

Разработка конечно-элементных моделей автомобильных кресел с пассивными подголовниками, отвечающих требованиям пассивной безопасности

04, апрель 2014

DOI: 10.7463/0414.0706991

Солопов Д. Ю., Зузов В. Н.

УДК 629.113

Россия, МГТУ им.Н.Э.Баумана

po44chta@mail.ru

zuzov@mx.bmstu.ru

В настоящее время основной акцент по оценке пассивной безопасности автомобильных кресел сделан на компьютерное моделирование (методом конечных элементов), а натурные испытания стремятся проводить на завершающей стадии (проверка адекватности расчетов и сертификация). При этом необходимо использовать модели, которые будут обеспечивать наибольшую точность результатов (для их обоснованного выбора использовались конечно-элементные модели (КЭМ) 3-х уровней). Этого можно добиться за счет максимального учета физических свойств компонентов кресла (жесткость/податливость каркаса с учетом нелинейности характеристик, упругие и демпфирующие свойства шарниров, пружин и т.д.), особенностей конструкции и геометрических параметров, а также за счет детального разбиения модели на конечные элементы (КЭ). На начальной стадии целесообразно использовать более грубые модели (1-го и 2-го уровней), в которых не учитываются различные особенности конструкции, а также не задаются физические свойства компонентов. Их достоинства в том, что они рассчитываются компьютером за относительно небольшой период времени, что позволяет быстро получить предварительные результаты и оценить основные особенности конструкции, характеристики материалов, свойства шарниров и т.д.

Для создания имитационной КЭМ необходимо использовать ряд САД (Computer Aided Design, Система Автоматизированного Проектирования) и САЕ (Computer Aided Engineering) программ. При создании пространственной модели автомобильного кресла использовались программы Solid Works, Компас и AutoCAD, для разбиения модели на сетку конечных элементов использовалась программа Femap & Nastran [1]. Для задания граничных условий, контактных условий, а также для просмотра итоговых результатов использовалась программа LS-Prepost. Расчет имитационной модели осуществлялся про-

граммой LS-DYNA, для которой в блокноте (notepad) был скомпонован исполняемый файл с использованием команд, которые описаны в документе «LS-DYNA KEYWORD USER'S MANUAL» [2]. Запуск исполняемого файла на решение программой LS-DYNA осуществлялся из программ ANSYS Mechanical APDL Product Launcher [3] и LS-DYNA Program Manager.

Данное программное обеспечение позволяет получить сетку КЭ, отвечающую заданным критериям по Якобиану, отклонению от плоскостности и др., и при необходимости выполнить операции по оптимизации геометрии для получения оптимальной сетки КЭ.

Принципы разработки конечно-элементных моделей подголовников и автомобильных кресел разных уровней сложности

Обоснование выбора типов конечных элементов

Точность получаемых результатов и время расчета КЭМ компьютером в значительной степени зависит от типов КЭ и их количества, используемых в модели.

Это позволяет по-разному описывать одну и ту же конструкцию не только с точки зрения детализации ее отдельных элементов, но и использовать разные подходы к построению моделей. Соответственно, КЭМ, составленные из различных типов КЭ, будут различаться между собой по размерности, точности и т.д. Поэтому целью данной статьи является обоснование выбора типа конечных элементов, которые будут использоваться при построении базовых КЭМ, описание принципов составления рациональной КЭМ и отработка основных подходов для решения быстротекущих нелинейных задач (удара).

В разработанных моделях элементы набивки (Рис. 3) и детали каркаса простой конструкции (Рис. 8) выполнялись трехмерными элементами (solid) с гексагональной сеткой КЭ (hexa). Достоинство данной сетки в том, что она, в основном, состоит из параллелепипедов и имеет более четкую структуру, чем тетрагональная сетка КЭ. Это позволяет создавать сетки с относительно небольшим количеством узлов, что обеспечивает сокращение времени расчета и обеспечить при этом необходимую точность результатов.

Детали каркаса сложной конструкции (Рис. 10) выполнялись трехмерными элементами (solid) с тетрагональной сеткой КЭ (tetra). Достоинство данной сетки в том, что она генерируется программой автоматически и позволяет создавать КЭМ объектов сложной формы. Однако, количество узлов в такой сетке, как правило, на порядок больше, чем в гексагональной, что приводит к значительному увеличению времени расчета.

Поскольку каркас кресла обладает различными геометрическими особенностями, включая отверстия, выштамповки и т.д., то для полного их учета необходимо измельчать сетку конечных элементов в данных областях. Это тонкостенные конструкции. Поэтому применялись двумерные оболочечные конечные элементы, которые могут быть треугольной, четырехугольной (частные случаи – прямоугольной и квадратной) формы. Оп-

тимальной, с точки зрения качества сетки конечных элементов, является комбинированная схема, в которой преобладают оболочечные КЭ прямоугольного типа. Выбор комбинированной схемы обусловлен сложной пространственной геометрией конструкции, из-за чего использование только КЭ прямоугольного типа может привести к сильной деформации элемента и как следствие – падению точности полученных результатов. При этом следует свести использование треугольных КЭ к минимуму, поскольку с увеличением числа КЭ треугольного типа возрастает погрешность.

Оптимальным для отверстия является конфигурация сетки, при которой узлы расположены концентрично, по отношению к центру отверстия, и имеется один и более рядов КЭ (Рис. 1).

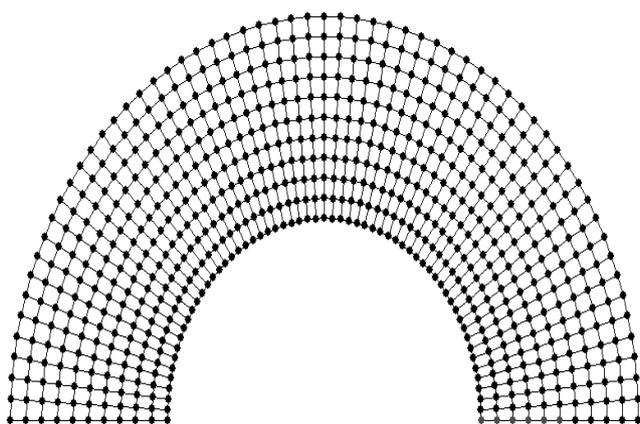


Рис. 1. Построение сетки КЭ вокруг отверстий

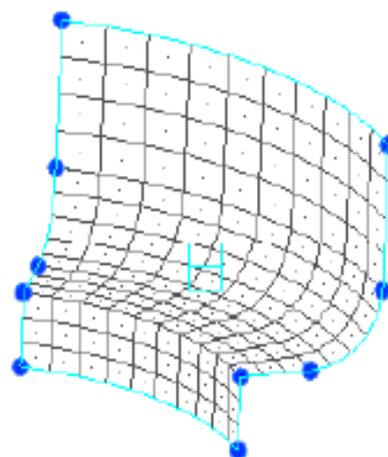


Рис. 2. Варианты построения сетки КЭ при моделировании ниш

Различные ниши следует описывать сеткой КЭ, так же имеющей концентричный характер (Рис. 2).

Чехлы (Рис. 9) и ремень безопасности (Рис. 12) моделировались оболочными элементами (shell). КЭ данного типа позволяют создавать модели тонкостенных конструкций, которые рассчитываются компьютером за минимальный период времени и позволяют обеспечить необходимую точность результатов.

Подвес маятника (Рис. 11), ряды плоских пружин, которые обеспечивают упругие свойства спинке кресла и сидению, а также демпфирующие элементы моделировались линейными элементами (beam).

Обоснование контактных условий, заданных в КЭМ

Контакты между элементами комплексной расчетной модели, которые взаимодействуют в процессе удара, моделировались при помощи интерфейса CONTACT_AUTOMATIC_SURFACE_TO_SURFACE.

Данный интерфейс представляет собой трехмерный алгоритм описания контактов между любыми сторонами элементов конструкции и учета трения между элементами с указанием коэффициента трения. В интерфейсе реализован контакт поверхность-поверхность, т.е. поверхность элементов основного тела (master segment) касается по-

верхности элементов другого (slave segment). В отличие от большинства других контактных интерфейсов пользователю не приходится заранее прогнозировать контактные поверхности.

Контакты между компонентами модели, которые постоянно соприкасаются в процессе расчёта (подголовник – чехол; набивка – каркас), моделировались при помощи интерфейса CONTACT_TIED_SURFACE_TO_SURFACE. Данный контакт допускает лишь незначительные перемещения между поверхностями основного (master segment) и второстепенного тела (slave segment).

Особенности построения разработанных КЭМ

Упрощенная КЭМ спинки кресла и подголовника (Рис. 8), выполнена из трехмерных «solid» конечных элементов. Штифты крепления подголовника к спинке кресла имитируются прямоугольными элементами (Рис. 4).

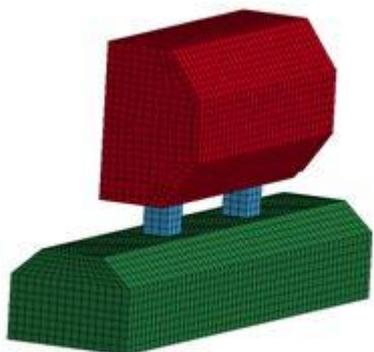


Рис. 3. Упрощенная КЭМ подголовника

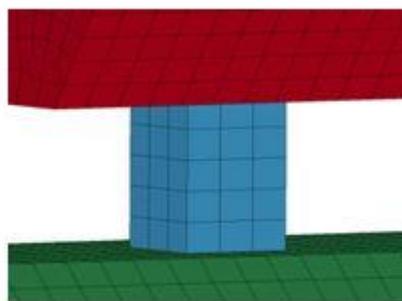


Рис. 4. Элементы, имитирующие штифты крепления подголовника

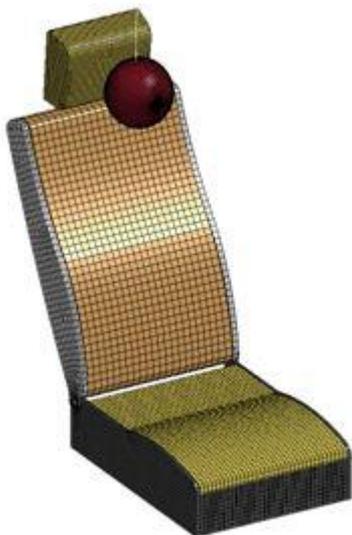


Рис. 5. Упрощенная КЭМ кресла



Рис. 6. Детальная КЭМ кресла

Были созданы упрощенная (Рис. 5) и детальная КЭМ автомобильного кресла (Рис. 6). При этом каждая из моделей была разбита на три варианта сеток КЭ (низшего, среднего уровня и высшего уровня).

При разработке упрощенной модели кресла и подголовника использовались абсолютно жесткие пластины простой формы без выштамповок. Пластины каркаса подголовника для упрощения конструкции целесообразно прикреплять к каркасу спинки beam элементами (Рис. 8,б).

В детальной КЭМ кресла (Рис. 7) в конструкции каркаса учитываются выштамповки и элементы крепления подголовника к спинке кресла.

Чехлы, которые соприкасаются с поверхностью набивки (Рис. 9), целесообразно моделировать элементами shell из материала (MAT_FABRIC [4, 5]).

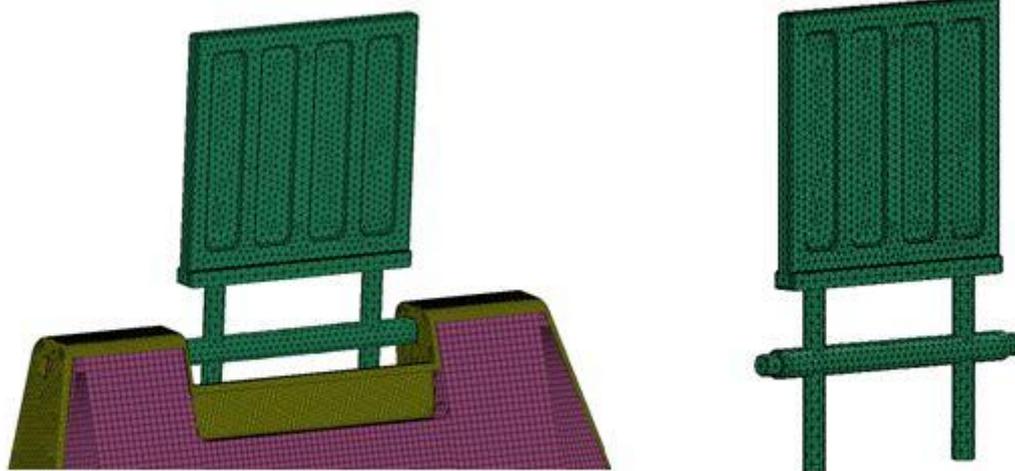


Рис. 7. Моделирование каркаса подголовника (детальная модель)

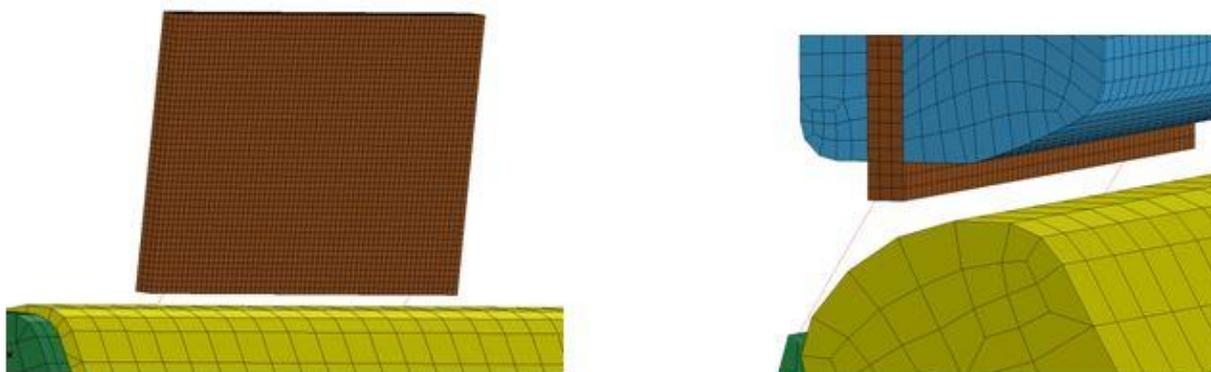


Рис. 8. Упрощенная КЭМ спинки кресла и подголовника

Моделирование листовых и трубчатых каркасных деталей целесообразно выполнять из оболочных элементов (shell) (Рис. 8). Поскольку конструкция каркаса не должна деформироваться или разрушаться при ударе, ее компоненты рационально моделировать из изотропного материала с линейными свойствами (материал MAT_ELASTIC в програм-

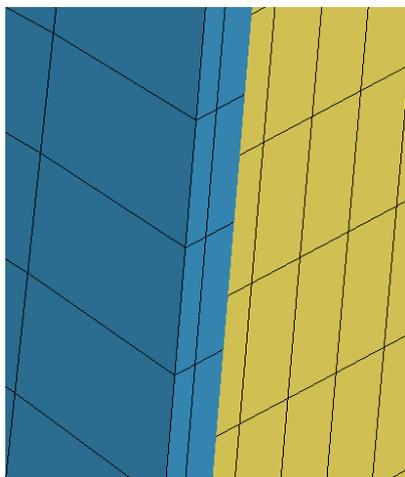


Рис. 9. Моделирование чехла подушки (КЭ бежевого цвета)



Рис. 10. Моделирование каркаса кресла

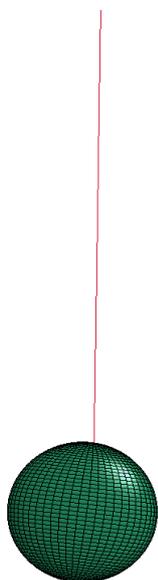


Рис. 11. Моделирование маятника

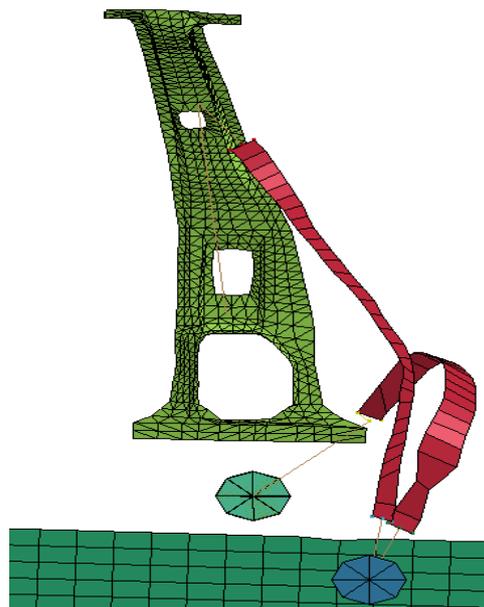


Рис. 12. Моделирование ремня безопасности и точек его крепления

ме LS-DYNA [2]) .

К каркасам крепятся ряды плоских пружин, которые обеспечивают упругие свойства спинке кресла и сидению. Моделирование пружин целесообразно выполнять «beam»

элементами, для которых задаются свойства упругости и демпфирования (материалы MAT_SPRING и MAT_DAMPER в программе LS-DYNA [2]).

Маятник моделируется как шар из абсолютно жесткого материала (материал MAT_RIGID в программе LS-DYNA [2]) и трехмерных конечных элементов типа «solid» (Рис. 11). Подвес моделируется как нерастяжимая нить из двумерных конечных элементов (beam).

Ремень безопасности моделировался оболочными элементами из материала, имитирующего ткань (материал MAT_FABRIC из библиотеки программы LS-DYNA). К его концам крепятся одномерные линейные элементы (материал MAT_SEATBELT из библиотек LS-DYNA), к которым прикладывается нагрузка, что позволяет натянуть и зафиксировать ремень безопасности. Ремень крепится к элементам, имитирующим панели кузова.

Разработка КЭМ кресел с пассивными подголовниками и их исследование в соответствии с требованиями Правил ЕЭК ООН №25

На данном этапе работы моделировалось и исследовалось кресло в целом. В процессе исследований учитывались особенности конструкции автомобильных кресел, а также особенности совместной работы спинки и подголовника. При этом были выполнены расчеты, в процессе которых ставилась задача помимо оценки общей точности также оценить степень влияния кресла на точность результатов. Кроме того, определялись границы изменений параметров, влияющих на пассивную безопасность автомобиля, за счет выбора рациональных характеристик материала набивки и выполнена оценка точности результатов расчетов.

В этой статье представлены принципы, которые учитывались при разработке КЭМ автомобильных кресел с пассивными подголовниками разных уровней сложности. Обоснован выбор типа элементов, который используется при построении базовых КЭМ, а также отработаны основные подходы для решения быстротекущих нелинейных задач.

В процессе исследований проводились расчеты КЭМ 1-го, 2-го и 3-го уровней. Модель 3-го уровня максимально приближена к реальной конструкции и максимально учитывает физические свойства компонентов кресла, такие как жесткость каркаса (податливость), упругие и демпфирующие свойства шарниров, пружин и т.д. При этом жесткость может быть нелинейной. Модель 1-го уровня является грубой, в ней не учитываются различные особенности конструкции, а также не задаются физические свойства пружин, шарниров и т.д. Модель 2-го уровня является промежуточной ступенью между моделями 1-го и 3-го уровней.

Расчеты выполнялись в соответствии с требованиями Правил ЕЭК ООН №25 для кресел с пассивными подголовниками. При расчетах выполнялась оценка пикового значения ускорения (в момент удара), перемещений в материале набивки подголовника,

времени расчета модели компьютером и погрешности относительно результатов натуральных экспериментов.

Моделирование поведения упрощенной КЭМ подголовника в составе кресла в соответствии с требованиями Правил ЕЭК ООН №25

С целью оценки точности результатов при расчетах КЭМ конструкции кресла в целом, а также с целью выбора характеристик материала набивки, обеспечивающих лучший уровень пассивной безопасности, была создана КЭМ автомобильного кресла 2-го уровня (3-х вариантов разбиения на сетку КЭ) (Рис. 13). Была проведена серия расчетов данной КЭМ в программном комплексе LS-DYNA [2, 10] согласно требованиям Пра-



Рис. 13. КЭМ а- низшего уровня (22 871 КЭ), б - среднего уровня (83 436 КЭ), в-высшего уровня (879 699 КЭ)

вил ЕЭК ООН №25 [7].

В данной модели кресла учитываются характеристики набивки и чехлов, а также упругие и демпфирующие характеристики шарнира спинки, при этом не учитывается же-

сткость каркаса и не моделируются пружины, поддерживающие набивку спинки и сидения.

Выполнена оценка ускорения маятника, а также перемещений и напряжений в набивке подголовника в процессе удара (Рис. 14 и 15).

Модели (Рис. 13) имеют следующие особенности:

- материал набивки подголовника – полиуретановый пеноматериал (MAT_LOW_DENSITY_FOAM) с плотностью 27 кг/м³, коэффициентом Пуассона 0, модулем Юнга 100 МПа, зависимость напряжение/перемещение №5 (Рис. 21);
- на набивку надет чехол из текстильного материала (MAT_FABRIC);
- набивки подголовника, спинки и сидения устанавливаются на каркас;
- спинка кресла и сидение соединены шарнирно, шарнирам заданы свойства упругости и демпфирования как в реальном объекте;
- о подголовник ударяется маятник массой 6,8 кг с начальной скоростью 24,1 км/ч;
- нижняя часть кресла зафиксирована по всем степеням свободы.

Модели имеют допущения:

- каркасные детали выполнены абсолютно жесткими;
- конструкция компонентов кресла значительно упрощена;
- точка приложения нагрузки со стороны упругого и демпфирующего элемента находится в верхней части спинки кресла.

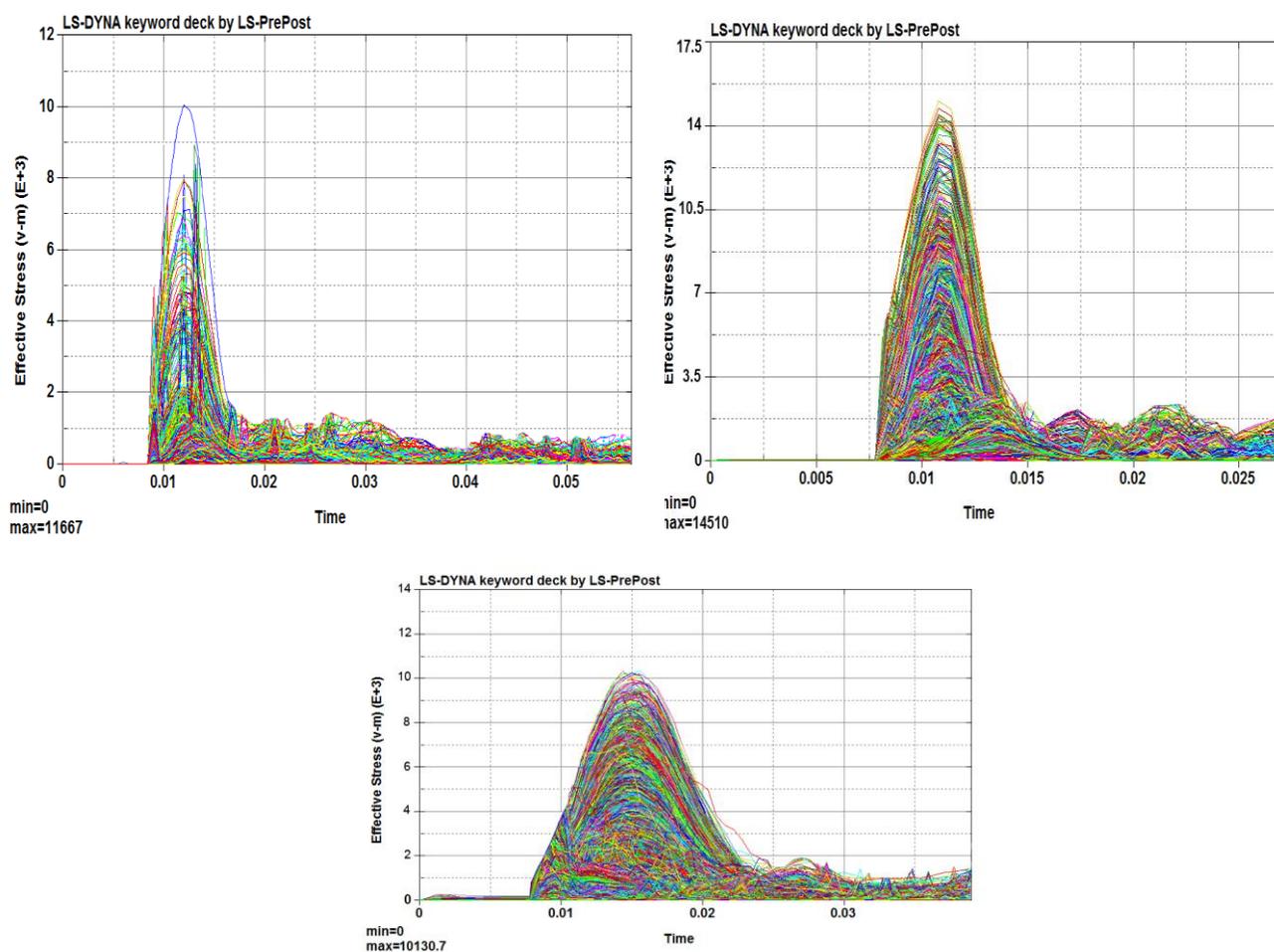


Рис. 14. Зависимости напряжения от времени для всех элементов набивки подголовника, полученные для КЭМ: а – низшего уровня, б – среднего уровня, в – высшего уровня

Характеристики материала набивки (MAT_LOW_DENSITY_FOAM) были заданы в соответствии с результатами исследований подголовника [8, 9].

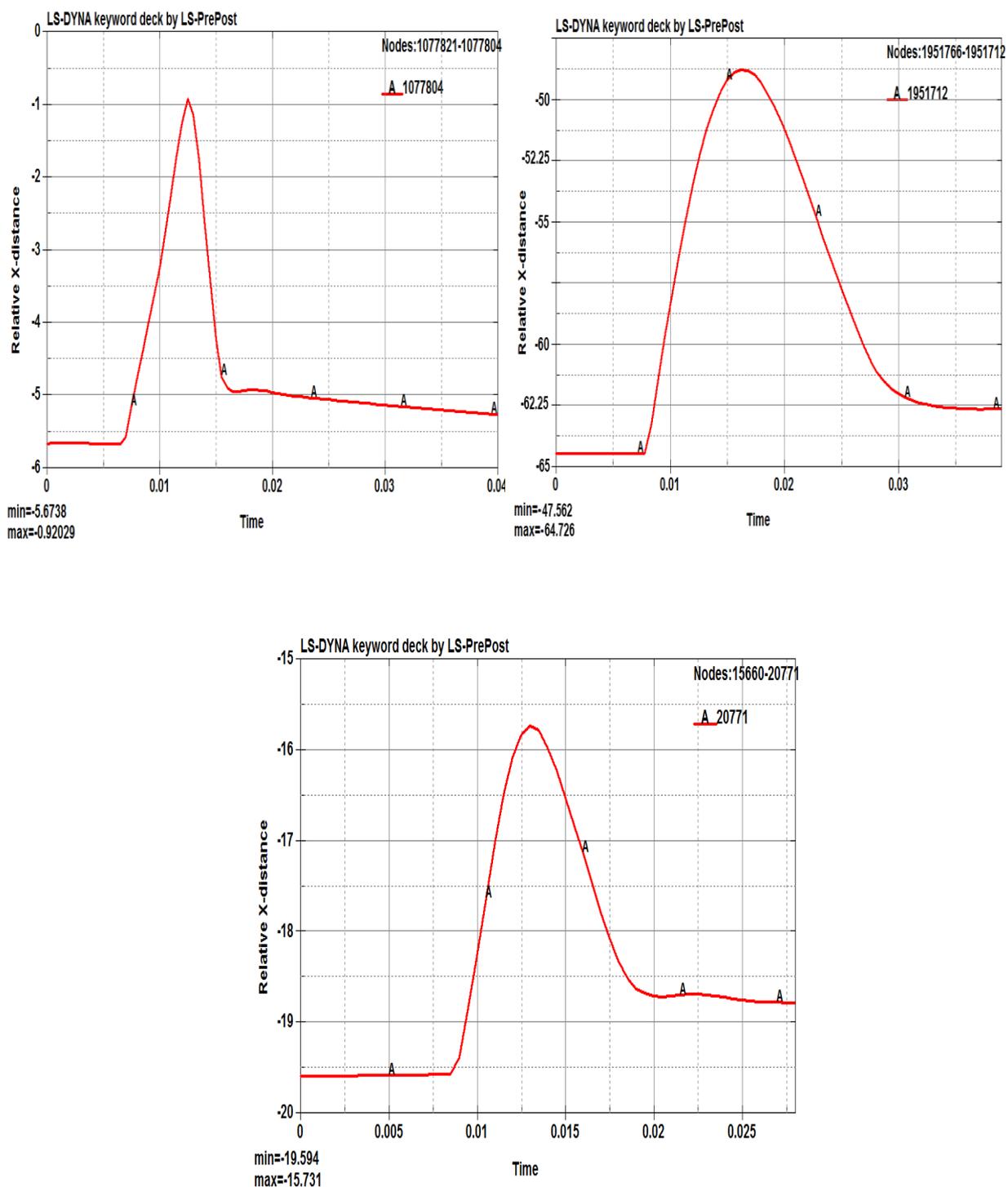


Рис. 15. Зависимость перемещений набивки подголовника от времени для КЭМ: а - низшего уровня (4,753 мм), б – среднего уровня (17,164 мм), в – высшего уровня (3,863 мм)

Таблица 1. Результаты расчетов по КЭМ низшего, среднего и высшего уровней

Количество КЭ в модели	22 871	83 436	879 699
Ускорение маятника в момент удара, g	54	41	30
Относительная погрешность ускорения, %	18%	14%	12%
Перемещения набивки подголовника (LS-DYNA), мм	4,753	17,164	3,863
Перемещения набивки (натурный эксперимент), мм	7,312	14,546	3,359
Относительная погрешность перемещения, %	35%	18%	15%
Максимальное напряжение в набивке подголовника, Мпа	0,0116	0,0145	0,0101
Время выполнения расчета программой	16 мин	1ч 5 мин	16ч 15мин

Полный перечень результатов приведен в таблице 1.

По сравнению с результатами испытаний подголовника в отдельности [8, 9] точность результатов возросла на 3 % по ускорениям и на 5 % по перемещениям (по ускорениям погрешность составляет 12%, по перемещениям - 15%) при использовании КЭМ кресла высшего уровня (879 699 КЭ) разбиения на конечные элементы. При этом подго-

ловник соответствует требованиям методики ЕЭК ООН №25, так как ускорение маятника при ударе не превышает 80 g.

Выбор характеристик материала набивки.

Проведены расчеты для 3-х вариантов характеристик материала набивки [8, 9], которые были выбраны из диапазона характеристик, определенных при испытаниях подголовника в отдельности (Рис. 16). При этом выявлены подходы к выбору характеристик пеноматериала набивки, обеспечивающих наилучший уровень пассивной безопасности в соответствии с требованиями Правил ЕЭК ООН №25.

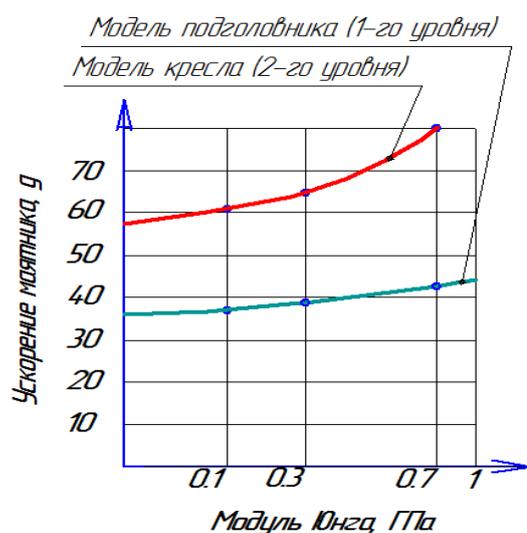


Рис. 16. Ускорение маятника в зависимости от значения модуля Юнга материала набивки подголовника (модели 1-го и 2-го уровней)

При этом выбраны характеристики пеноматериала набивки, обеспечивающие наилучший уровень пассивной безопасности в соответствии с требованиями Правил ЕЭК ООН №25. Для расчетов было выбрано три варианта значений модуля Юнга из диапазона от 100 до 700 МПа (100, 300, 700 МПа на Рис. 16).

Значения, полученные при расчете модели подголовника (1-го уровня), обозначены зеленой кривой. Красной кривой обозначены результаты расчетов модели кресла (2-го уровня).

Наилучший уровень пассивной безопасности обеспечивают КЭМ с модулем Юнга материала набивки 100 МПа, плотностью 27 кг/м³, коэффициентом Пуассона 0 и характеристиками зависимости перемещение/напряжения №5 (Рис. 21).

При этом выявлено, что подголовник, который исследовался в качестве примера, соответствует требованиям Правил ЕЭК ООН №25, так как ускорение маятника при ударе не превышает 80 g.

Моделирование поведения уточненной КЭМ (3-го уровня) кресла при ударе по автомобилю сзади в соответствии с требованиями Правил ЕЭК ООН № 25

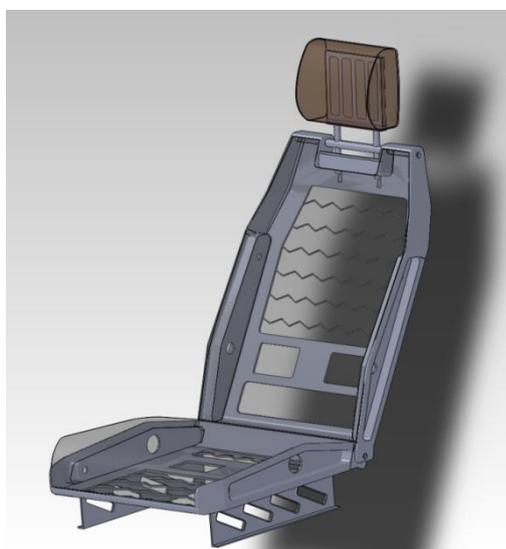


Рис. 17. Трехмерная модель кресла автомобиля Volvo XC80

С целью получения наиболее точных результатов расчетов была разработана детальная КЭМ (3-го уровня) кресла автомобиля Volvo XC80 (Рис. 17) и проведена серия расчетов по оценке соответствия требованиям пассивной безопасности.

Данная модель кресла выбрана в связи с тем, что рекомендации по созданию КЭМ кресла данного автомобиля были приведены в работе специалистов университета University of Eindhoven.

КЭМ кресла 3-го уровня является детальной (Рис. 18). В ней учитываются особенности конструкции каркаса и его жесткость, смоделированы упругие элементы, поддерживающие набивку спинки и сидения, а также учитываются характеристики материала набивки и чехлов, упругие и демпфирующие свойства шарнира спинки.

Конечно-элементные модели имеют следующие особенности:

- модель низшего уровня состоит из 47 898 конечных элементов (Рис. 18,а);
- модель среднего уровня состоит из 112 877 конечных элементов (Рис. 18,б);
- модель высшего уровня состоит из 1 744 104 конечных элементов (Рис. 18,в);

- каркас кресла состоит из штампованных листов и трубчатых элементов;
 - учитывается жесткость элементов каркаса;
 - 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 – полиуретановый пеноматериал (MAT_LOW_DENSITY_FOAM) с плотностью 27 кг/м³, коэффициентом Пуассона 0, модулем Юнга 100 МПа, зависимость перемещение/напряжение №5 (Рис. 21);
 - на набивку надет чехол из текстильного материала (MAT_FABRIC);
 - спинка кресла и сидение соединены шарнирно, шарнирам заданы свойства упругости и демпфирования;
 - о подголовник ударяется маятник массой $6,8$ кг с начальной скоростью $24,1$ км/ч;
 - нижняя часть кресла зафиксирована по всем степеням свободы.
- Полный перечень результатов приведен в таблице 2.

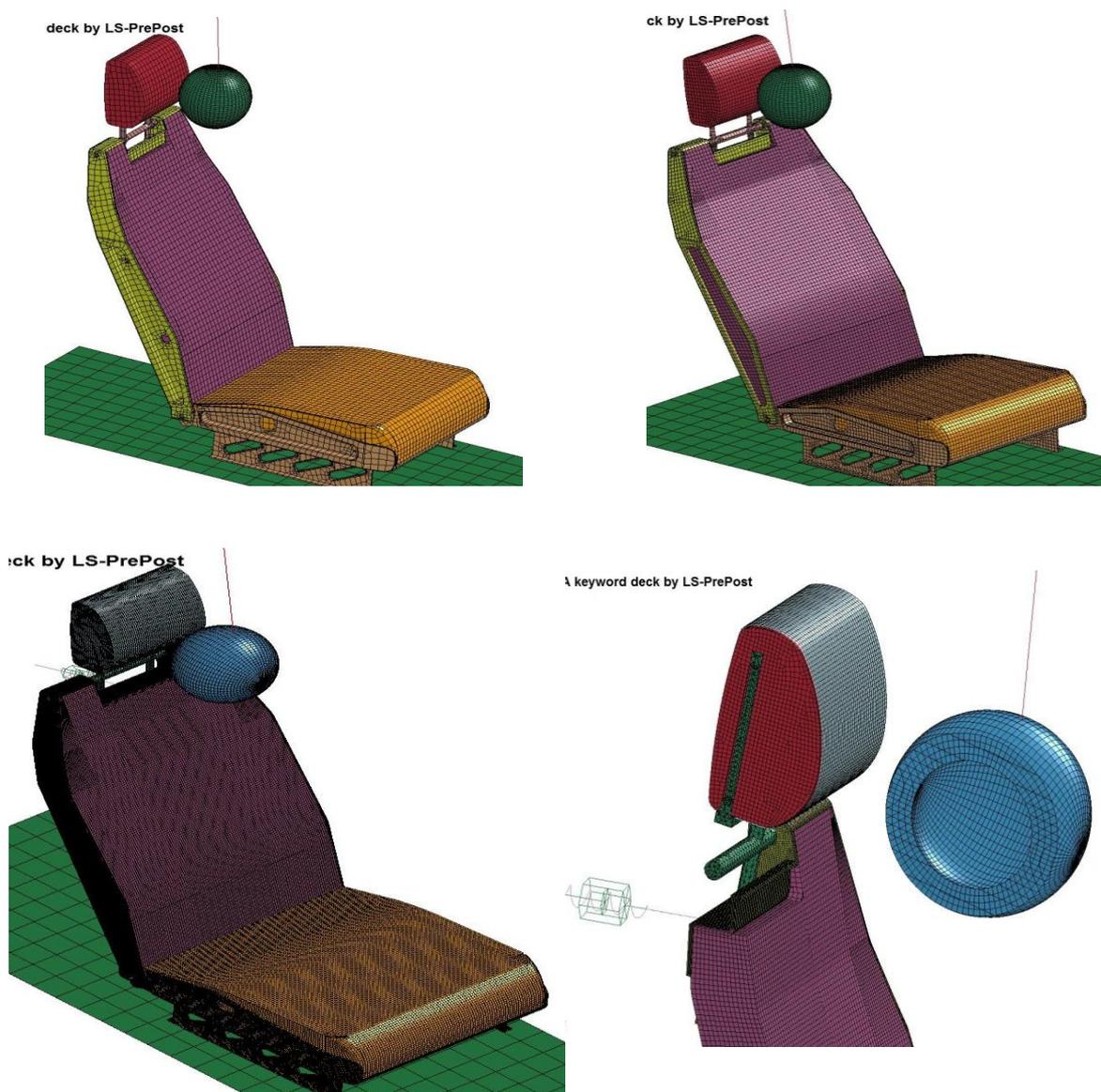


Рис. 18. КЭМ кресла

а - низшего уровня (47 898 КЭ), б - среднего уровня (112 877 КЭ), в- высшего уровня (879 699 КЭ)

Выполнена оценка ускорения маятника, а также перемещений и напряжений в набивке подголовника в процессе удара (Рис. 19 и 20).

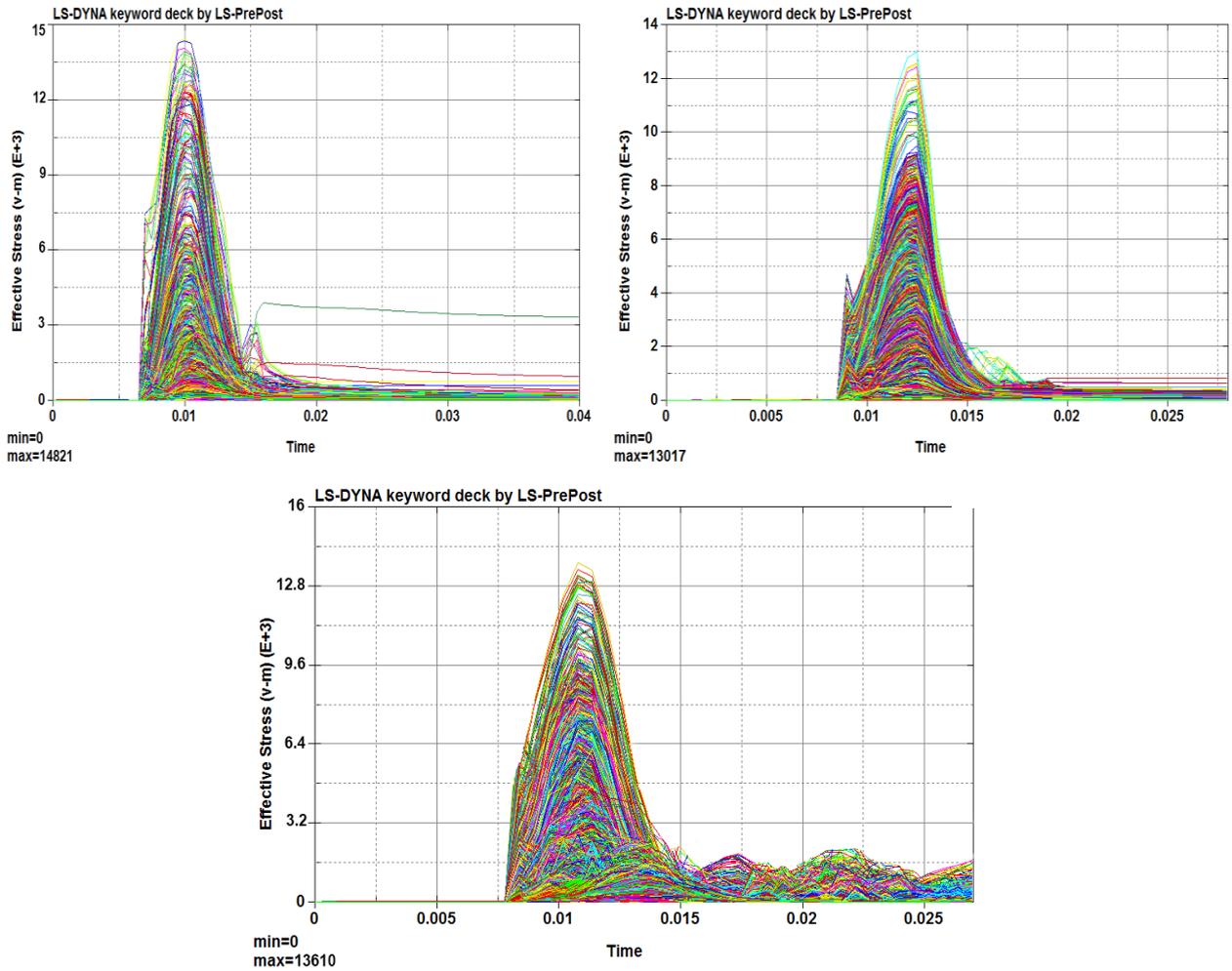
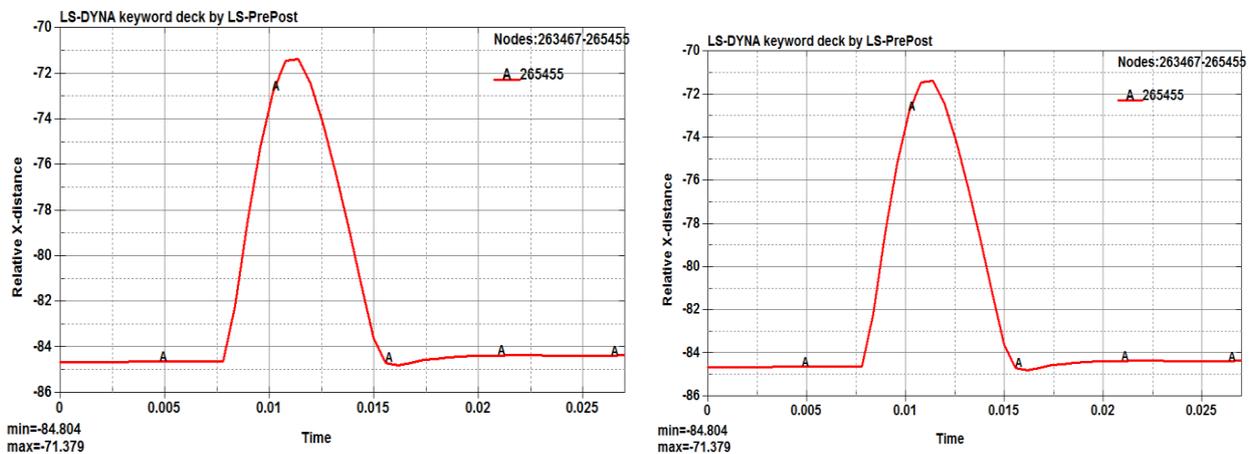


Рис. 19. Зависимости напряжения от времени для всех элементов набивки подголовника, полученные для КЭМ:

а – низшего уровня, б – среднего уровня, в – высшего уровня



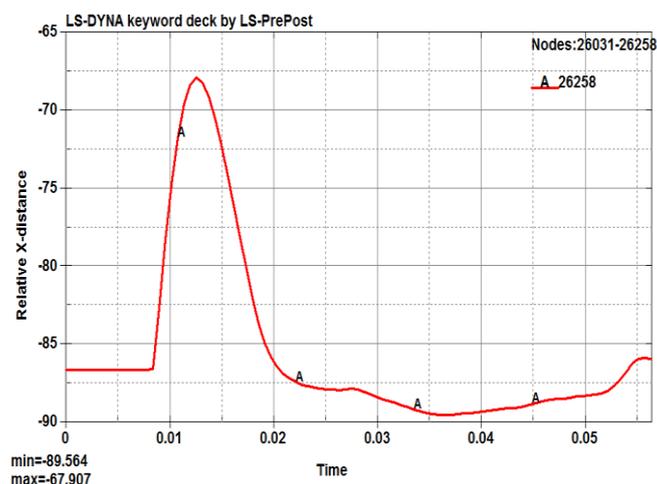


Рис. 20. Зависимость перемещений набивки подголовника от времени для КЭМ:
а - низшего уровня (21,657 мм), б – среднего уровня (11,8 мм), в – высшего уровня (13,425 мм)

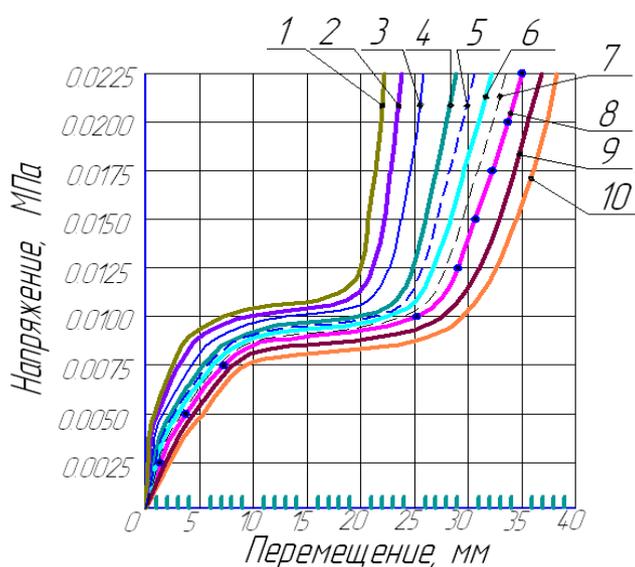


Рис. 21. Кривые нагружения для материала набивки подголовника

Таблица 2. Результаты расчетов по КЭМ низшего, среднего и высшего уровней

Количество КЭ в модели	47 898	112 877	1 744 104
Ускорение маятника в момент удара, g	34	27	17
Относительная погрешность ускорения, %	15%	12%	10%

Перемещения набивки подголовника (LS-DYNA), мм	21,657	11,800	13,425
Перемещения набивки (натурный эксперимент), мм	18,832	10,442	12,094
Относительная погрешность перемещения, %	15%	13%	11%
Максимальное напряжение в набивке подголовника, МПа	0,0148	0,0130	0,0136
Время выполнения расчета программой LS-DYNA	47 мин	3ч 5 мин	15ч 35мин

Наилучшая точность при оценке ускорений (10 %) и перемещений (11%) также, как и в предыдущих расчетах обеспечивается КЭМ высшего уровня (1 744 104 КЭ).

Стендовые испытания автомобильного кресла в соответствии с требованиями Правил ЕЭК ООН №25

С целью оценки точности результатов, полученных в программе LS-DYNA, в соответствии с требованиями Правил ЕЭК ООН №25 был проведен натурный эксперимент.

Для этого был создан стенд (Рис. 22), который имеет следующие особенности:

- на массивной плите, зафиксированной на полу, установлено кресло от автомобиля ВАЗ-2102 (экспортный вариант);
- металлический маятник массой 6,8 кг поднят на необходимую высоту и зафиксирован тросами;
- на маятнике установлен акселерометр, соединенный с осциллографом;
- данные об ускорениях фиксируются осциллографом, который соединен с компьютером.

Натурная модель имеет допущения:

- подвес маятника не является жестким (требование ЕЭК ООН №25);
- на маятнике установлен один акселерометр (а не два - требование ЕЭК ООН №25).



Рис. 22. Стенд для проведения натуральных испытаний

Металлический маятник массой 6,8 кг был поднят на необходимую высоту и зафиксирован тросами. На маятнике установлен акселерометр, соединенный с осциллографом. Данные об ускорениях фиксировались осциллографом, который был соединен с компьютером.

Была проведена серия из 72 испытаний. Получены пиковые значения ускорений при ударе. Результаты приведены в таблице 3 и на графиках (Рис. 23-24).

Для этого была разработана методика обработки результатов экспериментов.

На Рис. 23 в качестве примера приведен один из графиков зависимости ускорения маятника от времени.

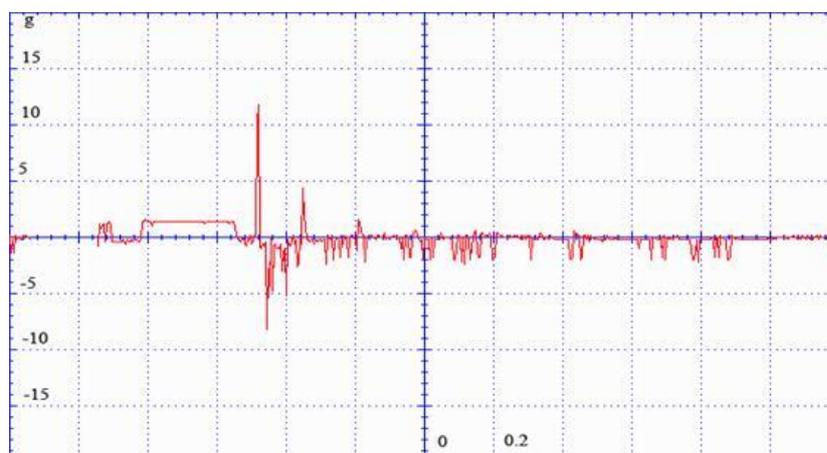


Рис. 23. Ускорение маятника при ударе о подголовник (ось абсцисс – время, ось ординат – ускорение, g).

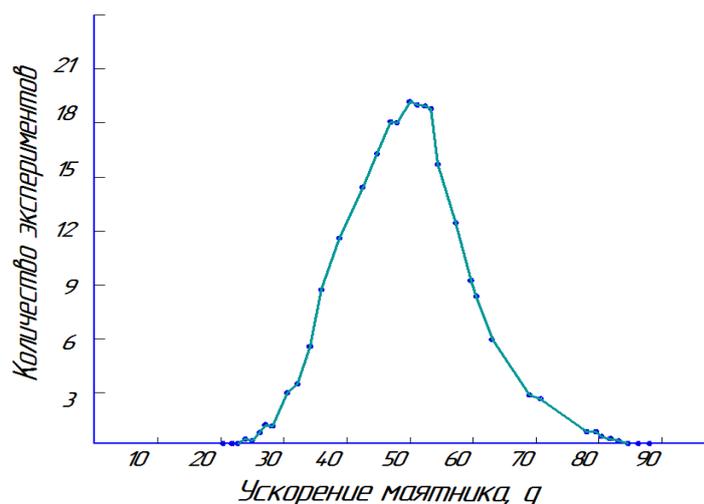


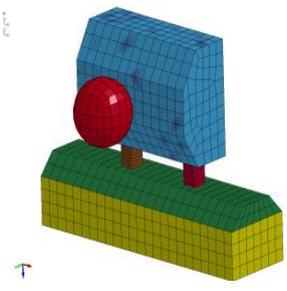
Рис. 24. Нормальное распределение ускорения маятника во время удара

Таблица 3. Результаты натурного эксперимента по определению ускорения

| Ускорение в момент удара, g |
|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 17 | 76 | 74 | 51 |
| 51 | 26 | 67 | 55 |
| 28 | 64 | 48 | 61 |
| 46 | 17 | 75 | 70 |
| 61 | 59 | 15 | 64 |
| 74 | 95 | 60 | 9 |
| 25 | 60 | 94 | 55 |
| 65 | 29 | 73 | 45 |
| 25 | 72 | 56 | 53 |
| 79 | 93 | 86 | 77 |
| 57 | 67 | 76 | 65 |
| 14 | 17 | 44 | 75 |
| 50 | 77 | 58 | 58 |
| 81 | 99 | 110 | 57 |
| 65 | 53 | 95 | 66 |
| 85 | 78 | 69 | 50 |
| 42 | 44 | 83 | 97 |
| 92 | 7 | 11 | 87 |

Анализ результатов моделирования поведения подголовника и кресла при ударе в соответствии с требованиями Правил ЕЭК ООН №25

Таблица 4.

КЭМ для предварительных и многовариантных расчетов (грубые)		КЭМ, максимально учитывающие особенности конструкции и физические свойства ее компонентов	
1-го уровня [6, 9]	2-го уровня		3-го уровня
			
	1-го уровня	2-го уровня	3-го уровня
Варианты разбиения на конечные элементы (низший (НУ), средний (СУ) и высший уровни (ВУ))	НУ: 6 628 КЭ; СУ: 20 907 КЭ; ВУ: 164 952 КЭ.	НУ: 22 871 КЭ; СУ: 83 436 КЭ; ВУ: 879 699 КЭ.	НУ: 47 898 КЭ; СУ: 112 877 КЭ; ВУ: КЭ. 1 744 104 КЭ.
1-го уровня	2-го уровня		3-го уровня
Цель эксперимента - выбор характеристик материала набивки.	1. Оценка того, как изменится точность по сравнению с результатами расчетов подголовника в отдельности (КЭМ 1-го уровня);		Получение наиболее точных результатов расчетов.
	2. Выбор характеристик материала набивки, обеспечивающих наилучший уровень пассивной безопасности (пункт 2.4.1).		

<i>Особенности КЭМ</i>			
	1-го уровня	2-го уровня	3-го уровня
1. Учет особенностей конструкции и физических свойств ее компонентов	Минимальный учет особенностей конструкции. Моделировался только подголовник.	Моделировалось кресло. Ряд особенностей конструкции не учитывался.	Максимальный учет особенностей конструкции.
2. Моделирование материала набивки	Выполнено	Выполнено	Выполнено
3. Моделирование чехлов	Упрощенная конструкция чехлов	Выполнено	Выполнено
4. Жесткость каркаса	Абсолютно жесткий	Абсолютно жесткий	Учитывается жесткость и прочность
5. Моделирование штифтов подголовника	Форма параллелограмма	Балочные элементы	Выполнено
6. Моделирование пружин спинки и сидения	Не выполнено	Не выполнено	Выполнено
7. Моделирование шарнира спинки	Не выполнено	Выполнено	Выполнено
Натурный эксперимент	[9], Рис. 14	Рис. 22	Рис. 22
<i>Результаты расчетов</i>			
Модели ВУ*	164 952 КЭ	879 699 КЭ	1 744 104 КЭ
Погрешность ускорения	15 %	12%	10%
Погрешность перемещения	20 %	15%	11%

*Лучшую точность позволили обеспечить модели высшего уровня разбиения на конечные элементы.

Из анализа результатов компьютерного моделирования видно, что точность результатов возросла при использовании КЭМ кресла высшего уровня. Это вполне очевидно, т.к. модель кресла более приближена к реальной конструкции, чем грубая модель подголовника.

Выводы

При оценке по методике ЕЭК ООН №25 «грубые» КЭМ (1-го и 2-го уровней) (Таблица 4) можно рассматривать как рациональные (с позиций трудозатрат на ее создание и решение задачи и по погрешностям результатов) и их целесообразно использовать для предварительных и многовариантных расчетов. Детальные модели (3-го уровня) обеспечивают наибольшую точность (по ускорениям относительная погрешность составляет 10%, по перемещениям - 11%, а по сравнению с расчетами по модели только подголовника (Таблица 4, столбец 1) уменьшилась на 5 % по ускорениям и на 9 % по перемещениям).

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках договора №9905/17/07-к-12 между ОАО «КАМАЗ» и «Московским государственным техническим университетом имени Н.Э. Баумана»

Список литературы

1. Шимкович Д.Г. Расчет конструкций в MSC Visual Nastran for Windows. М.: ДМК Пресс, 2004. 704 с.
2. Hallquist J. LS-Dyna Keyword User's Manual. Livermore (USA): Livermore Software Technology Corporation, 1993-2003. 2206 p.
3. ANSYS программа конечно-элементного анализа / пер. и ред. Б.Г. Рубцова; оформл. Л.П. Остапенко. М.: CAD-FEM GmbH, 1998. 66 с.
4. Brian C., Hubert L. Selecting Material Models for the Simulation of Foams in LS-DYNA. N.Y. (USA): Datapoint Labs, 2009. 6 с.
5. Муйземек, А.Ю. Описание поведения материалов в системах автоматизированного инженерного анализа : учеб. пособие. Пенза: Информационно-издательский центр ПГУ, 2005. 152 с.
6. Солопов Д.Ю., Зузов В.Н. Решение проблемы создания КЭМ для проектирования автомобильных кресел с активными подголовниками, отвечающими требованиям пассивной безопасности // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2013. № 6. Режим доступа: <http://technomag.bmstu.ru/doc/574693.html> (дата обращения 01.03.2014). DOI: [10.7463/0613.0574693](https://doi.org/10.7463/0613.0574693)
7. ГОСТ Р 41.25-2001 (Правила ЕЭК ООН №25). Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения подголовников вмонтированных или не вмонтированных в сиденья транспортных средств. М.: Изд-во стандартов, 2002. 28 с.
8. 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. Режим доступа: <http://technomag.bmstu.ru/doc/578993.html> (дата обращения 01.03.2014). DOI: [10.7463/0713.0578993](https://doi.org/10.7463/0713.0578993)

9. Солопов Д.Ю. Решение проблемы создания конечно-элементных моделей автомобильных кресел и проведение их испытаний методами компьютерного моделирования // 5-ая Всероссийская конференция молодых ученых и специалистов «Будущее машиностроения России» (Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана, 26-29 сентября 2012 г.): электронный сб. тр. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012. Информрегистр № 0321202782.
10. Муйземнек А.Ю., Богач А.А Математическое моделирование процессов удара и взрыва в программе LS-DYNA : учеб. пособие. Пенза: Информационно-издательский центр ПГУ, 2005. 106 с.

Creating the finite element models of car seats with passive head restraints to meet the requirements of passive safety

04, April 2014

DOI: 10.7463/0414.0706991

D.Yu. Solopov, V.N. Zuzov

Bauman Moscow State Technical University, 105005, Moscow, Russian Federation

po44chta@mail.ru

zuzov@mx.bmstu.ru

A problem solution to create the car chairs using modern software complexes (CAE) based on the finite elements is capable to increase an efficiency of designing process significantly. Designing process is complicated by the fact that at present there are no available techniques focused on this sort of tasks.

This article shows the features to create the final element models (FEM) of the car chairs having three levels of complexity. It assesses a passive safety, which is ensured by the developed chair models with passive head restraints according to requirements of UNECE No 25 Regulations, and an accuracy of calculation results compared with those of full-scale experiments.

This work is part of the developed technique, which allows effective development of the car chair designs both with passive, and with active head restraints, meeting the requirements of passive safety.

By results of calculations and experiments it was established that at assessment by an UNECE No 25 technique the "rough" FEM (the 1st and 2nd levels) can be considered as rational (in terms of effort to its creation and task solution and by the errors of results), and it is expedient to use them for preliminary and multiple calculations. Detailed models (the 3rd level) provide the greatest accuracy (for accelerations the relative error makes 10%, for movements it is 11%, while in comparison with calculations, the relative error for a model of head restraint only decreases by 5% for accelerations and for 9% for movements).

The materials presented in the article are used both in research activities and in training students at the Chair of Wheel Vehicles of the Scientific and Educational Complex "Special Mechanical Engineering" of Bauman Moscow State Technical University.

Publications with keywords: [tension](#), [error](#), [deformations](#), [bending](#), [finite element method](#), [LS-DYNA](#), [passive safety](#), [head restraint](#), [car seat](#), [pendulum](#), [UNECE Regulations № 25](#)
Publications with words: [tension](#), [error](#), [deformations](#), [bending](#), [finite element method](#), [LS-DYNA](#), [passive safety](#), [head restraint](#), [car seat](#), [pendulum](#), [UNECE Regulations № 25](#)

References

1. Shimkovich D.G. *Raschet konstruksiy v MSC Visual Nastran for Windows* [Calculation of designs in MSC Visual Nastran for Windows]. Moscow, DMK Press, 2004. 704 p. (in Russian).
2. Hallquist J. *LS-Dyna Keyword User's Manual*. Livermore, USA, Livermore Software Technology Corporation, 1993-2003. 2206 p.
3. 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.
4. Brian C., Hubert L. *Selecting Material Models for the Simulation of Foams in LS-DYNA*. N.Y., USA, Datapoint Labs, 2009. 6 c.
5. Muyzemnek, A.Yu. *Opisanie povedeniya materialov v sistemakh avtomatizirovannogo inzhenerenogo analiza* [Description of behavior of materials in system of automation engineering analysis]. Penza, PGU Publ., 2005. 152 p. (in Russian).
6. 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. DOI: 2013, no. 6. DOI: [10.7463/0613.0574693](https://doi.org/10.7463/0613.0574693) (in Russian).
7. *GOST R 41.25-2001 (Pravila EEK OON N 25). Edinoobraznye predpisaniya, kasayushchiesya ofitsial'nogo utverzhdeniya podgolovnikov vmontirovannykh ili ne vmontirovannykh v siden'ya transportnykh sredstv* [State Standard of RF 41.25-2001 (UNECE regulation N 25). Uniform provisions concerning the type approval of head restraints (head-rests), whether or not incorporated in vehicles]. Moscow, Standards Publishing House, 2002. 28 p. (in Russian).
8. 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. DOI: [10.7463/0713.0578993](https://doi.org/10.7463/0713.0578993) (in Russian).
9. Solopov D.Yu. [Solving the problem of creating of finite element models for car seats and their testing by computer simulation methods]. *5 Vserossiyskaya konferentsiya molodykh uchennykh i spetsialistov "Budushchee mashinostroeniya Rossii": elektronnyy sb. tr.* [5th All-Russian Conference of Young Scientists and Specialists "The Future of Mechanical Engineer-

ing of Russia”: electronic proceedings], Moscow, Bauman MSTU, 26-29 September 2012. Moscow, Bauman MSTU Publ., Informregistr State registration no. 0321202782, 2012. (in Russian).

10. Muiyemnek A.Yu., Bogach A.A *Matematicheskoe modelirovanie protsessov udara i vzryva v programme LS-DYNA* [Mathematical modeling of processes of impact and explosion in LS-DYNA program]. Penza, PGU Publ., 2005. 106 p. (in Russian).