

На правах рукописи

УДК 629.113.001

Маркин Игорь Владимирович

**Разработка методики оценки пассивной безопасности
грузовых автомобилей и тракторов в отношении
ударно-прочностных свойств их кабин на стадии
проектирования**

Специальность 05.05.03 - Колесные и гусеничные машины

АВТОРЕФЕРАТ

**диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**



Москва 2001г

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

Научный руководитель:

кандидат технических наук, доцент ЗУЗОВ В.Н.

Официальные оппоненты:

доктор технических наук

кандидат технических наук

ДМИТРИЧЕНКО С.С.

НИКУЛЬНИКОВ Э.Н.

Ведущая организация: ГНЦ НАМИ

Защита диссертации состоится 21 января 2002 года на заседании диссертационного совета Д212.141.07 в Московском государственном техническом университете имени Н.Э. Баумана по адресу: 107005 Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5.

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

хотят быть в библиотеке Московского
университета им. Н.Э. Баумана.

_____ 2001 г.



КОТИЕВ Г.О.

1575833



ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность: Во всем мире в автомобильной и тракторной промышленности при создании новой техники остро стоит проблема пассивной безопасности. Поскольку она определяется в первую очередь ударно-прочностными свойствами несущей системы, в частности, кабины автомобиля или трактора, то это должно учитываться уже на самых ранних стадиях проектирования, когда невозможны натурные испытания. Помимо этого, обязательная сертификация новых образцов техники и тенденции к ужесточению существующих норм, вызывают необходимость в методике теоретической оценки пассивной безопасности кабин на стадии проектирования, которая должна позволить сократить время и стоимость разработки, снизить объем испытаний новой техники, уменьшить количество опытных образцов.

Научная новизна:

В работе разработана методика теоретической оценки пассивной безопасности кабин на стадии проектирования, базирующейся на аппарате метода конечных элементов (МКЭ).

Обосновано использование квазистатического кинематического нагружения с эквивалентной величиной подводимой энергии при моделировании нагрузок в качестве основного режима, что позволяет исключить моделирование удара и контакта.

Обоснованы и разработаны конечно-элементные модели (КЭМ) разного уровня сложности для общей оценки поведения и нелинейного анализа конструкций кабин с целью определения их ударно-прочностных свойств с позиций приемлемости по времени счета и точности получаемых результатов.

Цель работы: разработка методики теоретической оценки ударно-прочностных свойств кабин на стадии проектирования для обеспечения пассивной безопасности проектируемых транспортных средств в соответствии с требованиями отечественных и международных стандартов.

Задачи работы: Разработка методики оценки пассивной безопасности грузовых автомобилей и тракторов, в том числе:

- обоснование применения нелинейной теории МКЭ для исследования ударно-прочностных свойств кабин грузовых автомобилей и тракторов;
- обоснование выбора и моделирования нагрузочных режимов (как статических, так и динамических);
- разработка принципов построения рациональных конечно-элементных моделей (КЭМ);
- анализ напряженно-деформированных состояний (НДС) кабин с целью апробации созданной методики и выработки рекомендаций по улучшению конструкции.

Практическая ценность работы состоит в возможности определения ударно-прочностных свойств кабины транспортного средства для оценки

1575 833

пассивной безопасности на стадии проектирования и в возможности разработки рекомендаций по совершенствованию конструкции на базе разработанной методики.

Достоверность работы подтверждалась известными теоретическими решениями, проведенными экспериментальными исследованиями в лабораторных условиях, а так же сравнениями проведенных расчетов с результатами испытаний кабин, которые проводились в НИЦИАМТ.

Апробация. По результатам данной работы делались доклады на научных семинарах кафедры «Колесные машины» МГТУ имени Н. Э. Баумана в 1998 – 2000 г.г., XXX международной научно-технической конференции «Безопасность конструкции автотранспортных средств» 31 мая –1 июня 2000г., НИЦИАМТ, г. Дмитров, XXXI научно-технической конференции ААИ «Приоритеты развития отечественного автотракторостроения и подготовки кадров» 27-28 сентября 2000 г., МГТУ МАМИ, г. Москва.

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, пяти глав, общих выводов, списка литературы, приложения. Работа содержит 122 страницы печатного текста, 7 таблиц, 33 рисунка. Список литературы содержит 73 наименования.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Введение содержит обоснование актуальности темы диссертации, также приводится общая характеристика работы.

В первой главе приведен обзор литературы по проблеме пассивной безопасности и методам ее оценки. Проанализированы конструкции кабин грузовых автомобилей и тракторов, методы их расчета с целью выработки подходов к решению подобных задач.

В отечественном автомобиле- и тракторостроении вопросам расчетной и теоретической оценки пассивной безопасности посвящены работы Рябчинского А.И., Фролова В.В., Орлова Л.Н., Дмитриченко С. С., Перельцвайга И.М. и ряда других авторов.

Установлено, что одним из важнейших критериев оценки пассивной безопасности являясь ударно-прочностные свойства несущей системы, в частности, кабины.

Установлено также, что современные кабины имеют каркасную, либо каркасно-панельную конструкцию, поэтому для исследования необходимо использовать методы, позволяющие проводить расчет как стержневых, так и оболочечных систем.

В результате анализа существующих методов расчета выявлено, что нелинейный расчет сложной пространственной конструкции, каковой является кабина, на сегодняшний день возможен с применением МКЭ. Накоплен достаточно большой опыт решения нелинейных задач МКЭ в различных отраслях промышленности. Однако применительно к кабинам полностью не решены вопросы нелинейного расчета оболочечных конструкций, моделирования нагрузок. В связи с этим сделаны следующие выводы:

1. Проблема пассивной безопасности актуальна. Ведущие мировые автопроизводители уделяют большое значение этой проблеме и располагают высокоточными методиками, позволяющие проводить подобные расчеты, но все зарубежные публикации носят рекламный характер.

2. Теоретическая оценка пассивной безопасности автомобилей и тракторов является сложной проблемой из-за сильнонелинейных процессов, протекающих в конструкции в процессе аварийного деформирования.

3. В отечественной промышленности исследования пассивной безопасности носят преимущественно экспериментальный характер. Существующие расчетные методики, используемые на стадии проектирования в нелинейной постановке, основываются на классических, либо на численных методах, имеют весьма ограниченные возможности, и не позволяют провести точный анализ конструкции.

3. Среди методов решения подобных задач наиболее приемлемым является МКЭ, как наиболее универсальный, преимуществом которого является возможность проводить расчеты конструкций произвольной формы с любыми граничными условиями, в том числе и в нелинейной форме, но основным его недостатком являются большие затраты вычислительных ресурсов и машинного времени.

Во второй главе изложены основы теории МКЭ применительно к линейным и нелинейным задачам, приведены теоретические зависимости для нелинейных задач пластичности МКЭ, проведен обзор численных методов решения этих задач. На основании анализа сделан вывод о том, что применительно к поставленной задаче наиболее эффективным является метод Ньютона-Рафсона.

Задача линейной теории упругости в перемещениях по МКЭ сводится к решению уравнений вида

$$[K]\{q\} = \{P\},$$

где $[K]$ - упругая матрица жесткости конструкции, $\{q\}$ - вектор искомых узловых перемещений, $\{P\}$ - вектор узловых усилий.

При этом предполагается линейный закон упругой связи между напряжениями $\{\sigma\}$ и деформациями $\{\epsilon\}$:

$$\{\sigma\} = [D]\{\epsilon\},$$

где $[D]$ - матрица упругости.

Для дальнейшего исследования в рамках поставленной задачи необходимо принять допущение, что материал кабин – упруго-пластичный, тогда при решении физически нелинейных задач, в частности, когда материал конструкции работает в упругопластической области, линейность зависимости не соблюдается, и связь между вектором напряжений и вектором деформаций может быть выражена формулой

$$\{\sigma\} = [D'(\varepsilon)]\{\varepsilon\},$$

где матрица $[D'(\varepsilon)]$ зависит от искомого деформированного состояния. В свою очередь деформированное состояние, как известно, является однозначной функцией узловых перемещений $\{q\}$, следовательно, это выражение можно переписать в виде

$$\{\sigma\} = [D(q)]\{q\}.$$

Так как матрица упругости влияет на окончательный вид матрицы жесткости, получаем нелинейное уравнение

$$[K(q)]\{q\} = [P],$$

которое приходится решать различными итерационными методами, среди которых наиболее распространен метод Ньютона-Рафсона, поскольку он позволяет решать большие системы нелинейных уравнений при малом числе итераций.

Переход материала в пластическое состояние возникает при условии

$$\varphi = 0,$$

где φ – критерий начала текучести, $\varphi = \sigma_{ЭКВ} - \sigma_y$,

$\sigma_{ЭКВ}$ = эквивалентное напряжение в произвольной точке конструкции,

$$\sigma_{ЭКВ} = \sqrt{\frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2},$$

σ_y – предел пропорциональности, который в соответствии с принятым допущением совпадает с пределом текучести материала;

При $\varphi = 0$ производится решение системы нелинейных уравнений с использованием процедуры Ньютона – Рафсона:

$$\{f\} = -[K]\{q\} + \{p\} + \{Q\} = 0$$

где $\{f\}$ – невязка;

$\{Q\} = \{Q(q)\}$ – вектор псевдосил, возникающих при учете пластических деформаций.

Рассматривая матрицу жесткости конструкции в виде суммы линейной и нелинейной частей

$$[K] = [K]^Y + [K]^{НЕЛ}$$

где $[K]^Y, [K]^{НЕЛ}$ – линейная и нелинейная составляющие матрицы жесткости, получаем соотношение:

$$[K]^Y + \Delta K]_i \{\Delta q\}_{i+1} = \{f(q)\}_i$$

При разложении функции $f(q - \Delta q)$ в ряд Тейлора и удерживая в нем члены порядка не выше первого, получим уравнение для $\{\Delta q\}$:

$$[K^y + \Delta K]_i \{\Delta q\}_{i+1} = \{f(q)\}_i,$$

где элементы матрицы $[\Delta K]$ определяются по формуле:

$$\Delta K_{mi} = \sum_{l=1}^N \frac{\partial K_{mi}^{нел}}{\partial q_l} q_l,$$

здесь $K_{mi}^{нел}$ - элементы матрицы $[K^{нел}]$.

Нагрузка увеличивается приращениями, а первое оценочное значение перемещения определяется с помощью некоторой экстраполяционной процедуры. Для этих перемещений определяется функция $\{f(q_0)\}$. Далее, найдя Δq , можно получить оценочное значение $\{q\}$ из зависимости:

$$\{q\}_{i+1} = \{q\}_i + \{\Delta q\}_{i+1}.$$

В результате проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. МКЭ представляет универсальное средство для решения задач прочности конструкций в линейной и нелинейной постановке. Метод позволяет полностью учитывать все виды нелинейностей, которые могут возникать в конструкциях.

2. В нелинейной постановке решение задач МКЭ осуществляется численными итерационными методами, наиболее предпочтительным из которых является метод Ньютона-Рафсона, либо его модификации.

3. Ввиду того, что процесс решения задач МКЭ итерационный, и решение может занимать значительное количество времени и вычислительных ресурсов, то необходимо провести исследование для оценки практической применимости метода для решения задач пассивной безопасности.

Третья глава настоящей работы посвящена выбору наиболее приемлемого типа конечных элементов применительно к моделированию конструкций кабин на базе решения модельных задач МКЭ. В качестве объектов исследования были выбраны стойки кабин автомобиля и колесного трактора, как одни из самых нагруженных элементов конструкции. Даны характеристики основных типов конечных элементов, исследованы возможности их использования применительно к поставленным задачам. Для исследования использовался программный комплекс МКЭ ANSYS/University Low Option. В результате установлено, что наиболее приемлемыми для расчетов являются КЭМ, составленные из стержневых и оболочечных элементов. Однако расчетные значения напряжений, полученные при расчете стержневой модели (таблица 1) имеют достаточно высокую погрешность.

Так же были проведены экспериментальные исследования, результаты которых были сравнены с расчетными данными по оболочечным моделям в нелинейной постановке. Сравнение данных показало хорошую сходимость (рис.1) расчетных и экспериментальных результатов, однако многовариантный анализ исследуемой модели показал значительное влияние граничных условий на точность решения.

Таблица 1

Результаты решения статической задачи нагружения стойки с использованием элементов различного типа

Модель	Тип элемента	Число узлов	Число элементов	Максимальный прогиб W , мм	Погрешность ε , %	Макс. напряжение σ , Мпа.	Погрешность ε , %	Время счета
Точное решение				0,89	—	122,6	—	—
1	Объемный	4541	13847	0,95	6,7	164	33,8	17 мин.
2	Оболочечный	240	224	0,55	38,2	124,7	1,7	10 с.
3	Оболочечный	5680	5600	0,96	7,8	121,9	0,6	9,5 мин.
4	Стержневой	11	10	0,816	8,3	112,2	8,5	0,06 с.

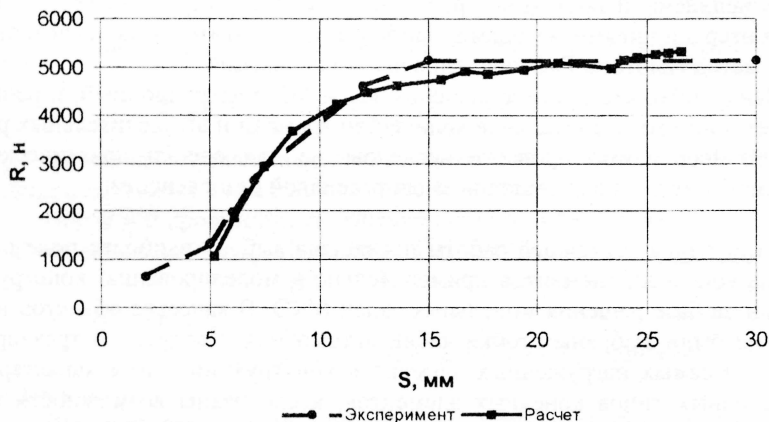


Рис. 1. Экспериментальная зависимость усилия от перемещения при деформировании стойки в сравнении с расчетной

Проведенные исследования показали, что МКЭ можно считать приемлемым для расчета ударно-прочностных свойств кабин. Решение ряда модельных задач и сравнение полученных результатов с результатами, полученными путем решения классическими методами, а так же эксперименталь-

но, показало, что данный метод позволяют получить результаты с требуемой точностью.

Моделирование наиболее ответственных элементов конструкции кабины типа стоек балочными КЭ позволяет получить решение линейной задачи при наименьших временных затратах. Однако точная оценка НДС при использовании стержневых элементов невозможна из-за большой погрешности по напряжениям, кроме этого, данный тип элемента не позволяет определять напряжения в зонах с концентраторами.

Использование трехмерных элементов для построения конечно-элементных моделей кабин неэффективно, поскольку они обладают низкой точностью по напряжениям, при их использовании требуется более мелкая сетка, что приводит к многократному увеличению размера задачи и, соответственно, времени ее счета.

Использование оболочечных элементов при моделировании дает приемлемые результаты по точности результатов и времени счета.

Для исследований рекомендуется использовать КЭМ, составленные из балочных и оболочечных, либо преимущественно из оболочечных элементов.

При исследовании поведения кабин необходимо учитывать влияние элементов крепления кабин к несущей системе.

Четвертая глава диссертации посвящена исследованию вопросов моделирования конструкций кабин, нагружения и процесса их деформирования и построению методики расчета.

В качестве нагрузочных режимов приняты условия испытаний кабин на соответствие требованиям безопасности. При этом было принято в качестве допущения, что кабина при нагружении нормированными нагрузками не теряет устойчивость. Это подтверждено многочисленными исследованиями, проводимыми ранее.

Также при моделировании нагружения было принято в качестве допущения, что оценка пассивной безопасности может быть выполнена с использованием квазистатического нагружения с эквивалентной величиной подводимой энергии, которая в этом случае будет равна энергии деформации и может быть определена по формуле:

$$A = \sum_{i=1}^n \frac{1}{2} (P_{i-1} + P_i) \Delta S_i$$

где P_{i-1} , P_i – значения нагрузки при двух соседних шагах нагружения, n – общее число шагов, ΔS_i – приращение перемещения точки приложения нагрузки. Данный подход широко используется, в частности, при испытаниях тракторных кабин.

Существует два способа расчетного приложения нагрузок – силовой и кинематический. В первом случае к исследуемой конструкции подводят известные силовые нагрузки, и в результате получают напряжения и деформа-

ции. При кинематическом нагружении, когда заранее неизвестны силовые факторы, к конструкции прикладываются известные перемещения и в результате получают реакции и напряжения.

При испытаниях кабины ее элементы (задняя стенка, крыша, и т. п.), имеющие относительно большие геометрические размеры, эквидистантно перемещают на определенное расстояние. Данные элементы имеют различную жесткость на различных участках, кроме этого, их жесткость может изменяться в процессе нагружения из-за возникающих пластических деформаций. Поэтому традиционное силовое нагружение расчетной модели неэффективно.

Более предпочтительным выглядит подход, когда к конструкции прикладывается кинематическое нагружение. В этом случае обеспечивается адекватное нагружение модели, величина нагружения определяется по суммарной реакции, кроме этого, можно оценить вклад той или иной зоны элемента конструкции на работу всей кабины в целом.

Однако данный подход имеет недостаток, который заключается в том, что при испытаниях прикладывается нормированное усилие к кабине, а выходным результатом является перемещение, и как следствие, сохранность зоны свободного пространства.

При численном решении приходится решать обратную задачу, где в качестве исходной нагрузки необходимо брать величину перемещения, соответствующее границе зоны свободного пространства (рис. 8), что может привести к дополнительным затратам машинного времени. Но поскольку процесс решения итерационный, приемлемым вариантом может быть проверка результатов в процессе решения после определенного числа шагов счета. При превышении величины суммарной реакции либо энергии деформации нормируемой подводимой величины, решение останавливается.

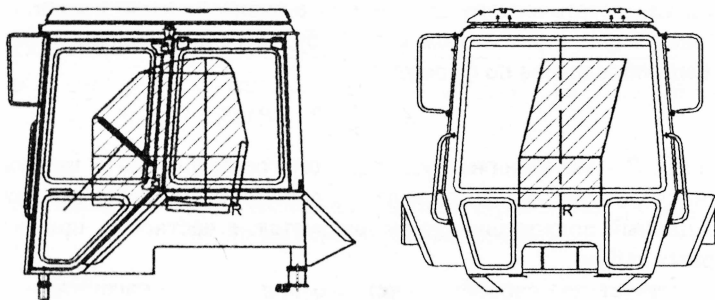


Рис. 2. Определение максимально допускаемого перемещения.
Зона безопасности кабины колесного трактора

Проведенный анализ работы типовых силовых схем кабин позволил оценить вклад отдельных элементов конструкции кабины на ее работу в целом, на основе чего сформулированы принципы моделирования этих элементов. Определены общие подходы к моделированию кабин.

Ряд элементов конструкции кабины, типа обшивки, не подкрепленных элементами каркаса, и не оказывающих заметного влияния на ее ударно-прочностные свойства, может не моделироваться после исследования с помощью упрощенных оболочечно-стержневых моделей. При моделировании дверей допускается для уменьшения размерности модели замена их стержнями (раскосами), эквивалентными по жесткости двери и работающими в направлении действия нагрузки.

При сравнительном исследовании моделей различных типов (рис. 3) установлено, что использование оболочечно-стержневых КЭМ (размерность до 500 элементов) неэффективно применительно к нелинейным расчетам по сравнению с оболочечными (размерность до 5000 элементов), поскольку при равных временных затратах, что связано с количеством шагов для сходимости решения, точность оболочечно-стержневых моделей значительно ниже (рис.4).

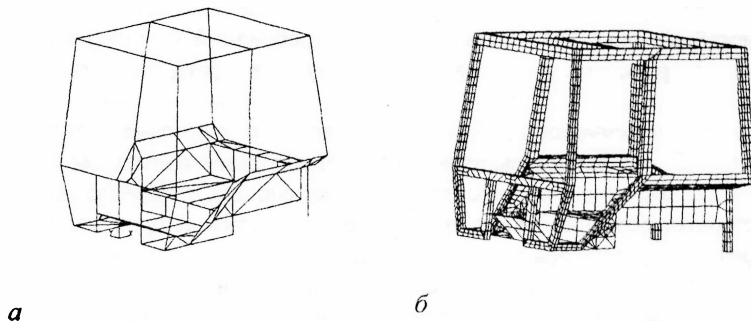


Рис. 3. конечно-элементные модели кабин:
а) – оболочечно-стержневая, б) – оболочечная

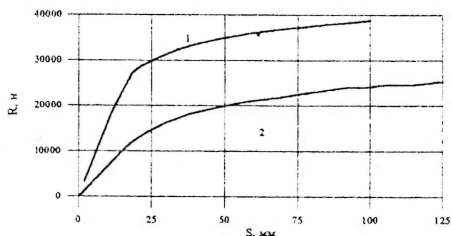


Рис. 4. Расчетная зависимость усилия от деформации при нагружении бокового бруса крыши:
1 – при расчете по оболочечно-стержневой модели,
2 – при расчете по оболочечной модели

Ввиду того, что время счета оболочечно-стержневой модели для задачи в линейной постановке много меньше, рационально использовать двухуровневый подход с использованием конечно-элементных моделей двух типов: упрощенной оболочечно-стержневой и базовой оболочечной. С помощью первой может проводиться многовариантный анализ конструкции в линейной постановке с целью ее совершенствования, вторая используется собственно для нелинейного расчёта. При этом рекомендуется следующая последовательность исследования:

- на начальной стадии на базе конструкторской документации определяются границы зоны жизненного пространства (безопасности), величины нормируемых нагрузок;

- построение упрощенной оболочечно-стержневой модели, порядка 100..200 элементов, исследование которой в линейной постановке позволит определить общее поведение конструкции, возможные места возникновения пластических шарниров. Многовариантный анализ такой модели позволяет выбрать приемлемые жесткостные и прочностные параметры создаваемой кабины;

- построение уточненной оболочечной КЭМ, содержащей порядка 3..7 тыс. элементов, на базе которой проводится нелинейный статический расчет создаваемой кабины. При удовлетворении требований безопасности может быть так же проверена устойчивость конструкции каким либо из известных методов.

При удовлетворении требований прочности и энергоемкости конструкции считается, что кабина выдержит соответствующие испытания, в противном случае в конструкцию вносятся соответствующие изменения, после чего процесс повторяют. Блок-схема процесса расчета приведена на рис. 5.

В результате сделаны следующие выводы:

1. В качестве нагрузочных режимов приняты нагрузки, регламентированные стандартами испытаний данного типа кабин, при этом:

- рекомендуется использовать кинематический способ задания нагружения кабин;

- для оценки энергоемкости конструкции предлагается использование квазистатического нагружения с эквивалентной величиной подводимой энергии;

2. Для комплексной оценки ударно-прочностных свойств кабин целесообразно использовать модели двух уровней: упрощенные оболочечно-стержневые, до 1000 элементов для общей оценки поведения кабин, и базовых оболочечных, до 5000...7000 элементов, непосредственно для оценки ударно-прочностных свойств.

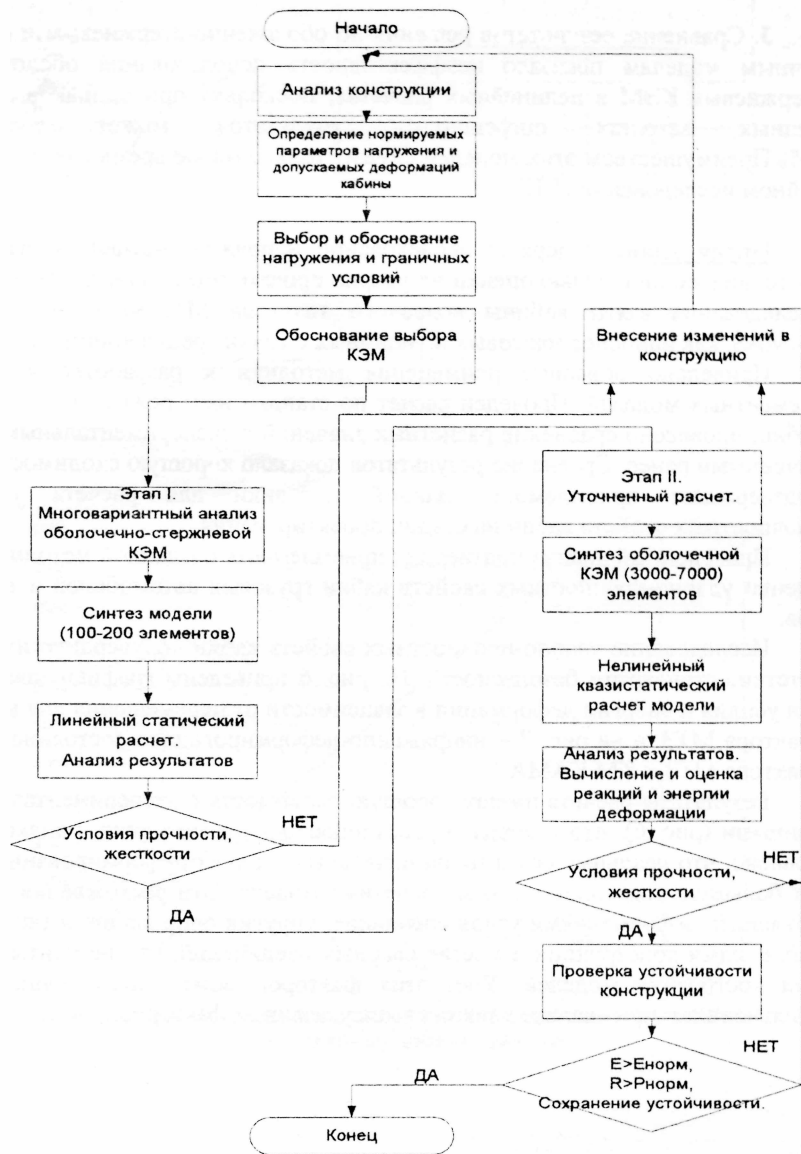


Рис. 5. Процесс решения задачи определения параметров пассивной безопасности кабин

3. Сравнение результатов решения по оболочечно-стержневым и оболочечным моделям показало неэффективность использования оболочечно-стержневых КЭМ в нелинейных расчетах, поскольку при одинаковых временных затратах погрешность результатов может достигать 50%. Преимуществом этих моделей служит только малое время счета при линейном исследовании НДС.

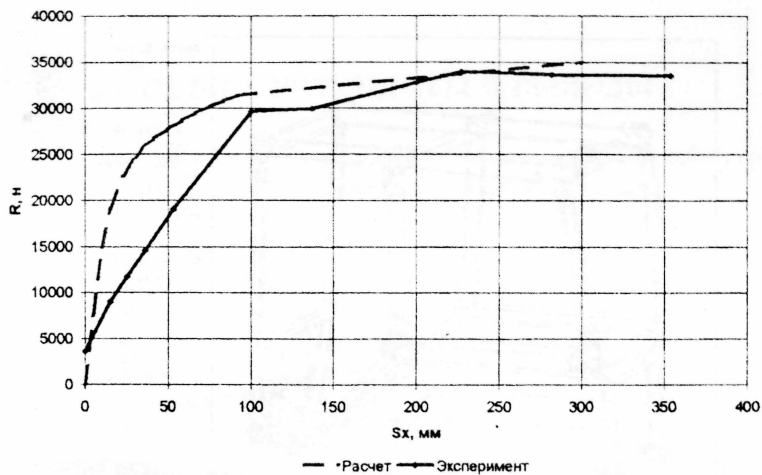
Пятая глава содержит исследование напряженно-деформированного состояния кабин с целью оценки их ударно прочностных свойств. За объекты исследования взяты кабины колесного трактора МТЗ-80 и автомобиля КАМАЗ, как наиболее массовых и типичных с точки зрения конструкции.

Приведено описание применения методики к разработке конечно-элементных моделей. Проведен расчет по стандартным режимам испытаний кабин, проведено сравнение расчетных значений с экспериментальными, полученными ранее. Сравнение результатов показало хорошую сходимость, что подтверждает приемлемость данной методики для расчета ударно-прочностных свойств кабин на стадии проектирования.

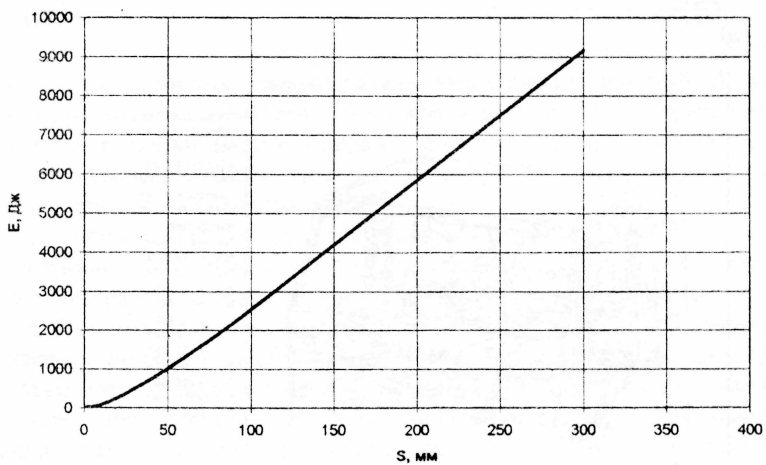
Проведенный анализ подтвердил приемлемость созданной методики для оценки ударно-прочностных свойств кабин грузовых автомобилей и тракторов.

Исследование ударно-прочностных свойств кабин подтвердило их соответствие стандартам безопасности. На рис. 6 приведены графики зависимости усилия и энергии деформации в зависимости от перемещения для кабины трактора МТЗ, а на рис. 7 – напряженно-деформированное состояние кабин трактора МТЗ и КАМАЗ.

Результаты расчета имеют хорошую сходимость с экспериментальными данными (рис. 6), что говорит о работоспособности методики, однако установлено, что реальные объекты на начальных стадиях деформирования имеют большую податливость, чем расчетные модели. Эти расхождения можно объяснить деформациями узлов крепления, упругих опор кабин, а так же ослаблениями конструкции в местах сварных соединений, что не учитывалось при построении моделей. Учет этих факторов может быть осуществлен в дальнейшем при анализе влияния вышеуказанных факторов.

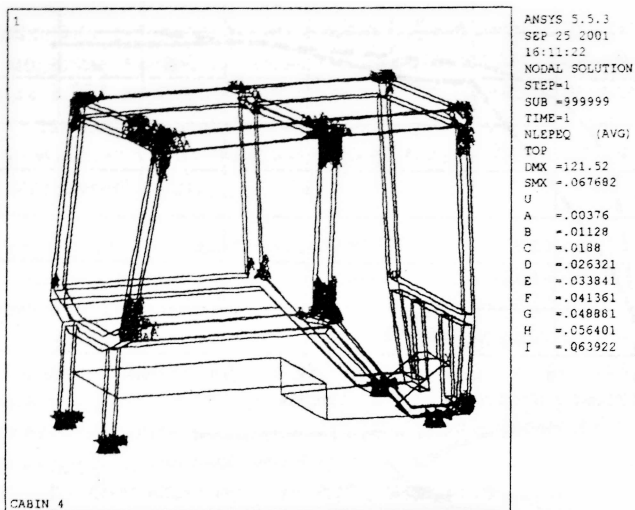


а)

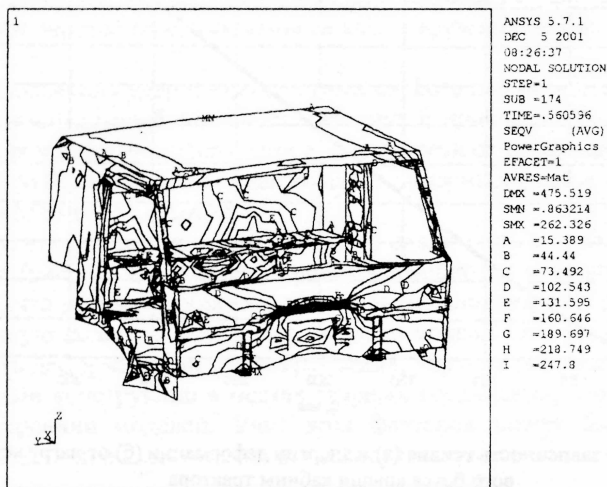


б)

Рис. 6. Расчетная зависимость усилия (а) и энергии деформации (б) от нагружения бокового бруса крыши кабины трактора



a)



б)

Рис.7. Напряженно-деформированное состояние кабин
а) – колесного трактора МТЗ; б) – автомобиля КАМАЗ

ОБЩИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. В работе разработана оригинальная методика расчета кабин грузовых автомобилей и тракторов, которая включает в себя следующее:

- анализ конструкции кабины;
- определение допускаемых деформаций и нормируемых нагрузок;
- синтез упрощенной КЭМ;
- линейный статический расчет;
- анализ влияния конструктивных элементов на напряженно-деформированное состояние кабины;
- синтез базовой КЭМ;
- нелинейный расчет МКЭ;
- анализ результатов. Оценка сохранности зоны свободного пространства после приложения нормированных нагрузок.

2. Обоснованы режимы нагружения:

На основании проведенного анализа для исследования ударно-прочностных свойств кабин рекомендуется использовать квазистатические нагрузки, при этом нагружение должно иметь кинематический характер. Это дает возможность в несколько раз сократить время счета (применительно к решенным в данной работе задачам – до 4 часов). Энергия нагружения или величина усилия должны быть эквивалентны соответствующим нормируемым величинам при испытаниях.

3. Обоснован выбор базовых типов конечных элементов для моделирования кабин – стержневых и оболочечных. Созданы конечно-элементные модели кабин разного уровня в зависимости от целей исследования.

4. Для исследования пассивной безопасности кабин применяется двух-уровневый подход с использованием упрощенных моделей для предварительного многовариантного анализа конструкции, и базовых уточненных для окончательного расчета МКЭ в нелинейной постановке. Для всесторонней оценки ударно-прочностных свойств кабин целесообразно использовать модели двух уровней:

- упрощенные оболочно-стержневые, до 1000 элементов для общей оценки поведения кабин в линейной постановке, поскольку затраченное время на решение задачи составляет несколько секунд (в нелинейной постановке использование таких моделей неэффективно);

- базовых оболочечных, до 5000...7000 элементов, непосредственно для оценки ударно-прочностных свойств с ожидаемой погрешностью результатов – 5..8%.

5. Проведенный анализ подтвердил приемлемость созданной методики для оценки ударно-прочностных свойств кабин грузовых автомобилей и

тракторов. Исследование ударно-прочностных свойств кабин подтвердило их соответствие стандартам безопасности.

МАТЕРИАЛЫ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ:

1. Зузов В.Н. Маркин И.В. Кабины грузовых автомобилей и тракторов: Учебное пособие. Под ред. Б.А. Афанасьева. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2001. Часть I – 40 с., ил.

2. Зузов В.Н. Маркин И.В. Проблемы исследования пассивной безопасности кабин на стадии проектирования в //Безопасность конструкции авто-транспортных средств: Тезисы докладов XXX международной конференции ААИ.– М., 2000. – С. 196–201.

3. Зузов В.Н. Маркин И.В. Оценка ударно-прочностных свойств кабин на стадии проектирования. //Международный научный симпозиум, посвященный 135-летию МГТУ «МАМИ»: Тезисы докладов. Секция «Тракторы». – М., 2000. – С. 43 – 45.

4. Зузов В.Н. Маркин И.В. Оценка пассивной безопасности кабин тракторов на стадии проектирования. //Тракторы и сельхозмашины. – 2001. – №4. – С. 26 – 27.

Подписано в печать 12.01 г.
Заказ 1/4 объем 1.0 п.л. Тираж 100 экз.

Типография МГТУ им. Н.Э. Баумана