

Разработка конечно-элементных моделей автомобильных кресел с пассивными подголовниками с целью проведения исследований на соответствие требованиям EURO NCAP

08, август 2014

DOI: 10.7463/0814.0724400

Солопов Д. Ю.¹, Зузов В. Н.^{1,а}

УДК 629.113

¹Россия, МГТУ им. Баумана

^аzuzov@mx.bmstu.ru

В работе созданы конечно-элементные модели автомобильных кресел с пассивными подголовниками трех уровней сложности, выполнен их анализ с позиций оценки погрешностей моделирования и соответствия требованиям организации EURO NCAP. Рассмотрены основные принципы разработки конечно-элементных моделей подголовников и автомобильных кресел разных уровней сложности. Проведена оценка данных моделей с точки зрения погрешностей результатов и трудозатрат на разработку и решение с помощью программных комплексов, реализующих МКЭ (ANSYS, Femap и LS DYNA). Проведенные расчёты на базе МКЭ, дали возможность проанализировать большой массив информации о процессе аварийного нагружения, необходимой для проведения расчётной оценки безопасности кресел легковых автомобилей в случае удара по автомобилю сзади.

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

При проведении расчетов по оценке пассивной безопасности автомобильных кресел методами компьютерного моделирования, во-первых, необходимо использовать модели, которые будут обеспечивать наибольшую точность результатов (для их обоснованного выбора использовались модели 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). При этом 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 небольшой период времени, что позволяет быстро получить предварительные результаты и оценить основные особенности конструкции, характеристики материалов, свойства шарниров и т.д.

Данная статья является развитием статьи [1] применительно к оценке пассивной безопасности автомобильных кресел в соответствии с требованиями организации EURO NCAP [2].

При создании имитационных конечно-элементных моделей (КЭМ) использовался ряд CAD (Computer Aided Design, Система Автоматизированного Проектирования) и CAE (Computer Aided Engineering) программ [8-10].

Разработка упрощенной КЭМ кресла (первого уровня) для исследований в соответствии с требованиями методики EURO NCAP

На начальном этапе работы по улучшению безопасности автомобильных кресел рационально использовать КЭМ, которые рассчитываются компьютером за минимальный период времени. Это позволяет за короткий срок провести достаточно большое количество экспериментов и решить при этом следующие задачи:

- задать необходимые характеристики материалов и оценить насколько поведение объектов модели соответствует реальным (оценить адекватность задаваемых характеристик материалов);
- подобрать адекватные контактные условия между компонентами модели;
- оценить точность результатов, которую обеспечивает модель.

Результаты, полученные при расчете модели 1-го уровня, могут значительно облегчить работу по созданию КЭМ более высокого уровня сложности, компоненты которых выполнены с большей детализацией. В связи с этим была разработана КЭМ (1-го уровня), в которой учитываются лишь характеристики материалов, при этом каркас выполнен абсолютно жестким, шарниры и упругие элементы отсутствуют. Была проведена серия расчетов в программном комплексе LS-DYNA [5] в соответствии с требованиями методики EURO NCAP.

Модель 1-го уровня детализации (Рис. 1) имеет следующие особенности:

- модель состоит из 200 515 КЭ;
- манекен Gebod (стандартный манекен программы LS-DYNA) движется навстречу креслу;
- использовались нагрузочные режимы имитирующие удары со скоростями 16 км/ч («средний» удар) и 24 км/ч («тяжелый» удар) (Рис. 14,15);
- 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. 2).

Модель имеет допущения:

- кресло зафиксировано на неподвижной платформе;
- мягкие элементы набивки не установлены на каркас;
- с целью имитации жестких элементов конструкции, зафиксированы узлы, находящиеся на задней поверхности спинки кресла;
- использован манекен Gebod простейшей конструкции;

- ножки кресла и платформа сделаны абсолютно жесткими;
- не учитывается влияние чехлов, которые одеваются на элементы набивки.

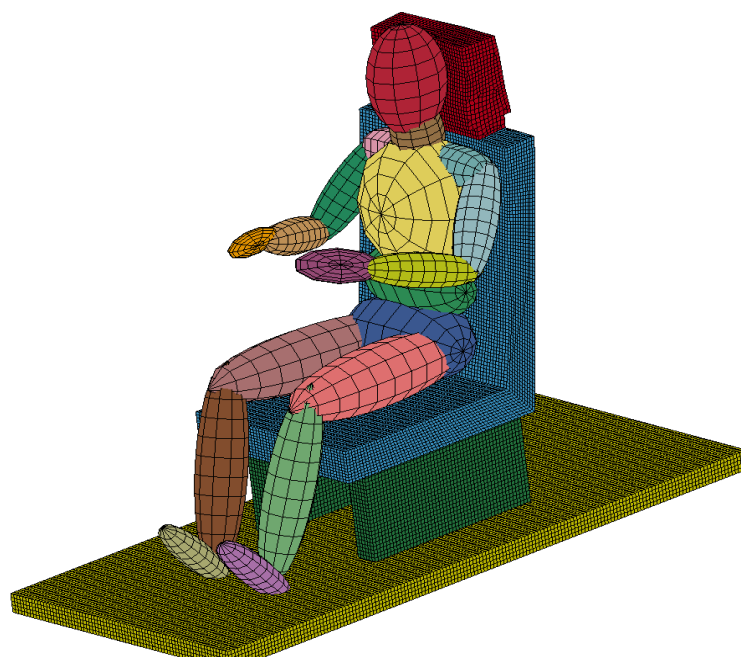


Рис. 1. КЭМ автомобильного кресла 1-го уровня с манекеном

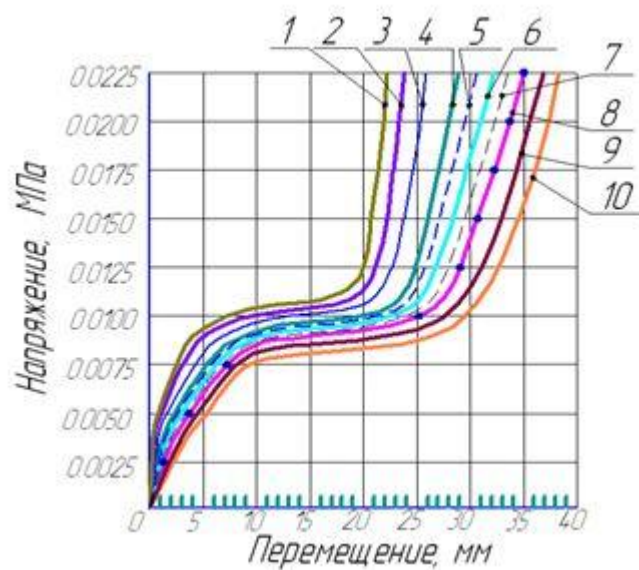


Рис. 2 Кривые нагружения для материала набивки подголовника

Относительная погрешность по ускорениям головы вычислялась с учетом аналогичных результатов, полученных специалистами компании LSTC [3].

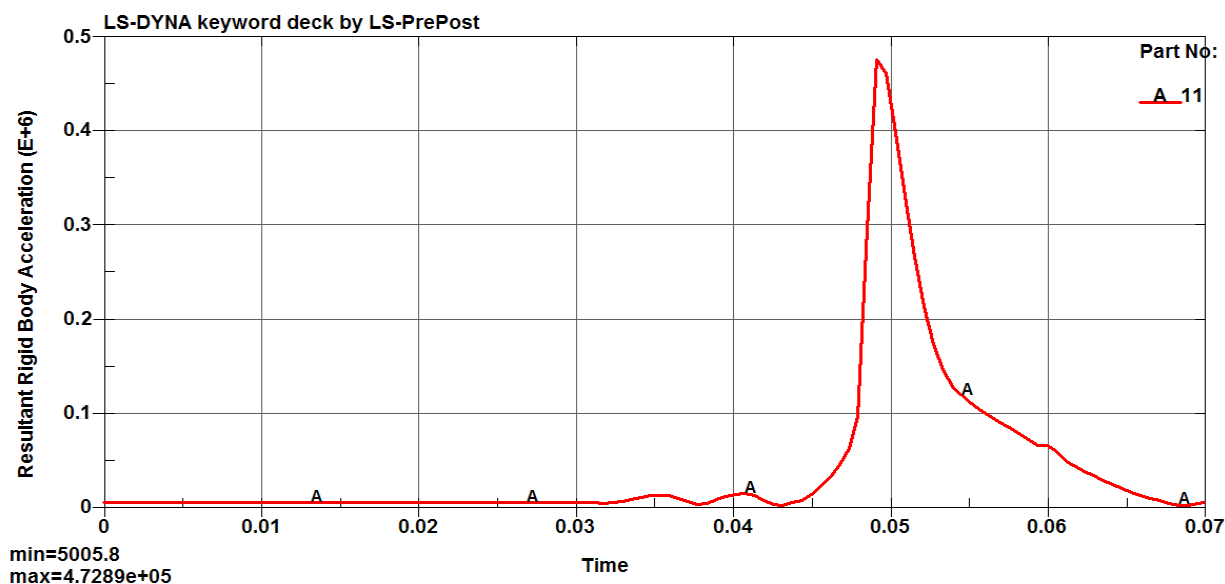


Рис. 3. Ускорение (мм/с^2) головы манекена Gebod при ударе о подголовник со скоростью 24 км/ч (нагружение в соответствии с рисунком 7 в режиме «тяжелого» удара)

Аналогичная модель использовалась в работе «Economical Occupant Seat Restraint Model: Integration of ATB and LS-DYNA3D» [4] при сравнении эффективности различных версий программы LS-DYNA. При этом проводилась серия экспериментов с ударом манекена, сидящего в кресле.

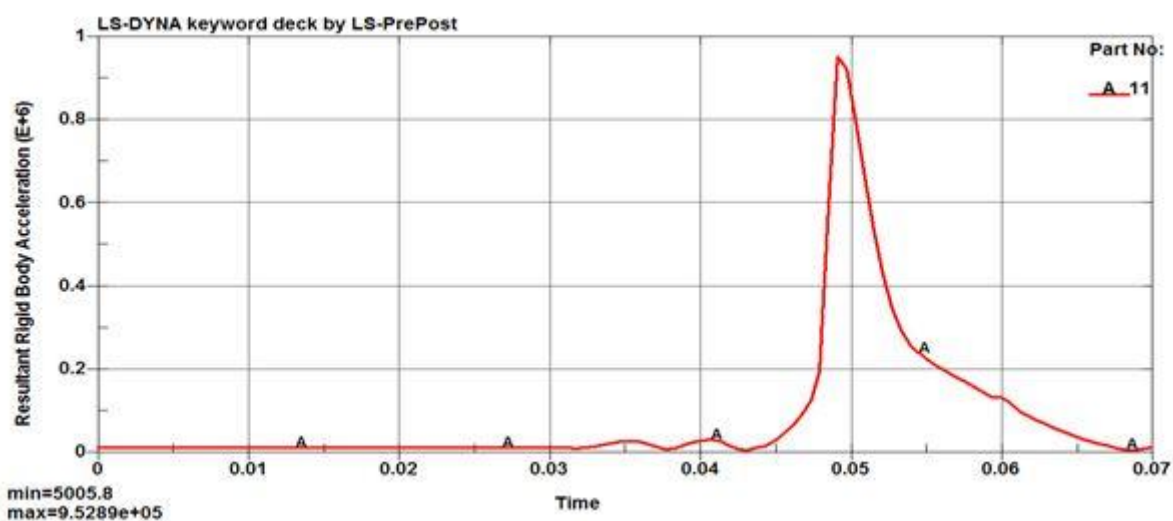


Рис. 4. Ускорение (мм/с^2) головы манекена Gebod при ударе о подголовник со скоростью 16 км/ч (нагружение в соответствии с рисунком 6 в режиме «среднего» удара)

Таблица 1. Результаты, полученные при расчетах модели 1-го уровня по системе EURO NCAP (Рис. 1)

	«Легкий» удар, 16 км/ч ускорение 5 g в течение 100 мс	«Средний» удар, 16 км/ч ускорение 10 g в течение 20 мс	«Тяжелый» удар, 24 км/ч ускорение 14 g в течение 20 мс
Ускорение головы манекена ($a_{\text{полное головы}}$), g	-	48,16 g	97,1 g
Ускорение головы манекена (результаты, полученные специалистами из LSTC) ($a_{\text{полное головы}}$), %	19,52g	31,32g	67,43g
Относительная погрешность полного ускорения головы манекена (относительно результатов LSTC [7]), %	-	59%	44%
Режим нагружения	Рис. 5	Рис. 6	Рис. 7
Перемещение набивки подголовника, мм	-	4,150	8,432
Время выполнения расчета программой LS-DYNA, мин	-	27 мин	25 мин

Разработка уточненной КЭМ кресла (второго уровня) и исследование её поведения в соответствии с требованиями методики EURO NCAP

В программном комплексе LS-DYNA была разработана конечно-элементная модель автомобильного кресла и выполнена серия ее расчетов в соответствии с требованиями методики EURO NCAP.

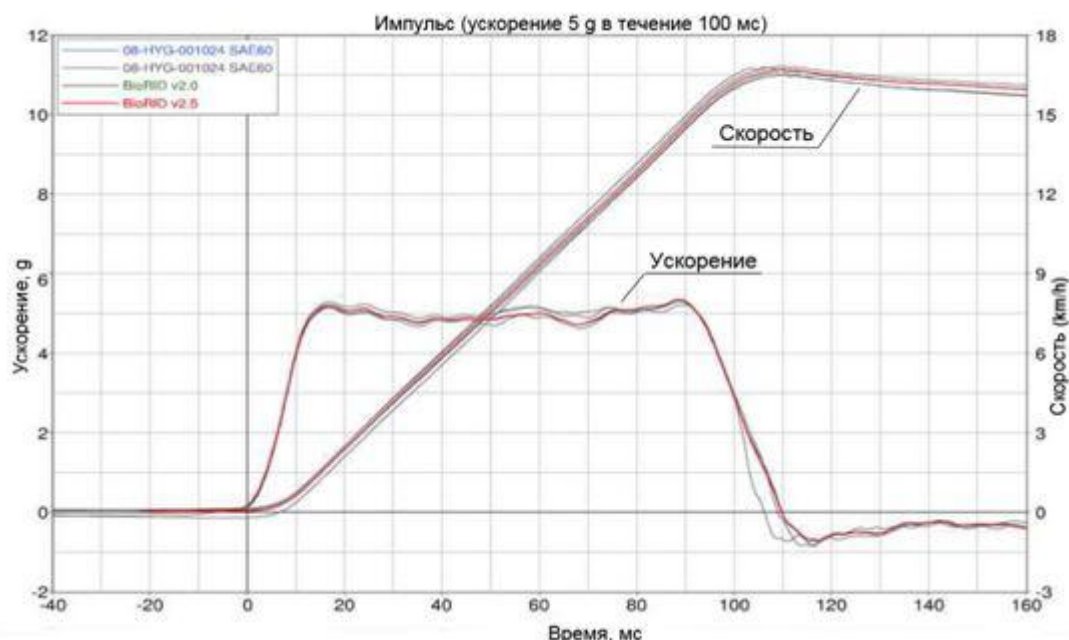


Рис. 5. Имитация «легкого» удара по автомобилю сзади. Разгон до скорости 16 км/ч с ускорением 5g в течение 100 мс

Относительная погрешность результатов при расчете простой модели (Рис. 1) оказалась достаточно большой и составила 59 % и 44%. С целью повышения точности результатов была разработана КЭМ 2-го уровня и выполнена серия расчетов по оценке пассивной безопасности в соответствии с требованиями EURO NCAP.

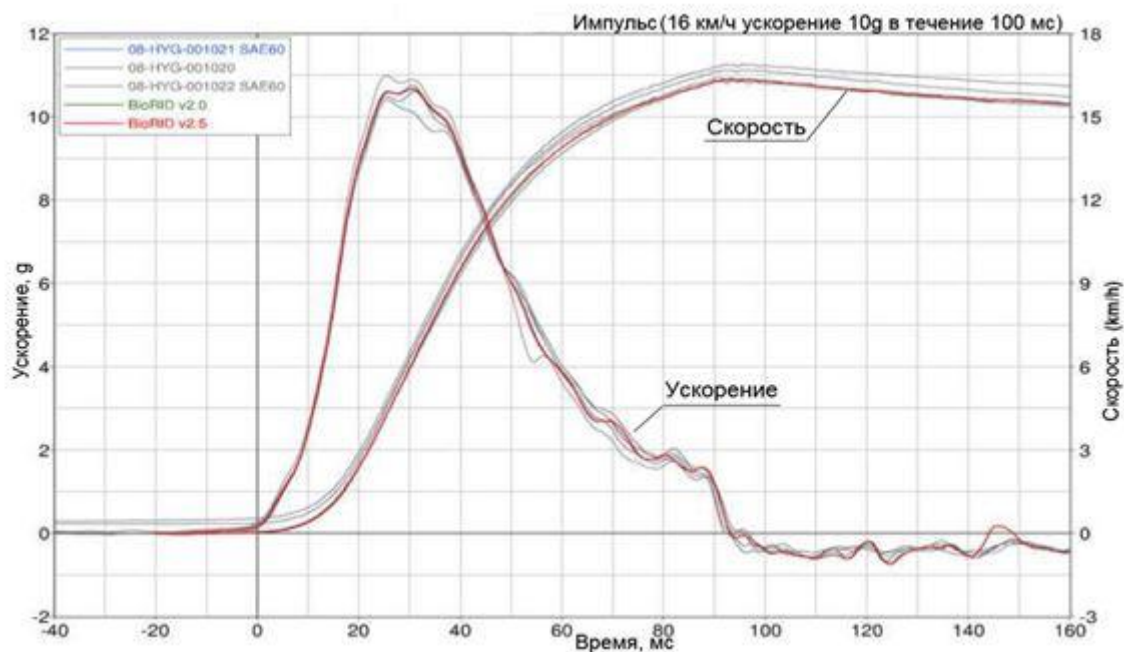


Рис. 6. Имитация «среднего» удара по автомобилю сзади. Разгон до скорости 16 км/ч с ускорением 10g в течение 20 мс

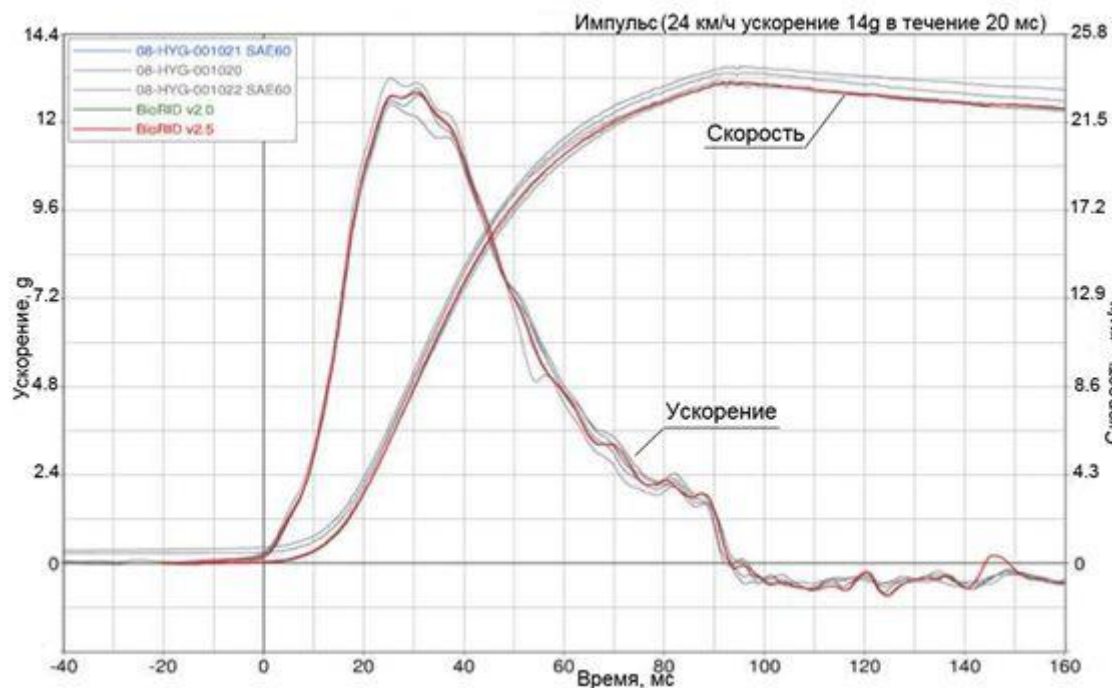


Рис. 7. Имитация «опасного» удара по автомобилю сзади. Разгон до скорости 24 км/ч с ускорением 14g в течение 20 мс



Рис. 8. Конечно-элементная модель автомобильного кресла 2-го уровня

КЭМ (Рис. 8) имеет следующие особенности:

- модель состоит из 467 936 КЭ;
- в автомобильном кресле установлен манекен BioRIDII, который пристегнут ремнем безопасности;
- измерение ускорения головы осуществляется акселерометром (Рис. 9);
- кресло зафиксировано на движущейся платформе;
- имитируется движение кресла вперед в 3-х режимах нагружения («легкий», «средний» и «тяжелый» удары) со скоростями и ускорениями в соответствии с графиками (Рис. 5, 6, 7);
- точки крепления ремня безопасности зафиксированы на стойке-элементе кузова;
- материал набивки подголовника и мягких элементов кресла – пеноматериал (MAT_LOW_DENSITY_FOAM) плотностью 27 кг/м³, коэффициент Пуассона 0, модуль Юнга 100 МПа, кривая напряжение/перемещение № 5 (Рис. 2);
- на набивку надет чехол из текстильного материала (MAT_FABRIC);
- набивка подголовника, спинки и сидения прикреплена к жесткому каркасу;
- спинка кресла и сидение соединены шарнирно, шарнирам заданы свойства упругости и демпфирования.

Модель имеет 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.

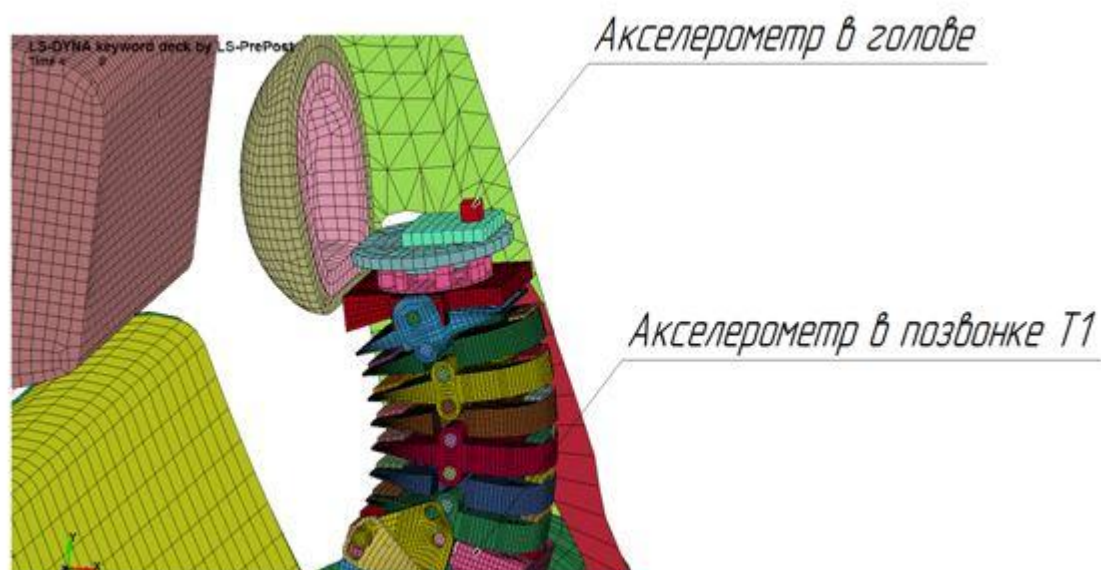


Рис. 9. Акселерометр, расположенный внутри головы манекена BioRIDII

По результатам расчетов были получены зависимости продольного ускорения головы манекена от времени (Рис. 10, Рис. 11 и Рис. 12), позвонка T1 (Рис. 13, Рис. 14, Рис. 15) и скорости головы относительно основания шеи – позвонка T1 (Рис. 16, Рис. 17, Рис. 18) для 3 режимов нагружения (Рис. 5, Рис. 6, Рис. 7).

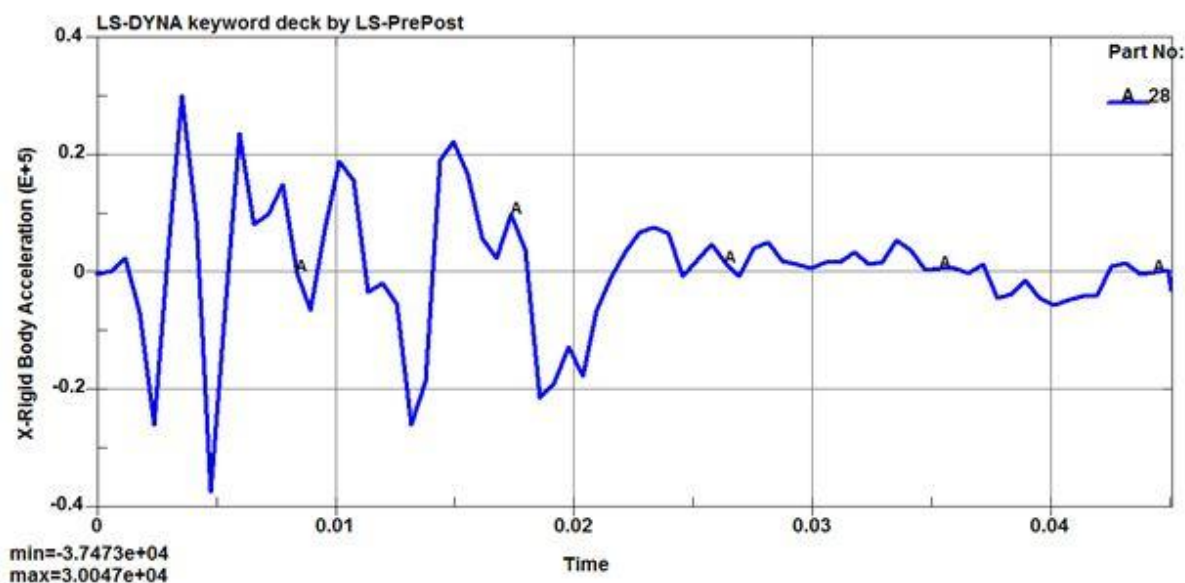


Рис. 10. Продольное ускорение (мм/с^2) позвонка T1 в режиме нагружения «Легкий» удар (16 км/ч ускорение 5 g в течение 100 мс)

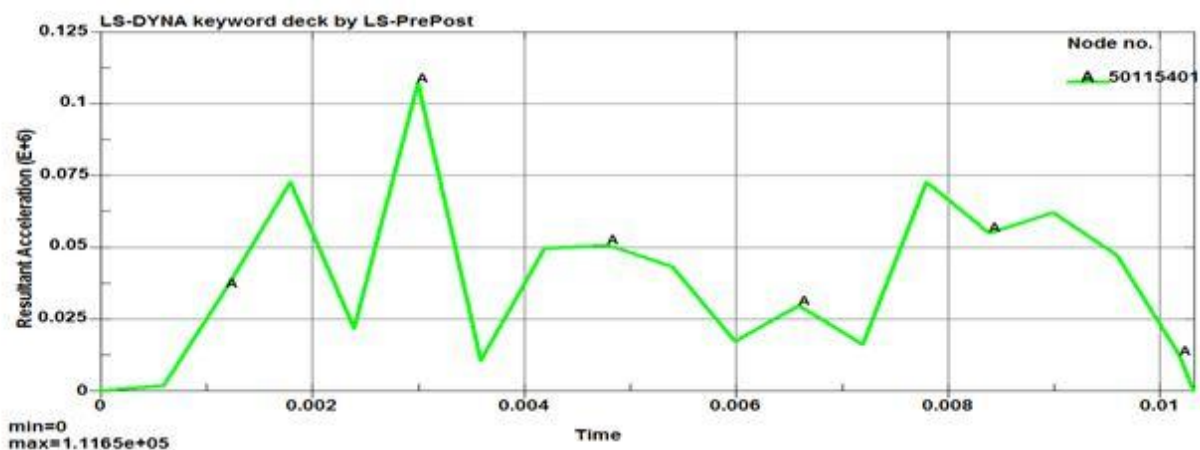


Рис. 11. Продольное ускорение (мм/с^2) головы манекена в режиме нагружения «Легкий» удар (16 км/ч ускорение 5 g в течение 100 мс)

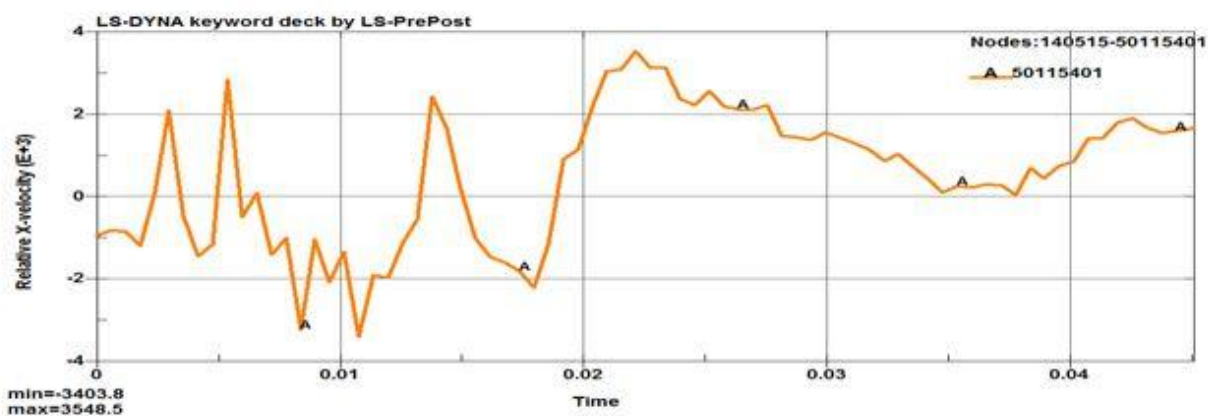


Рис. 12. Скорость головы (мм/с) относительно позвонка T1 по продольной оси («слабый удар»)

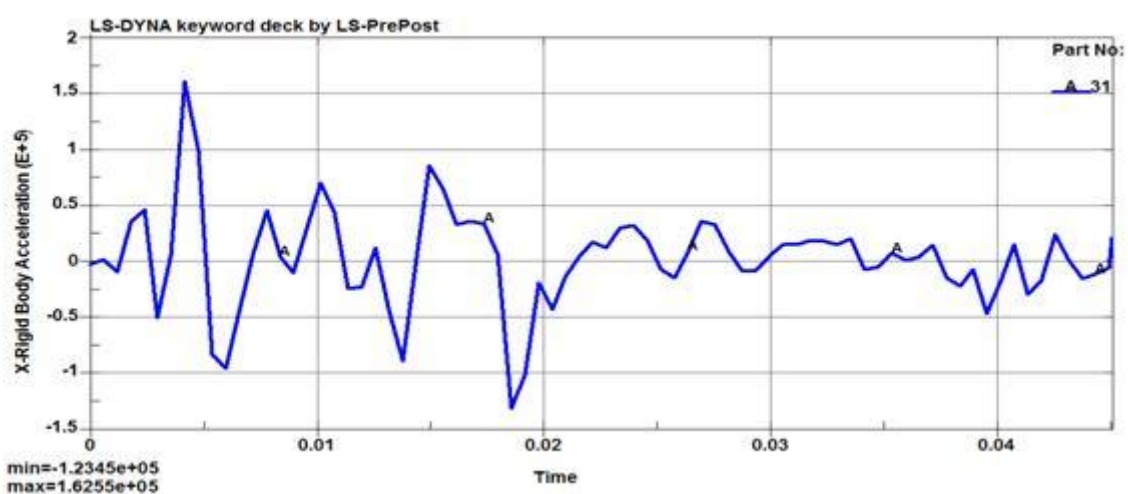


Рис. 13. Продольное ускорение позвонка T1 в режиме нагружения «Средний» удар (16 км/ч ускорение 10 g в течение 20 мс)

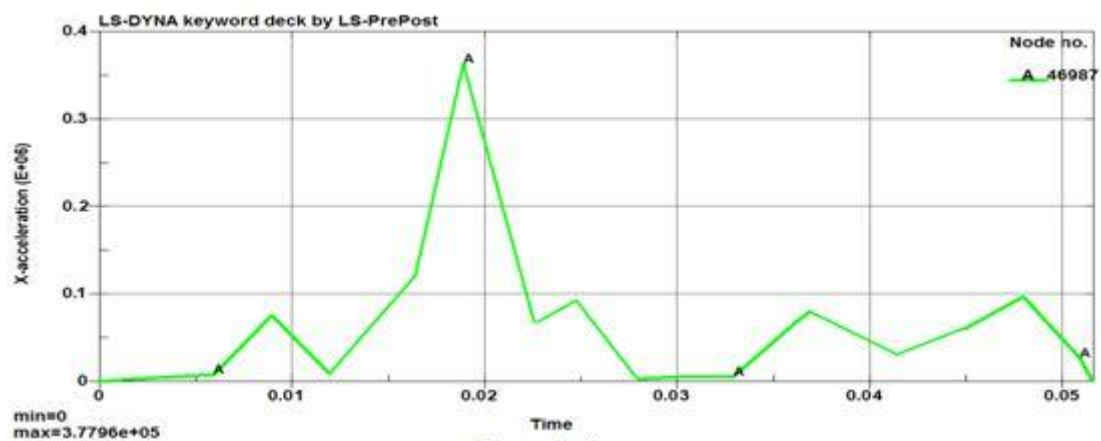


Рис. 14. Ускорение головы манекена в режиме нагружения «Средний» удар (16 км/ч ускорение 10 g в течение 20 мс)

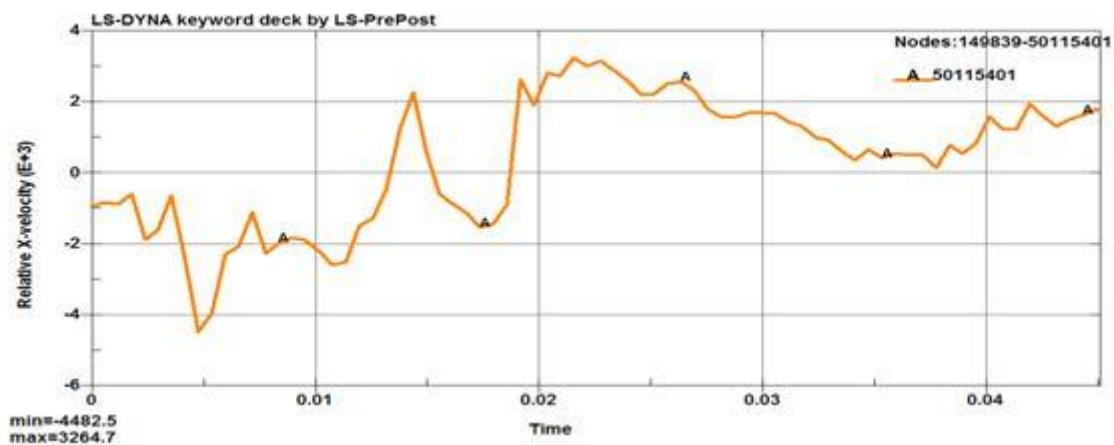


Рис. 15. Скорость головы относительно позвонка T1 по продольной оси («средний удар»)

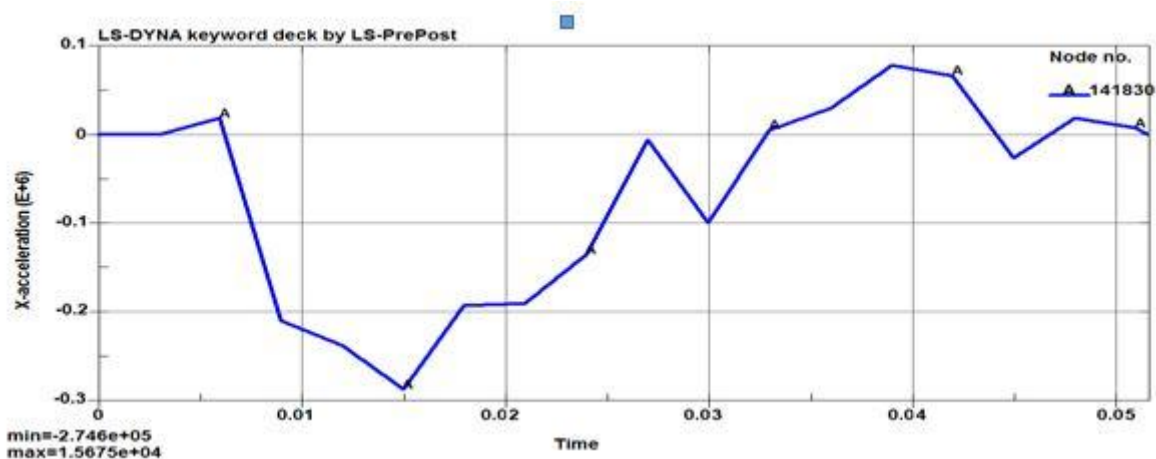


Рис. 16. Продольное ускорение позвонка T1 в режиме нагружения «Тяжелый» удар (24 км/ч ускорение 14 g в течение 20 мс)

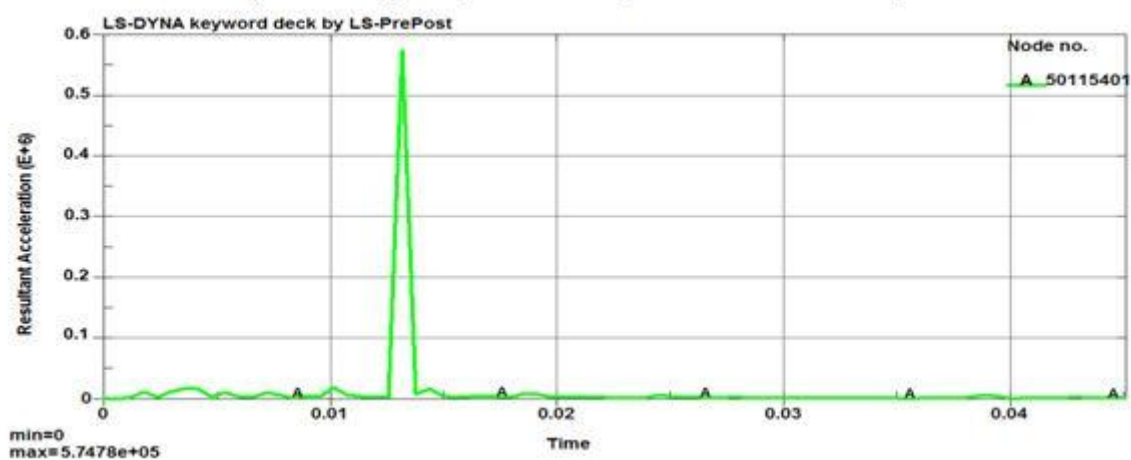


Рис. 17. Ускорение головы манекена в режиме нагружения «Тяжелый» удар (24 км/ч ускорение 14 g в течение 20 мс)

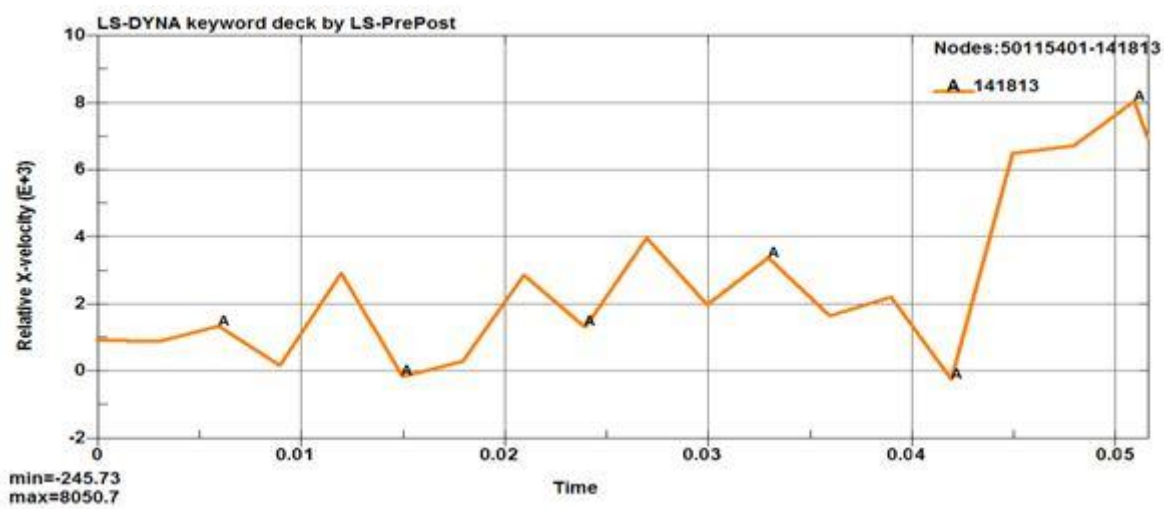


Рис. 18. Скорость головы относительно позвонка Т1 по продольной оси («тяжелый удар») (модель 2-го уровня детализации)

Таблица 2. Результаты, полученные при расчетах модели 2-го уровня по системе EURO NCAP (Рис. 8)

	«Легкий» удар, 16 км/ч ускорение 5 g в течение 100 мс	«Средний» удар, 16 км/ч ускорение 10 g в течение 20 мс	«Тяжелый» удар, 24 км/ч ускорение 14 g в течение 20 мс
Момент удара головы о подголовник, мс	0,015мс	0,018мс	0,013мс
Режим нагружения	Рис. 5	Рис. 6	Рис. 7
Продольное ускорение головы (X), g	12g	38g	57g
Относительная погрешность продольного ускорения головы (относительно результатов LSTC [7]), %	35%	21%	15%
Продольное ускорение позвонка T1(X), g	2,3g	12,5g	27,4g
Относительная погрешность продольного ускорения позвонка T1[7], %	48%	10%	44%
Ускорение головы по оси Z (X), g	2,2	4,3	5,1
Полное ускорение головы манекена $a_{\text{полное головы}}$	12,1g	38,24g	57,22g
Относительная погрешность полного ускорения головы манекена (относительно результатов LSTC [7])	33%	22%	26%
Относительная скорость, м/с	2,2м/с	2,2м/с	0,1м/с
Перемещение набивки подголовника, мм	34,134	35,446	34,471
Критерий NIC	29,354	32,155	34,276
Время выполнения расчета программой LS-DYNA, час/мин	21ч 15мин	23ч 23мин	22ч 45мин

В связи с тем, что КЭМ кресла 2-го уровня (Рис. 8) больше соответствуют реальной конструкции, чем модель 1-го уровня (Рис. 1), возросла точность полученных результатов (Таблица 2).

Разработка точной КЭМ кресла (третьего уровня) и исследование её поведения в соответствии с требованиями методики EURO NCAP

С целью получения высокоточных результатов в соответствии с требованиями EURO NCAP разработана КЭМ 3-го уровня автомобильного кресла автомобиля Volvo XC80 (Рис. 19) и выполнены соответствующие расчеты. Модель третьего уровня является более детальной и наиболее полно соответствует конструкции реального автомобильного кресла, чем модели 1-го (Рис. 1) и 2-го (Рис. 8) уровней.

В ней учитывается жесткость каркаса, упругие элементы, характеристики материала набивки и чехлов, свойства шарниров спинки и т.д. Кроме того, в соответствии с требованиями EURO NCAP в кресло усажен манекен BioRIDII, который пристегнут ремнем безопасности.

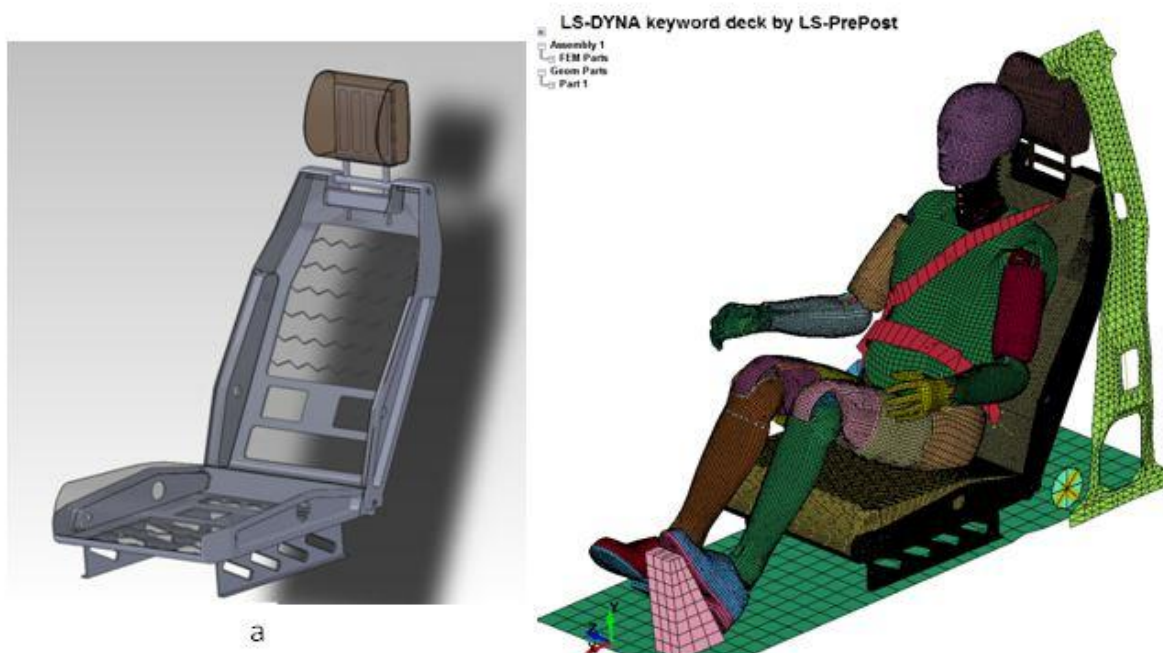


Рис. 19.Твердотельная (а) и конечно-элементная (б) модели автомобильного кресла, выполненная в соответствии с требованиями системы EURO NCAP

На рисунке 19 (а) показана модель созданного кресла, прототипом которой является кресло автомобиля Volvo XC80.

Конечно-элементная модель (Рис. 19,б) имеет следующие особенности:

- модель состоит из 1 255 358 конечных элементов;
- в автомобильном кресле установлен манекен BioRIDII, который пристегнут ремнем безопасности;
- измерение ускорений осуществляется в голове и на позвонке T1 (Рис. 9);
- кресло зафиксировано на движущейся платформе;
- имитируется движение кресла вперед в 3-х режимах нагружения со скоростями и ускорениями в соответствии с графиками, изображенными на рисунках 5, 6 и 7;
- 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 $7,88E+03 \text{ кг/м}^3$; модуль Юнга 200 ГПа, коэффициент Пуассона 0,3);
- к каркасу сидения и спинки прикреплены пружины, на которые опираются набивки спинки и сидения (жесткость пружин $20E+03 \text{ Н/м}$, коэффициент демпфирования 0, материалы MAT_SPRING и MAT_DAMPER);
- материал набивки подголовника и мягких элементов кресла – пеноматериал (MAT_LOW_DENSITY_FOAM [1]) плотностью 27 кг/м^3 , коэффициент Пуассона 0, модуль Юнга 100 МПа, зависимость напряжение/перемещение №5 (Рис. 2);
- 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 [1]) материале набивки кресла.

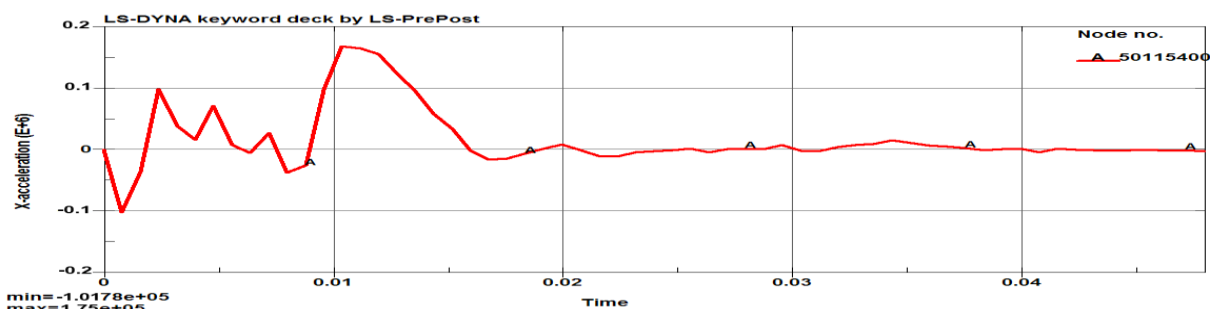


Рис. 20. Продольное ускорение (мм/с^2) головы манекена в режиме нагружения «Легкий» удар (16 км/ч ускорение 5 g в течение 100 мс) (модель 3-го уровня)

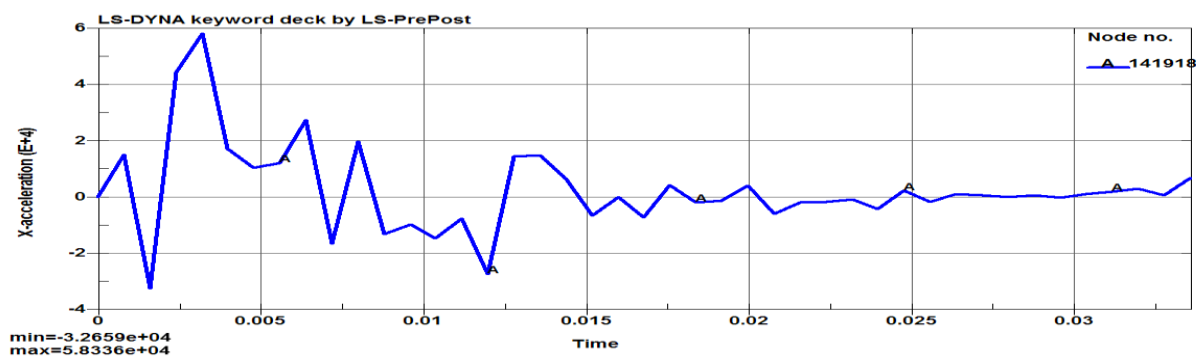


Рис. 21. Продольное ускорение (мм/с^2) позвонка T1 в режиме нагружения «Легкий» удар (16 км/ч ускорение 5 g в течение 100 мс) (модель 3-го уровня)

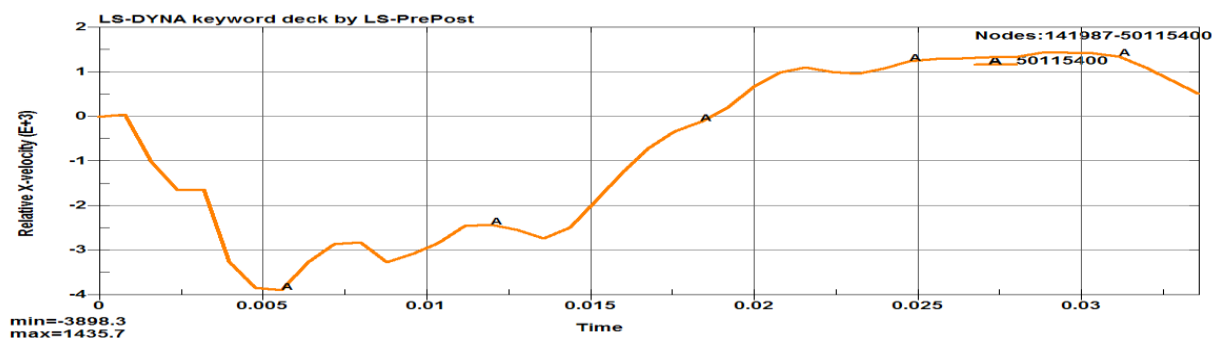


Рис. 22. Скорость головы (мм/с) относительно позвонка T1 по продольной оси

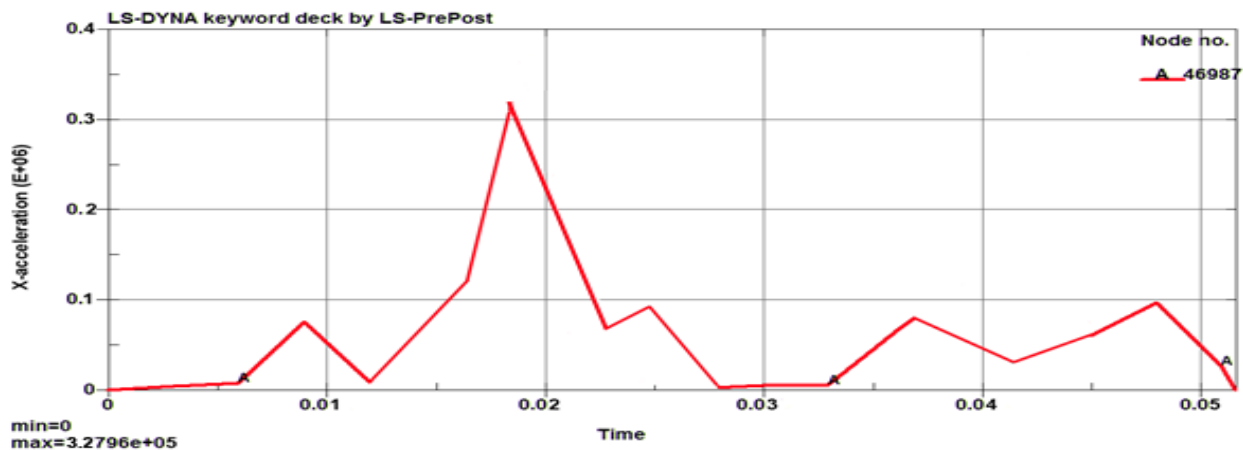


Рис. 23. Ускорение головы манекена в режиме нагружения «Средний» удар (16 км/ч ускорение 10 g в течение 20 мс)

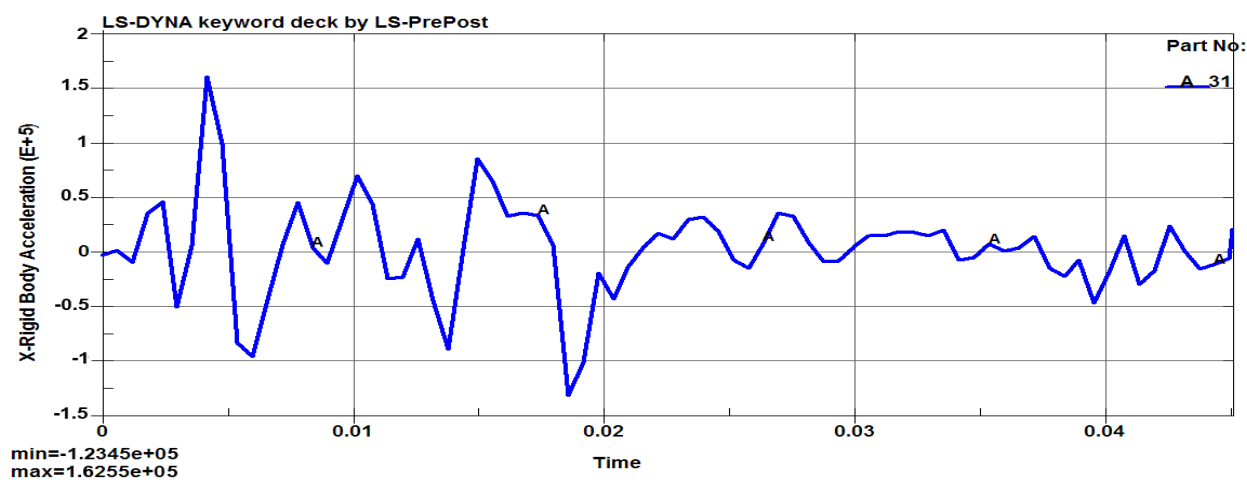


Рис. 24. Продольное ускорение позвонка T1 в режиме нагружения «Средний» удар (16 км/ч ускорение 10 g в течение 20 мс)

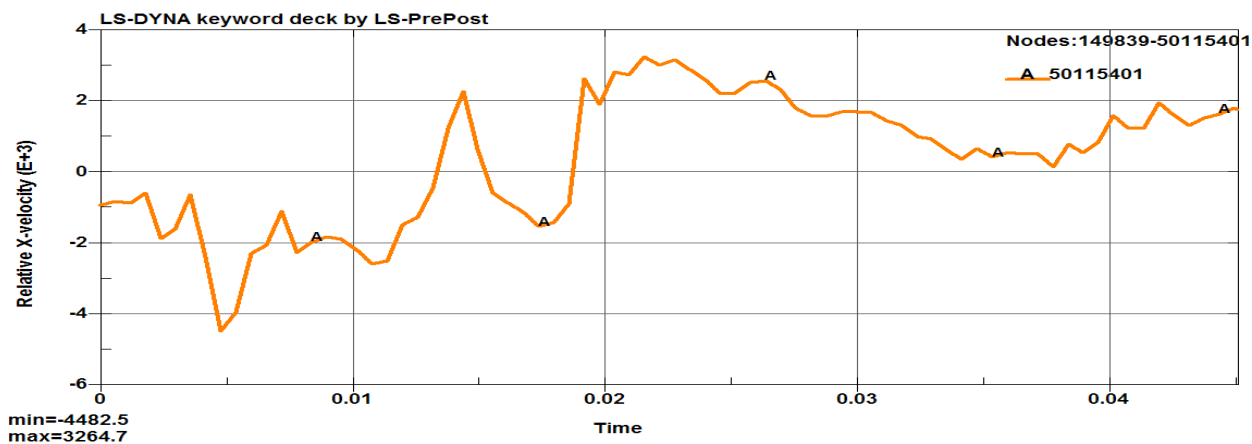


Рис. 25. Скорость головы относительно позвонка T1 по продольной оси («средний удар»)

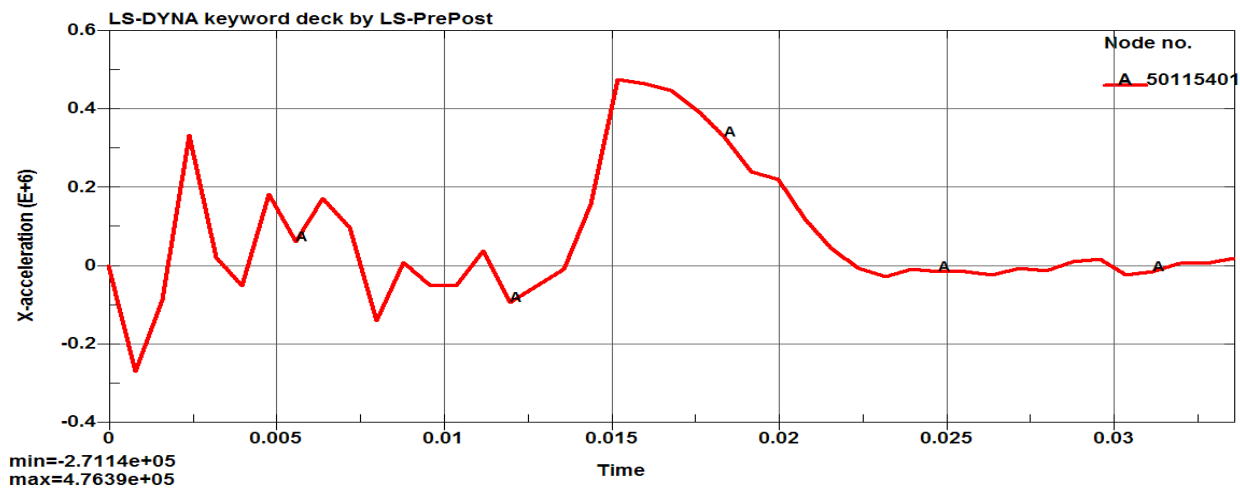


Рис. 26. Ускорение головы манекена в режиме нагружения «Тяжелый» удар (24 км/ч ускорение 14 g в течение 20 мс)

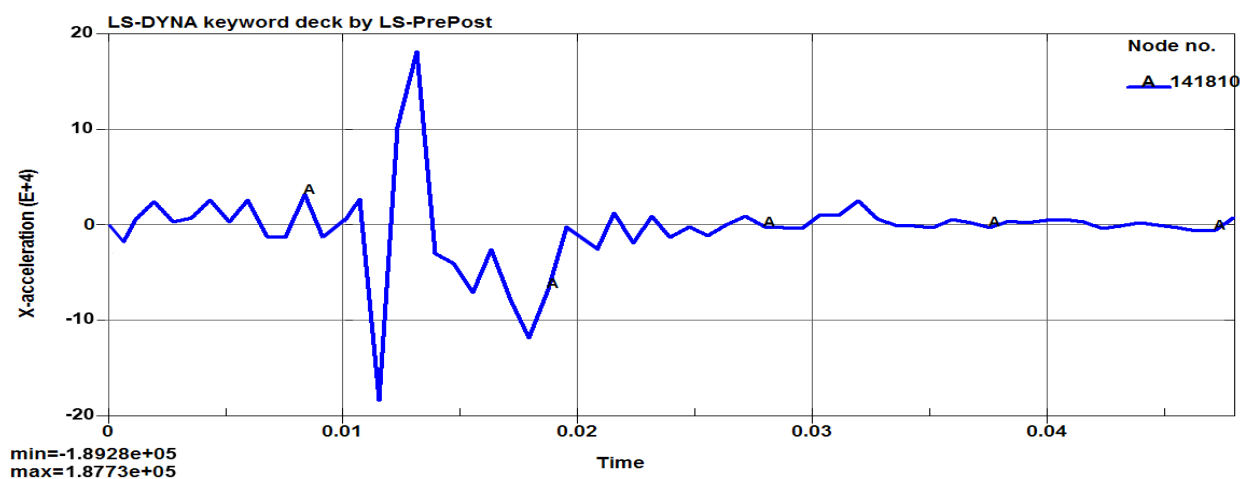


Рис. 27. Продольное ускорение позвонка T1 в режиме нагружения «Тяжелый» удар (24 км/ч ускорение 14 g в течение 20 мс)

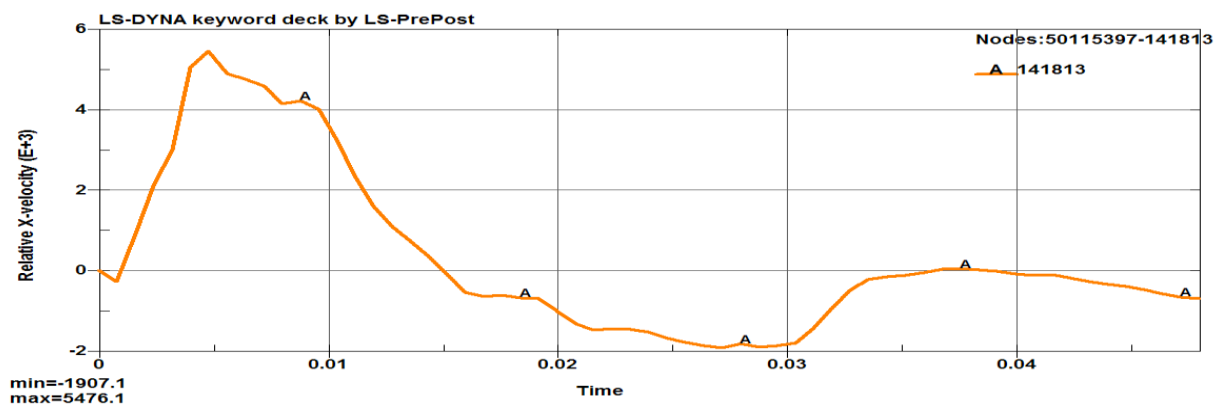


Рис. 28. Скорость головы относительно позвонка T1 по продольной оси («тяжелый удар») (модель 3-го уровня)

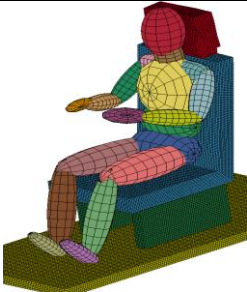
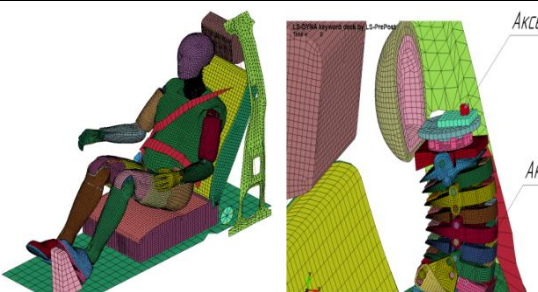
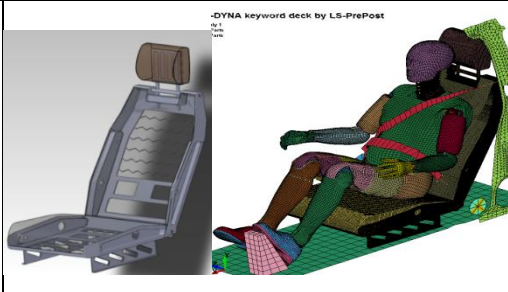
Таблица 3.Результаты, полученные при расчетах модели 3-го уровня по системе EURO NCAP (Рис. 19)

	«Легкий» удар, 16 км/ч ускорение 5 g в течение 100 мс	«Средний» удар, 16 км/ч ускорение 10 g в течение 20 мс	«Тяжелый» удар, 24 км/ч ускорение 14 g в течение 20 мс
Момент удара головы о подголов- ник, мс	0,011мс	0,018мс	0,015мс
Режим нагружения	Рис. 5	Рис. 6	Рис. 7
Продольное ускорение головы (X), g	17,85g	32g	48,57g
Относительная погрешность про- дольного ускорения головы [7], %	12%	15%	13%
Продольное ускорение позвонка T1(X) , g	3g	12,5g	19,2
Относительная погрешность про- дольного ускорения позвонка T1[7], %	33%	17%	15%
Ускорение головы по оси Z (X), g	2,5	3,8	10,5
Полное ускорение головы манеке- на $a_{\text{полное}}$ головы	18,02g	32,22g	49,69g
Относительная погрешность пол- ного ускорения головы манекена (относительно результатов LSTC [7])	17%	12%	15%
Относительная скорость, м/с	1,4	3,2	0,7
Критерий NIC*	27,146	27,980	38,457
Перемещение набивки подголов- ника, мм	30,294	31,444	33,470
Время выполнения расчета про- граммой LS-DYNA, час/мин	1д 05час 30 мин	1д 10час 17мин	1д 03час 38мин

*Значение критерия NIC в соответствии с требованиями EURO NCAP не должно превышать норма-
тивное значение 45,0.

Анализ результатов исследования поведения кресла при ударе в соответствии с требованиями EURO NCAP

Таблица 4. Сводная таблица, содержащая особенности КЭМ 3-х уровней сложности и результаты расчетов

КЭМ для предварительных и многовариантных расчетов (грубые)		КЭМ, максимально учитывающие особенности конструкции и физические свойства ее компонентов		
1-го уровня	2-го уровня		3-го уровня	
				
КЭМ	1-го уровня	2-го уровня	3-го уровня	
Количество конечных элементов	200 515 КЭ	467 936 КЭ	1 255 358 КЭ	
Цель эксперимента	Получение массива данных, который позволит оценить точность результатов испытаний более детальных моделей (2-го и 3-го уровней).	Повышение точности результатов, так как Относительная погрешность результатов при расчете модели (1-го уровня) оказалась достаточно большой и составила 59 % и 44 %.	Получение наиболее точных результатов расчетов.	
Особенности КЭМ				
1. Учет особенностей конструкции	Минимальный учет особенностей конструкции.	Моделировалось кресло. Ряд особенностей конструкции не учитывался. КЭМ кресла соответствует расчетам по ЕЭК ООН №25 [1].	Максимальный учет особенностей конструкции. КЭМ кресла соответствует расчетам по ЕЭК ООН №25 [1].	
2. Манекен	Gebod (упрощенная модель)	BioRIDII	BioRIDII	
3. Моделирование ремня безопасности и ретрактора	Не выполнено	Выполнено	Выполнено	
Результаты расчетов				
КЭМ		1-го уровня	2-го уровня	3-го уровня
Погрешность полного ускорения головы	«легкий» удар (Рис. 5)	-	33%	17%
	«средний» удар (Рис. 6)	59 %	22%	12%
	«тяжелый» удар (Рис. 7)	44%	26%	15%
Критерий NIC (не более 45)	«легкий» удар	-	29,354	27,146
	«средний» удар	-	32,155	27,980
	«тяжелый» удар	-	34,276	38,457

По результатам исследований можно сделать следующие выводы:

- при оценке по EURO NCAP детальная КЭМ 3-го уровня обеспечивает наибольшую точность при оценке безопасности кресла при ударе со скоростью 24 км/ч (по сравнению с моделями 1-го и 2-го уровней) относительно результатов натурных экспериментов (относительная погрешность 14%). Наибольшая точность достигнута при оценке удара со скоростью 16 км/ч в режиме нагружения «средний удар» (относительная погрешность полного ускорения головы 12%);

- при оценке по EURO NCAP для предварительных и многовариантных расчётов можно использовать модель среднего уровня (состоящую из 467 936 КЭ, относительная погрешность (нагружение в соответствии с рисунком 6, «средний» удар) полного ускорения головы составляет 22%). По значениям трудозатрат на ее создание и решение задачи и по погрешностям результатов такие модели можем считать рациональными;

- при оценке по критерию NIC исследуемые модели кресел 2-го уровня (467 936 КЭ) и 3-го уровня (1 255 358 КЭ) соответствуют требованиям пассивной безопасности EURO NCAP в режимах «легкий», «средний» и «тяжелый» удары.

Список литературы

1. Солопов Д.Ю., Зузов В.Н. Разработка конечно-элементных моделей автомобильных кресел с пассивными и активными 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)
2. The dynamic assessment of car seats for neck injury protection. Testing protocol. European new car assessment programme (Euro NCAP), 2009. 66 p.
3. Stahlshmidt S., Gromer A., Franz U. Fat LS-DYNA BioRIDII model. Stuttgart, Germany: Livermore Software Technology Corporation, 2009. 69 p.
4. Robert L., Bhavin V., Shr-Hung Ch., Bindeman L.P. Economical Occupant/Seat Restraint Model: Integration of ATB and LS-DYNA3D. Final Report for the Period September 1998 to December 2000. US Air Force Research Laboratory, 2002. 107 p.
5. Hallquist J. LS-DYNA Keyword User's Manual. Livermore (USA): Livermore Software Technology Corporation, 1993-2003. 2206 p.
6. 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.
7. 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)
8. ANSYS программа конечно-элементного анализа / пер. и ред. Б.Г. Рубцова; оформл. Л.П. Остапенко. М.: CAD-FEM GmbH, 1998. 66 с.
9. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике: пер. с англ. М.: Мир, 1975. 541 с.

10. Шимкович Д.Г. Расчет конструкций в MSC Visual Nastran for Windows. М.: ДМК Пресс, 2004. 704 с.
11. Шимкович Д.Г. Расчет конструкций в MSC/Nastran for Windows. М.: ДМК Пресс, 2001. 448 с.
12. Чигарев А.В., Кравчук А.С., Смалюк А.Ф. ANSYS для инженеров: справ. пособие. М.: Машиностроение-1, 2004. 512 с.

Finite Element Models Development of Car Seats With Passive Head Restraints to Study Their Meeting Requirements for EURO NCAP

08, August 2014

DOI: 10.7463/0814.0724400

D.Yu. Solopov¹, V.N. Zuzov^{1,a}

¹Bauman Moscow State Technical University, 105005, Moscow, Russia

^azuzov@mx.bmstu.ru

Keywords: [tension](#), [error](#), [deformations](#), [bending](#), [finite element method](#), [LS-DYNA](#), [passive safety](#), [head restraint](#), [car seat](#), [pendulum](#), [EURO NCAP](#)

In performing calculations to evaluate passive safety of car seats by computer modelling methods it is desirable to use the finite element models (FEM) thereby providing the greatest accuracy of calculation results. Besides, it is expedient to use FEM, which can be calculated by computer for a small period of time to give preliminary results for short terms.

The paper describes the features to evaluate a passive safety, which is ensured by the developed KEM of seats with passive head restraints according to requirements of the EURO NCAP.

Besides, accuracy of calculated results that is provided by the developed KEM was evaluated. Accuracy evaluation was accomplished in relation to the results obtained by specialists of the organization conducting similar researches (LSTC).

This work was performed within the framework of a technique, which allows us to develop effectively the car seat designs both with passive, and active head restraints, meeting requirements for passive safety.

By results of made calculations and experiments it was found that when evaluating by the EURO NCAP technique the "rough" KEM (the 1st and 2nd levels) can be considered as rational ones (in terms of labour costs for its creation and problem solving as well as by result errors) and it is expedient to use them for preliminary and multivariate calculations. Detailed models (the 3rd level) provide the greatest accuracy (the greatest accuracy is reached with the evaluated impact of 16km/h speed under the loading conditions "moderate impact". A relative error of full head acceleration is of 12%).

In evaluation by EURO NCAP using NIC criterion a conclusion can be drawn that the seat models of the 2nd level (467 936 KE) and the 3rd level (1 255 358 KE) meet the passive safety

requirements according to EURO NCAP requirements under "light", "moderate", and "heavy" impacts.

In evaluation by EURO NCAP for preliminary and multivariate calculations a model of the middle level (consisting of 467 936 KE) can be used. The relative error (loading according to figure 6, "moderate" impact) of the full head acceleration makes 22%. By the values of labour costs for its creation and task solution and by errors of results such models can be considered to be rational.

The materials presented in paper are used to teach students at the Department of Wheel Vehicles of the Scientific and Educational Complex "Special Mechanical Engineering" at Bauman Moscow State Technical University.

References

1. 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) (in Russian).
2. The dynamic assessment of car seats for neck injury protection. Testing protocol. European new car assessment programme (Euro NCAP), 2009. 66 p.
3. Stahlshmidt S., Gromer A., Franz U. *Fat LS-DYNA BioRIDII model*. Stuttgart, Germany, Livermore Software Technology Corporation, 2009. 69 p.
4. Robert L., Bhavin V., Shr-Hung Ch., Bindeman L.P. *Economical Occupant/Seat Restraint Model: Integration of ATB and LS-DYNA3D*. Final Report for the Period September 1998 to December 2000. US Air Force Research Laboratory, 2002. 107 p.
5. Hallquist J. *LS-DYNA Keyword User's Manual*. Livermore (USA), Livermore Software Technology Corporation, 1993-2003. 2206 p.
6. 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).
7. 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).

8. 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.
9. 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.).
10. 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).
11. 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).
12. Chigarev A.V., Kravchuk A.S., Smalyuk A.F. *ANSYS dlya inzhenerov* [ANSYS for engineers]. Moscow, Mashinostroenie-1 Publ., 2004. 512 p. (in Russian).