На правах рукописи

УДК 629.113

ШАБАН БАССЕМ

МЕТОДИКА СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ КАБИН ГРУЗОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ НА СТАДИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ДЛЯ УДОВЛЕТВОРЕНИЯ ТРЕБОВАНИЯМ ПАССИВНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ (ПРИ УДАРЕ СПЕРЕДИ)

Специальность 05.05.03 - Колесные и гусеничные машины

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени

кандидата технических наук

МОСКВА – 2013

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

Научный руководитель:	доктор технических наук Зузов Валерий Николаевич, профессор кафедры "Колёсные машины" МГТУ им. Н.Э. Баумана
Официальные оппоненты:	доктор технических наук, профессор Орлов Лев Николаевич, заведующий кафедрой «Автомобили и тракторы» Нижегородский государственный технический университет (НГТУ)
	доктор технических наук, ведущий научный сотрудник Русанов Олег Александрович, доцент кафедры "сопротивления материалов" МГИУ
Ведущая организация:	Государственный научный центр по автомобилестроению РФ (ФГУП НАМИ)

Защита диссертации состоится «07» октября 2013 г. в 14^{30} часов на заседании диссертационного совета Д212.141.07 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 в указанному адресу.

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

НТБ МГТУ им. Н.Э. Баумана
2034296
Шабан Бассем Методика сов

Автореферат разослан «03» сентября 2013 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
доктор технических наук, профессор Сарач Е.Б.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность: Пассивная безопасность колёсных машин в настоящее время представляет собой одну из наиболее важных задач, которую приходится решать при проектировании новых транспортных средств. Эта задача очень сложная и трудоемкая, поскольку связана с ударом и, как следствие, является существенно нелинейной с большими деформациями, напряжениями и ускорениями. Применительно к кабинам грузовых автомобилей одним из наиболее сложных режимов является удар и именно в переднюю часть. При этом имеет место контакт конструкции с объектом, в ее элементах происходит потеря устойчивости, смятие, изгиб, появляются пластические шарниры и др. Решение таких задач ведется методом конечных элементов (МКЭ) в связи с тем, что он позволяет решать нелинейные задачи прочности и жёсткости с высокой точностью для конструкций практически любой геометрической формы и при любых граничных условиях. Однако даже на современных ЭВМ решение подобных задач может длиться много часов.

Поскольку пассивная безопасность в первую очередь определяется ударно-прочностными свойствами кабины автомобиля, то это должно учитываться уже на самых ранних стадиях проектирования, когда невозможны натурные испытания. Таким образом, тема данной научной работы, посвящённой разработке методики совершенствования конструкции кабин грузовых автомобилей на стадии проектирования с целью удовлетворения требований пассивной безопасности, является актуальной.

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

• в разработке методики совершенствования конструкции кабин грузовых автомобилей на стадии проектирования с целью удовлетворения требований пассивной безопасности, включающих в себя:

- разработку рациональных конечно-элементных моделей (КЭМ) кабин автомобилей 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 и LS-DYNA);

- разработку методики целенаправленного изменения жёсткости и прочности элементов кабин для удовлетворения требованиям пассивной безопасности, а также необходимой энергоёмкости конструкции кабины (путём введения накладок, пеноалюминия, изменения геометрии и др.);

• в полученных научных результатах и выводах.

Цель работы: совершенствование конструкций кабин грузовых автомобилей на стадии проектирования и доводки для обеспечения требований отечественных и международных стандартов пассивной безопасности с использованием математического моделирования.

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

• анализ типовых конструкций кабин грузовых автомобилей с целью выявления конструктивных особенностей, влияющих на энергоёмкость и поведение конструкции при ударном нагружении;

• решение модельных задач для типовых элементов конструкции кабины грузовых автомобилей при ударном нагружении с целью отработки принципов построения рациональных КЭМ;

• исследование поведения каркасных элементов кабины грузовых автомобилей при ударе и оценка влияния панелей на основные параметры;

• разработка рациональных КЭМ кабин оболочечного типа и оценка границ их применимости;

• проведение многовариантных расчётов на базе МКЭ кабин грузовых автомобилей с различными особенностями конструкции с целью оценки влияния каждого фактора, включая конфигурацию и густоту сетки КЭ, на характер деформаций и величины относительной поглощённой энергии конструкции и ударной силы;

•разработка методики совершенствования конструкции кабины при ударе, осуществляемом в соответствии с существующими стандартами пассивной безопасности.

Практическая ценность работы заключается в следующем:

• разработанная методика может быть использована при проектировании и доводке кабин грузовых автомобилей (в том числе она позволит получить необходимую энергоёмкость конструкции и добиться желаемого характера деформаций);

• использование ускорения центра масс головы манекена, как одного из косвенных оценочных параметров энергоёмкости конструкции, способствует выбору из разных вариантов кабины лучшего;

• результаты теоретических исследований и рекомендации позволили улучшить конструкцию кабины грузового автомобиля КАМАЗ 5320 с позиций пассивной безопасности (применительно к кабине выбранного объекта исследований энергоёмкость была повышена на 50% и улучшен характер деформаций);

• теоретические и методологические разработки и полученные результаты используются в НИР и в учебном процессе научно-учебного комплекса «Специальное машиностроение» (НУК СМ) МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Достоверность научных положений диссертации подтверждались 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 ААИ «Безопасность транспортных средств в эксплуатации» / НГТУ. – Нижний Новгород, 2012 г;

- научно-технических семинарах кафедры СМ-10 – «Колесные машины» МГТУ им. Н.Э. Баумана в 2010-2013 гг. (г. Москва);

- Пятой Всероссийской конференции молодых учёных и специалистов «Будущее машиностроения России», октябрь 2012 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 пять работ.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, четырёх глав, общих выводов, списка литературы. Работа содержит 151 страницу печатного текста, 8 таблиц, 130 рисунков. Список литературы имеет 98 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Введение содержит обоснование актуальности темы диссертации и общую характеристику работы.

В первой главе приведён обзор литературы по проблеме пассивной безопасности и методам её оценки.

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 Л.Л. Афанасьев, А.Б. Дьяков, А.М. Иванов, В.Н. Иванов, И.К. Коршаков, В.А. Лялин, М.В. Лыюров, Э.Н. Никульников, А.И. Рябчинский, Р.К. Фотин, С.С. Дмитриченко, Л.Н. Орлов, В.Н. Зузов и ряд 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 David Lönn, Michael Öman, G. Hanssen, K. Stöbener, G. Rausch, M. Langseth и др., в которой изложены основополагающие принципы силовой схемы кузовов и кабин автомобилей, 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.

С целью выявления современных тенденций конструирования кабин, основных их видов, а также особенностей конструкции для их дальнейшего учёта в работе проанализированы конструкции разных типов кабин грузовых автомобилей.

На основе проведённого обзора сделаны следующие выводы:

1. 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 кабины автомобиля, то это должно учитываться уже на самых ранних стадиях проектирования, когда невозможны натурные испытания.
2. Главным инструментом создания кабины, отвечающей требованиям пассивной безопасности, до настоящего времени является экспериментальная доводка конструкции. Однако процесс этот дорогостоящий и недостаточно информативный. Практически результатом эксперимента является только вид деформированного состояния конструкции, в то время как сам процесс деформирования не отслеживается.
3. В мире внедряются все более жесткие правила, по которым оценивается степень защиты водителя и пассажиров автомобиля, в связи с чем, возникает необхо-

димость в теоретической оценке пассивной безопасности кабин грузовых автомобилей на стадии проектирования, позволяющей уменьшить время и стоимость разработки, сократить до минимума количество испытательных образцов.

4. В настоящее время в основе расчётных методов оценки пассивной безопасности лежит МКЭ, позволяющий смоделировать и рассчитать любую пространственную конструкцию, учесть геометрические и физические нелинейности конструкции при практически всех видах воздействий, в том числе ударных.

5. Моделирование таких конструкций при использовании генераторов сетки конечных элементов (КЭ) очень часто приводит к неоправданно подробным КЭМ (из-за особенностей конструкции таких как малые радиусы скругления и др.) и, в результате, их расчёт становится чрезвычайно долгим, поскольку решаемые задачи нелинейные. В связи с этим основное внимание следует уделить разработке КЭМ кабин и особенно их каркасных элементов, в том числе рациональных КЭМ, которые позволят получать многовариантные решения с приемлемой погрешностью и продолжительностью.

6. Разработка методики совершенствования конструкции кабин грузовых автомобилей на стадии проектирования с целью удовлетворения требований пассивной безопасности является актуальной.

Во второй главе изложены основы теории МКЭ применительно к линейным и нелинейным задачам, быстротекущего процесса (удара), проведён обзор численных методов решения этих задач. Исследовано и обосновано применение программного комплекса LS-Dyna, предпочтительных типов КЭ.

Поскольку, как известно, основную долю энергии удара воспринимают элементы каркасного типа кабин и кузовов, то в этой главе осуществлена также разработка КЭМ именно каркасных элементов и проведено их исследование. Моделирование таких конструкций, как отмечалось, при использовании генераторов сетки конечных элементов очень часто затруднено. Поскольку в решаемых задачах имеют место практически все виды нелинейностей, то нередко они длятся несколько часов, поэтому актуальной проблемой является разработка рациональных КЭМ конструкций, которые позволят получать решения с приемлемой погрешностью и продолжительностью.

Нагрузочные режимы для всех последующих расчётов выбирались в соответствии с правилами испытаний ЕЭК ООН №29, шведскими нормами VVFS 2003:29 и европейскими правилами Euro NCAP.

Целью данного этапа работы являлась разработка рациональных КЭМ тонкостенных каркасных элементов кабин автомобилей с учётом особенностей конструкции, исследование поведения их при ударе, осуществляемом в соответствии с существующими стандартами пассивной безопасности, оценка полученных результатов расчётов с позиций погрешностей и трудозатрат на разработку и решение с помощью программных комплексов, реализующих МКЭ (ANSYS и LS-Dyna). В связи с этим были определены задачи исследований данной главы. Эти задачи включали в себя:

1. Исследование поведения передней стойки автомобиля при ударе.

В качестве объекта исследования была выбрана оригинальная передняя стойка автомобиля Форд CD (рис.1).

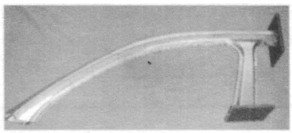


Рис.1. Фрагмент стойки для испытаний

Рис.2. Схема нагружения

Этот пример позволил изучить поведение тонкостенной конструкции при ударе, аналогичном удару маятником по передним стойкам кабины. Стойки, сваренные точечной сваркой из восьми штампованных стальных листов толщиной в диапазоне 0,75-1,0 мм, имеют изогнутую форму, радиусы скруглений разной величины, многочисленные отверстия и выштамповки и другие особенности. Ударная нагрузка прикладывается к передней части стойки, ее скорость V= 15,56-17,78 м/с (56-64 км/ч, что соответствует правилам Euro NCAP и ЕЭК ООН, масса маятника 90 кг). Картины деформированных состояний экспериментальной модели стойки показаны на рис. 3. На рис. 4 представлены разработанные оболочечные КЭМ стойки разного уровня дискретизации («низший уровень», «средний уровень» и «высший уровень»).

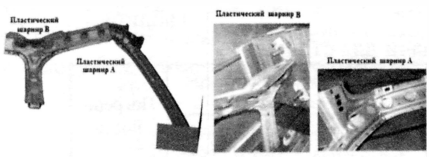


Рис. 3. Деформированное состояние стойки после удара (эксперимент)

Рис. 4. Оболочечные КЭМ стойки: а – «низший уровень»; б – «средний уровень»; в – «высший уровень»

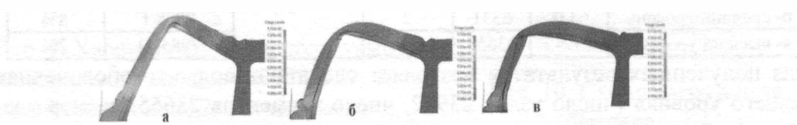


Рис.5. Картины деформированных состояний КЭМ стойки: а – «низший уровень»; б – «средний уровень»; в – «высший уровень»

На рис. 5 показаны картины деформированных состояний для КЭМ стойки разной размерности («низший», «средний» и «высший уровень») и характер изменения зоны пластических деформаций в зависимости от уровня сетки КЭМ.

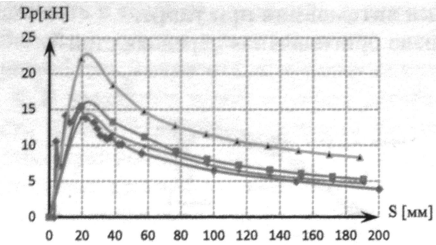


Рис. 6. График изменения ударной нагрузки Pp в зависимости от перемещений S (соответствует скорости 64 км/ч):

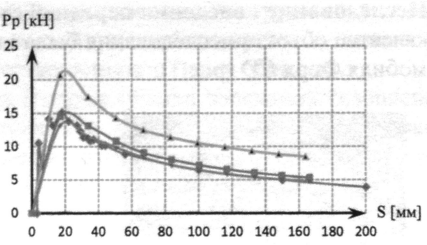
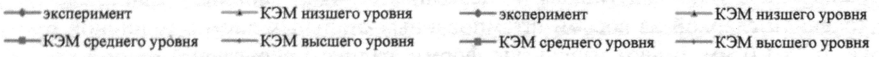


Рис. 7. График изменения ударной нагрузки Pp в зависимости от перемещений S (соответствует скорости 56 км/ч):



На рис. 6,7 показаны графики изменения ударной нагрузки (Pp) в зависимости от перемещений контрольной точки стойки (S), полученные по результатам расчёта КЭМ разного уровня и экспериментально. Из графиков видно, что максимальное значение ударной нагрузки наблюдается в начальный момент пластической деформации, после чего происходит изменение геометрической формы сечения и снижение величины ударной нагрузки Pp. Результаты расчётов и погрешности решения ударной задачи для стойки с использованием оболочечных КЭМ различного типа представлены в табл. 1.

Таблица 1.

Результаты решения ударной задачи для стойки

Скорость [км/ч]	Модель	Число узлов	Число элементов	Размер элементов [мм]	Поглощённая энергия, кДж		Погрешность
					Экспериментальная	Расчётная (LS-DYNA)	
64	а- низший уровень	1487	1412	35	8190,05	13351,64	63%
	б- средний уровень	6438	6331	7		9422,32	15%
	в- высший уровень	23942	23655	3,5		8436,76	3%
56	а- низший уровень	1487	1412	35		12508,14	53%
	б- средний уровень	6438	6331	7		8858,1	8%
	в- высший уровень	23942	23655	3,5		7985,71	2%

Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод, что оболочечная КЭМ «высшего уровня» (число узлов 23942, число элементов 23655, размер элементов 3,5 мм) обеспечивает минимальную погрешность результатов по сравнению с экспериментальными данными (2-3%). Поэтому она будет использоваться как основная на последующих этапах, а модель среднего уровня может использоваться для предварительных и многовариантных расчётов.

2. Исследование поведения тонкостенной конструкции автомобиля (энергопоглощающего устройства) при ударе брусом («лёгкий удар»). Эта задача представляет интерес в связи с тем, что при авариях удар может приходиться в бампер. Согласно экспериментальным данным бампер при этом испытывает сложный нелинейный характер деформаций, имеющий много общего также с поведением каркасных элементов кабин: потерю устойчивости, локальное смятие и

образование пластических шарниров и др. При составлении КЭМ разного уровня также учитывались ранее проведённые исследования. В качестве объекта исследований был выбран бампер из алюминиевого сплава (рис. 8). Свойства материала представлены на рис.9.

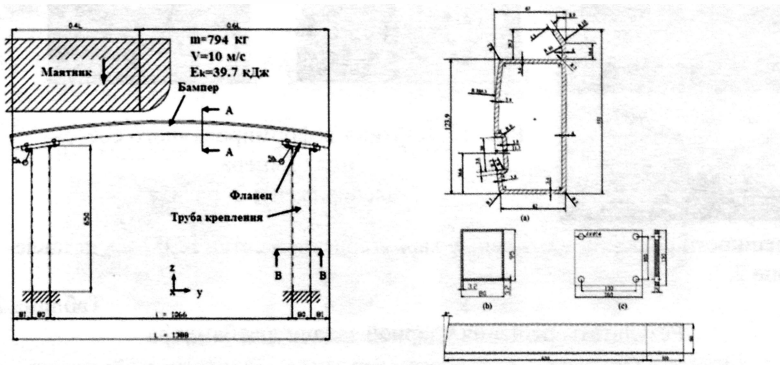


Рис. 8. Основные сечения и размеры бампера: (а) сечение бампера АА повёрнутое на 90 °; (б) сечение ВВ; (с) вид на крепление (фланец) детали

Моделировался фронтальный удар с частичным перекрытием (удар «маятник – бампер») в соответствии с требованиями ЕЭК ООН (начальная скорость V=10 м/с, соответствующая необходимой кинетической энергии в момент удара 39,7 кДж, рис. 8,10). Для оценки степени восприятия нагрузок конструкцией и картины распределения зон пластических деформаций были созданы КЭМ бампера из оболочечных КЭ разного уровня (рис. 11).

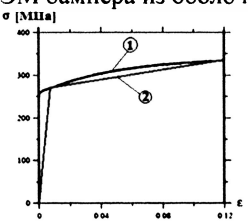


Рис. 9. Характеристики используемого алюминиевого сплаваАА7003-Т79: 1-экспериментальные; 2- расчётные (σ-напряжение, ε-деформация)

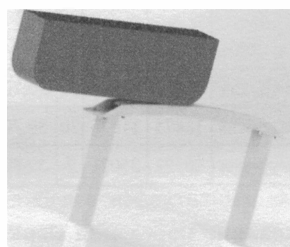


Рис. 10. Схема нагружения бампера

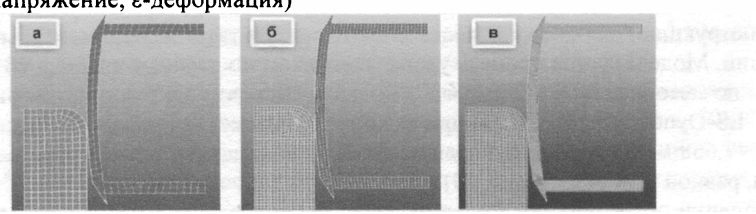


Рис. 11. Оболочечные КЭМ бампера:
а – «низший уровень»; б – «средний уровень»; в – «высший уровень»

Картины деформированных состояний, полученные экспериментально и расчетным путем, для разных зон показаны на рис. 12. Их сравнение свидетельствует о высокой степени адекватности.

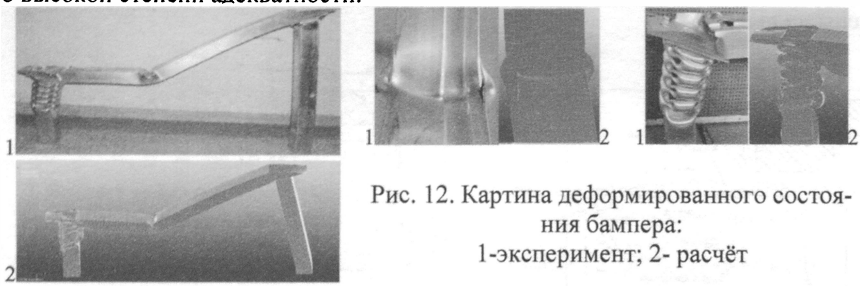


Рис. 12. Картина деформированного состояния бампера:
1-эксперимент; 2- расчёт

Погрешности решений и основные характеристики сетки КЭМ представлены в таблице 2.

Таблица 2.

Результаты решения ударной задачи для бампера

Модель	Число узлов	Число элементов	Размер элемента, мм	Поглощённая энергия [кДж]		Относительная погрешность по поглощённой энергии%	Перемещения S [мм]		Относительная погрешность по перемещению S, %	Относительная поглощённая энергия [кДж/м]	Относительная погрешность по относительной поглощенной энергии %
				Эксперимент	Расчёт МКЭ (LS-Dyna)		Эксперимент	Расчёт МКЭ (LS-Dyna)			
а- КЭМ низшего уровня	2400	1883	40	39,70	39,64	0,15	431,25	232,10	46,18	179,16	46,33
б- КЭМ среднего уровня	13475	11636	20	39,70	39,69	0,03	431,25	317,00	26,49	132,07	26,52
в- КЭМ высшего уровня	26593	25071	7	39,70	39,56	0,35	431,25	432,50	0,29	91,93	0,64

3. Исследование поведения каркасных элементов кабины грузового автомобиля при ударе.

В качестве объекта исследований была выбрана кабина грузового автомобиля SCANIA (рис. 12), имеющая достаточно типичную и распространённую компоновку и конструкцию, для которой также имеются результаты экспериментальных исследований. Моделируется процесс удара маятником по стойкам в передней части кабины по методике VVFS 2003 №29 (Правила Швеции) МКЭ в программном комплексе LS-Dyna (рис13). Цилиндрическому маятнику задавалась начальная скорость V=7,668 м/с, соответствующая необходимой кинетической энергии в момент удара, равной 29,4 [кДж] (рис. 13).

Для оценки погрешностей моделирования были созданы КЭМ каркаса разной степени сложности (рис. 14).

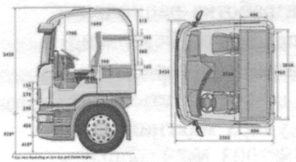


Рис. 12. Кабина SCANIA CR19 бескапотной компоновки с одним или двумя спальными местами

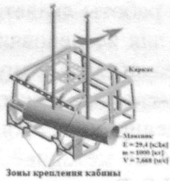


Рис. 13. Расчётная схема моделирования удара маятника в угол крыши

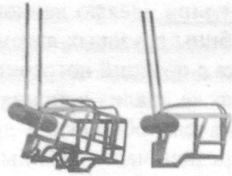


Рис. 15. Картина деформированного состояния КЭМ каркаса кабины

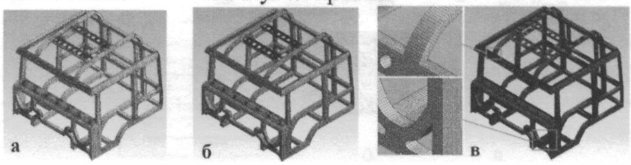


Рис. 14. Оболочечные КЭМ каркаса кабины:
а – «низший уровень»; б – «средний уровень»; в – «высший уровень»

На рис. 14 показаны оболочечные КЭМ каркаса кабины с различной конфигурацией сетки КЭ: а – «низший уровень» (число узлов 18313, число конечных элементов 18678, размер элементов 11 мм); б – «средний уровень» (число узлов 36972, число элементов 37352, размер элементов 6 мм), в – «высший уровень» (число узлов 100383, число элементов 100733, размер элементов 3 мм). Результаты расчётов модели каркаса кабины при ударе (Правила испытаний VVFS 2003 №29) показаны на рис. 15. Продолжительность решений (5-ти ядерный процессор) – 5, 9 и 14 часов соответственно.

Произведенные расчёты каркаса кабины дали всю информацию, необходимую для оценки пассивной безопасности кабин грузовых автомобилей, а именно: о зонах пластических деформаций, о характере деформирования и изменения скорости и перемещения ударного элемента, изменения ударной нагрузки (необходимых для определения энергоёмкости конструкции) и др.

По результатам проведённых исследований можно сделать следующие выводы: 1. Применительно к поставленной задаче наиболее эффективным является явный метод интегрирования Эйлера, на котором основан решатель программного комплекса LS-Dyna.

2. Для анализа поведения тонкостенных каркасных элементов кузовов и кабин автомобилей при исследованиях пассивной безопасности необходимо использовать КЭМ оболочечного типа высшего уровня (размер элементов 3-5 мм, средняя погрешность 3-5% по сравнению с экспериментом).

3. Для предварительных и многовариантных расчётов можно использовать КЭМ среднего уровня (размер элементов 6-10 мм, средняя погрешность 10-20% по сравнению с экспериментом). По значениям трудозатрат на ее создание и решение задачи МКЭ, а также по погрешностям результатов такие модели относим к рациональным.

Третья глава. Целью данного этапа работы является разработка рациональных КЭМ кабины грузовых автомобилей для исследований пассивной безопасности, их оценка с позиций погрешностей результатов и трудозатрат на разработку и решение, а также анализ влияния конструктивных факторов на результаты решения (двери, панели обшивки и др.). Моделируется процесс удара маятником по стойкам в передней части кабины SCANIA по методике VVFS 2003 №29 (испытание «В») МКЭ в программном комплексе LS-Dyna (рис. 16).

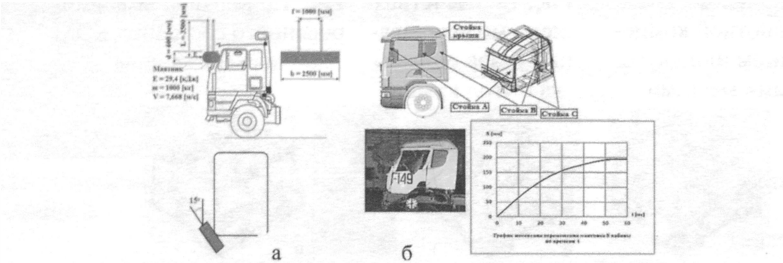


Рис. 16. Схема нагружения кабины при испытаниях по правилам VVFS 2003 ударом маятника в угол крыши (а) и экспериментальные результаты (б)

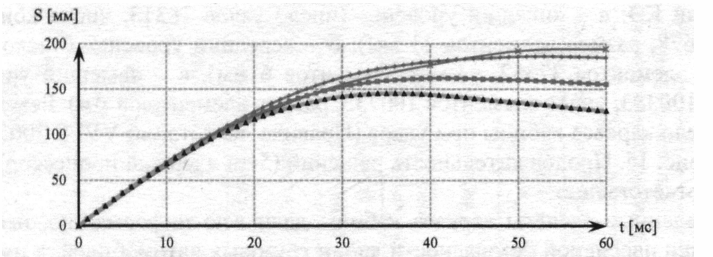


Рис. 17. График изменения перемещения маятника от времени :

эксперимент — КЭМ высшего уровня
КЭМ среднего уровня — КЭМ низшего уровня

На рис. 17. показан график изменения перемещения маятника от времени для разных КЭМ. Сравнение этих перемещений с экспериментом позволяет оценить погрешность моделирования для перемещений, которая уменьшается при увеличении размерности КЭМ. Погрешности решений и основные характеристики сетки КЭМ представлены в таб. 3.

Таблица 3.

Расчётно-экспериментальные значения перемещения маятника

	высший уровень	средний уровень	низший уровень
Эксперимент, мм	194,4	194,4	194,4
Расчёт, мм	185,8	158,20	130,25
Погрешность, %	5	19	33

Так же моделировался удар маятником спереди кабины КАМАЗ по требованиям правил ЕЭК ООН № 29 (испытание А). Данная кабина имеет достаточно типичную и распространённую компоновку и конструкцию, для которой также имеются результаты экспериментальных исследований (рис. 18).

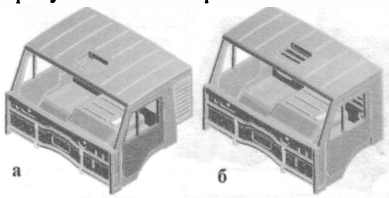


Рис.18. Кабина КАМАЗ бескапотной компоновки двух типов: а - кабина со спальным местом; б- кабина без спального места

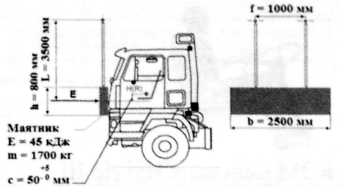


Рис. 19. Схема нагружения кабины при испытаниях «удар спереди» (испытание А) по правилам ГОСТ Р 41.29-99 (Правила ЕЭК ООН N 29)

Моделировался процесс удара маятником по передней части кабины по методике (правилам) ГОСТ Р 41.29-99 (Правила ЕЭК ООН N 29) МКЭ в программном комплексе LS-Dyna. В процессе моделирования динамического удара маятнику задавалась начальная скорость V=7,28 м/с, соответствующая необходимой кинетической энергии в момент удара, равной 45 кДж (рис.19). Для оценки погрешностей моделирования были созданы оболочечные КЭМ кабины разного уровня.

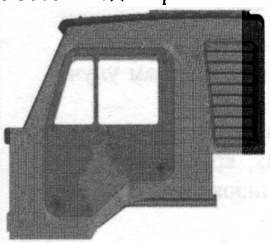


Рис. 20. Оболочечная КЭМ кабины со спальным местом

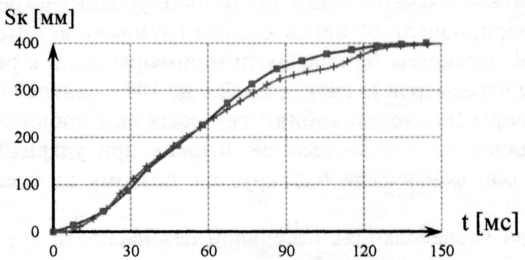


Рис. 21. График изменения перемещения контрольной точки Sк кабины от времени : эксперимент расчёт

На рис. 20 показана оболочечная КЭМ кабины со спальным местом (число узлов 314525, число элементов 315184, размер элементов 11 мм). Результаты расчёта для КЭМ высшего уровня кабины при ударе (Правила ЕЭК ООН N 29) и экспериментальные данные показаны на рис. 21. Продолжительность решений для КЭМ разного уровня (5-ти ядерный процессор) – 124;45;40 часов соответственно. Погрешность решения составила 5,4% (рис. 21). В работе проведено исследование влияния разных элементов кабины (дверей, толщин панелей обшивки) и отмечено их существенное влияние. Также рассматривались конструкции опор кабин и, на основе всестороннего анализа, предложены способы их моделирования. Правила ЕЭК ООН N 29 не предполагают имитацию поведения водителя и пассажиров во время аварии. Однако для получения расширенной информации (ускорения голо-

вы, удары конечностей и др.) с целью выбора наилучшего варианта кабины была использована КЭМ манекена типа Hybrid III (рис. 22) и разработана комплексная расчётная модель, включающая кабину, манекен, ремень безопасности, кресло и рулевую колонку (рис. 23).

Рис. 22. КЭМ манекена Hybrid III и рулевой колонки

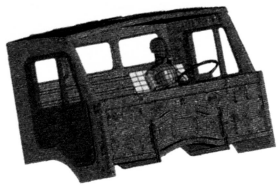


Рис. 23. Комплексная расчётная модель

На основе проведённых исследований были сделаны следующие выводы:

1. Расчёты на базе МКЭ дают возможность получения всего массива информации о процессе аварийного нагружения, необходимого для проведения оценки пассивной безопасности кабин грузовых автомобилей, а именно характера деформирования, зоны пластических деформаций, характера изменения скорости и перемещения ударного элемента и изменения ударной нагрузки (для определения относительной поглощённой энергии конструкции) и др.

2. Для анализа поведения конструкции кабины при ударе маятником по передней части необходимо использовать оболочечные КЭМ кабины высшего уровня (погрешность 5,4 % по сравнению с экспериментом), для предварительных и многовариантных расчётов - модели среднего уровня (погрешность - 15 %).

3. Двери, панели обшивки кабины грузового автомобиля способствуют повышению её пассивной безопасности (применительно к рассмотренным кабинам улучшение параметров за счёт: дверей – до 10%; панелей обшивки – до 30%).

4. Опоры (подвеска) кабины грузовых автомобилей воспринимают пренебрежимо малую долю поглощенной энергии при ударных нагрузках, кроме того при ударе они фактически блокируется, поэтому их следует моделировать как жёсткие.

5. При исследованиях пассивной безопасности грузового автомобиля на стадии проектирования для выбора наилучшего варианта конструкции кабины рекомендуется моделировать также манекен, кресло, рулевую колонку, ремень безопасности (для оценки не только остаточного пространства по правилам ЕЭК ООН № 29, но и ускорений центра масс головы манекена и др.).

Четвертая глава диссертации посвящена разработке методики совершенствования конструкции кабин грузового автомобиля при ударе спереди на стадии проектирования для удовлетворения требованиям пассивной безопасности (рис.24). На первом этапе создаётся рациональная КЭМ кабины грузового автомобиля (на базе оболочечных КЭ), КЭМ основных агрегатов и готовится математическое описание параметров. Проводится оптимизация сетки КЭ для достижения наиболее качественного описания геометрии конструкции и уточняются основные параметры модели в целом и ее составляющих, такие как: масса, центр масс и др.

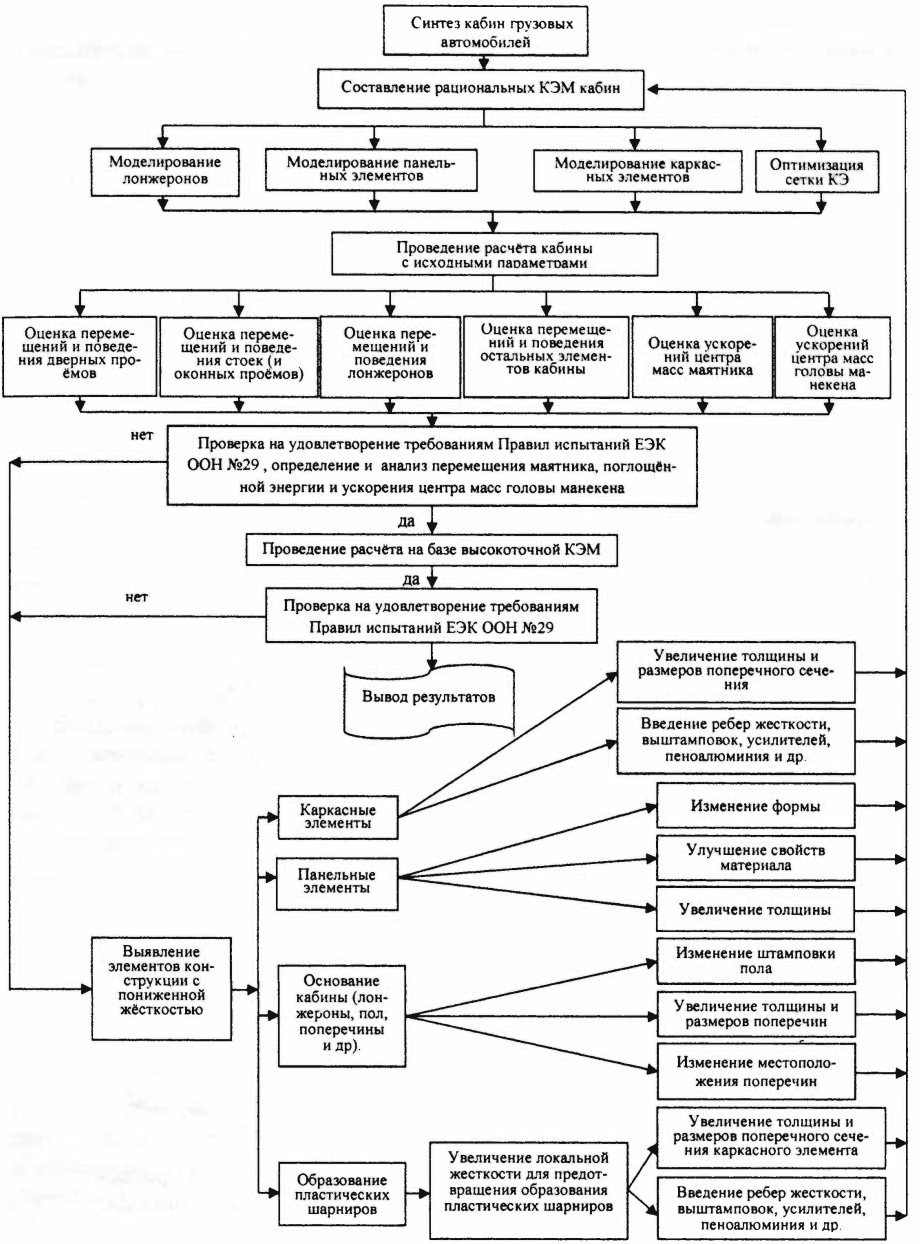


Рис. 24. Блок-схема методики

На следующем этапе проводится предварительное решение задачи МКЭ на основе составленной модели с базовыми параметрами. По результатам расчёта оцениваются максимальные перемещения основных элементов конструкции, остаточное жизненное пространство и проводится анализ поведения дверных и оконных проёмов, стоек, лонжеронов, остальных элементов кабины. При этом моделируются контакт, потеря устойчивости, смятие, изгиб, появление пластических шарниров и выявляются наиболее податливые участки и места пластических шарниров. В качестве дополнительного оценочного параметра помимо рекомендованного жизненного пространства добавлено ускорение центра масс головы манекена (позволяет косвенно оценить жесткость конструкции и избежать переужесточения кабины), максимальное значение которого в определённый интервал времени также регламентировано.

Третий этап – это внесение изменений в конструкцию кабины автомобиля в случае, если энергоёмкость конструкции недостаточна или не удовлетворяются требования правил по оценке пассивной безопасности.

Четвёртый этап – разработка предложений по конструктивному изменению кабины, создание КЭМ и проведение расчёта доработанной модели и оценка основных параметров.

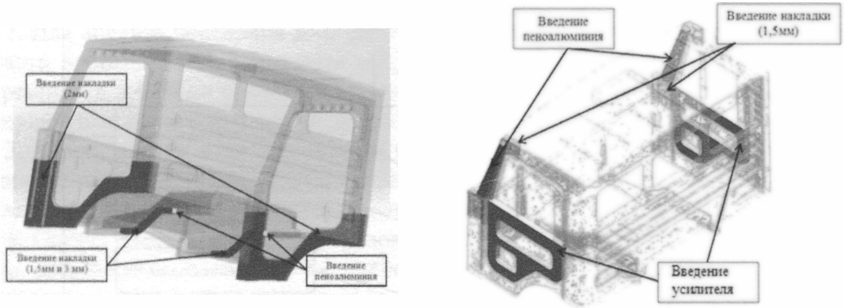


Рис. 25. Предлагаемые изменения конструкции кабины КАМАЗ-5320

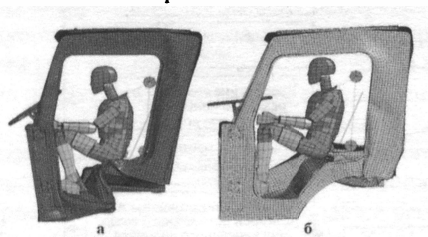


Рис. 26. Положение манекена в процессе моделирования удара спереди по нижней части (дверь не показана): а- исходный вариант; б- предложенный вариант

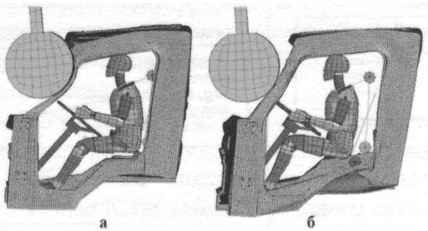


Рис. 27. Положение манекена в процессе удара по стойкам (дверь не показана): а- исходный вариант; б- предложенный вариант

В результате всестороннего анализа поведения кабины с закрытыми дверями с ребром при ударе спереди были предложены изменения в конструкцию кабины с целью улучшения её параметров пассивной безопасности, которые показаны на рис. 25 (введение пеноалюминия «Hydro foam-filled 1050 H14 AL» внутрь лонжеронов, введение локальных накладок, целенаправленное изменение толщин основных деталей кабины, введение усилителя).

Перемещение маятника в осевом направлении при моделировании удара по нижней части измененной модели уменьшилось (на 200 мм, рис. 26,27) по сравнению с исходной моделью. Предложенные изменения улучшили пассивную безопасность грузового автомобиля (улучшение параметров до 50%). Хотя ускорение головы манекена возросло (с 42g до 62g), но значение его приемлемо (допускается 80g при длительности 3мс). Аналогично при ударе по стойкам перемещение маятника в осевом направлении также уменьшилось (на 211 мм) по сравнению с исходной моделью и значения параметров, влияющих на пассивную безопасность грузового автомобиля, улучшились (до 28%). Ускорение головы возросло с 12,5g до 33g (что также приемлемо).

На основе проведённых исследований можно сделать следующие выводы.

1. Увеличение толщины основных деталей кабины КАМАЗ-5320 привело к повышению параметров, влияющих на пассивную безопасность грузового автомобиля (при увеличении толщины до 2 мм - до 60% при увеличении массы кабины на 67%).
2. Целенаправленное введение локальных накладок (утолщений 3 мм) для кабины КАМАЗ-5320 привело к повышению параметров, влияющих на пассивную безопасность грузового автомобиля (до 40%).
3. Введение пеноалюминия внутрь лонжеронов улучшает картину деформаций и повышает параметры пассивной безопасности (до 20%).
4. Двери кабины грузового автомобиля способствуют повышению параметров пассивной безопасности (до 20% в целом, каждая дверь - на 10%).
5. При исследованиях пассивной безопасности кабины грузового автомобиля на стадии проектирования наряду с оценкой остаточного пространства (по правилам ЕЭК ООН № 29) для выбора наилучшего варианта рекомендуется оценивать ускорение центра масс головы манекена.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

На основании проведённых теоретических исследований получены следующие результаты и выводы.

1. Разработан метод совершенствования конструкции кабин грузовых автомобилей на стадии проектирования при расчёте на удар, в соответствии с требованиями Правил ЕЭК ООН №29 (включающий в себя: а– принципы создания рациональных КЭМ каркасных элементов оболочечного типа и КЭМ кабин в целом; б – определение основных факторов, влияющих на изменение энергоёмкости конструкции и поведение при ударе и др.).
2. Рекомендуется использовать для анализа поведения кабин автомобилей при исследованиях пассивной безопасности КЭМ высшего уровня оболочечного типа (размер элементов 3-5 мм, средняя погрешность 3-5% по сравнению с экспериментом); для предварительных и многовариантных расчётов целесообразно использо-

вать модели среднего уровня (размер элементов 6-10 мм, средняя погрешность 15% по сравнению с экспериментом). По значениям трудозатрат на её создание и решение задачи и по погрешностям результатов такие модели относим к рациональным.

3. Введение локальных накладок, пеноалюминия внутрь лонжеронов, целенаправленное изменение толщин основных деталей кабины грузового автомобиля, а также форма и толщины ее панелей и закрытые двери способствуют повышению пассивной безопасности (применительно к кабине автомобиля КАМАЗ-5320 достигнуто улучшение параметров пассивной безопасности за счёт: дверей – до 10%; панелей обшивки – до 30%; пеноалюминия– до 20%; накладок (при утолщении на 3мм) – до 40%; основных деталей (при увеличении толщины до 2 мм) – до 60%;).

4. Для выбора наилучшего варианта кабины при исследованиях пассивной безопасности грузового автомобиля на стадии проектирования наряду с оценкой остаточного пространства (по правилам ЕЭК ООН № 29) рекомендуется оценивать ускорение центра масс головы манекена.

5. Разработаны рекомендации на базе методики по изменению конструкции кабины КАМАЗ5320, которые позволили повысить пассивную безопасность кабины (при фронтальном ударе улучшение параметров до 50%, при ударе по стойкам улучшение параметров до 28%).

МАТЕРИАЛЫ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ:

1. Шабан Б.А. Методика создания кабин грузовых автомобилей, отвечающих требованиям пассивной безопасности // Будущее машиностроения России: Электронный сборник трудов пятой всероссийской конференции молодых учёных и специалистов – «Информрегистр» № 0321202782. Москва; 2012.

2. Шабан Б.А. К вопросу разработки рациональных конечно-элементных моделей кабин грузовых автомобилей при исследованиях пассивной безопасности // Безопасность транспортных средств в эксплуатации: Материалы 79-й международной научно-технической конференции ААИ – Нижний Новгород, 2012. – С. 89–93.

3. Шабан Б.А., Зузов В.Н. Особенности моделирования каркасных элементов кузовов и кабин автомобилей при исследовании пассивной безопасности // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2012. № 11. DOI: 10.7463/1112.0486675.

4. Шабан Б.А., Зузов В.Н. Особенности построения конечно- элементных моделей кабин для исследования пассивной безопасности при ударе в соответствии с правилами ЕЭК ООН №29 // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2013. № 03. DOI: 10.7463/0313.0542301.

5. Шабан Б.А., Зузов В.Н. Анализ влияния конструктивных факторов на пассивную безопасность кабины грузового автомобиля при фронтальном ударе // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2013. № 08. DOI: 10.7463/0813.0580257.