

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОГО ПАКЕТА LS-DYNA ДЛЯ АНАЛИЗА ПАССИВНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ АВТОМОБИЛЯ

Пронкевич С.А., Трухнов А.Л.

При проектировании автомобиля все больше и больше внимания уделяется системам безопасности водителя и пассажиров. Автомобильные системы безопасности делятся на активные и пассивные. Первая категория включает в себя все системы машины, которые помогают избежать аварии. Ярчайший пример – ABS (антиблокировочная система тормозов), не допускающая блокировки колес при резком торможении, или ESP (система стабилизации автомобиля), которая исправляет ошибки водителя в повороте. Но если авария все-таки неизбежна, то уповать остается лишь на пассивную безопасность – целый арсенал средств, сберегающий жизни. Здесь и знакомые каждому ремни безопасности, и надувные подушки, и подголовники, оберегающие шейные позвонки, и металлические бруссы внутри дверей, защищающие от боковых ударов.

Проверкой пассивной системы безопасности является, так называемый, краш-тест (англ. crash test) – испытание дорожных и гоночных автомобилей на безопасность. Он представляет собой умышленное воспроизведение дорожно-транспортного происшествия с целью выяснения уровня повреждений, которые могут получить его участники. Обычно при проведении краш-теста в машину помещают манекен, оборудованный датчиками для замера повреждений.

Наиболее дешёвым и простым для проведения является лобовой краш-тест. В нём разогнанный автомобиль направляется на бетонный блок. Столкновение автомобиля, движущегося, например, со скоростью 100 км/ч, с бетонным блоком примерно эквивалентно столкновению автомобиля со скоростью 200 км/ч с неподвижным автомобилем такой же массы. В последнее время принято проводить не лобовой краш-тест, а лобовой удар со смещённым центром. В ряде случаев видоизменяется и препятствие – вместо бетонного блока используется стандартизованное подобие встречного автомобиля.

Однако, разработка пассивной безопасности автомобиля только экспериментальной доводкой конструкции практически невозможно из-за высокой стоимости и, особенно на ранних стадиях проектирования, отсутствия в нужном количестве натуральных образцов, а также из-за большого количества параметров, влияющих на результаты. Кроме того, натуральный эксперимент часто может дать лишь конечные характеристики разрушения конструкции при отсутствии информации о характере протекания процессов деформирования. Использование численных методов позволяет оперативно исследовать изменения конструкции с целью поиска наиболее рационального варианта. При этом конструкция автомобиля рассматривается как совокупность большого количества конечных элементов.

Для моделирования динамических, быстропротекающих процессов используется конечно-элементный пакет LS-DYNA. LS-DYNA – многоцелевая программа, использующая явную формулировку метода конечных элементов (explicit finite element method) и предназначена для анализа динамического отклика трехмерных неупругих структур.

Решение контактных задач в LS-DYNA полностью автоматизировано. В решении используются constraint and penalty methods для удовлетворения условий контакта. Эта методика прекрасно зарекомендовала себя и на протяжении последних более

чем двадцати лет. LS – DYNA используется в таких сложнейших приложениях, как анализ сопротивляемости удару как целиком автомобиля (или любого транспортного средства), так и отдельных его компонентов, а также анализ безопасности пассажира.

В программе осуществляется более 25 моделей контакта. Большинство из них связано с контактом деформируемых тел, контакт отдельных поверхностей деформируемых тел и контакт деформируемого с абсолютно жестким телом, например

Один из основных краш-тестов, используемых в Европейской ассоциации испытания новых автомобилей EuroNCAP, является фронтальный краш-тест: моделируется лобовое столкновение автомобиля, движущегося со скоростью 64 км/ч, с недеформируемым барьером с областью контакта 40 % (рисунок 1).

На примере расчета фронтального столкновения автомобиля Chevrolet C2500 Pickup (рисунок 2) с бетонным блоком, рассматривается использование программы LS-DYNA для моделирования краш-теста.

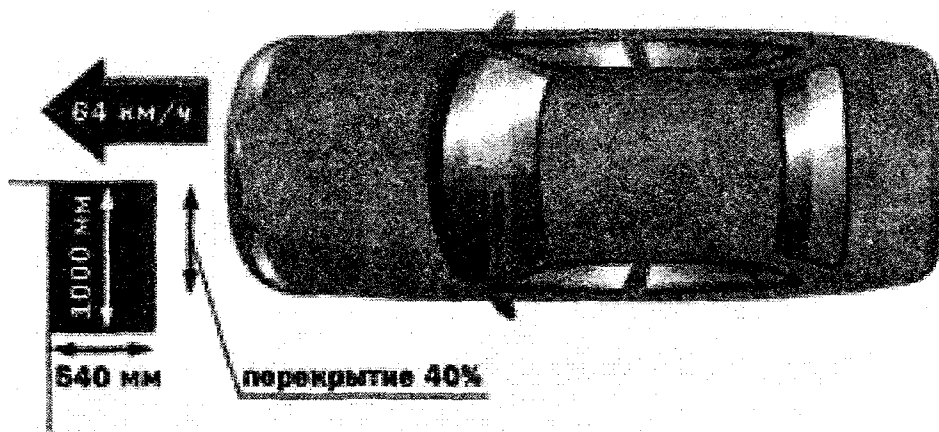


Рисунок 1 – Фронтальный краш-тест, с областью перекрытия 40 %

При создании модели автомобиля используются различные типы конечных элементов: трехмерные, оболочечные, балочные, точечные массы, а также демпферы. Данная модель состоит из 58 000 конечных элементов, которые составляют 248 частей. Используется 8 типов различных материалов.

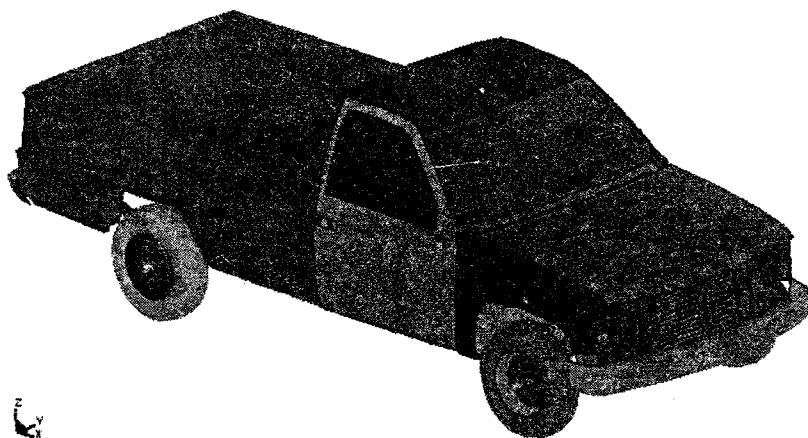


Рисунок 2 – Конечно-элементная модель автомобиля Chevrolet C2500 Pickup, используемая при расчете в программе LS-DYNA

На рисунке 3 представлена расчетная модель столкновения автомобиля и бетонной плиты. Модель автомобиля движется с начальной скоростью 64 км/ч и имеет массу 1800 кг.

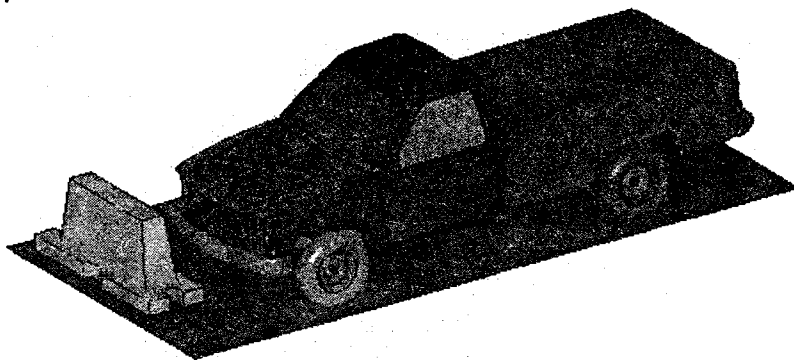


Рисунок 3 – Расчетная модель столкновения автомобиля и бетонной плиты

На рисунке 4 показано деформированное состояние кузова автомобиля после кософронтального столкновения с барьером.

US NCAP: 1984 CHEVROLET C2500 PICKUP
Time = 0.14
Contours of Resultant Displacement
min=0, at node# 2066051
max=1847.47, at node# 2000177

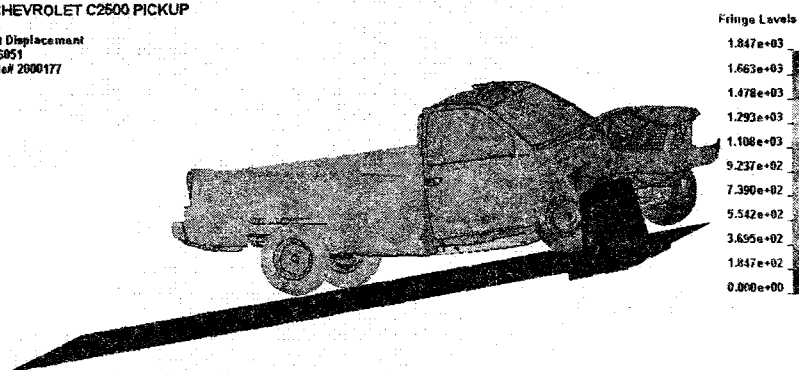


Рисунок 4 – Изменение перемещений

Использование стандартного препроцессора LS-PREPOST2.1 для обработки результатов расчета позволяет скрыть ряд элементов модели для отображения деталей, расположенных внутри модели. На рисунке 5 скрыты боковое и лобовое стекло и видно перемещение подголовника водителя.

US NCAP: 1984 CHEVROLET C2500 PICKUP
Time = 0.14
Contours of Resultant Displacement
min=0, at node# 2066051
max=1847.47, at node# 2000177

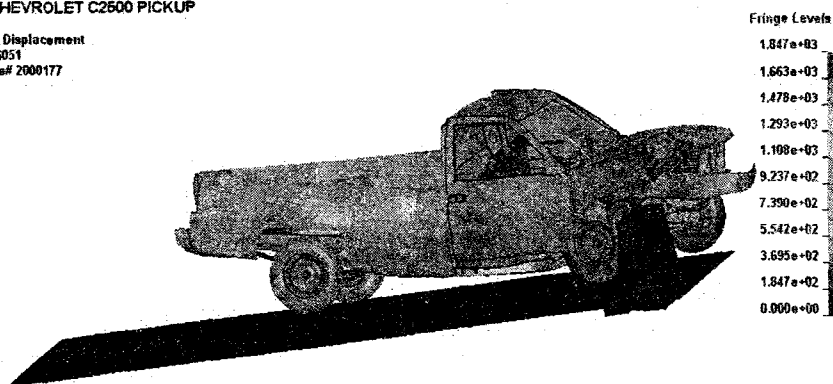
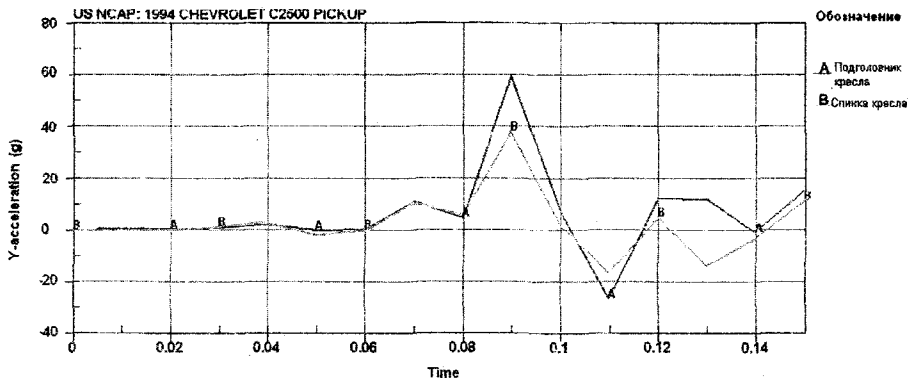


Рисунок 5 – Изменение перемещений при скрытии капота и лобового и боковых стекол

Важным показателем безопасности транспортного средства является величина ускорения, действующего на водителя и пассажира при столкновении. При отсутствии моделей манекенов измерялись ускорения на спинке и подголовнике кресла. График ускорений представлен на рисунке 6.



*A – ускорение на подголовнике кресла, B – ускорение на спинке кресла
Рисунок 6 – График изменения ускорения*

Анализ графика ускорений показывает, что максимальная перегрузка, воздействующая на зону подголовника, где находится голова водителя, не превосходит 60g в течении менее 20 миллисекунд. Сейчас в мировой практике оценки травмоопасности головы от перегрузок базируются на так называемой кривой Уэйн-Стейта, описывающей, как пороговое значение перегрузки, при которой не наступает сотрясения мозга, зависит от длительности удара. При анализе максимальные перегрузки интегрируются по времени продолжительности удара. Считается, что значения НИС до 1250 – неопасные, от 1250 до 1500 – говорят о повреждениях средней тяжести, и свыше 1500 – об опасных, смертельных травмах. У лучших автомобилей этот показатель, по данным зарубежных испытаний, лежит в пределах 300-600, у обычных автомобилей – 600-1000. В данном случае НИС не превосходит 700, что является неплохим результатом.

Вместе с тем, нельзя однозначно заявить, что автомобиль с меньшим значением НИС более безопасен при фронтальном столкновении, чем автомобиль, у которого НИС больше. И не только потому, что при аварии играют роль и другие опасные ситуации – например, удар по затылку при отскоке или повреждение шейных позвонков при резких вращательных движениях головы после ударов о детали интерьера. Дело в том, что НИС, как и кривая Уэйн-Стейта, носит статистический характер и отображает лишь вероятную оценку травм головы. Так что критерий НИС нужно рассматривать вместе с другими результатами испытаний.

На сегодняшний день метод конечных элементов является инструментом, полностью интегрированным в процесс проектирования транспортного средства и элементов дороги, обеспечивающих безопасность. Сейчас конкурентоспособное развитие отрасли невозможно без систем конечно-элементного моделирования, которые используются всеми ведущими автомобилестроительными компаниями. Зачастую метод конечных элементов является единственным средством проектирования, так как многочисленные требования и стандарты безопасности превышают возможности организации и анализа результатов натуральных краш-тестов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бурого, Н.Г. Обзор контактных алгоритмов / Н.Г. Бурого, В.Н. Кукуджанов // МТТ. – 2005. – № 1. – С. 45–87.
2. Сайт автосалона AVTERRA (<http://avterra.ru/>)
3. Сайт организации EURONCAP (<http://www.euroncap.com/>)
4. Черников, С.К. Использование параллельной версии пакета LS-DYNA при анализе пассивной безопасности автомобилей / С.К. Черников, А.М. Файзуллин // Сб. трудов седьмой конференции пользователей программного обеспечения CAD-FEM GmbH.