

Солопов Дмитрий Юрьевич

**МЕТОДИКА УЛУЧШЕНИЯ ПАССИВНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ
АВТОМОБИЛЕЙ ЗА СЧЕТ КРЕСЕЛ С ПАССИВНЫМИ И АКТИВНЫМИ
ПОДГОЛОВНИКАМИ**

Специальность

05.05.03 - Колесные и гусеничные машины

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук



Москва 2013

Работа выполнена в Московском государственном техническом университете имени Н.Э. Баумана.

Научный руководитель: - доктор технических наук, профессор

Зузов Валерий Николаевич

Официальные оппоненты: - доктор технических наук, профессор

ФГБОУ ВПО МГТУ им. Н.Э. Баумана

Наумов Валерий Николаевич

- кандидат технических наук, доцент

ФГБОУ ВПО АГЗ МЧС (России)

Курбатский Михаил Иванович

Ведущая организация: Государственный научный центр по

автомобилестроению РФ (ФГУП НАМИ)

Защита диссертации состоится 23 декабря 2013 г. в 16³⁰ на заседании диссертационного совета Д.212.141.07 в Московском государственном техническом университете имени Н.Э. Баумана по адресу: 105005 Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5.

Ваши отзывы в двух экземплярах, заверенные печатью, просьба выслать по указанному адресу.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана.

Автореферат разослан " _ " _____ 2013 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
доктор технических наук



Сарач Е.Б.

НТБ МГТУ им. Н.Э. Баумана



2039242

Солопов Д.Ю. Методика улу

-243

2900

Актуальность темы: В настоящее время по всему миру ведутся работы по улучшению безопасности автомобилей за счет автомобильных кресел. Проведение их всесторонних исследований с использованием современных программных комплексов (CAE) на базе метода конечных элементов (МКЭ), способно существенно повысить эффективность процесса проектирования. Эта задача очень сложная и трудоемкая, поскольку связана с ударом и, как следствие, является существенно нелинейной с большими значениями деформаций, напряжениями и ускорениями, что также требует высокой квалификации инженеров-расчетчиков.

Процесс проектирования осложняется тем, что на данный момент недоступных методик, ориентированных на такие программные комплексы. В связи с этим актуальной задачей является разработка методики создания автомобильных кресел на стадии проектирования, отвечающих требованиям пассивной безопасности, которая позволит разрабатывать конструкции в максимально быстрые сроки.

Научная новизна результатов выполненных исследований, выносимых на защиту, заключается:

- в разработке методики улучшения пассивной безопасности автомобилей за счет создания автомобильных кресел, как с активными, так и с пассивными подголовниками, отвечающих требованиям пассивной безопасности, включающей в себя:

- разработку рациональных КЭМ автомобильных кресел с учётом особенностей конструкции, исследование поведения их при ударе, осуществляемом в соответствии с существующими стандартами пассивной безопасности, оценку полученных результатов расчётов с позиций погрешностей и трудозатрат на разработку и решение с помощью программных комплексов, реализующих МКЭ (ANSYS, Femar и LS-DYNA);

- разработку КЭМ активного подголовника, особенности которого состоят в том, что во время удара сзади за головой человека надувается подушка, и оценка эффективности данной конструкции с точки зрения пассивной безопасности;

- целенаправленное изменение характеристик материала набивки с целью удовлетворения требованиям пассивной безопасности, обоснование целесообразности применения активных подголовников и оценку их эффективности, обоснование выбранного закона движения активного подголовника;

- в полученных выводах и результатах.

Целью работы является улучшение пассивной безопасности автомобилей за счет совершенствования конструкций автомобильных кресел на стадии проектирования и доводки для обеспечения требований отечественных и международных стандартов пассивной безопасности с использованием конечно-элементного анализа.

Для достижения цели в работе поставлены и последовательно решены следующие основные задачи:

- проведен анализ типовых конструкций автомобильных кресел с целью выявления конструктивных особенностей, влияющих на безопасность при дорожно-транспортных происшествиях;

- Разработаны КЭМ подголовников и кресел разного уровня детализации и осуществлен их анализ при статическом и динамическом режимах нагружения с целью отработки принципов построения рациональных КЭМ. Проведен их анализ с позиций оценки погрешностей решения (моделирования) и соответствия требованиям международных норм;

- проведен анализ свойств материалов набивки кресел. Полученные характеристики учтены при разработке КЭМ подголовников и кресел. Оценена точность результатов, которая обеспечивается при задании данных характеристик;
- проведен анализ, в процессе которого выполнялось целенаправленное изменение характеристик материала набивки в разработанных КЭМ, с целью выбора наилучших с позиций удовлетворения требованиям пассивной безопасности;
- проведены многовариантные расчёты на базе МКЭ автомобильных кресел с различными особенностями конструкции с целью оценки влияния каждого фактора (включая конфигурацию и густоту сетки конечных элементов (КЭ) на характер деформаций и величины относительной поглощённой энергии конструкции;
- разработаны подходы к совершенствованию конструкции кресел для обеспечения соответствия предъявляемым требованиям по безопасности (Правила ЕЭК ООН №17 и №25, EURO NCAP).

Практическая ценность работы состоит в следующем:

- результаты работы могут быть использованы при проектировании и усовершенствовании конструкции автомобильных кресел. Результаты теоретических исследований и рекомендации по улучшению конструкции кресла позволяют на стадии проектирования получить необходимые характеристики кресла при поглощении энергии удара и добиться того, чтобы соблюдались требования пассивной безопасности, обозначенные в нормативных документах.
- теоретические и методологические разработки и полученные результаты используются в НИР и в учебном процессе Научно-Учебного Комплекса «Специальное машиностроение» МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Достоверность работы подтверждалась известными теоретическими решениями, экспериментальными исследованиями, а также сравнениями теоретических результатов с экспериментальными данными.

Апробация работы. Основные положения и результаты диссертационной работы заслушивались и обсуждались на:

- 79-й международной Научно-Технической конференции «Безопасность транспортных средств в эксплуатации» Ассоциации Автомобильных Инженеров (ААИ), Нижегородский Государственный Технический Институт им. Алексея, г. Нижний Новгород, 03-04 октября 2012 г.;
- научно-технических семинарах кафедры колёсных машин (СМ-10) МГТУ им. Н.Э. Баумана в 2009-2013 гг., г. Москва;
- Пятой Всероссийской конференции молодых ученых и специалистов «Будущее машиностроения России», МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва, октябрь 2012 г.

Реализация работы. Материалы диссертационной работы используются при обучении студентов кафедры колесных машин Научно-Учебного Комплекса «Специальное машиностроение» МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 3 научные работы, из них 2 – по перечню ВАК РФ.

Структура работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, общих выводов, списка литературы. Работа содержит 179 страниц печатного текста, 10 таблиц, 132 рисунка. Список литературы содержит 101 наименование.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Введение содержит обоснование актуальности темы диссертации и общую характеристику работы. Приведено краткое содержание выполненных исследова-

ний, сформулирована цель работы и отражены основные положения, которые выносятся на защиту.

В первой главе диссертации проведен обзор состояния проблемы в области пассивной безопасности автомобиля при ударе сзади.

Проблеме пассивной безопасности, начиная со второй половины прошлого века, было посвящено большое количество экспериментальных и теоретических работ. Из отечественных авторов можно выделить работы, авторами которых являются В.А. Лялин, М.В. Лыжов, Л.Л. Афанасьев, А.Б. Дьяков, А.М. Иванов, В.Н. Иванов, И.К. Коршаков, Э.Н. Никульников, А.И. Рябчинский, Р.К. Фотин, С.С. Дмитриченко, Л.Н. Орлов, В.Н. Зузов и ряд других авторов.

Специалистами по всему миру проведен ряд исследований, в процессе которых проводилось компьютерное моделирование испытаний кресел при различных конфигурациях сетки КЭ и сложностях КЭМ и оценивалась точность полученных результатов. Близкими к теме диссертации являются работы специалистов компании LSTC (разработчик LS-DYNA), голландского университета Eindhoven University of Technology, Австралийского университета Monash University, американского университета University of Cincinnati, американской компании DatapointLab и других организаций.

С целью обоснованного конечно-элементного моделирования автомобильных кресел и, в том числе подголовников, в работе были рассмотрены конструкции ведущих фирм, выявлены и обобщены их основные особенности, а также современные тенденции проектирования.

Для определения нагрузочных режимов, которые используются при испытаниях автомобильных кресел, были проанализированы стандарты пассивной безопасности, основными из которых являются правила ЕЭК ООН и стандарты EURO NCAP. В данных документах регламентируются требования к нагрузкам, перемещениям и ускорениям, по которым можно судить о пассивной безопасности конструкций автомобилей за счет автомобильных кресел.

На основе проведенного обзора сделаны следующие выводы:

1. Проведенный анализ литературы показал, что опубликованные статьи по теме диссертации не содержат в себе общих методов построения имитационных моделей конструкций автомобильных кресел и зачастую носят описательный или рекламный характер.

2. По результатам анализа конструкций установлено, что кресла с пассивными подголовниками гасят энергию удара за счет набивки, а также податливости каркаса упругости пружин, а кресла с активными – дополнительно за счет упругих и демпфирующих свойств шарнира подголовника.

3. В настоящее время улучшение безопасности конструкций автомобильных кресел выполняется преимущественно путем проведения натурных испытаний. Однако серьезный недостаток данного метода в том, что необходим реальный объект, при этом есть ограничения по возможности внесения кардинальных изменений в конструкцию в процессе ее доводки и относительная дороговизна проведения испытания. В связи с этим целесообразно использовать МКЭ, так как это позволяет уменьшить время и стоимость разработки, сократить до минимума количество испытательных образцов.

4. Разработка методики совершенствования конструкции автомобильных кресел с пассивными и активными подголовниками с целью удовлетворения требований пассивной безопасности является актуальной.

5. Правила ЕЭК ООН №25 не позволяют проводить испытания активных подголовников.

Во второй главе обосновано показано, что наилучшей программой для проведения расчетов быстро протекающих процессов, таких как удар, методом конечных элементов является LS-DYNA. При этом, рассматриваются такие подходы к математическому описанию движения деформируемой сплошной среды, как лагранжевый, однокомпонентный эйлеровый, однокомпонентный произвольный лагранжево-эйлеровый, многокомпонентный эйлеровый с целью грамотного использования этих методов при моделировании.

Моделирование поведения подголовника при квазистатическом и динамическом режимах нагружения

При проведении расчетов, 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 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.

В разделе «Моделирование поведения подголовника при квазистатическом нагружении» поставлена задача и проведена работа по выбору свойств материалов для компонентов конструкции кресла (материалов набивки).

При моделировании набивки кресла в программном комплексе LS-DYNA использовалась модель материала (MAT_LOW_DENSITY_FOAM), которая позволяет имитировать характеристики полиуретановых пеноматериалов, применяемых в набивках. Для оценки точности моделирования были проведены расчеты и натурные испытания и сопоставлены их результаты.

При этом для проведения испытаний и расчетов выбран режим квазистатического нагружения, так как он дает возможность оценить перемещение набивки в зависимости от деформации, что затруднительно сделать в процессе удара.

На начальном этапе работы целесообразно исследовать поведение подголовника в отдельности от кресла, это позволяет наиболее полно оценить влияние основных факторов, таких как характеристики материала набивки, особенности конструкции каркаса и т.д. на точность результатов, которую обеспечивает модель. Кроме того, на начальном этапе работы важно обосновать выбор рациональных КЭМ подголовников, которые рассчитываются компьютером за минимальный период времени.

Для проведения исследований были созданы КЭМ подголовника разного уровня сложности (Рис. 1). В этих КЭМ (и предлагаемых далее) осуществлялось разбиение на КЭ, образующее гексагональную сетку(КЭ). При этом набивка моделировалась КЭ типа «Solid», каркас и чехлы - КЭ типа «Shell», упругие и демпфирующие элементы - линейными КЭ.

Проведена серия натурных экспериментов (Рис. 8) и расчетов при квазистатическом нагружении подголовника, выполнен анализ характеристик материалов

(Рис. 2 и 3), на основе которого оценена точность результатов и выбраны параметры материала, обеспечивающего наилучшие параметры пассивной безопасности.

В результате проведенных исследований установлено, что разработанные КЭМ и задаваемые характеристики материалов, позволяют получить приемлемую точность результатов в режиме квазистатического нагружения. Относительная погрешность 15-17 % по напряжениям в режиме квазистатического нагружения обеспечивается моделью высшего уровня (Рис. 1, в).

Моделирование поведения подголовника при ударе по автомобилю сзади в соответствии с требованиями Правил ЕЭК ООН №25

Была выполнена оценка точности результатов расчета при ударе, которую обеспечивает КЭМ с характеристиками материала набивки, полученными при квазистатическом нагружении подголовника. Кроме того, была выполнена серия расчетов, из которых были установлены характеристики материала набивки, обеспечивающие наилучший уровень пассивной безопасности, а также выявлены основные особенности конструкции, которые необходимо учесть при создании КЭМ 2-го и 3-го уровней сложности.

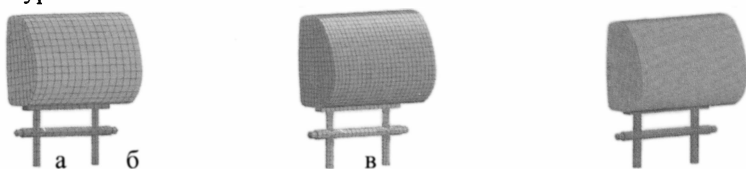


Рис. 1. КЭМ подголовников: а - низшего уровня (2 785 КЭ); б - среднего уровня (87 876 КЭ); в - высшего уровня (112 877 КЭ)

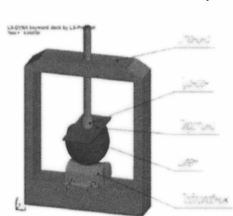


Рис. 1. Квазистатическое нагружение КЭМ подголовника на стенде

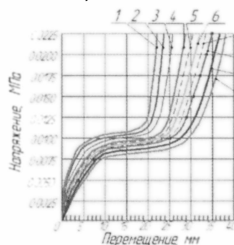


Рис. 2. Результаты натурального эксперимента (10 измерений)

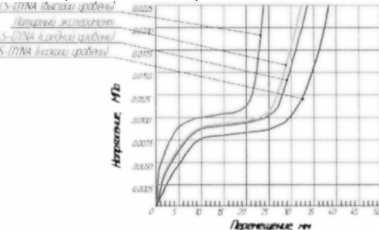


Рис. 3. Графики изменений свойств набивки материала подголовника при квазистатическом нагружении

С этой целью были разработаны КЭМ подголовника 3-х вариантов разбиения на КЭ (низший уровень 6628 КЭ, средний уровень 20 907 КЭ и высший уровень 164 952 КЭ, Рис. 4). Достоинство этих моделей (только подголовников) в том, что они рассчитываются компьютером за минимальный период времени, что позволяет рассмотреть большое количество вариантов за короткое время.

В программе LS-DYNA был выполнен расчет моделей в соответствии с требованиями Правил ЕЭК ООН №25. В процессе решения моделируется удар металлическим маятником массой 6,8 кг о подголовник с начальной скоростью 24,1 км/ч. При расчётах КЭМ подголовника (Рис. 4) для 3-х вариантов разбиения модели на конечные элементы была выполнена оценка пикового значения ускорения в момент удара, перемещений в материале набивки подголовника, времени расчета модели компьютером и погрешности относительно результатов натурных экспериментов.

Получены характеристики напряженно-деформированного состояния, возникающего в набивке подголовника после удара маятником. При сравнении полученных результатов с данными натурных экспериментов (Рис. 8) можно сделать вывод, что предложенные КЭМ (Рис. 4) позволяют обеспечить приемлемую точность расчетов (Табл. 1).

Выбор характеристик материала набивки. С целью выбора характеристик материала набивки, позволяющих улучшить пассивную безопасность в соответствии с требованиями Правил ЕЭК ООН №25, была выполнена серия из 24 расчетов. В 17-ти из них вносились изменения в модуль Юнга материала, а в 10-ти из них вносились изменения в характеристики зависимости напряжения от перемещения (Рис. 2). Плотность материала (306 кг/м^3) и коэффициент Пуассона (0) при этом не изменялись.

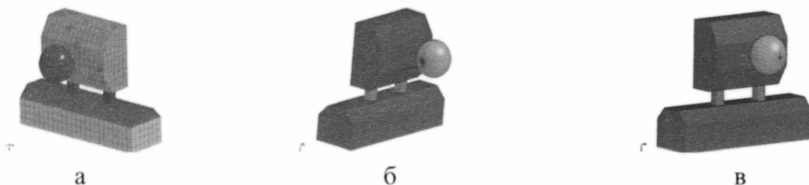


Рис. 4. КЭМ подголовника: а - низшего уровня (6628 КЭ), б - среднего уровня (20907 КЭ), в - высшего уровня (164 952 КЭ)



Рис. 5. Графики зависимостей от модуля Юнга: а) ускорения; б) перемещения набивки; в) относительной погрешности результатов

На рисунках 7, 8 и 9 приведены сводные графики зависимостей ускорений маятника, перемещений материала набивки подголовника и относительной погрешности результатов от модуля Юнга, полученные по результатам 17 экспериментов. На графике (Рис. 5) можем наблюдать, что наиболее точные результаты (относительная погрешность 10 %) получены при значениях модуля Юнга материала набивки в диапазоне от 100 до 700 МПа. Наиболее точные результаты достигнуты при 700 МПа.

Для материала с модулем Юнга 700 МПа проведена серия из 10 расчетов, в каждом из которых использовались различные варианты кривых нагружения материала (Рис. 2). Плотность материала (27 кг/м^3), модуль Юнга (700 МПа) и коэффициент Пуассона (0) в процессе расчетов не изменялись.

Натурный эксперимент. Для оценки погрешностей моделирования и вычислений был проведен натурный эксперимент, в котором реализованы нагрузочные режимы (удар маятником), регламентируемые Правилами ЕЭК ООН №25. С этой целью был создан стенд для проведения натурных испытаний и выполнена серия экспериментов (Рис. 5). На рисунке 6 в качестве примера приведен один из

графиков зависимости ускорения маятника от времени и нормальное распределение ускорения маятника во время удара (рис. 7).

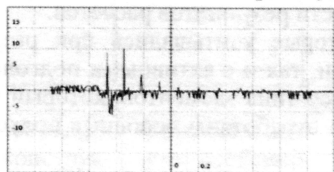


Рис. 6. Ускорение маятника при ударе о подголовник (ось абсцисс – время, ось ординат – ускорение)

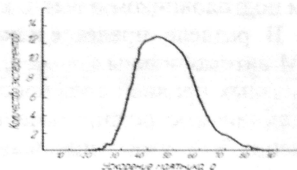


Рис. 7. Нормальное распределение ускорений маятника

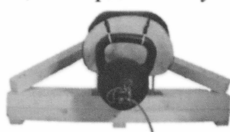


Рис. 8. Фрагменты стенда и аппаратура для проведения натурных испытаний

По результатам проведенных экспериментальных и расчетных исследований можно сделать следующие выводы:

1. свойства материалов подголовника следует моделировать в зависимости от скорости его нагружения;
2. при оценке свойств материала набивки (квазистатический режим) модель высшего уровня, состоящая из 112877 КЭ, позволяет получить решение с наименьшими относительными погрешностями (в среднем 15 % по ускорениям и 20 % по перемещениям);
3. при оценке свойств материала набивки (квазистатический режим) для предварительных и многовариантных расчетов можно использовать КЭМ среднего уровня (состоящая из 87876 КЭ, средняя погрешность 10-15% по сравнению с экспериментом). По значениям трудозатрат на ее создание и решение задачи и по погрешностям результатов такие модели можем считать рациональными;
4. при оценке ускорений по результатам исследований (в режиме удара) установлено, что КЭМ высшего уровня (164952 КЭ) обеспечивает получение наивысшей точности, относительная погрешность составляет 14 %. При оценке перемещений наибольшая точность обеспечивается моделью среднего уровня (20 907 КЭ, погрешность составляет 15 %). При этом выявлено, что модель подголовника соответствует требованиям пассивной безопасности, поскольку ускорение в момент удара не превышает 80 g;
5. при расчете (на базе модели 1-го уровня, 6628 КЭ) было установлено, что свойства выбранного материала из библиотеки LS-DYNA наиболее соответствуют свойствам реального пеноматериала набивки подголовника кресла автомобиля при задании следующих характеристик: плотность 27 кг/м^3 , модуль Юнга в диапазоне от 100 до 700 МПа, коэффициент Пуассона 0, зависимость напряжения/перемещение №5 (Рис. 2).

Третья глава. 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 собственно кресла на точность результатов. Кроме того, определялись границы изменений парамет-

ров, влияющих на пассивную безопасность автомобиля за счет выбора рациональных характеристик материала набивки и закона движения в конструкциях с активным подголовником и выполнена оценка точности результатов расчетов.

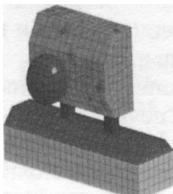
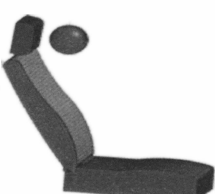
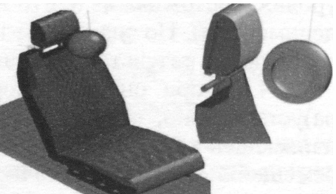
В разделе представлены принципы, которые учитывались при разработке КЭМ автомобильных кресел, как с пассивными, так и с активными подголовниками разных уровней сложности. Обоснован выбор типа элементов, который используется при построении базовых КЭМ, а также отработаны основные подходы для решения быстротекущих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

В процессе исследований проводились расчеты КЭМ 1-го, 2-го и 3-го уровней детализации (идентично с представленными в главе 2). Они выполнялись в соответствии с требованиями Правил ЕЭК ООН №25 и EURO NCAP для кресел как пассивными, так и с активными подголовниками.

При расчетах по Правилам ЕЭК ООН №25 выполнялась оценка пикового значения ускорения (в момент удара), перемещений в материале набивки подголовника, времени расчета модели компьютером и погрешности относительно результатов натурных экспериментов. При расчетах в соответствии с требованиями EURO NCAP оценивались ускорения головы манекена и позвонка T1, скорости головы относительно позвонка T1, критерий NIC, деформации и напряжения в набивке подголовника, время расчета модели компьютером и относительная погрешность результатов.

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

Таблица 1.

КЭМ для предварительных и многовариантных расчетов («грубые»)		КЭМ, максимально учитывающие особенности конструкции и физические свойства ее компонентов «точные»	
1-го уровня	2-го уровня	3-го уровня	
 Рис. 9	 Рис. 10	 Рис. 11	
	1-го уровня	2-го уровня	3-го уровня
Варианты разбиения на конечные элементы (низший (НУ), средний (СУ) и высший (ВУ) 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.
Цель расчетов:	Выбор характеристик материала набивки	1. Оценка изменений точности по сравнению с результатами расчетов подголовника в отдельности (КЭМ 1-го уровня);	Получение наиболее точного результата расчетов.

		2. Выбор характеристик материала набивки, обеспечивающих наилучший уровень пассивной безопасности.	
Особенности КЭМ			
Учет особенностей конструкции и физических свойств ее компонентов	Минимальный учет особенностей конструкции (моделировался только подголовник).	Моделирование кресла в целом. Ряд особенностей конструкции не учитывался.	Максимальный учет особенностей конструкции.
Натурный эксперимент	Рис. 5(глава 2)	Рис. 8(глава 3)	Рис. 15(глава 3)
Результаты расчетов			
Модели ВУ*	164 952 КЭ	879 699 КЭ	1 744 104 КЭ
Погрешность ускорения	15 %	12%	10%
Погрешность перемещения	20 %	15%	11%

Как видно из таблицы лучшую точность позволили обеспечить конечно-элементные модели высшего уровня.

Выбор характеристик материала набивки, обеспечивающих наилучший уровень пассивной безопасности

Проведены расчеты для 3-х вариантов характеристик материала набивки (глава 2), которые были выбраны из диапазона характеристик, определенных при испытаниях подголовника в отдельности (Рис.14). При этом выявлены подходы к выбору характеристик пеноматериала набивки, обеспечивающих наилучший уровень пассивной безопасности в соответствии с требованиями Правил ЕЭК ООН №25.



Рис. 14. Ускорение маятника в зависимости от значения модуля Юнга материала набивки подголовника (модели 1-го и 2-го уровней)

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 напряжения от деформации №5 (Рис. 2).

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

Натурный эксперимент. Испытания 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 (Рис. 9). На массивной плите, зафиксированной на полу, было установлено кресло от автомобиля ВАЗ-2102 (экспортный вариант).

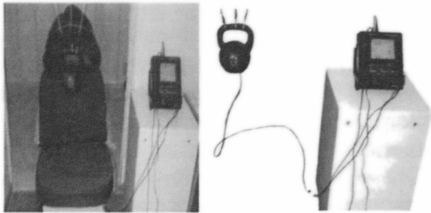


Рис. 15. Стенд и аппаратура для проведения натурных испытаний

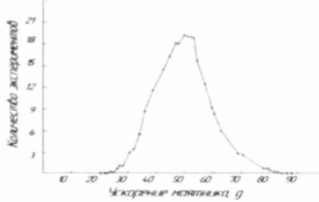


Рис. 16. Нормальное распределение ускорения маятника

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.

Из анализа результатов компьютерного моделирования видно, что точность результатов возросла при использовании КЭМ кресла высшего уровня (по ускорениям относительная погрешность составляет 9%, по деформациям - 8%, а по сравнению с расчетами по модели только подголовника уменьшилась на 5 % по ускорениям и на 7 % по деформациям). Это вполне очевидно, т.к. модель кресла более приближена к реальной конструкции, чем грубая модель подголовника.

Разработка КЭМ кресел с пассивными подголовниками в соответствии с требованиями EURO NCAP

Таблица 2.

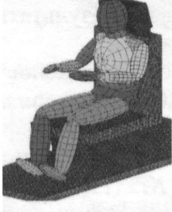
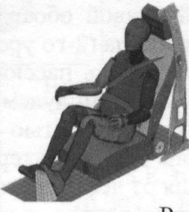
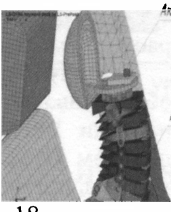
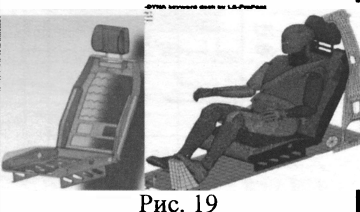
КЭМ для предварительных и многовариантных расчетов («грубые»)			КЭМ, максимально учитывающие особенности конструкции и физические свойства ее компонентов «точные»
1-го уровня	2-го уровня		3-го уровня
			
Рис. 17	Рис. 18		Рис. 19
КЭМ	1-го уровня	2-го уровня	3-го уровня
Количество конечных элементов	200 515 КЭ	467 936 КЭ	1 255 358 КЭ

Таблица 2 – продолжение

Цель расчетов	Получение массива данных для анализа конструкции, а также оценки точности результатов расчетов для подготовки более детальных моделей (2-го и 3-го уровней).	Получение массива данных для анализа конструкции с повышенной точностью результатов (относительная погрешность результатов при расчете модели 1-го уровня составила 59 % в режиме «средний» удар и 44 % в режиме «тяжелый» удар).	Получение массива данных для анализа конструкции при наиболее точных результатах расчетов.
---------------	--	---	--

Особенности КЭМ

1. Учет особенностей конструкции	Минимальный учет особенностей конструкции.	Моделировалось кресло полностью. Ряд особенностей конструкции не учитывался. КЭМ кресла соответствует расчетам по ЕЭК ООН №25.	Максимальный учет особенностей конструкции. Оценка соответствия кресла требованиям Правил ЕЭК ООН №25.
2. Модель манекена	Gebod (упрощенная модель)	BioRIDII	BioRIDII

Результаты расчетов

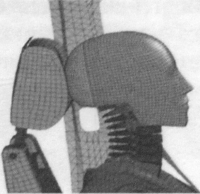
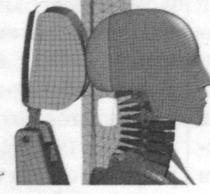
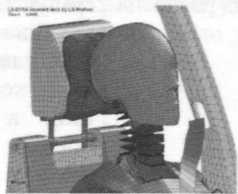
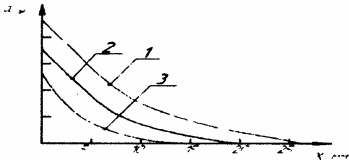
КЭМ		1-го уровня	2-го уровня	3-го уровня
Относительная погрешность полного ускорения головы	«легкий» удар (Рис. 5)	-	33%	17%
	«средний» удар (Рис. 6)	59 %	22%	12%
	«тяжелый» удар (Рис. 7)	44%	26%	15%
Критерий NIC (не более 45)	«легкий» удар	-	29,354	27,146
	«средний» удар	-	32,155	27,980
	«тяжелый» удар	-	34,276	38,457

Разработка КЭМ кресел с активными подголовниками и их расчет в соответствии с требованиями EURO NCAP

С целью оценки эффективности конструкций активных подголовников, также с целью обеспечения наилучшего уровня пассивной безопасности, были разработаны КЭМ кресла 3-х вариантов конструкций активных подголовников (Ри 20, 21, 22).

Таблица

КЭМ кресла с активным подголовником, шарнирно соединенным со спинкой	КЭМ кресла с активным подголовником, который выдвигается навстречу голове при ударе	КЭМ кресла с активным подголовником, который оснащен надувающейся подушкой
--	---	--

 Рис. 20	 Рис. 21	 Рис. 22
Особенность данной КЭМ в том, что она содержит шарнир, для которого заданы характеристики упругости и демпфирования.	Особенность данной КЭМ в том, что энергия удара гасится упругими элементами, установленными между подголовником и каркасом.	Особенности данной КЭМ активного подголовника в том, что при ударе за головой манекена надувается подушка, которая прикреплена beam-элементами к подголовнику (Рис. 19). Подголовник зафиксирован на спинке кресла и не движется навстречу голове.
 Рис. 17. График предлагаемой зависимости ускорения от перемещения подголовника в момент удара		

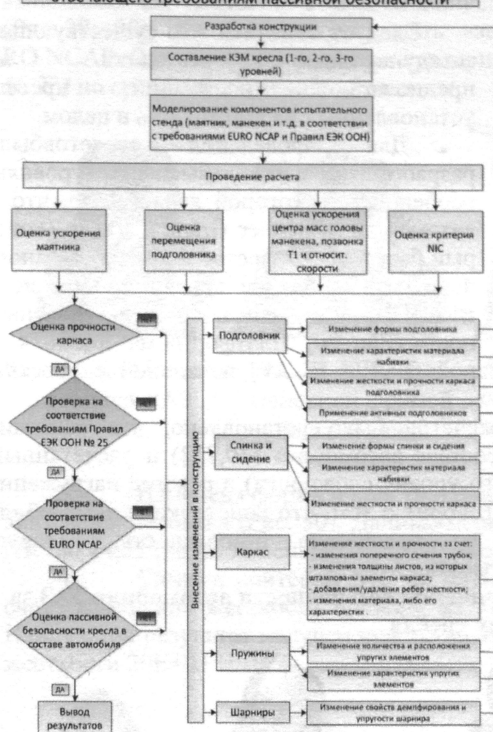
Для первых двух конструкций (Рис. 20 и 21) активных подголовников на основе предварительного анализа задан закон движения (Рис. 17), позволяющий максимально снизить ускорения и нагрузки на голову и шею в момент удара (Рис. 23).

По результатам проведенных расчетов, выполненных в 3 главе, 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 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 (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 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 NIS при ударе составило 28,25.

Четвертая глава диссертации посвящена изложению разработанной методики улучшения автомобильных кресел с пассивными и активными подголовниками при ударе сзади с точки зрения пассивной безопасности.

Блок-схема методики создания автомобильного кресла, отвечающего требованиям пассивной безопасности



На первом этапе создается КЭМ прототипа кресла и уточняются её основные параметры, такие как: масса, геометрические размеры, свойства используемых в КЭМ материалов и т.д. Основываясь на проведенных исследованиях, моделируются элементы каркаса, набивка мягких компонентов кресла, шарниры, пружины и т.д. На базе этих КЭМ разрабатывается имитационная модель, включающая кресло и компоненты испытательного стенда. При этом в соответствии с требованиями международных методик выполняется моделирование компонентов испытательного стенда, а также манекен, ремень безопасности, металлический маятник и т.д.

На втором этапе проводится предварительный расчет модели с исходными параметрами в соответствии с требованиями правил испытаний. В целях получения более точных результатов и оптимизации времени выполнения расчета компьютером выполняется оптимизация сетки конечных элементов.

На третьем этапе по результатам проведенного расчета оцениваются ускорения маятника и центра масс головы манекена, перемещения подголовника, напряжения в набивке и каркасных элементах кресла, а также время расчета модели компьютером.

В случае удовлетворения требованиям и отсутствия необходимых доработок, проводится расчет на базе КЭМ высшего уровня, в которой более детально смоделированы особенности конструкции. Если выполняются требования при испытаниях по системе EURO NCAP и ЕЭК ООН №25, то необходимо проведение испытаний по оценке пассивной безопасности данного кресла в составе автомобиля. После завершения теоретических исследований создается реальное кресло и проводятся натурные испытания, позволяющие окончательно оценить соответствие всем требованиям и точность расчетных результатов.

На четвертом этапе в случае, если кресло не удовлетворяет предъявляемым требованиям, выполняются операции по выбору свойств материалов компонентов кресла, изменению конструкции каркаса кресла, его формы, а также принимается решение о введении активной части кресла.

Оценка автомобильных кресел в составе автомобиля с точки зрения пассивной безопасности

В данном разделе выполнена оценка влияния конструкции автомобиля (прежде всего кузова) на безопасность, которую обеспечивает кресло. При этом, необходимо установить – на сколько будет отличаться пассивная безопасность при

установке кресла на автомобиль и пассивная безопасность при испытаниях кресла в отдельности.

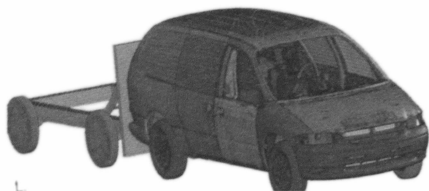


Рис. 20. КЭМ автомобиля, в который установлено кресло с манекеном BioRIDII

Следует отметить, что существующие международные методики не предполагают испытаний кресел, установленных на автомобиль в целом.

Для проведения расчетов была разработана КЭМ «высшего уровня», особенностью которой является то, что в автомобиле Chrysler Grand Caravan (который был взят в качестве примера) установлено автомобильное кресло с манекеном BioRIDII, пристегнутым ремнем безопасности (Рис. 20). Платформа массой 1814 кг

ударяет автомобиль сзади с нормативной (EURO NCAP) начальной скоростью 24 км/ч.

По результатам проведенных расчетов было установлено, что различие значения критерия NIS для кресла в составе автомобиля (30,712) и расчетным только для кресла (без автомобиля, 3-го уровня сложности) в режиме нагружения «тяжелый удар» составило 20 %. Это говорит о том, что конструкция автомобиля оказывает существенное влияние на пассивную безопасность, которую обеспечивает кресло, и ее следует учитывать.

Применение методики с целью улучшения безопасности автомобиля УАЗ за счет кресла



Рис. 21. Кресло автомобиля УАЗ



Рис. 22. 3-D модель кресла



Рис. 23. КЭМ кресла с установленным манекеном

Эффективность разработанной методики была проиллюстрирована на примере автомобиля УАЗ. Для этого была создана КЭМ кресла автомобиля УАЗ (Рис. 23) и выполнен ее расчет в соответствии с требованиями EURO NCAP в режиме нагружения «тяжелый удар». В результате было установлено, что кресло не соответствует требованиям пассивной безопасности, так как значение критерия NIS составило 57,075, и оно превышает нормативное значение (45,0).

На основании всестороннего анализа был внесен ряд изменений в конструкцию.

1. Применен материал с модулем Юнга 100 МПа, плотностью 27 кг/м^3 , коэффициентом Пуассона 0 и характеристиками зависимости напряжения от деформации №5. По результатам расчета КЭМ значение критерия NIS составило 50,73, что на 11 % ниже, чем при расчете исходной модели.

2. Изменена форма подголовника и конструкция его каркаса. Форма была выполнена по аналогии с подголовником автомобиля Toyota Corolla 2013 г. (Рис. 28, 29), который получил пять «звезд» по результатам испытаний EURO NCAP. За счет этого значение критерия NIS удалось снизить еще на 19% (до 46,23) по сравнению с исходной моделью.

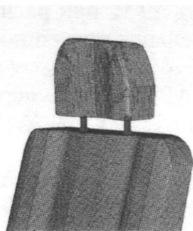


Рис. 24. КЭМ подголовника УАЗ

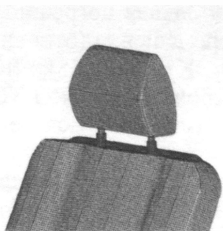


Рис. 25. КЭМ с измененной формой подголовника

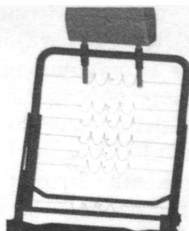


Рис. 26. КЭМ спинки кресла с упругими элементами

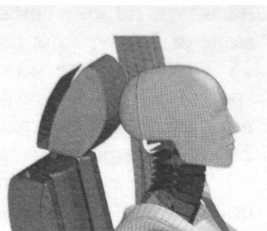


Рис. 27. КЭМ-кресла УАЗ с активным подголовником

3. Изменена форма и конструкция каркаса спинки кресла в соответствии с анатомией человека (Рис. 30). Данные меры позволили снизить значение критерия NIS до 44,52 (на 22 % меньше по сравнению с исходной моделью).

4. Снижен критерий NIS до 42,81 (на 25 %). Этого удалось добиться за счет изменения жесткости пружин, их количества и точек крепления (Рис. 26). Наилучший результат получен при установке в спинку 8 пружин с коэффициентом жесткости $20\text{E}+03 \text{ Н/м}$.

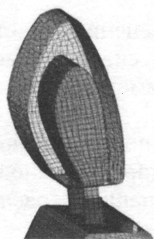
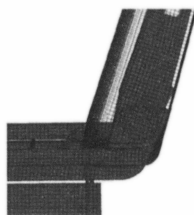


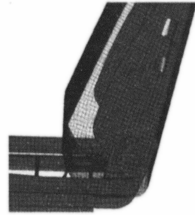
Рис. 28. КЭМ с измененной формой каркаса подголовника



Рис. 29. Подголовник Toyota Corolla в разрезе



а



б

Рис. 30. КЭМ спинки: а - с исходной формой; б – с измененной формой

5. Применена конструкция с активным подголовником, который выдвигается навстречу голове при ударе (Рис. 27). Закон движения подголовника задан в соответствии с Рис. 17. Значение критерия NIS составило 37,10 (на 35 % меньше по сравнению с исходной моделью).

Основные результаты и выводы по работе

На основании проведенных теоретических исследований получены следующие результаты и выводы.

1. Разработана методика улучшения автомобильных кресел с пассивными и активными подголовниками при ударе сзади с точки зрения пассивной безопасности (включающая в себя: принципы создания рациональных КЭМ подголовника

и автомобильного кресла в целом; методологии совершенствования конструкции для улучшения параметров, влияющих на пассивную безопасность автомобиля.

2. Разработаны рациональные КЭМ (1-го и 2-го уровней) автомобильных кресел с учётом особенностей конструкции, исследовано поведение их при ударе, осуществляемом в соответствии с существующими стандартами пассивной безопасности по критериям: ускорение (относительная погрешность 12 % при расчете модели 2-го уровня по ЕЭК ООН №25), перемещения (относительная погрешность 15 % при расчете модели 2-го уровня по ЕЭК ООН №25), NIC (относительная погрешность 22 % при расчете модели 2-го уровня по EURO NCAP в режиме «средний удар»); время выполнения расчета (5 мин при расчете по ЕЭК ООН №25 и 23ч 23мин при расчете по EURO NCAP).

3. Разработаны КЭМ (3-го уровня), обеспечивающие наивысшую точность результатов в соответствии с существующими стандартами пассивной безопасности по критериям: ускорение (относительная погрешность 10 % при расчете модели 2-го уровня по ЕЭК ООН №25), перемещения (относительная погрешность 11 % при расчете модели 2-го уровня по ЕЭК ООН №25), NIC (относительная погрешность 12 % при расчете модели 2-го уровня по EURO NCAP в режиме «средний удар»); время выполнения расчета (5 мин при расчете по ЕЭК ООН №25 и 1д 3ч 38мин при расчете по EURO NCAP).

4. Применение активных подголовников позволяет снизить значение критерия NIC (на 4% при использовании активного подголовника шарнирно соединенного со спинкой и на 24% при использовании активного подголовника с выдвигающейся подушкой).

5. Применение подушки, надувающейся за головой, дает наибольший эффект по улучшению параметров пассивной безопасности (снижение значения критерия NIC на 31%).

6. Разработаны рекомендации на базе методики по изменению конструкции кресла автомобиля УАЗ, которые позволили повысить пассивную безопасность (снижение критерия NIC на 25% и, кроме этого, за счет применения активного подголовника –ещё на 35%).

7. Рекомендуется проводить оценку пассивной безопасности автомобиля при ударе сзади с использованием КЭМ всего автомобиля, в котором установлено кресло с манекеном (повышение точности результатов по сравнению с расчетом только кресла - на 20%).

Материалы диссертации опубликованы в следующих работах

1. 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.(0.8 п.л./0.75 п.л.) № 06. DOI: 10.7463/0613.0574693. Личный вклад соискателя: конечно- элементные модели, результаты расчётов.

2. Солопов Д.Ю., Зузов В.Н. Проблема создания КЭМ автомобильных кресел с активными подголовниками, отвечающими требованиям пассивной безопасности // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2013. (1.1 п.л./1 п.л.)№ 07. DOI: 10.7463/0713.0578993. Личный вклад соискателя: конечно- элементные модели, результаты расчётов.

3. Солопов Д.Ю. Решение проблемы создания конечно-элементных моделей автомобильных кресел и проведение их испытаний методами компьютерного моделирования // Будущее машиностроения России: Электронный сборник трудов пятой всероссийской конференции молодых учёных и специалистов. Информрегистр. № 0321202782. Москва. 2012. (0.5 п.л./0.4 п.л.).