

Зузов Игорь Валерьевич

МЕТОД СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ КОНСТРУКЦИИ КОРПУСА КУЗОВА
ЛЕГКОВОГО АВТОМОБИЛЯ НА СТАДИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ДЛЯ
ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТРЕБОВАНИЙ ПАССИВНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ
КОСО-ФРОНТАЛЬНОМ УДАРЕ

Специальность 05.05.03 - Колесные и гусеничные машины

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук



Научный руководитель:

д.т.н., проф. Зузов В.Н.

Москва 2012

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

Научный руководитель: - доктор технических наук, профессор
Зузов В.Н.

Официальные оппоненты: - доктор технических наук, профессор
Балабин И.Б.

- кандидат технических наук, доцент,
проректор по научной работе
Падалкин Б.В.

Ведущая организация: Государственный научный центр по
автомобилестроению РФ (ФГУП НАМИ)

Защита диссертации состоится 21 мая 2012 г. в 14³⁰ 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 “ ” _____ 2012 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
доктор технических наук



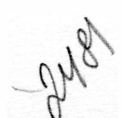
Сарач Е.Б.

НТБ МГТУ им. Н.Э.Баумана



1997051

Зузов И.В. Метод совершенств



ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность: в настоящее время проблема пассивной безопасности автомобиля - одна из наиболее сложных и трудоёмких задач, которую приходится решать при проектировании новых транспортных средств. Поскольку пассивная безопасность в первую очередь определяется ударно-прочностными свойствами несущей системы, в частности, кузова автомобиля, то это должно учитываться уже на самых ранних стадиях проектирования, когда невозможны натурные испытания. В мире внедряются все более жесткие правила, по которым оценивается степень защиты водителя и пассажиров автомобиля, в связи с чем, возникает необходимость в теоретической оценке пассивной безопасности кузовов на стадии проектирования, позволяющей сократить время и стоимость разработки, сократить до минимума количество испытательных образцов. Таким образом, тема данной научной работы, посвященной разработке метода совершенствования конструкции корпуса кузова на стадии проектирования для обеспечения требований пассивной безопасности при косо-фронтальном ударе, является актуальной.

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

- в разработке методов совершенствования конструкции корпуса кузова на стадии проектирования с целью удовлетворения требований пассивной безопасности, включающих в себя:

- моделирование и исследование влияния инициаторов деформаций и пеноалюминия применительно к лонжеронам;

- разработку рациональных конечно-элементных моделей (КЭМ) корпуса кузова (с учетом инициаторов деформаций и пеноалюминия), манекена, деформируемого препятствия, рулевой колонки и подушки безопасности разного уровня сложности для общей оценки поведения элементов конструкции и взаимодействия между ее компонентами;

- разработку метода целенаправленного изменения жесткости и прочности элементов кузова для достижения необходимой энергоемкости корпуса кузова (в т.ч. путем введения или удаления инициаторов деформаций, пеноалюминия, изменения геометрии и др.).

- в полученных научных результатах и выводах.

Цель работы: совершенствование конструкций корпусов кузовов легковых автомобилей на стадии проектирования и доводки, для обеспечения требований отечественных и международных стандартов пассивной безопасности при косо-фронтальном ударе с использованием математического моделирования.

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

- проведен анализ типовых конструкций кузовов легковых автомобилей с целью выявления конструктивных особенностей, влияющих на энергоемкость и поведение конструкции во время удара;

- осуществлена оценка энергоемкости и поведения конструкции на примере тонкостенных труб (конструктивный аналог лонжеронов) с различными инициаторами деформаций при наличии и отсутствии пенного наполнителя;

- разработаны КЭМ кузова автомобиля для анализа влияния особенностей конструкции на ее поведение при ударе. Оценены границы применимости каждой из разработанных моделей;

- проведены многовариантные расчеты на базе КЭМ кузова автомобиля с различными особенностями конструкции (инициаторы, выштамповки, наличие пенного наполнителя и т.д.) с целью оценки влияния каждого фактора, включая конфигурацию и густоту сетки КЭ, на характер деформаций и энергоемкость;

- разработан метод совершенствования конструкции корпуса кузова при расчете на косо-фронтальный удар;

- проведены расчеты применительно к кузову легкового автомобиля с целью иллюстрации основных положений метода, разработки рекомендаций по совершенствованию конструкции.

Практическая ценность работы состоит в следующем:

- результаты работы могут быть использованы при проектировании и доводке корпусов кузовов легковых автомобилей, в том числе результаты теоретических исследований и рекомендации по улучшению конструкции позволяют на стадии проектирования или при ее доводке получить необходимую энергоемкость кузова (применительно к кузову выбранного объекта исследований энергоемкость была повышена на 35%) и добиться желаемого характера деформаций;

- теоретические и методологические разработки и полученные результаты используются в НИР и в учебном процессе НУК СМ 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:

- Всероссийской научно-технической конференции, посвященной 70-летию факультета «Специальное машиностроение» МГТУ им. Н.Э.Баумана 21-22 мая 2008г;

- научно-технических семинарах кафедры СМ-10 – «Колесные машины» МГТУ им. Н.Э. Баумана в 2009-2012 гг. (г. Москва);

- Четвертой Всероссийской конференции молодых ученых и специалистов «Будущее машиностроения России», октябрь 2011 г.

Реализация работы. Материалы диссертационной работы используются при обучении студентов кафедры «Колесные машины» НУК СМ МГТУ имени Н.Э. Баумана.

Публикации. По материалам диссертации опубликовано четыре работы.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, общих выводов, списка литературы. Работа содержит 140 страниц печатного текста, 7 таблиц, 66 рисунков. Список литературы содержит 106 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Введение содержит обоснование актуальности темы диссертации и общую характеристику работы.

В первой главе приведен обзор литературы по проблеме пассивной безопасности и методам ее оценки.

С целью выявления особенностей конструкции, основных видов инициаторов деформаций для их дальнейшего учета и использования проанализированы конструкции разных типов кузовов.

Проблеме пассивной безопасности, начиная со второй половины прошлого века, было посвящено большое количество экспериментальных и теоретических работ. Из отечественных авторов можно выделить работы Рябчинского А.И., Фролова В.В., Дмитриченко С.С., Иванова В.Н. и Лялина В.А., Орлова Л.Н. и ряда других авторов. Из зарубежных авторов большой вклад в исследования пассивной безопасности внесли Вуд, Т. Вержбицки и В. Абрамович, Н. Джонс, и др. Следует так же выделить работу авторов P.D. Bois, C.C. Chou, B.B. Fileta и др., в которой изложены основополагающие принципы силовой схемы кузова, факторы влияющие на пассивную безопасность, а так же рассмотрены все типы применяемых манекенов. В работе M.Asadi, P.Tattersall, B. Walker, H.Shirvani описаны основные принципы построения модели деформируемого препятствия, обосновано применение определенных моделей материала в программном комплексе LS-Dyna. Следует отметить научные школы МАДИ, МГТУ им. Н.Э. Баумана, НГТУ, МГТУ «МАМИ» и др., в которых изучаются проблемы пассивной безопасности.

В диссертации представлена статистика по основным видам дорожно-транспортных происшествий, на основе которой можно судить о важности поставленной задачи. Установлено, что ударно-прочностные свойства несущей системы являются важнейшим фактором, влияющим на пассивную безопасность, а косо-фронтальный удар - наиболее травмоопасный и сопровождается большим количеством летальных исходов.

Выявлено, что современные кузова имеют каркасную, полукаркасную, либо бескаркасную конструкцию, поэтому для исследования необходимо использовать методы, позволяющие проводить расчет оболочечных систем.

В результате анализа существующих методов расчета отмечено, что нелинейный расчет сложной пространственной конструкции, каковой является кузов, возможен только с помощью МКЭ. На сегодняшний день накоплен богатый опыт по расчету конструкций этим методом, но, в то же время, в открытой печати отсутствуют методики совершенствования конструкции кузова при расчете на косо-фронтальный удар. В конце главы сделаны основные выводы по проблеме исследования и обеспечения пассивной безопасности легковых автомобилей и поставлены основные задачи исследования, решение которых необходимо для достижения цели работы.

Во второй главе изложены основы теории МКЭ применительно к линейным и нелинейным задачам, быстротекущего процесса (удара), проведен обзор численных методов решения этих задач. Исследовано и обосновано применение каждого типа конечного элемента (КЭ). На основании анализа сделан вывод о том, что применительно к поставленной задаче наиболее эффективным является явный метод интегрирования Эйлера, на котором основан решатель программного комплекса LS-Dyna.

Нагрузочные режимы для всех последующих расчетов выбирались в соответствии с правилами испытаний ЕЭК ООН №94 и европейскими правилами Euro NCAP.

Как было выявлено, основным энергопоглощающим элементом кузова при косо-фронтальном и фронтальном ударе является лонжерон. Он представляет собой тонкостенную трубу замкнутого профиля, имеющую инициаторы деформаций различных видов (отверстия, выштамповки, переменные размеры поперечного сечения и толщины и др.). В связи с этим были определены задачи данной главы. Эти задачи включали в себя:

- создание КЭМ труб с разной конфигурацией сетки для оценки границ применимости каждой модели и последующего использования при разработке КЭМ корпуса кузова автомобиля;
- оценка влияния наиболее типичных для лонжеронов инициаторов деформаций и пеноалюминия на энергоемкость конструкции.

Моделировались инициаторы деформаций, наиболее типичные для лонжеронов. На первом этапе проводились исследования поведения тонкостенных пустотелых труб при осевом ударе молотом. Основными параметрами оценки был выбран характер деформирования и энергоемкость. Расчетная схема (рис.1) состоит из недеформируемой опорной поверхности и молота, массой $m = 25$ кг, дви-

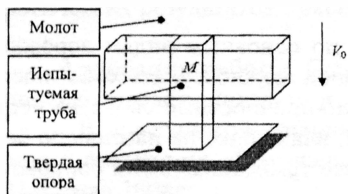


Рис.1. Расчетная схема

жущегося вертикально вниз, скорость которого в момент касания с трубкой составляет 17,78 м/с. Скорость удара выбрана в соответствии с правилами Euro NCAP. Масса молота выбрана такой, чтобы происходило неполное смятие трубки для облегчения определения энергоемкости.

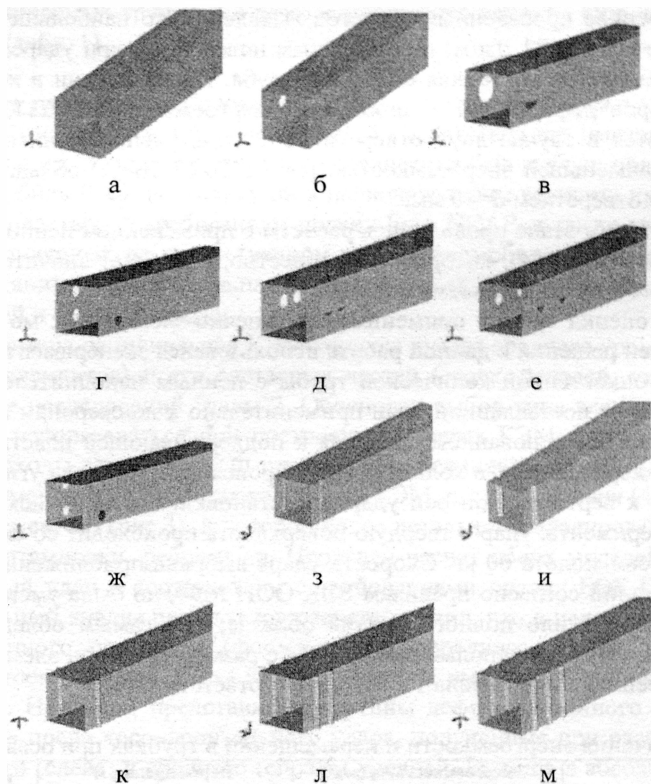


Рис.2. Конечно-элементные модели труб с различными инициаторами деформации: а- без инициаторов; б- отверстие диаметром $d=20$ мм; в- отверстие $d=40$ мм; г- два отверстия $d=20$ мм; д- два отверстия $d=20$ мм расположены вдоль оси трубки; е- два отверстия $d=20$ мм расположены вдоль оси трубки на расстоянии 30 мм друг от друга; ж- два отверстия $d=20$ мм расположены перпендикулярно оси трубки на расстоянии 10 мм друг от друга; з- внутренняя выштамповка радиусом $r=3,5$ мм; и- внутренняя выштамповка $r=7$ мм; к- внешняя выштамповка $r=5$ мм; л- двойные выштамповки $r=5$ мм на расстоянии 20 мм друг от друга; м- тройные внешние выштамповки $r=5$ мм на расстоянии 20 мм друг от друга

Длина трубы составляет 400 мм. Размеры поперечного сечения 75x75 мм, толщина стенки – 1,15 мм. Модель материала трубки учитывает упрочнение. На рис.2 представлены трубы с выбранными вариантами инициаторов деформаций.

На основе проведенных расчетов выявлено, что наибольшей энергоемкостью ($e = 28634,82$ Дж/м) и стабильным поведением при ударе, как ожидалось, обладает тонкостенная сплошная труба. При введении в конструкцию инициаторов деформаций наибольшая энергоемкость ($e = 21712,12$ Дж/м) наблюдается в случае двух отверстий $d=20$ мм, расположенных вдоль оси трубы. Наименьшей энергоемкостью ($e = 18126,63$ Дж/м) обладает труба со сквозным отверстием $d=40$ мм.

На втором этапе проводились расчеты с применением пенного наполнителя (пеноалюминия), который, как известно, позволяет значительно повысить энергоемкость сминаемых труб.

Для оценки границ применимости конечно-элементных моделей и погрешностей решений в данной работе использовался эксперимент по осевому сжатию тонкостенной конической трубы с пенным наполнителем, который соответствует поставленной цели применительно к лонжеронам автомобиля. Труба большим основанием крепится к поддерживающей пластине при помощи поддерживающего кольца и далее происходит удар под углом 5° по отношению к вертикальной оси ударной установки. Согласно исходным данным эксперимента, удар о твердую поверхность происходит со скоростью 10 м/с и массой молота 60 кг. Скорость удара выбрана приближенной к скорости испытаний согласно правилам ЕЭК ООН №94, но была уменьшена, чтобы не происходило полного смятия образца, тем самым облегчая оценку энергоемкости. При использовании КЭМ с размером сторон элемента 5 мм и 2 мм погрешность составила 11% и 5,2% соответственно.

Таблица. 1.

Значения энергоемкости и перемещений в трубах при осевом ударе

Расчетная модель	Энергоемкость, кДж/м		Перемещение, м		Погрешность, %
	Эксперимент	Расчет	Эксперимент	Расчет	
С пенным наполнителем	4,74	4,61	0,063	0,065	2,7
Без пенного наполнителя	2,97	2,60	0,115	0,109	5,2

В результате проведенных исследований сделаны следующие выводы:

1. Применительно к поставленной задаче наиболее эффективным является явный метод интегрирования Эйлера, на котором основан решатель программного комплекса LS-Dyna.

2. Предложены варианты рациональных КЭМ лонжеронов. Эти КЭМ обеспечивают моделирование с приемлемой для инженерных расчетов точностью (погрешность до 5,2%).

3. Численно оценено влияние каждого инициатора деформаций на энергоемкость тонкостенной трубы. Наименьшая энергоемкость ($e = 18126,63$ Дж/м) отмечена в трубе со сквозным отверстием $d = 40$ мм. Выявлено, что использование пенного наполнителя позволяет значительно повысить энергоемкость сминаемых труб (в 1,6 раза) и уменьшить влияние инициаторов деформаций (табл. 1).

Третья глава работы посвящена созданию модели кузова с манекеном, подушкой безопасности и деформируемого препятствия для имитации реального испытания. В качестве объекта исследования был выбран полноприводный автомобиль ВАЗ, поскольку он в первоначальном варианте при испытаниях не удовлетворял требованиям правил Euro NCAP, а также является одним из популярных на отечественном рынке автомобилем. По результатам этих испытаний отмечена сильная травмируемость манекена в области ступней, голени и грудной клетки.

Разработана рациональная КЭМ корпуса кузова среднего уровня (89 000 конечных элементов) и его составных частей (стоек, панелей, отверстий и др.) на базе исследований главы 2. Обоснован выбор типа элементов, который будет использоваться при построении базовых КЭМ и отработаны основные подходы для решения быстротекущих нелинейных задач. Для оценки границ применимости была также создана КЭМ высшего уровня (489 000 конечных элементов) (рис.3), в которой более детально смоделированы инициаторы, выштамповки, ребра и др. Проведен расчет обеих моделей на косо-фронтальный удар в соответствии с требованиями правил ЕЭК ООН №94. Сравнительный анализ результатов расчета выявил, что в целом картины деформированного состояния (форма изгиба переднего левого лонжерона, оконных стоек, порогов и др.) КЭМ среднего и высшего уровня идентичны друг другу. На рис. 4 представлены картины деформированного состояния лонжеронов после косо-фронтального удара, полученные при расчете моделей высшего (слева) и среднего (справа) уровней. Разница в абсолютном перемещении лонжеронов не превышает 4%, но время расчета увеличилось в 3 раза по сравнению с КЭМ среднего уровня.

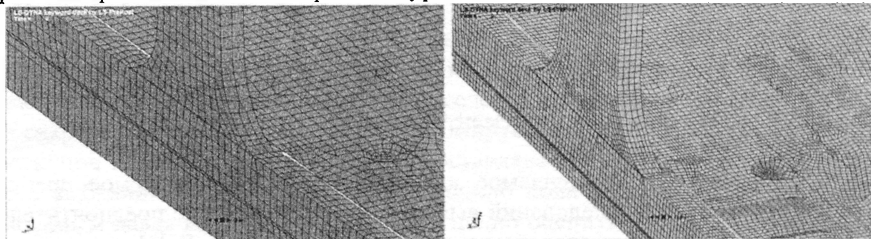


Рис.3. Фрагмент КЭМ высшего уровня (слева) и среднего уровня (справа)

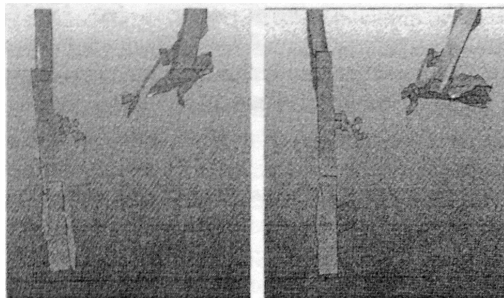


Рис.4. Картина деформированного состояния лонжеронов

лось на 42% (с 12 до 7 часов). Однако результаты расчета показали существенные расхождения по значению ускорения центра масс головы манекена по сравнению с полной моделью, поэтому данная модель может быть использована только для предварительных расчетов.

Для повышения эффективности расчетов по оценке влияния особенностей геометрии лонжеронов на энергоемкость и поведение конструкции разработана КЭМ передней половины кузова, ограниченная дверной стойкой. При этом масса задней части моделируется при помощи элементов типа MASS. Время расчета по сравнению с полной моделью среднего уровня сократилось

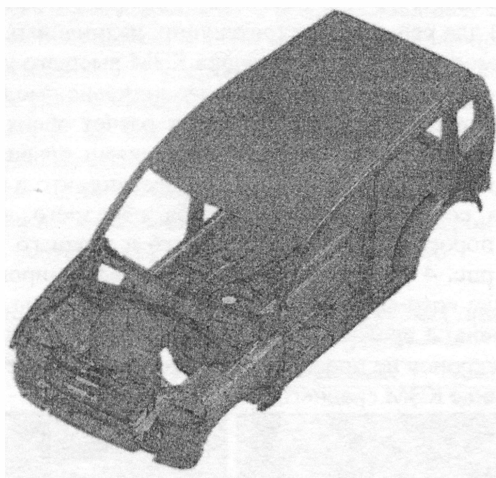


Рис.5. Конечно-элементная модель корпуса кузова

Смоделировано применяемое для испытаний деформируемое препятствие. В результате исследований выявлено, что препятствие предпочтительно моделировать двумя способами: при помощи КЭ типа Solid и материала MAT_HONEYCOMB и КЭ типа Shell с использованием нелинейной модели материала. Проведены расчеты препятствия, составленного из КЭ объемного

и оболочечного типа, для выявления лучшего варианта. Суть расчета состоит в том, что трубка диаметром 100 мм, длиной 1000 мм и толщиной стенок 26 мм ударялась о препятствие со скоростью 13,8 м/с, и проводилось сравнение перемещений между контрольными точками, расположенными в одинаковых местах обеих моделей. Результаты расчета показаны на рис.6.

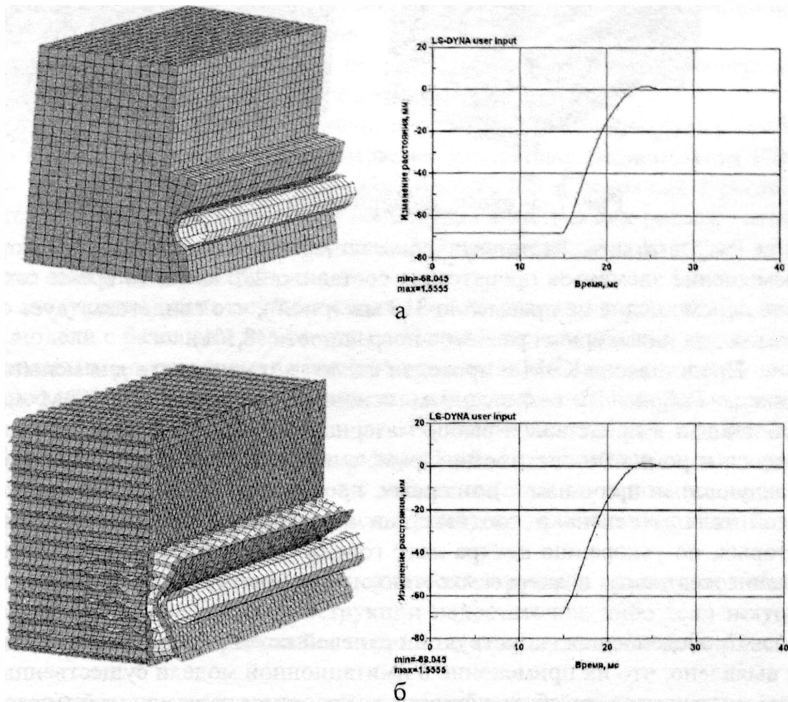


Рис. 6. Результаты расчета препятствий: а- КЭМ из объемных КЭ; б- КЭМ из оболочечных КЭ

Для оценки адекватности выбранных при моделировании препятствия параметров использовался эксперимент по косо-фронтальному удару тонкостенной балки замкнутого поперечного сечения, прикрепленной к автомобилю снаряженной массой 2000 кг о деформируемое препятствие (рис.7). Скорость, при которой происходил удар, составляла 5,2 м/с. Значение скорости было выбрано таким, чтобы не происходило полного смятия препятствия, тем самым давая возможность наиболее полно оценить жесткость элементов препятствия.

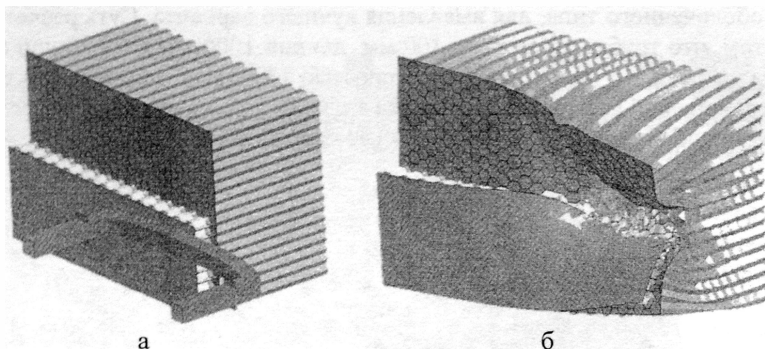


Рис. 7. а- схема эксперимента; б- результаты расчета

Результаты эксперимента показали, что максимальное абсолютное перемещение элементов препятствия составило 290 мм, в то время как расчетное перемещение не превысило 318 мм (рис.7), что свидетельствует о приемлемой для инженерных расчетов погрешности (8,5%).

Представлена КЭМ и проведен анализ применяемого для испытаний манекена Гибрид III с описанием основных особенностей КЭМ манекена. Обоснован и представлен выбор материалов и типов КЭ для моделирования кресла и ремня безопасности. Применение манекена в расчетах обосновано следующими причинами: во-первых, проводится анализ травмируемости частей тела манекена в соответствии с методикой правил испытаний; во-вторых, по ускорению центра масс головы можно косвенно судить об изменении жесткости и энергоемкости конструкции кузова в процессе ее доработки.

Проведен анализ конструкции рулевой колонки и подушки безопасности и выявлено, что их применение в имитационной модели существенным образом сказывается на объективности и целостности результатов поведения и травмируемости манекена. Обоснованы применяемые материалы и типы КЭ для моделирования подушки безопасности и конструкции рулевой колонки с рулевым колесом.

В заключении сделаны следующие выводы:

1. Обоснованы выбранные варианты моделирования различных конструктивных элементов кузова выбранного автомобиля на основе анализа особенностей его конструкции.

2. В качестве базовых КЭ для КЭМ кузова рекомендуется использовать оболочечные элементы. Использование трехмерных элементов неэффективно, поскольку они обладают невысокой точностью и при их использовании требуется более мелкая сетка, что приводит к многократному увеличению размерности задачи и, соответственно, времени расчета.

3. Для расчетов рекомендуется использовать полную модель кузова, а сокращенную модель (передняя половина до дверной стойки) - для предварительных расчетов.

4. Обоснован характер моделирования, размерность дополнительных составляющих имитационной модели (препятствие, манекен с креслом и ремнем безопасности, рулевая колонка с подушкой безопасности, пенный наполнитель) и тип выбранных материалов.

Четвертая глава диссертации посвящена разработке метода совершенствования конструкции при косо-фронтальном ударе.

На рис. 8 представлена блок-схема, отражающая основную суть разработанного метода. На первом этапе создается уточненная рациональная КЭМ корпуса кузова автомобиля на базе оболочечных КЭ и основных агрегатов, готовится математическое описание параметров конструкции (масса, толщины и др.). Проводится оптимизация сетки КЭ для достижения наиболее качественного описания геометрии.

На следующем этапе осуществляется предварительное решение составленной модели с базовыми параметрами. По результатам расчета оцениваются максимальные перемещения основных элементов конструкции, остаточное жизненное пространство и проводится анализ поведения лонжеронов, стоек, двигателя, агрегатов трансмиссии и др. Выявляются наиболее податливые участки конструкции- инициаторы деформаций. Предлагается оценить расчетное ускорение центра масс головы манекена (один из основных оценочных параметров согласно правилам испытаний), которое также косвенно характеризует общую жесткость кузова.

Третий этап – это внесение изменений в конструкцию кузова автомобиля в случае, если энергоемкость конструкции недостаточна, либо если не удовлетворяются основные требования правил по оценке пассивной безопасности.

Четвертый этап – проведение расчета доработанной модели и оценка результатов. На ее основе делается вывод об общей жесткости и замкнутости силовой схемы кузова, а так же о соответствии всех параметров требованиям правил испытания. В случае достаточной жесткости конструкции и соответствия регламенту, проводится расчет на базе КЭМ высшего уровня, в которой более детально смоделированы особенности конструкции, и делается окончательное заключение.

Результаты теоретических исследований в дальнейшем необходимо подтвердить натурными испытаниями.

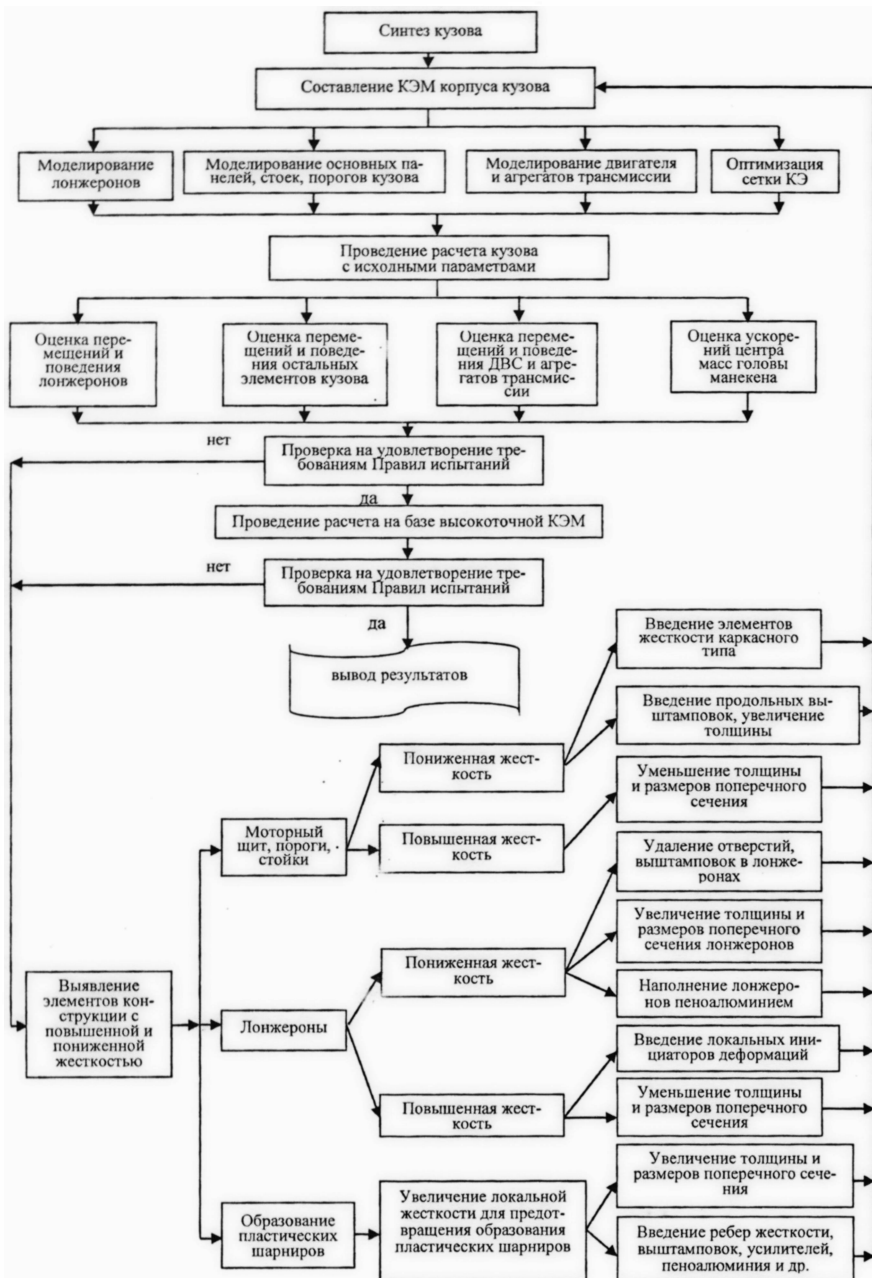


Рис. 8. Блок-схема метода

Согласно разработанному методу проведен расчет и оценка поведения основных элементов КЭМ кузова в исходном варианте и выполнена общая проверка на удовлетворение требованиям правил ЕЭК ООН. Была выявлена недостаточная жесткость кузова (отмечена травмируемость манекена), что повлекло за собой необходимость доработки кузова (была повышена жесткость зоны моторного щита, локальных зон лонжеронов, и применен пеноалюминий в лонжеронах).

Анализ результатов расчета доработанного кузова (рис.9) показал, что лонжерон деформируется в осевом направлении с незначительным изгибом (в то время, как в исходном кузове лонжерон изгибался существенно в следствие образования пластического шарнира), и отличается увеличенной энергоемкостью по сравнению с исходной моделью. Максимальное перемещение лонжерона в продольном направлении не превысило 509 мм (табл.1). Характер деформации основных элементов кузова отличается в лучшую сторону от исходной модели за счет перераспределения усилий между основными силовыми элементами. В нижней части кузова и элементах пола закручивание, имевшее место ранее, практически отсутствует ввиду общего увеличения крутильной жесткости конструкции. Перемещения оконных и дверных стоек не превышают 70 мм, что объясняется отсутствием в модели силовых элементов дверей и лобового стекла. График ускорения центра масс головы манекена представлен на рис. 10. Максимальное значение ускорения не превышает 59,7 g в течение 3 мс, что является допустимым значением.

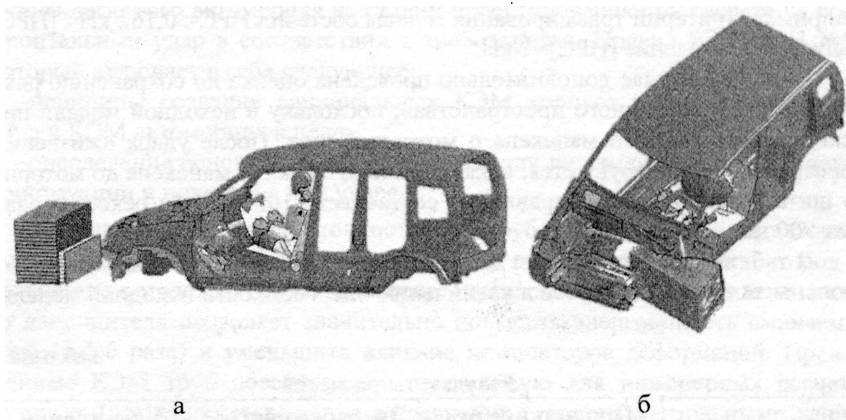


Рис.9. Моделирование удара: а- имитационная модель до удара; б- деформированное состояние после удара

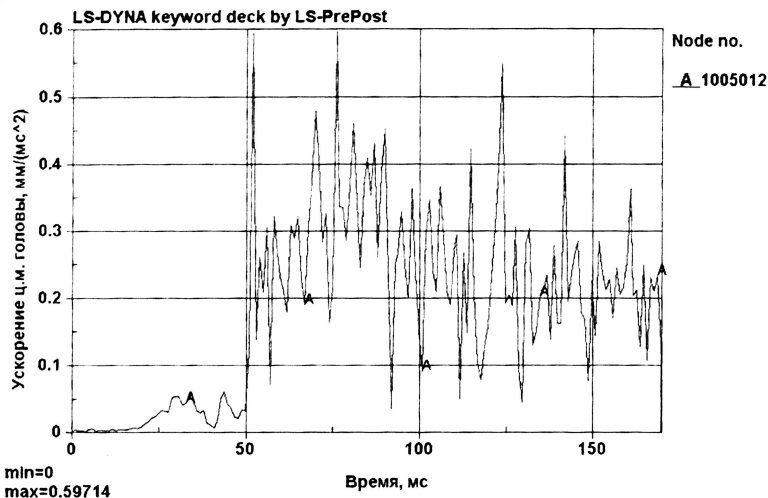


Рис.10. Ускорение центра масс головы манекена модели с пеноалюминием

Основные критерии травмирования манекена несколько увеличились из-за общего увеличения жесткости, но не превысили допустимых значений. Например, критерий травмирования головы составил $HPC = 0,162 \text{ кН} < [HPC]$; допустимое значение $[HPC] = 1 \text{ кН}$.

В данном случае дополнительно проведена оценка по сохранению рекомендуемого «жизненного пространства», поскольку в исходной модели происходил удар ступней манекена о моторный щит. После удара «жизненное пространство» не нарушается, а расстояние от точки Н манекена до моторного щита в продольном направлении составляет 1100 мм при рекомендованных 900 мм.

В таблице 2 представлены данные по изменению расстояния между контрольными точками в кузове и увеличению энергоемкости исходной модели.

Таблица 2.

Результаты расчетов

Модель	Продольное перемещение Δl , мм	Энергоемкость, кДж/м.	Увеличение энергоемкости
Исходная	780	44,27	-
Доработанная	509	67,85	+35%

На рис. 11 представлены графики изменения продольных расстояний между контрольными точками (одна из которых - крайняя в лонжероне, дру-

гая - крайняя точка на заднем бамперном щите), позволяющие провести сравнительный анализ осевой жесткости и особенностей деформации лонжеронов исходной и доработанной моделей.

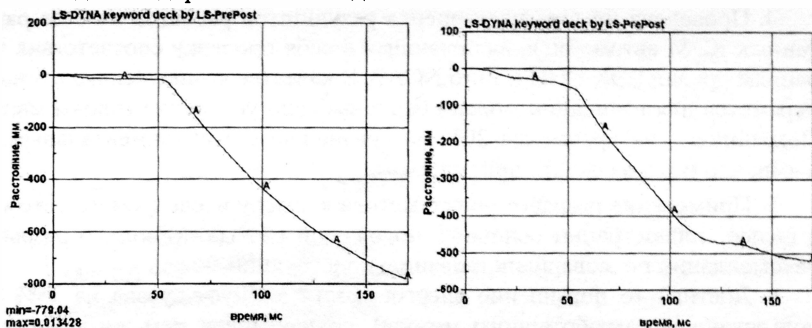


Рис. 11. График изменения продольных расстояний между контрольными точками исходной (слева) и доработанной модели (справа)

ОБЩИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

На основании проведенных теоретических исследований получены следующие результаты и выводы.

1. В работе разработан метод совершенствования конструкции корпуса кузова легкового автомобиля на стадии проектирования при расчете на кософронтальный удар в соответствии с требованиями Правил ЕЭК ООН №94, который включает в себя следующее:

- принципы создания рациональных КЭМ корпуса кузова оболочечного типа и КЭМ автомобиля в целом;
- определение основных факторов, влияющих на изменение энергоемкости конструкции и поведение при ударе.

2. Проведенные расчеты тонкостенных труб с различными инициаторами позволили оценить снижение энергоемкости для каждого из инициаторов по сравнению с моделью без инициаторов. Выявлено, что использование пенного наполнителя позволяет значительно повысить энергоемкость сминаемых труб (в 1,6 раза) и уменьшить влияние инициаторов деформаций. Предложенные КЭМ труб обеспечивают приемлемую для инженерных расчетов точность (погрешность решения в сравнении с экспериментальными данными не превышает 5,2%);

3. Обоснован характер моделирования корпуса кузова и дополнительных составляющих имитационной модели (препятствие, манекен с креслом и ремнем безопасности, рулевая колонка с подушкой безопасности, пенный

наполнитель) и тип выбранных материалов, на базе которых разработаны соответствующие КЭМ.

4. Проведена комплексная оценка результатов расчетов на базе разработанных КЭМ автомобиля, включающая в себя проверку соответствия требованиям правил ЕЭК ООН и Euro NCAP. В качестве комплексного оценочного параметра для валидации модели было выбрано ускорение головы манекена. Погрешность не превысила 20% по сравнению с экспериментальными данными, что можно считать приемлемым.

5. Применение разработанного метода к кузову исследуемого автомобиля с целью иллюстрации основных положений метода позволило разработать рекомендации по совершенствованию конструкции.

6. Достигнуто повышение энергоемкости корпуса кузова на 35% (с использованием разработанного метода), сохранение в нем жизненного пространства и соответствие требованиям правил ЕЭК ООН.

7. Созданные теоритические и практические разработки используются в учебном процессе и НИР в МГТУ им. Н.Э. Баумана.

МАТЕРИАЛЫ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ:

1. Расчетно-экспериментальное исследование кузовов автобусов на соответствие требованиям пассивной безопасности/ В.Н. Зузов [и др.] //Материалы Всерос. научно- технической конференции, посвященной 70-летию факультета «Специальное машиностроение» МГТУ им. Н.Э.Баумана, г. Москва, 21-22 мая 2008г. –М., 2010. – С. 318 – 327.

2. Зузов И.В. Моделирование продольного смятия передних лонжеронов кузова легкового автомобиля с учетом инициаторов деформаций // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2011. № 1. С. 34-37.

3. Зузов И.В. Моделирование поведения кузова легкового автомобиля при фронтальном ударе с учетом инициаторов деформаций передних лонжеронов. //Электронный сборник трудов конференции «Будущее машиностроения России»- зарегистрировано в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций ФГУП НТЦ «Информрегистр» № 0321102532.

4. Зузов И.В., Зузов В.Н. Моделирование продольного смятия передних лонжеронов кузова легкового автомобиля с учетом наполнителей и инициаторов деформаций// Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2012. № 2. С. 42-45.

Подписано в печать 04.2012 г.

Заказ 210 объем 1.0 п.л. Тираж 100 экз.

Типография МГТУ им. Н.Э. Баумана