

Совершенствование кабин грузовых автомобилей на стадии проектирования для удовлетворения требованиям пассивной безопасности

© В.Н. Зузов, Б. Шабан

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

Изложена разработанная методика совершенствования конструкции кабин грузовых автомобилей при ударе спереди. Обоснованы принципы составления конечно-элементных моделей разного уровня сложности (кабины, манекена с ремнем безопасности, кресла и рулевой колонки). Проведены расчеты с использованием программных комплексов ANSYS, LS-DYNA кабин с разными параметрами, проверено выполнение требований Правил ЕЭК ООН № 29, определены и проанализированы перемещения маятника, поглощенная энергия и ускорение центра масс головы манекена. Разработаны рекомендации по совершенствованию конструкции кабины автомобиля «КамАЗ-5320» для улучшения параметров пассивной безопасности (применение локальных накладок, целенаправленное изменение толщин основных деталей кабины, введение усилителя и пеноалюминия «Hydro foam-filled 1050 H14 AL» внутрь лонжеронов). Дана сравнительная оценка поведения элементов конструкции исходного и предлагаемого вариантов кабины.

Ключевые слова: пассивная безопасность, кабина грузового автомобиля, метод конечных элементов, конечно-элементная модель, ударные нагрузки, пластические шарниры, пластические деформации, LS-DYNA.

Введение. Пассивная безопасность колесных 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 спереди. При контакте конструкции с объектом в ее элементах происходит потеря устойчивости, смятие, изгиб, появляются пластические шарниры и т. д. Метод конечных элементов (МКЭ) позволяет решать нелинейные задачи прочности и жесткости 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, методики совершенствования ее конструкции необходимы уже на самых

ранних стадиях проектирования, когда невозможны натурные испытания.

Безопасность автомобиля принято подразделять на две основные категории: *активную* — способность автомобиля предотвращать дорожно-транспортные происшествия (ДТП) или снижать вероятность их возникновения и *пассивную* — свойство автомобиля уменьшать тяжесть ДТП (проявляется в период, когда водитель не в состоянии предотвратить ДТП). Каждый тип автомобиля разрабатывают с учетом требований пассивной безопасности, а их уровень проверяют с помощью краш-тестов [1, 2].

Для достоверной оценки пассивной безопасности транспортного средства необходим статистический анализ аварийных ситуаций и выявление наиболее характерных случаев.

Согласно опубликованным данным [3–5], в 2010 г. в 27 странах Евросоюза около 31 100 погибших в ДТП, что на 11 % меньше, чем в 2009 г. Тенденция снижения числа погибших стала положительной за последние 20 лет благодаря значительному улучшению инфраструктуры, транспортных средств и, не в последнюю очередь, поведения участников дорожного движения (использование ремней безопасности, снижение случаев превышения скорости, уменьшения влияния токсических веществ). Сокращение ДТП со смертельным исходом почти на 60 % (за 20 лет) в Евросоюзе является впечатляющим доказательством согласованных усилий автомобильной промышленности, политиков, государственных органов и потребительских организаций, однако дальнейшие работы в этом направлении необходимо продолжать.

В странах Евросоюза с 2005 по 2008 гг. около 1,7 млн человек в среднем было незначительно, серьезно или смертельно ранено во всех типах ДТП (табл. 1).

По данным ГИБДД, в России ежегодно происходит около 200 тыс. ДТП, в которых погибает около 30 тыс. человек и получают ранения свыше 250 тыс. (табл. 2) [6].

Таблица 1

Жертвы ДТП в Евросоюзе (среднее значение за 2005–2008 гг.)

Число пострадавших	Все автомобили	Автобусы > 3,5 т		Грузовики > 3,5 т	
		Число случаев	Доля от всех транспортных средств, %	Число случаев	Доля от всех транспортных средств, %
Погибшие	43 500	1200	3	7200	17
Тяжело раненные	298 400	6500	2	21 900	7
Легко раненные	1 386 100	44 300	3	83 900	6
Всего	1 728 000	52 000	3	113 000	7

Таблица 2

Общее количество ДТП, число погибших и получивших травмы (раненых) в России (по статистике ГИБДД)

Количество	Год						
	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
ДТП	229 140	233 809	218 322	203 603	199 431	199 868	203 597
Погибших	32 724	33 308	29 936	26 084	26 567	27 953	27 991
Раненых	285 362	292 206	270 883	257 034	250 635	251 848	258 618

В начале наступившего года ГИБДД России представила всеобщему обозрению статистику аварийности за 2012 г. Согласно этим данным, на дорогах России произошло 203 597 ДТП с пострадавшими (рост на 1,9 %), в которых 27 991 человека погибли (рост на 0,1 %) и 258 618 получили ранения (рост на 2,7 %). Причины ДТП в России за 2012 г. по данным ГИБДД следующие:

- нарушение правил дорожного движения (ПДД) водителями транспортных средств (в том числе находившимися в состоянии опьянения) — 85 % (6 %);
- нарушение ПДД пешеходами — 16 %;
- неудовлетворительное состояние улиц и дорог — 21 %;
- эксплуатация технически неисправных транспортных средств — 0,6 %.

Сумма долей больше 100 %, так как в некоторых ДТП задействовано более одной причины.

Основные типы аварийных ситуаций приведены в табл. 3.

Из табл. 3 следует, что преобладающим видом ДТП является фронтальное столкновение грузовика с другими транспортными средствами (легковой автомобиль, мотоцикл и т. д.) и человеком. Основные виды ДТП следующие:

- столкновение;
- опрокидывание;
- наезд (на стоящее транспортное средство, препятствие, пешехода, велосипедиста, гужевого транспорт, животное);
- падение пассажира;
- иные виды.

На основании подобных статистических данных в России и Евросоюзе были разработаны требования, регламентирующие пассивную безопасность транспортных средств. В настоящее время каждый вновь разрабатываемый автомобиль должен соответствовать целому ряду стандартов пассивной безопасности, основными из которых являются правила Единой экономической комиссии при Организации Объединенных Наций (ЕЭК ООН). На базе этих документов разработаны отечественные стандарты, действующие на территории России.

Таблица 3

Дорожно-транспортные происшествия с участием тяжелых грузовиков, приведшие к серьезным смертельным травмам (данные исследовательской группы фирмы Volvo) [3]

Пользователь автодорог	Тип аварии	Частота, %
Грузовые автомобили (15–20 %) 	Одиночный грузовик. Вождение по бездорожью (с или без опрокидывания)	 35
	Одиночный грузовик. Занос или рыскание (нестабильности на дороге)	 15
	Фронтальное столкновение двух грузовиков	 10
	Столкновение двух грузовиков (наезд сзади)	 20
	Другие виды столкновений	 5
Легковые автомобили (55–65 %) 	Фронтальное столкновение грузовика с легковыми автомобилями	 35
	Боковое столкновение	 10
	Последовательное столкновение нескольких автомобилей	 5
	Наезд грузовика на легковой автомобиль	 10
	Удар грузовика в бок легкового автомобиля	 15
	Наезд легкового автомобиля сзади	 10
	Боковой удар легкового автомобиля	 10
	Боковое столкновение при маневре	 5
Незащищенные участники дороги (15–25 %) 	Наезд на пешехода	 5
	Наезд на пешехода при движении назад	 5
	Наезд на пешехода на перекрестке	 25
	Наезд на пешехода при повороте	 20
	Боковой наезд на велосипедиста	 10

На пассивную безопасность автомобиля влияет множество конструктивных и технологических факторов, на основе которых можно

сформировать систему обеспечения и управления пассивной безопасностью. При наличии достоверной статистической информации о пассивной безопасности автомобиля на стадии эксплуатации возможности управления системой обеспечения пассивной безопасности ограничены и связаны в основном с регламентацией скорости движения. Гораздо более широкие возможности имеются на стадии проектирования отдельных элементов этой системы, когда возможна доработка и оптимизация ее конструктивных параметров.

На основе проведенных исследований механизмов травмирования и биомеханики движения человека во время ДТП сформулированы критерии оптимизации. Принято использовать четыре основных показателя пассивной безопасности:

- деформация конструкции;
- максимальное ускорение человека;
- вероятность выбрасывания человека;
- возгораемость автомобиля.

Таким образом, ударно-прочностные свойства окружающей конструкции являются основным фактором, определяющим уровень пассивной безопасности автомобиля. Оценивают их по деформациям, которые при определенных условиях столкновения не должны превышать заданные значения, сохраняя внутри кабины жизненное пространство для водителя и каждого из пассажиров, а также по перегрузкам, действующим на человека в процессе столкновения. Жизненным (остаточным) пространством называют защитную зону вокруг человека, сидящего в автомобиле (тракторе), внутрь которой не должны проникать детали при авариях. Размеры жизненного пространства, при котором обеспечивается сохранение жизнедеятельности закрепленного на сиденье человека, регламентируются стандартами. В качестве примера на рис. 1 представлена зона рекомендуемого жизненного пространства согласно нормам, принятым в Европе и США [7].

Жизненное (остаточное) пространство требуемых размеров обеспечивается ударно-прочностными свойствами кабин грузовых автомобилей и устранением возможности травмирования людей элементами внутреннего интерьера.

Анализ конструкции кабин грузовых автомобилей. Для разработки методики создания кабин грузовых автомобилей с рациональными параметрами, отвечающих требованиям пассивной безопасности, необходимо рассмотреть их конструкции с позиций безопасности и конструктивных особенностей, которые необходимо учитывать при исследовании. Конструкции кабин грузовых автомобилей отличаются большим разнообразием в связи с различными условиями их эксплуатации (рис. 2) [2].

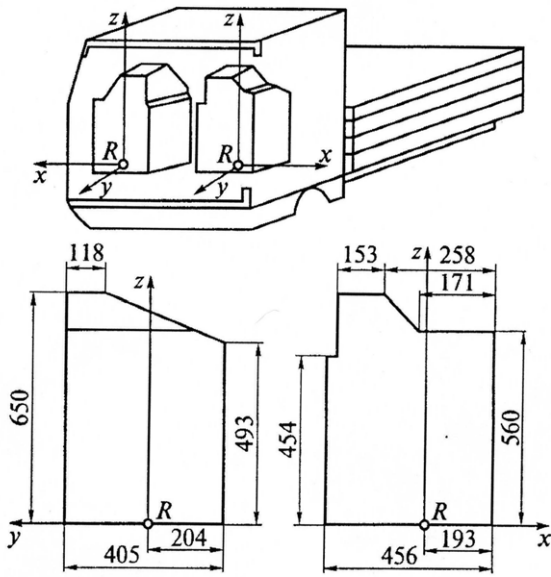


Рис. 1. Размеры жизненного пространства в кабине грузового автомобиля, мм



Рис. 2. Классификация кабин грузовых автомобилей

Определяющими факторами конструкции кабины помимо условий эксплуатации являются характерные аварийные ситуации для конкретных типов машин. Безопасность, обзорность и комфорт — это три основных критерия, по которым создают все кабины. Типовые конструкции кабин грузовых автомобилей представлены на рис. 3.



Рис. 3. Конструкции кабин грузовых автомобилей Scania (а), Volvo (б), «КамАЗ-5320» (в) и Mercedes Bens Atego (z)



Рис. 4. Примеры деформаций кабин грузовых автомобилей после аварии

Определение энергопоглощающих элементов конструкции автомобилей, оценка деформаций (рис. 4) при столкновении и в конечном итоге общая оценка пассивной безопасности представляют собой сложные задачи. Методы исследования пассивной безопасности конструкций кабин грузовых автомобилей можно разделить на экспериментальные, расчетные и расчетно-экспериментальные.

Под экспериментальными методами исследования в первую очередь подразумевают полномасштабные испытания натурных образцов в соответствии со стандартами безопасности. Методики испытаний на пассивную безопасность конструкции призваны моделировать сценарии реальных аварийных ситуаций (рис. 5).



Рис. 5. Примеры кабин после натуральных испытаний

Применительно к грузовым автомобилям такими ситуациями являются лобовой удар, удар по кабине сзади сорвавшимся при торможении грузом и опрокидывание автомобиля. Согласно требованиям ГОСТ Р 41.29–99 (правила ЕЭК ООН № 29), эти ситуации сведены к трем видам испытаний (рис. 6, а).

При испытании А по кабине, установленной на транспортном средстве, осуществляют фронтальный удар маятником с заданными размерами и кинетической энергией. При испытании В через жесткую плиту к конструкции квазистатически прикладывают заданную вертикальную нагрузку. При испытании С заднюю стенку кабины через жесткую плиту нагружают горизонтальной силой. После проведе-

ния каждого вида испытаний в кабине должно оставаться остаточное пространство, в котором на установленном в среднем положении сиденье может поместиться, не приходя в соприкосновение с жестко закрепленными частями, антропометрический манекен. В деталях крепления кабины к раме могут наблюдаться деформации и изломы, однако кабина должна оставаться прикрепленной к раме.

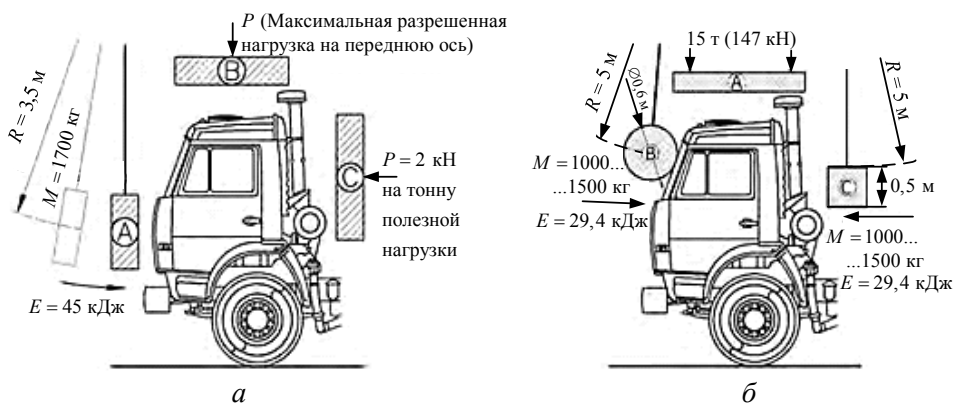


Рис. 6. Виды испытаний кабины по ГОСТ Р 41.29–99 (а) и по VVFS 2003:29 (б)

Характеристики пассивной безопасности кабины в соответствии со шведскими нормами VVFS 2003:29 проверяют следующими испытаниями (рис. 6, б):

- испытание А — квазистатическая нагрузка на крышу кабины;
- испытание В — удар цилиндрическим маятником спереди по переднему верхнему углу кабины;
- испытание С — удар прямоугольным маятником по задней стенке кабины под прямым углом.

Кабина считается выдержавшей все виды испытаний при следующих условиях:

- в несущей конструкции кабины или деталях, а также узлах крепления не произошло разрушений и не образовались значительные трещины или деформации;
- в кабине остается жизненное пространство для водителя и пассажиров;
- при динамическом нагружении (ударе) вся энергия удара расходуется (поглощается) кабиной, при этом не происходит проскальзывания маятника по крыше.

В настоящее время в рамках Женевского соглашения идет разработка новой серии поправок к Правилам № 29 ЕЭК ООН, которые регламентируют процедуру испытаний и технические требования, предъявляемые к кабинам грузовиков в отношении их ударно-

прочностных свойств для обеспечения безопасности водителя и пассажиров в условиях столкновения и опрокидывания [8]. Так, есть добавление 28 к Правилам ЕЭК ООН № 29 [9] (рис. 7).

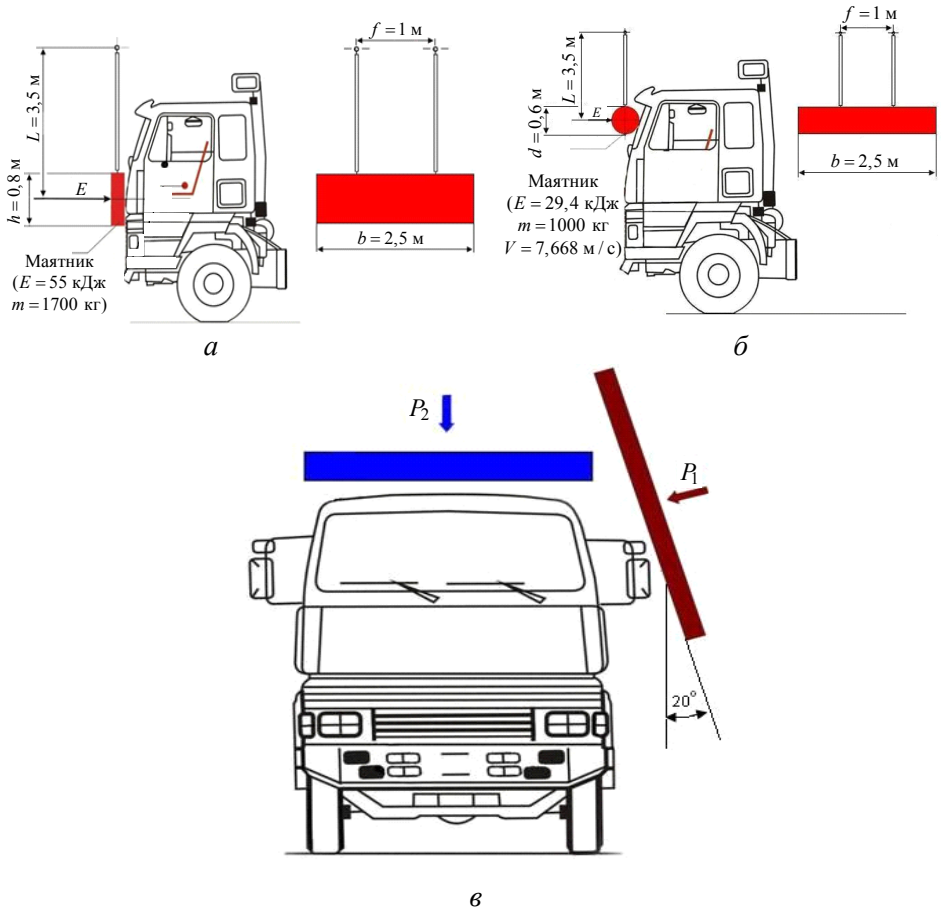


Рис. 7. Схемы нагружения кабины при испытаниях А (а), В (б) и С (в) по правилам ГОСТ Р 41.29-99 (Правила ЕЭК ООН № 29)

Главным недостатком экспериментальных методов исследований является необходимость создания дорогостоящих объектов исследований, а также то, что при неудовлетворительном результате испытания трудно установить причины, по которым это произошло, и на чем может быть основано дальнейшее совершенствование конструкции.

Рассматриваемая 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 спереди, при котором имеет место контакт

конструкции с объектом, а в ее элементах происходит потеря устойчивости, смятие, изгиб, появляются пластические шарниры и др. Такие задачи решают методом конечных элементов (МКЭ), обеспечивающим высокую точность для конструкций практически любой геометрической формы и при любых граничных условиях. Однако даже на современных ЭВМ решение подобных задач может длиться много часов.

Основные положения методики совершенствования конструкции кабин грузовых автомобилей на стадии проектирования для удовлетворения требованиям пассивной безопасности [10]. На рис. 8 представлена блок-схема предлагаемой методики.

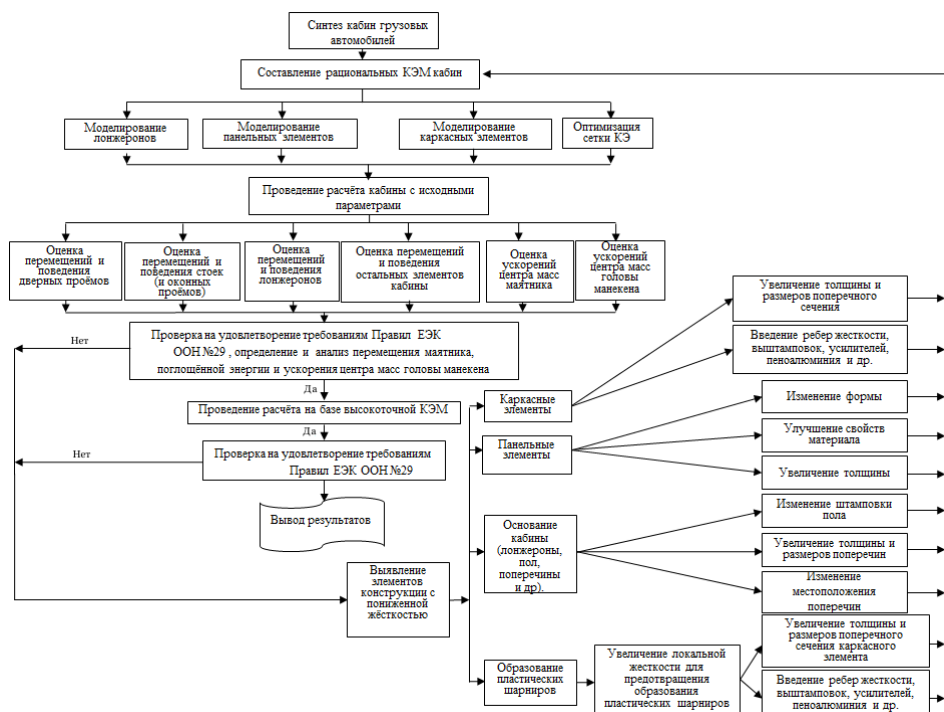


Рис. 8. Блок-схема методики совершенствования конструкции кабин грузовых автомобилей на стадии проектирования для удовлетворения требованиям пассивной безопасности

На первом этапе создают уточненную рациональную конечно-элементную модель (КЭМ) кабины грузового автомобиля на базе оболочечных конечных элементов (КЭ), КЭМ основных агрегатов и готовят математическое описание параметров. Проводят оптимизацию сетки КЭ для достижения наиболее качественного описания геометрии и уточняют основные параметры модели в целом и ее составляющих (масса, центр масс и др.).

На следующем этапе осуществляют предварительное решение задачи МКЭ на основе составленной КЭМ с базовыми параметрами. По результатам расчета оценивают максимальные перемещения основных элементов конструкции, остаточное жизненное пространство и анализируют поведение дверных и оконных проемов, стоек, лонжеронов, остальных элементов кабины и др. При этом моделируют состояния конструкции, такие как контакт, потеря устойчивости, смятие, изгиб, появление пластических шарниров и выявляют наиболее податливые участки. В качестве косвенного оценочного параметра жесткости кабины в целом помимо рекомендованного жизненного пространства может выступать и ускорение центра масс манекена, максимальное значение которого в определенный интервал времени также регламентировано.

Далее если энергоемкость конструкции недостаточна либо не удовлетворяются основные требования правил по оценке пассивной безопасности, в конструкцию кабины автомобиля вносят изменения, проводят расчет доработанной КЭМ и оценивают основные параметры.

Поскольку ключевой особенностью метода является то, что он применим на стадии проектирования (т. е. можно оценить кабину и внести различные изменения в конструкцию, в том числе и радикальные, без создания реального объекта), имеются большие возможности по оптимизации и доработке конструкции без существенных материальных затрат. Как отмечалось выше, вначале осуществляют синтез кабины и создают концептуальную модель, основываясь на приобретенном ранее опыте. На основе составленной САД-модели строят КЭМ (моделируют лонжероны, стойки, панели кабины, силовой агрегат), связывают отдельные части в единую систему и проводят оптимизацию сетки КЭ для получения наиболее точных результатов. На базе КЭМ создают имитационную модель с манекеном водителя. Далее проводят предварительный расчет КЭМ с исходными параметрами в соответствии с требованиями правил испытаний. По результатам расчета оценивают максимальные перемещения частей кабины, поведение конструкции при ударе, полученное манекеном ускорение центра масс головы (один из основных оценочных параметров, который предлагается также учитывать). Делают вывод об общей жесткости и замкнутости силовой схемы кабины, а также о соответствии всех параметров требованиям правил испытания.

В случае удовлетворения требованиям и отсутствия необходимости доработок проводят расчет на базе КЭМ высшего уровня, в которой более детально смоделированы особенности конструкции. После завершения теоретических исследований создают реальную кабину и проводят натурное испытание, подтверждающее полученные расчетные результаты.

В случае неудовлетворения требованиям правил испытаний детально анализируют элементы конструкции для выявления зон с пониженной жесткостью, мест образования пластических шарниров (которые приводят к большим пластическим деформациям лонжеронов или каркасных элементов) и потери устойчивости панелей и других несущих элементов кабины. Если каркасные элементы обладают недостаточной жесткостью относительно других деталей кабины, предлагают действия по увеличению толщины и размеров поперечного сечения (для порогов и стоек) или вводят ребра жесткости, выштамповки, усилители, пеноалюминий и др. Для панельных элементов в целях увеличения жесткости изменяют форму, увеличивают толщину или применяют более прочный материал.

Для повышения жесткости основания кабин (лонжероны, пол, поперечины и др.) можно использовать выштамповки пола и (или) увеличивать толщины и размеры лонжеронов и поперечин, изменять их местоположения.

Отдельным пунктом необходимо выделить анализ конструкции на предмет образования пластических шарниров, поскольку они приводят к большим деформациям конструкции и, как следствие, существенно уменьшению энергоемкости. Комплексный подход по устранению пластических шарниров состоит в локальном повышении жесткости на участках образования шарниров путем введения ребер жесткости, усилителей, выштамповок и др., а также увеличении толщины и размеров поперечного сечения (если пластический шарнир образуется в лонжеронах, порогах, стойках и др.).

Анализ результатов расчета исходной модели и оценка соответствия требованиям Правил ЕЭК ООН № 29 при фронтальном ударе. В качестве объекта для иллюстрации эффективности методики выбрана кабина грузового автомобиля «КамАЗ-5320» (см. рис. 3, в), которая имеет повышенные уровни деформаций при ударе [11]. Для проведения исследований разработаны КЭМ среднего уровня — рациональные модели (число узлов 102 087, число элементов 102 455, размеры элементов 8 мм), адекватно отражающие силовые элементы кабины, условия их соединения и закрепления на внешних опорах [12–15]. МКЭ моделировали процесс удара маятником по передней части кабины согласно ГОСТ Р 41.29-99 (Правила ЕЭК ООН № 29) в программном комплексе LS-DYNA. В процессе моделирования динамического удара маятнику задавали начальную скорость $V = 8,56$ м/с, соответствующую необходимой кинетической энергии в момент удара $E = 55$ кДж (см. рис. 7, а).

Результаты расчета для исходной КЭМ представлены на рис. 9. Их анализ включал оценки пассивной безопасности кабины по Правилам (проверка остаточного пространства), а также положения ма-

некена в процессе испытания и картины деформированного состояния (рис. 10). Максимальное расчетное перемещение маятника по времени составило 400 мм, и было выявлено, что практически не осталось пространства для ног манекена. Таким образом, кабина должна быть существенно доработана.

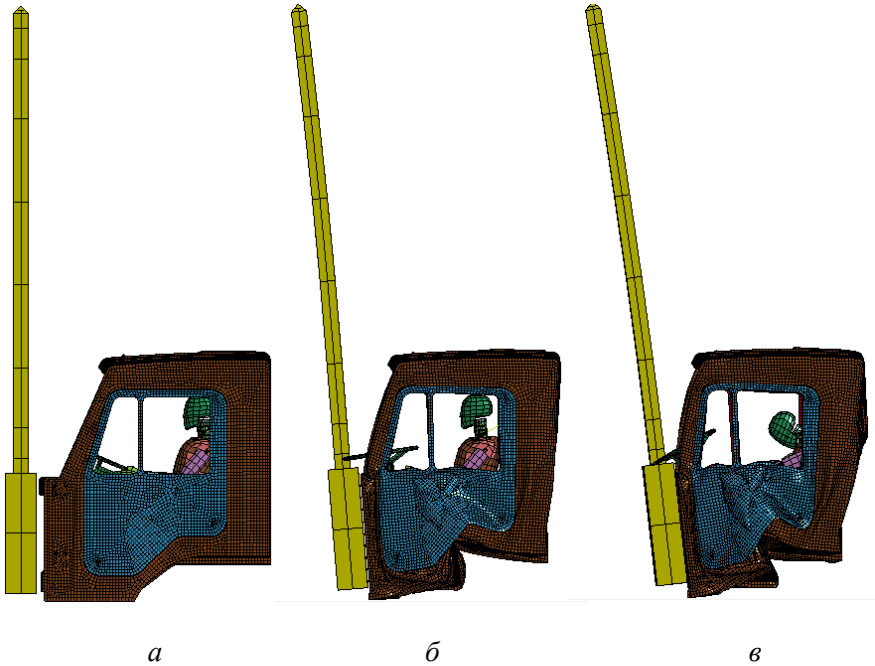


Рис. 9. Исходное (*а*) и деформированные состояния КЭМ кабины «КамАЗ-5320» через 50 (*б*) и 100 мс (*в*) после удара

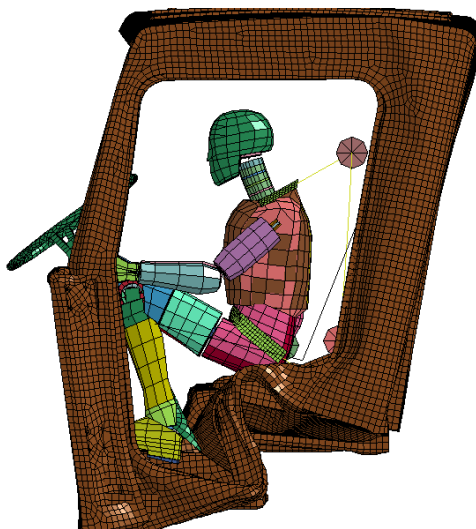


Рис. 10. Положение манекена в процессе испытания (дверь не показана)

Помимо определения жизненного пространства, регламентируемого Правилами ЕЭК ООН № 29, предлагалось оценить также расчетное ускорение центра масс головы манекена в заданный промежуток времени, поскольку это очень важный параметр, позволяющий из разных вариантов возможных изменений конструкции выбрать наилучший.

По результатам расчета выявлено, что результирующее ускорение составляет $42g$ (не превышает допустимого значения $80g$ в течение 3 мс). На рис. 11 показаны зависимости изменения ускорения головы от времени. По значению максимального ускорения можно судить об общей жесткости конструкции при ударе.

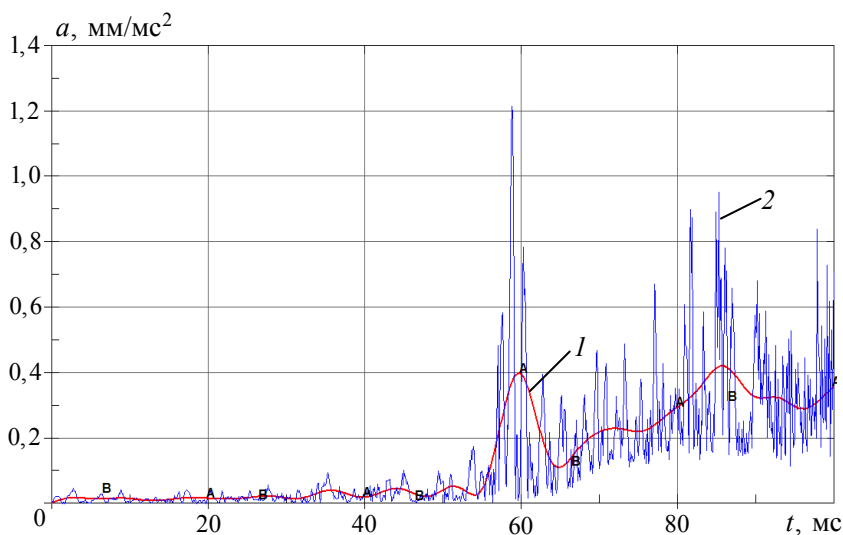


Рис. 11. Изменение ускорения центра масс головы манекена исходной модели во времени:

1 — после обработки фильтром; 2 — без фильтра

Анализ влияния конструктивных факторов на пассивную безопасность кабины автомобиля при фронтальном ударе. Основные детали кабины «КамАЗ-5320» изготовлены из листовой стали толщиной $0,8 \dots 1,2$ мм [15]. Для оценки зависимости параметров кабины от толщины панелей были рассчитаны в программном комплексе LS-DYNA четыре варианта КЭМ (с толщинами $1,0$ мм, $1,5$ мм, $2,0$ мм и $2,5$ мм соответственно) при ударе маятником по передней части кабины без учета дверей (ГОСТ Р 41.29-99, Правила ЕЭК ООН № 29). В процессе моделирования динамического удара маятнику задавали начальную скорость $V = 8,56$ м/с, соответствующую необходимой кинетической энергии в момент удара $E = 55$ кДж (результаты расчетов подробно представлены в работе [11]).

В результате исследований выявлено, что влияние толщины на основные параметры существенно. На основании всестороннего анализа поведения кабины при ударе маятником спереди были предложены изменения конструкции кабины в целях улучшения параметров ее пассивной безопасности (рис. 12). Для сравнительного анализа в расчетах использовали накладки разной толщины: 1,5 мм и 3 мм.

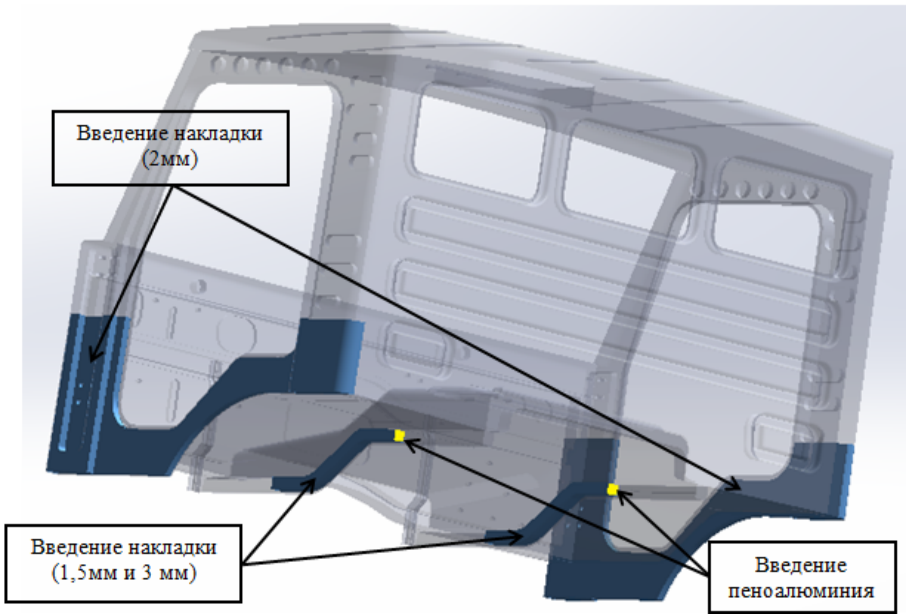


Рис. 12. Предлагаемые изменения конструкции кабины «КамАЗ-5320»

Помимо накладок в работе моделировали конструкцию с пеноалюминием (Hydro foam-filled 1050 H14 AL) внутри лонжеронов на базе имеющегося опыта [16, 17] и проводили сравнительную оценку поведения предложенных вариантов изменений кабины при ударе (результаты расчета подробно представлены в работе [17]).

На предварительных этапах исследований было выявлено, что конструктивные параметры двери заметно влияют на характер и размеры деформаций кабины при ударе, поэтому для более полного анализа их влияния были проведены расчеты КЭМ кабины с дверями и без них [17]. Кроме того, расчеты выполняли для кабины с дверями в виде исходного варианта и с предложенными изменениями конструкции (базовая толщина кабины 1 мм и накладки 3 мм) (см. рис. 12). Полученные результаты представлены на рис. 13–14.

На рисунках видно, что перемещение маятника в осевом направлении уменьшилось на 200 мм по сравнению с исходной моделью, т. е. улучшена пассивная безопасность грузового автомобиля (улучшение основных параметров до 50 %).

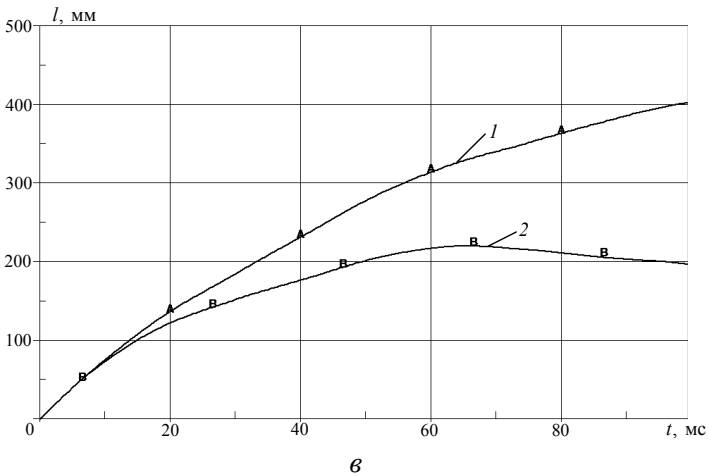
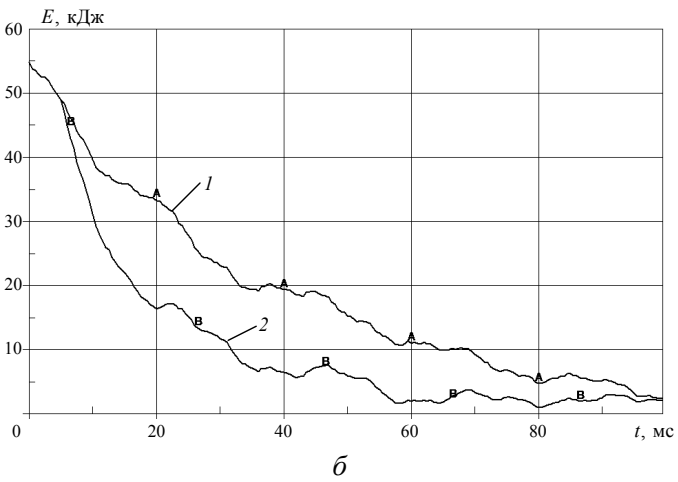
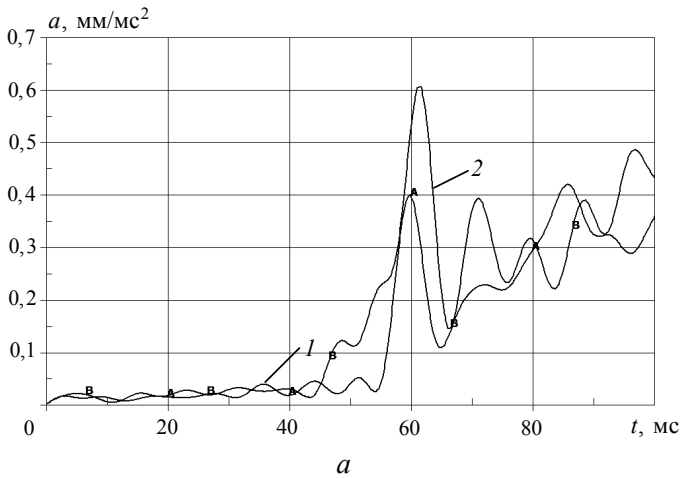


Рис. 13. Изменение ускорений центра масс головы манекена (a), кинетической энергии (E) и перемещения (l) маятника в зависимости от времени:

1 — исходный вариант; 2 — измененный вариант

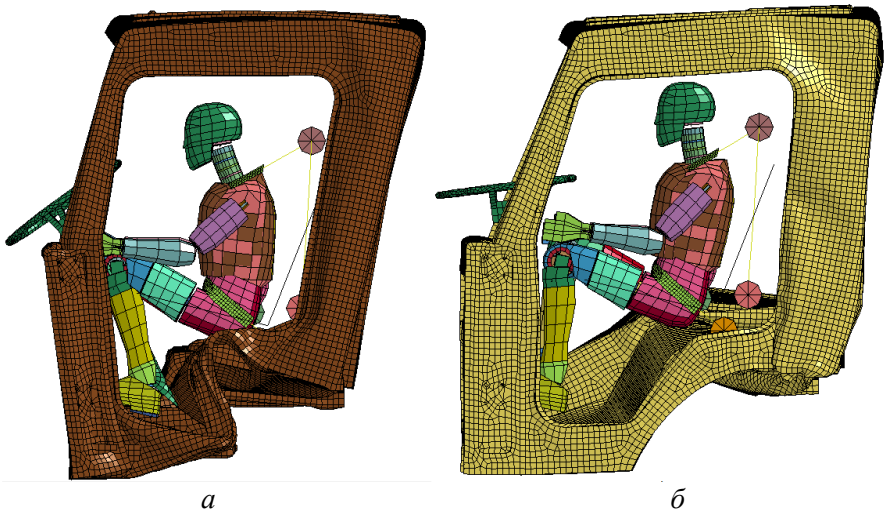


Рис. 14. Положение манекена в процессе испытания (дверь не показана):
а — базовый вариант; *б* — измененный вариант

Анализ результатов расчета исходной модели и оценка соответствия требованиям Правил ЕЭК ООН № 29 при испытании передних стоек на удар. Для проведения исследований была разработана КЭМ среднего уровня (число узлов 102 087, число элементов 102 455, размеры элементов 8 мм), адекватно отражающая силовые элементы кабины, условия их соединения и закрепления на внешних опорах. МКЭ моделировали процесс удара маятником по передней части кабины по методике ГОСТ Р 41.29-99 (Правила ЕЭК ООН № 29) в программном комплексе LS-DYNA. В процессе моделирования динамического удара маятнику задавали начальную скорость $V = 7,668$ м/с, соответствующую необходимой кинетической энергии в момент удара $E = 29,4$ кДж (см. рис. 7, б).

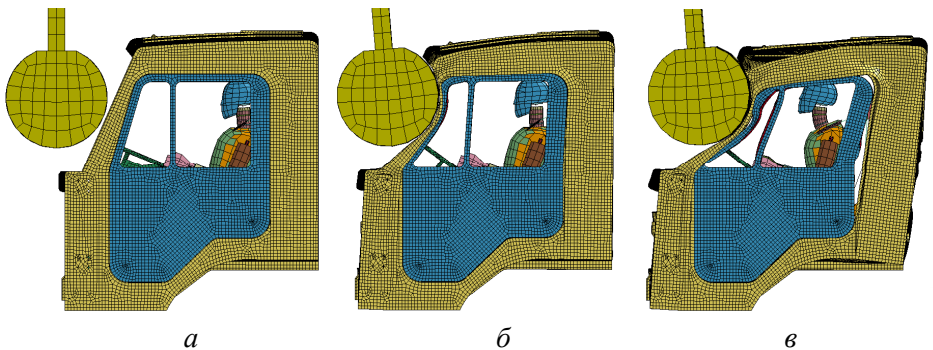


Рис. 15. Исходное (*а*) и деформированные состояния КЭМ кабины «КамАЗ-5320» через 30 (*б*) и 60 мс (*в*)

Результаты расчета для исходной модели представлены на рис. 15–18. Их анализ включал оценки пассивной безопасности кабины (проверка остаточного пространства), а также положения манекена в процессе испытания и картины деформированного состояния. Максимальное расчетное перемещение маятника по времени составило 392,5 мм (см. рис. 17). Было выявлено, что практически не осталось пространства для ног манекена (см. рис. 16). Таким образом, кабина должна быть существенно доработана и для этого режима нагружения.

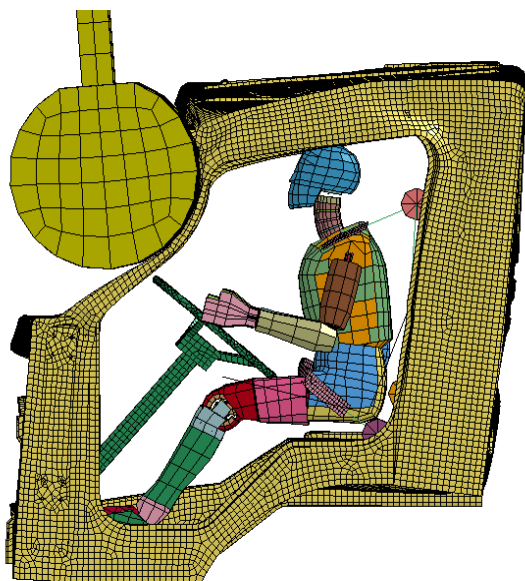


Рис. 16. Положение манекена в процессе испытания (дверь не показана)

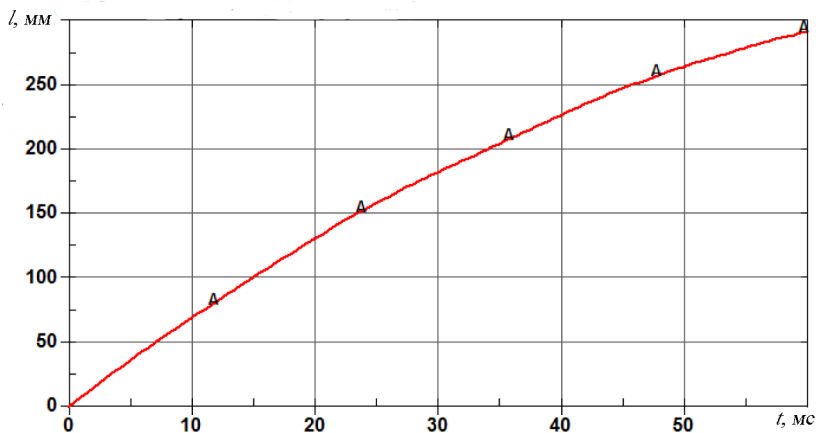


Рис. 17. Изменение перемещения маятника во времени (кабина с дверями)

Помимо определения жизненного пространства, регламентируемого Правилами, также было оценено расчетное ускорение центра масс головы манекена в заданный промежуток времени. По результатам расчета выявлено, что результирующее ускорение составляет 12,5g (не превышает допустимого значения 80g в течение 3 мс). По значению максимального ускорения (см. рис. 18) можно судить об общей жесткости конструкции при ударе.

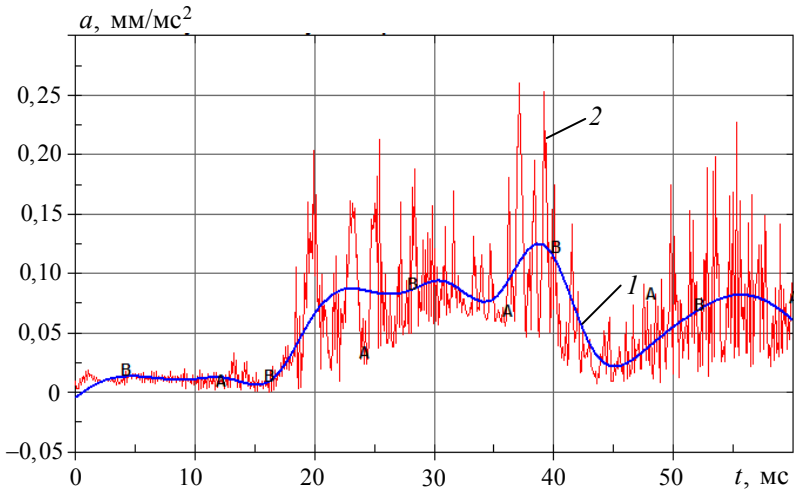


Рис. 18. Изменение ускорения центра масс головы манекена исходной модели во времени:

1 — после обработки фильтром; 2 — без фильтра

Анализ влияния конструктивных факторов на пассивную безопасность кабины грузового автомобиля при испытании передних стоек на удар. В процессе проектирования по результатам компьютерного моделирования выполнен анализ поведения кабины при испытании передних стоек на удар. Рассмотрено влияние закрытых дверей исходной конструкции, а также дверей с продольным усилителем (ребро) на пассивную безопасность кабины. Результаты расчетов представлены на рис. 19.

Из графиков следует, что увеличение толщины основных деталей дверей кабины «КамАЗ-5320» (без ребра) привело к повышению параметров, влияющих на пассивную безопасность грузового автомобиля (при увеличении толщины до 2 мм пассивная безопасность возросла на 10,8 %).

В результате всестороннего анализа поведения кабины с закрытыми дверями с ребром при ударе по передним стойкам были предложены изменения в конструкцию кабины для улучшения параметров ее пассивной безопасности (рис. 20).

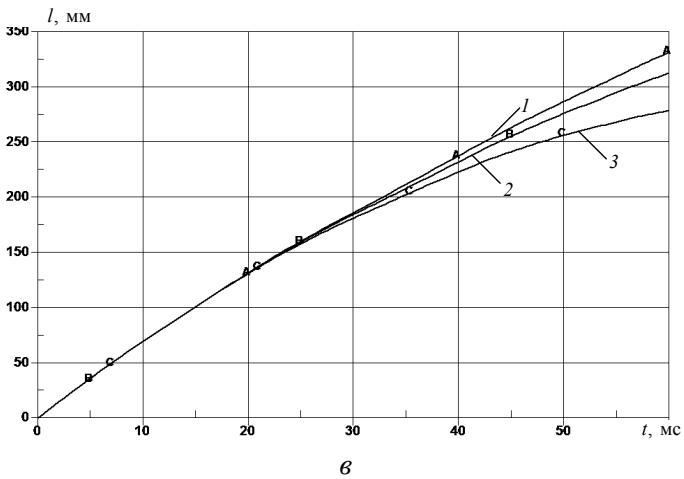
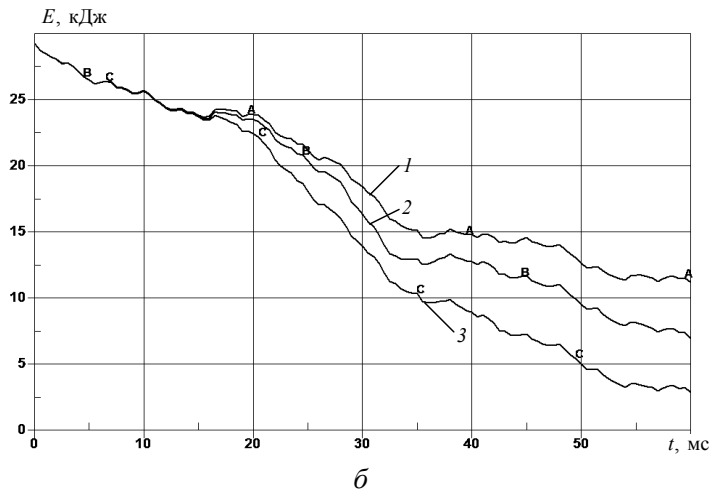
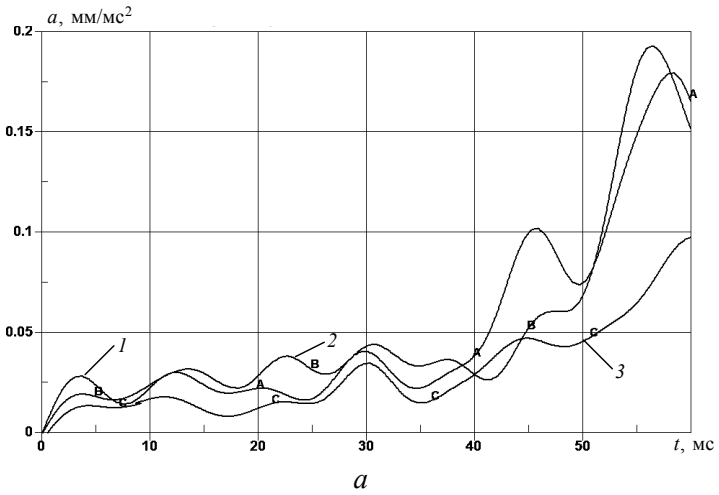


Рис. 19. Изменение ускорения центра масс головы манекена (а), кинетической энергии (б) и перемещения (в) маятника в зависимости от времени:
 1 — кабина без двери; 2 — дверь толщиной 1 мм; 3 — то же 2 мм

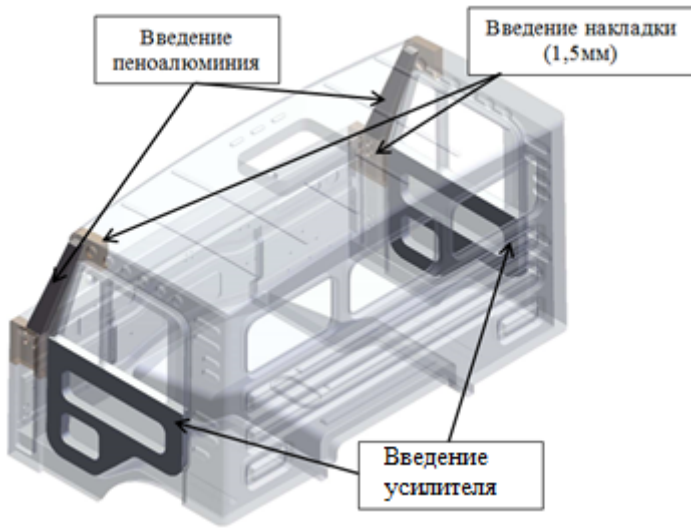


Рис. 20. Предлагаемые изменения конструкции кабины «КамАЗ-5320»

Для сравнительного анализа в расчетах учитываем использование накладок внутренней стойки толщиной 1,5 мм и введение пеноалюминия. Результаты расчета для КЭМ исходной кабины и КЭМ с тремя вариантами усиления (накладки, пеноалюминий, накладки и пеноалюминий) представлены на рис. 21 и 22.

На рисунках видно, что перемещение маятника в осевом направлении уменьшилось на 210,73 мм по сравнению с базовой моделью, т. е. было достигнуто повышение значений параметров, влияющих на пассивную безопасность грузового автомобиля (до 28 %).

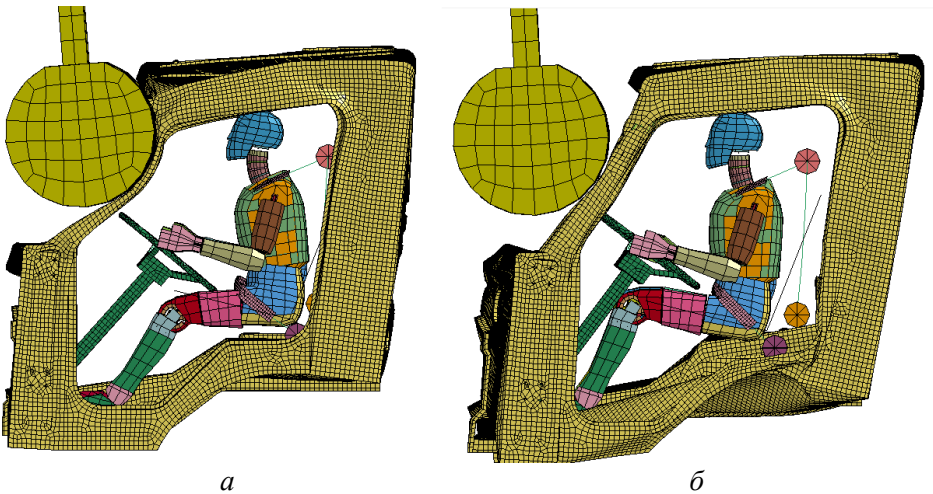


Рис. 21. Положение манекена в процессе удара (дверь не показана):
а — базовый вариант; *б* — измененный вариант

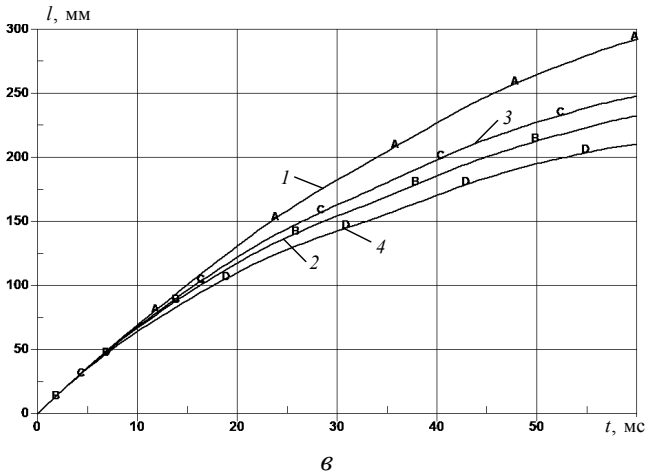
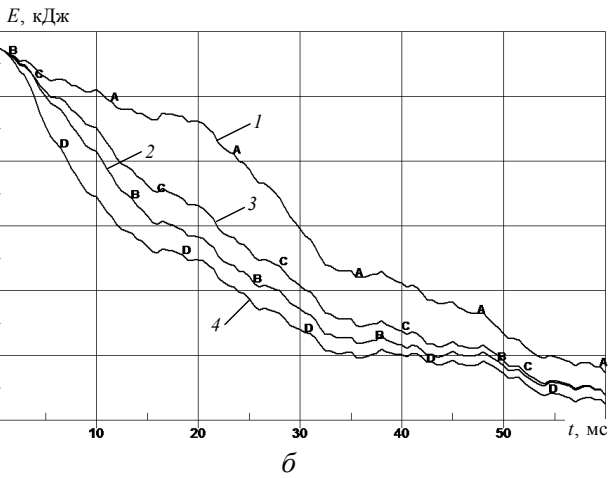
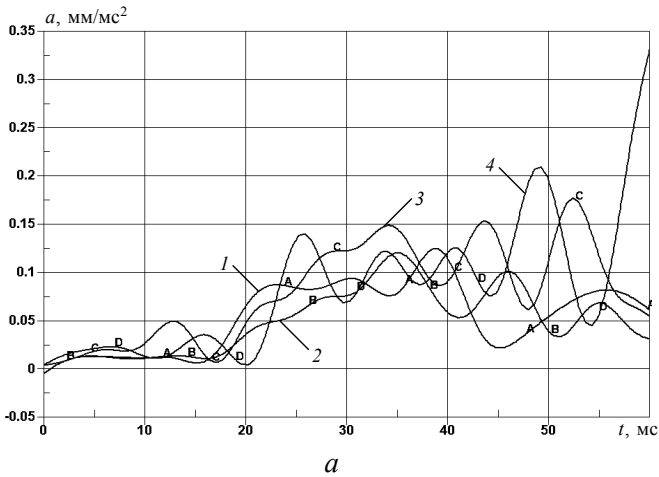


Рис. 22. Изменение ускорения центра масс головы манекена (а), кинетической энергии (б) и перемещения (в) маятника в зависимости от времени: 1 — базовый вариант; 2 — введение пеноалюминия; 3 — использование накладки; 4 — введение пеноалюминия и накладки

Заключение. На основе проведенных исследований кабины «КамАЗ-5320» можно сделать следующие выводы.

1. Увеличение толщины основных деталей кабины повышает параметры, влияющие на пассивную безопасность грузового автомобиля (при увеличении толщины до 2 мм параметры возросли на 60 % при увеличении массы кабины на 67 %).

2. Целенаправленное применение локальных накладок также повышает параметры, влияющие на пассивную безопасность грузового автомобиля (на 40 %).

3. Введение пеноалюминия внутрь лонжеронов улучшает картину деформаций и повышает параметры, влияющие на пассивную безопасность (на 20 %).

4. Двери кабины способствуют улучшению параметров пассивной безопасности (на 20 % в целом и на 10 % каждая дверь).

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.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Хусаинов А.Ш., Кузьмин Ю.А. *Пассивная безопасность автомобиля*. Ульяновск, УлГТУ, 2011, 89 с.
- [2] Полунгян А.А., ред. *Проектирование полноприводных колесных машин*. В 3 т. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008, т. 3, 432 с.
- [3] Almquist C.J. *European Accident Research and Safety Report 2013 Volvo Trucks*. 2013, 35 p. URL: <http://www.volvotrucks.com/SiteCollectionDocuments/VTC/Corporate/Values/ART%20Report%202013.pdf>.
- [4] *Road Safety Evolution in the EU*. European Commission 2012. URL: http://ec.europa.eu/transport/road_safety/specialist/statistics/index_en.htm.
- [5] *Contributory Factors Statistics 2008*. Department for Transport, UK. URL: <http://www.dft.gov.uk/pgr/statistics/datatablespublications/accidents>.
- [6] www.gibdd.ru.
- [7] Ломакин В.В., ред. *Безопасность автотранспортных средств*. Москва, МГТУ «МАМИ», 2011, 299 с.
- [8] ГОСТ Р 41.29-99. Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения транспортных средств в отношении защиты лиц, находящихся в кабине грузового транспортного средства. Введен 2000–07–01. Москва, Изд-во стандартов, 2000, 20 с.
- [9] Правила ЕЭК ООН № 29 (документ E/ECE/324/Rev.1/Add.28/Rev.2 — E/ECE/TRANS/505/Rev.1/Add.28/Rev.2). *Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения транспортных средств в отношении защиты лиц, находящихся в кабине грузового транспортного средства*. ООН, 2012, 26 p.
- [10] Шабан Б.А. Методика создания кабин грузовых автомобилей, отвечающих требованиям пассивной безопасности. *Будущее машиностроения России: Электронный сборник трудов пятой всероссийской конференции*

- молодых ученых и специалистов. URL: http://doc2all.ru/article/17072013_126048_shaban/3.
- [11] Шабан Б.А., Зузов В.Н. Анализ влияния конструктивных факторов на пассивную безопасность кабины грузового автомобиля при фронтальном ударе. *Наука и образование*. [Электронный ресурс.] 2013, № 08. doi: 10.7463/0813.0580257.
- [12] Zhang J., Chen G., Tang H. Parametric design and structural improvements to optimize frontal crashworthiness of a truck. *International Journal of Crashworthiness*, 2011, vol. 16, no. 5, pp. 501–509.
- [13] Шабан Б.А., Зузов В.Н. Особенности моделирования каркасных элементов кузовов и кабин автомобилей при исследовании пассивной безопасности. *Наука и образование*. [Электронный ресурс.] 2012, № 11. doi: 10.7463/1112.0486675.
- [14] 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*. [Электронный ресурс.] 2013, № 03. doi: 10.7463/0313.0542301.
- [15] Кудрявцев С.М., Пачурин Г.В., Соловьев Д.В., Власов В.А. *Основы проектирования, производства и материалы кузова современного автомобиля*. Кудрявцев С.М., ред. Н. Новгород, Изд-во НГТУ, 2010, 236 с.
- [16] Ahmad Z. Impact and Energy Absorption of Empty and Foam-filled Conical Tubes. *The School of Urban Development Queensland University of Technology*. Izmir, 2009, 12 p.
- [17] Шабан Б.А., Зузов В.Н. Анализ влияния конструктивных факторов кабины на пассивную безопасность грузовых автомобилей при ударе по передним стойкам. *Наука и образование*. [Электронный ресурс.] 2013, № 11. doi: 10.7463/0813.0580257.

Статья поступила в редакцию 10.11.2013

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Зузов В.Н., Шабан Б. Совершенствование кабин грузовых автомобилей на стадии проектирования для удовлетворения требованиям пассивной безопасности. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2013, вып. 12. URL: <http://engjournal.ru/catalog/machin/transport/1130.html>

Зузов Валерий Николаевич — д-р техн. наук, профессор кафедры «Колесные машины» МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор около 80 научных работ в области создания несущих систем и кабин колесных машин с оптимальными параметрами, отвечающих требованиям пассивной безопасности. e-mail: zuzvalery@rambler.ru

Шабан Бассем — аспирант кафедры «Колесные машины» МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор около 6 научных работ в области создания кабин грузовых автомобилей, отвечающих требованиям по прочности, жесткости и пассивной безопасности. e-mail: shabanbassem1976@yahoo.com