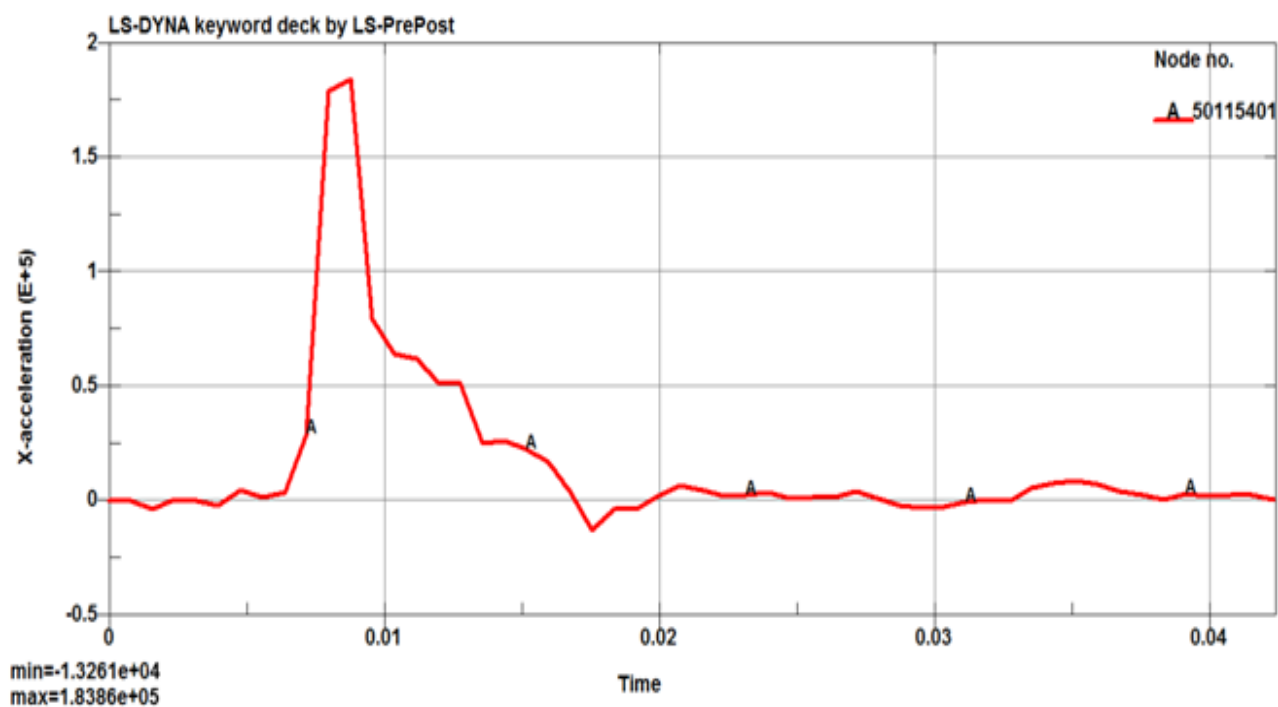


Рис. 11. Ускорение головы манекена в режиме нагружения «опасный удар»
(24 км/ч ускорение 14 g в течение 20 мс)

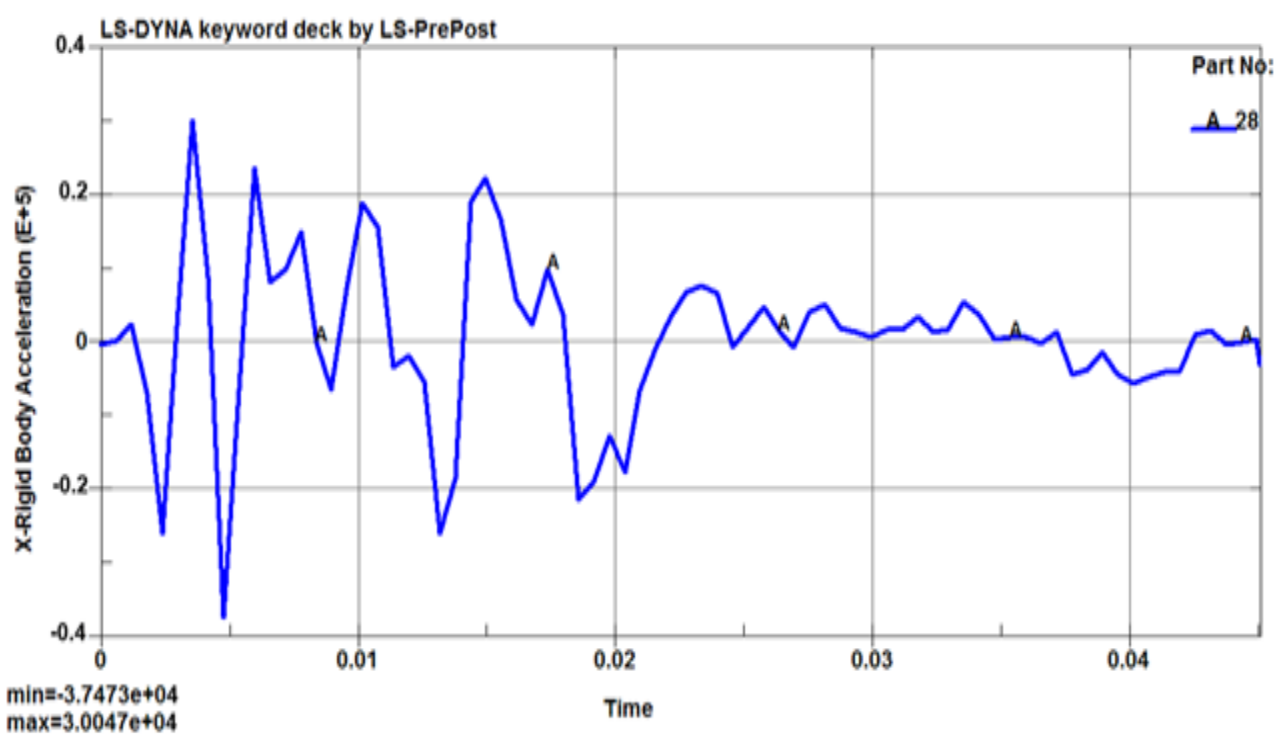


Рис. 12. Продольное ускорение позвонка T1 в режиме нагружения «опасный удар»

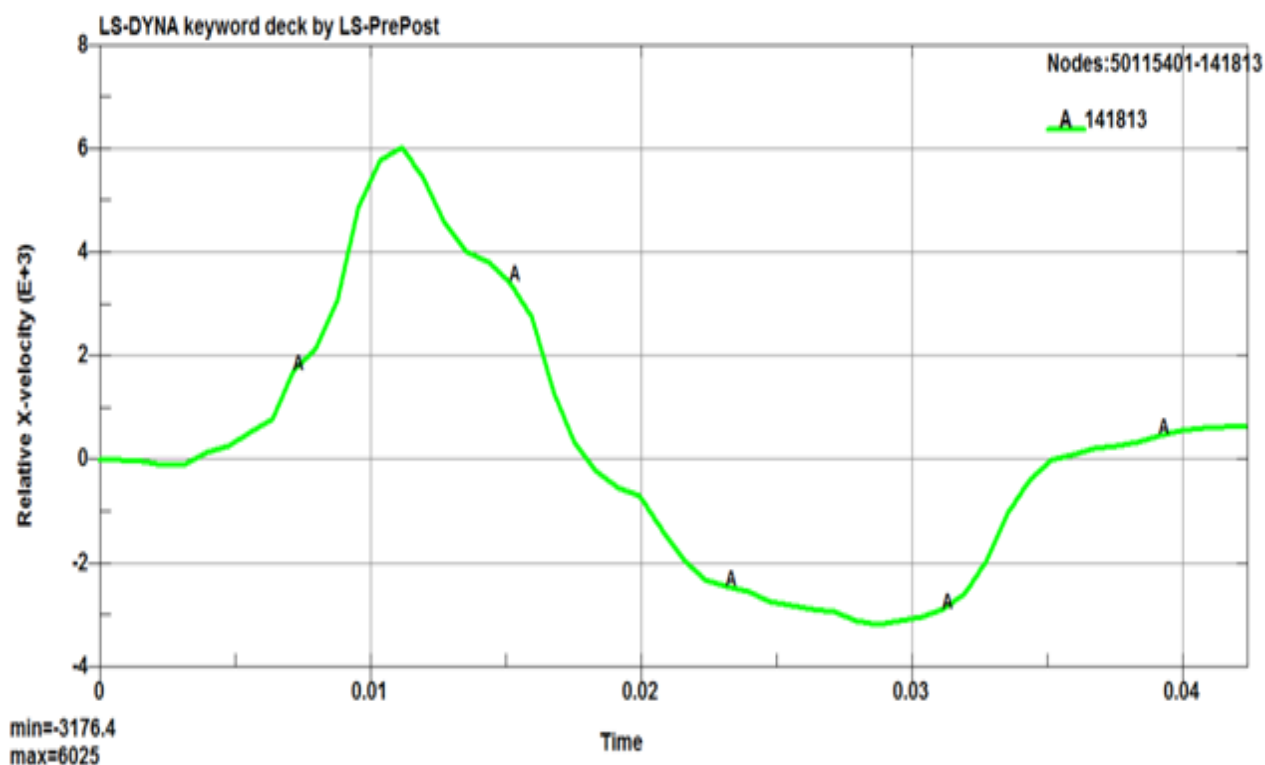


Рис. 13. Скорость головы относительно позвонка T1 по продольной оси («опасный удар»)

КЭМ кресла с активным подголовником, который оснащен надувающейся подушкой

Такая подушка может надуваться при срабатывании датчика как за счет газа, подаваемого под давлением из баллона, так и за счет газа, выделяющегося при взрыве пиротехнического устройства («про-активный» способ). Подушка также может надуваться при нажатии спиной на резервуар с газом, который располагается в спинке кресла («ре-активный» способ).

Разработанная КЭМ активного подголовника (Рис. 14) имеет следующие особенности:

- при ударе за головой манекена «надувается» КЭМ подушки, которая прикреплена beam-элементами к подголовнику;
- подголовник зафиксирован на спинке кресла и не движется навстречу голове;
- остальные особенности КЭМ кресла и имитационного стенда соответствуют моделям, описанным выше (Рис. 1 и Рис. 10).

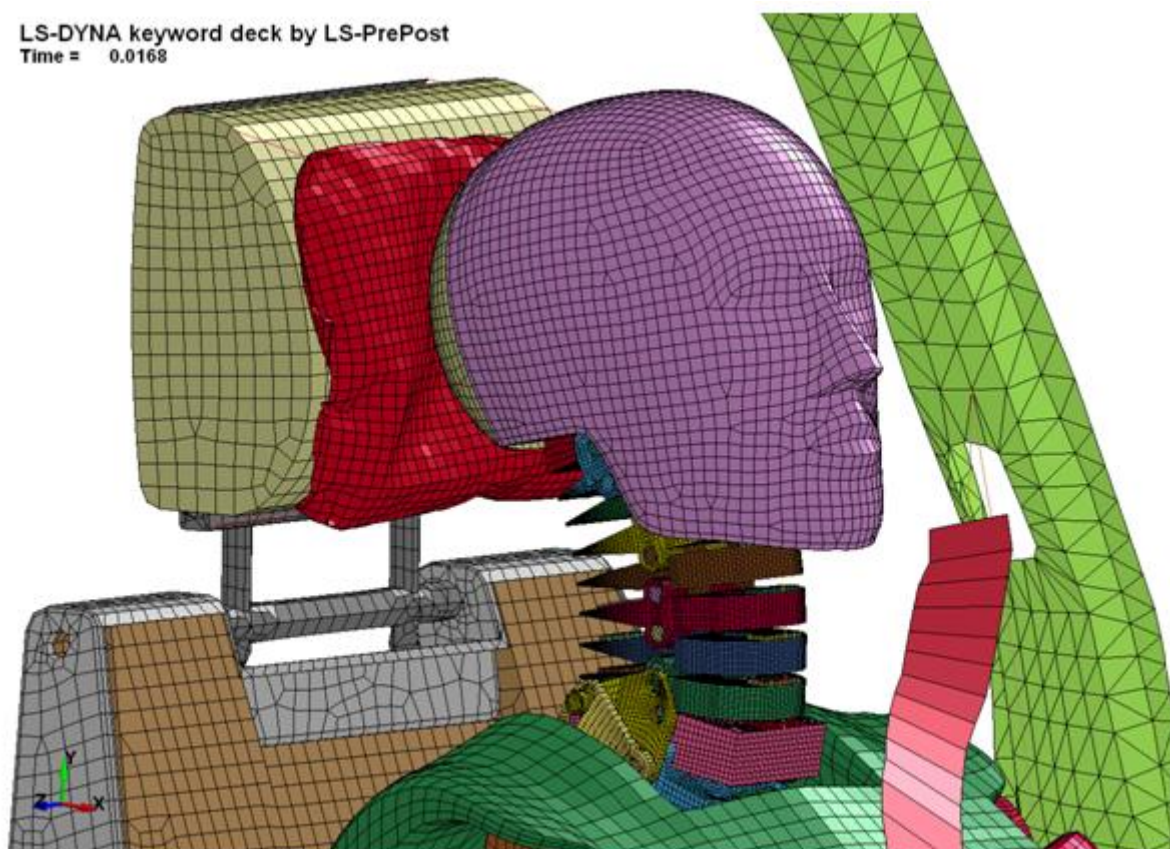


Рис. 14. КЭМ кресла с активным подголовником, который снабжен надувающейся подушкой

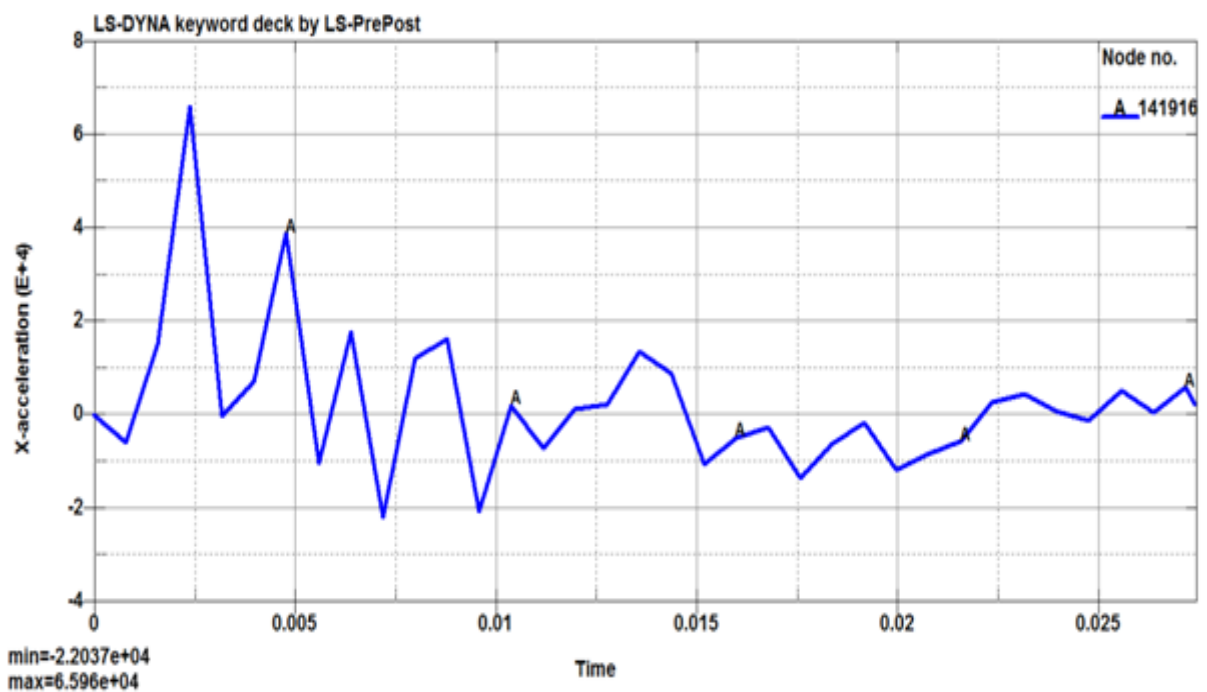


Рис. 15. Продольное ускорение позвонка T1 в режиме нагружения «опасный удар» (24 км/ч ускорение 14 g в течение 20 мс)

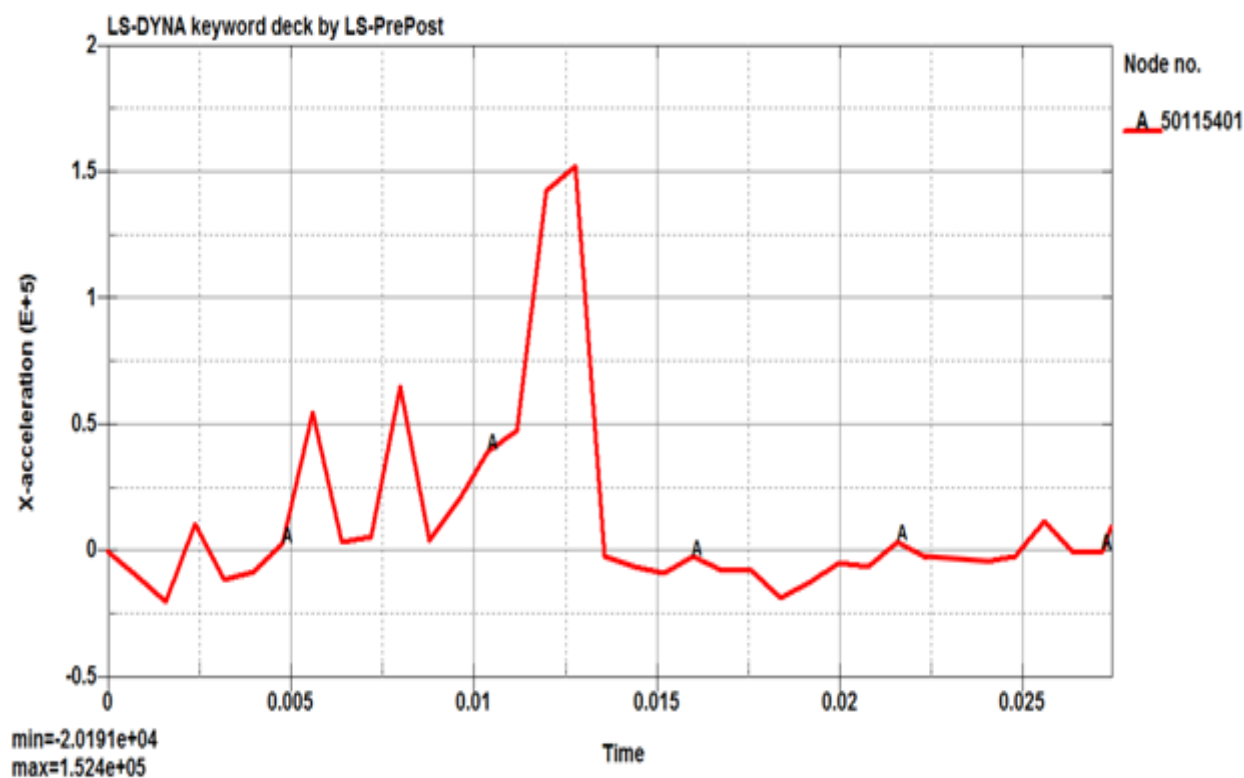


Рис. 16. Ускорение головы манекена в режиме нагружения «опасный удар»

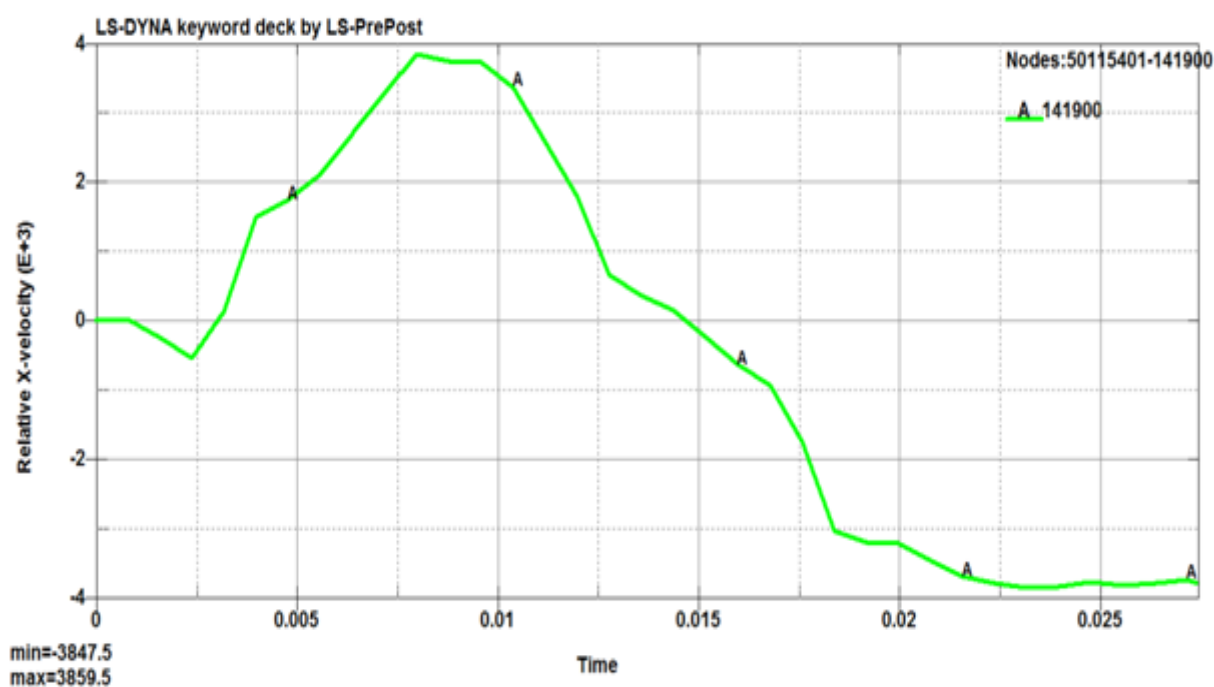


Рис. 17. Скорость головы относительно позвонка T1 по продольной оси («опасный удар»)

Результаты расчетов КЭМ приведены на рис. 15, 16, 17. Общие результаты расчетов КЭМ трех вариантов различных систем активных подголовников (Рис. 1, 10, 14) представлены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты, полученные при испытаниях КЭМ кресла с активными подголовниками

Модель подголовника	КЭМ кресла с активным подголовником (Рис. 1), который шарнирно соединен со спинкой.	КЭМ кресла с активным подголовником (Рис. 10), подушка которого выдвигается навстречу голове при ударе.	КЭМ кресла с активным подголовником (Рис. 14), который снабжен надувающейся подушкой.
Момент удара головы о подголовник, мс	0,008мс	0,008мс	0,013мс
Режим нагружения	Рис. 3	Рис. 3	Рис. 3
Продольное ускорение головы (X), g	33,3g	18,6g	15,5g
Продольное ускорение позвонка T1(X), g	10,7g	3,0g	6,6g
Ускорение головы по оси Z (X), g	4,2g	3,3g	3,1g
Полное ускорение головы манекена $a_{\text{полное головы}}$	33,56g	18,89g	15,80g
Относительная скорость, м/с	1,8м/с	2,5м/с	1 м/с
Критерий NIC	36,92	29,23	26,15
Перемещение набивки подголовника, мм	33,951	31,124	32,991
Время выполнения расчета программой LS-DYNA, час/мин	25ч 17мин	24ч 27мин	24ч 45мин

Анализ результатов моделирования поведения кресел с активными подголовниками

За счет применения активных подголовников удалось существенно снизить значение критерия NIC до: 36,92 при использовании активного подголовника с шарнирно наклоняющейся мягкой частью; 29,23 при использовании активного подголовника с выдвигающейся подушкой; 26,15 при использовании активного подголовника, который снабжен надувающейся подушкой. При этом удалось добиться существенного снижения ускорения головы при ударе.

КЭМ кресла с активным подголовником, который снабжен надувающейся подушкой, является наиболее безопасной, так как значение критерия NIC при ударе составило 26,15.

Выводы

По результатам расчетов, приведенных в статье, можно сделать следующие выводы:

- использование КЭМ только подголовника (без моделирования кресла) целесообразно для предварительных расчетов с целью подбора характеристик набивки;
- при оценке по методикам ЕЭК ООН №25 и EURO NCAP «грубые» КЭМ (1-го и 2-го уровней) можно рассматривать как рациональные (с позиций трудозатрат на ее созда-

ние и решение задачи и по погрешностям результатов) и их целесообразно использовать для предварительных и многовариантных расчетов. Детальные модели (3-го уровня) обеспечивают наибольшую точность (12 %).

- за счет применения активных подголовников удалось существенно снизить значение критерия NIS до 36,92 (на 4%) при использовании активного подголовника с шарнирно наклоняющейся мягкой частью, 29,23 (на 24%) при использовании активного подголовника с выдвигающейся подушкой, 26,15 (на 31%) при использовании активного подголовника, который снабжен надуваемой подушкой. При этом удалось добиться существенного снижения ускорения головы при ударе.

- КЭМ кресла с активным подголовником, который снабжен надуваемой подушкой, является наиболее безопасной, так как значение критерия NIS при ударе наименьшее (26,15).

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.

Active Head Restraints Used to Improve the Car Seats Safety in a Rear Impact Situation, in Accordance with the Requirements of EURO NCAP

D.Yu. Solopov¹, V.N. Zuzov^{1,*}

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

¹Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

Keywords: passive Safety, active head restraint, car seat, , impact loads, dummy, deformations, stress, accuracy, finite element method (FEM), LS-DYNA, EURO NCAP

This article is devoted to the urgent, presently, problem that is to ensure the best level of the passive safety of car seats with active head restraints, as well as to assess the effectiveness of such constructional designs. This is an impact-related task, to be, as a consequence, essentially nonlinear with large deformations, strains and accelerations.

To solve this problem finite element models of three types of seat designs with active head restraints have been developed. When creating the simulation FEM a number of CAD (Computer Aided Design)/CAE (Computer Aided Engineering) software was used.

This work was performed within the framework of the developed technique, which allows an efficient creation of the car seat designs with passive and active head restraints that meet requirements of the passive safety.

The results of calculations and experiments allowed us to find that the active head restraint significantly reduced a NIC (Neck Injury Criterion) value, namely up to 36.92 (4%) when using the active headrest with articulated tilting couch, 29.23 (per 24%) when using the active headrest with sliding pad, and 26.15 (31%) when using the active head restraint, which is provided with an airbag. We have also managed to achieve significantly reduced head acceleration under impact.

It was found that FEM seats with active head restraint, which is provided with an airbag, are the most secure because of the least NIC value under the impact (26.15).

Presented in the article materials are used in teaching students at the department “Wheeled vehicles” of scientific and educational complex “Special engineering” in BMSTU.

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)
2. Solopov D.Iu., 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)
 3. Solopov D.Iu., 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)
 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 konstruktsiy 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 konstruktsiy 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).