

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

*Белорусский национальный технический университет  
Минск, Беларусь.*

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 брусья 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% (рис. 1)

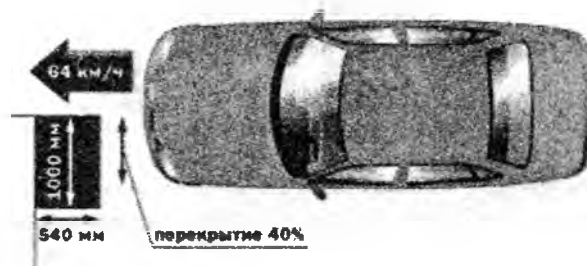


Рис. 1. Фронтальный краш-тест, с областью перекрытия 40%.

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

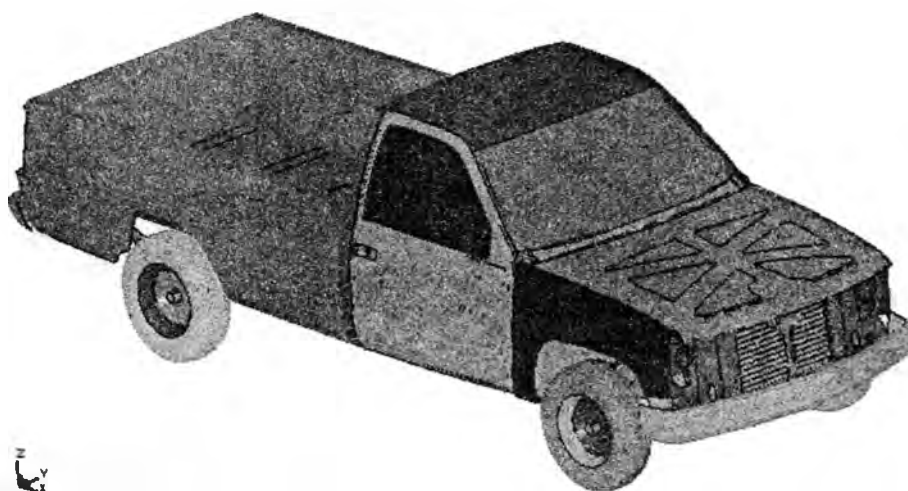


Рис. 2. Конечно-элементная модель автомобиля Chevrolet C2500 Pickup используемая при расчете в программе LS-DYNA.

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.

При проведении краш-теста в качестве барьера использовалась недеформируемая модель железобетонной плиты (рис. 3). Для ее моделирования использовалась модель материала \*MAT\_RIGID.

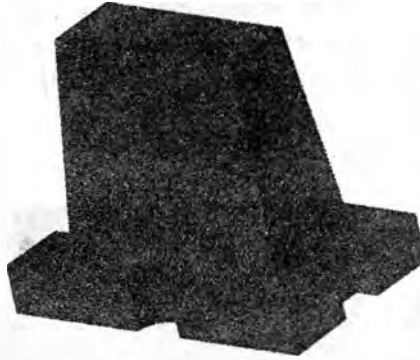


Рис. 3. Модель железобетонной плиты, используемой в LS-DYNA.

На рис. 4 представлена расчетная модель столкновения автомобиля и бетонной плиты. Модель автомобиля движется с начальной скоростью 64км/ч и имеет массу 1800 кг.

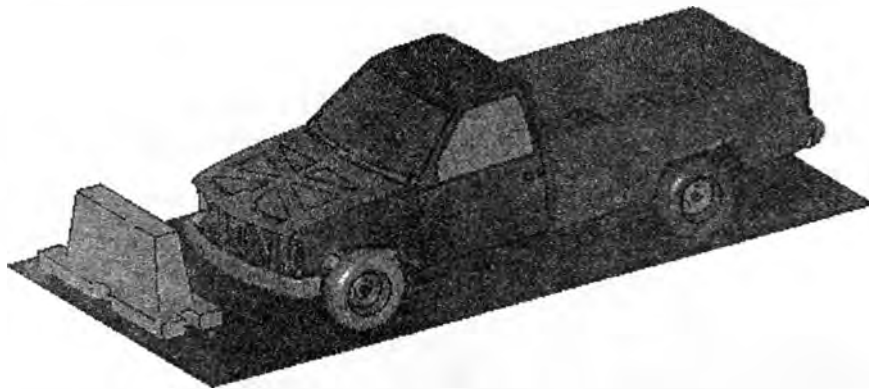


Рис. 4. расчетная модель столкновения автомобиля и бетонной плиты.

На рис. 5 показано деформированное состояние кузова автомобиля после кософронтального столкновения с барьером.

US NCAP: 1994 CHEVROLET C2500 PICKUP  
 Time = 0.14  
 Contours of Resultant Displacement  
 min=0, at node# 2066051  
 max=1847.47, at node# 2000177

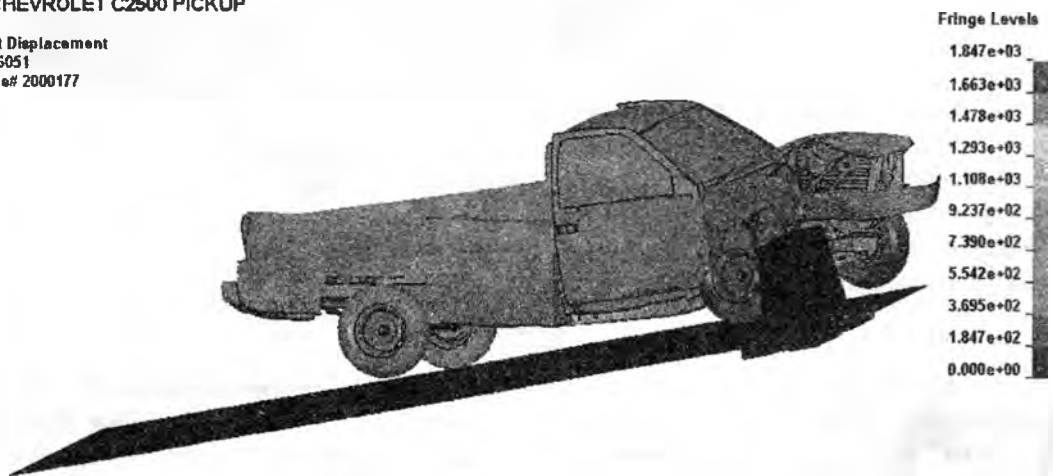


Рис. 5. Изменение перемещений

Использование стандартного препроцессора LS-PREPOST2.1 для обработки результатов расчета позволяет скрыть ряд элементов модели для отображения деталей, расположенных внутри модели. На рис. 6 скрыты боковое и лобовое стекло и видно перемещение подголовника водителя.

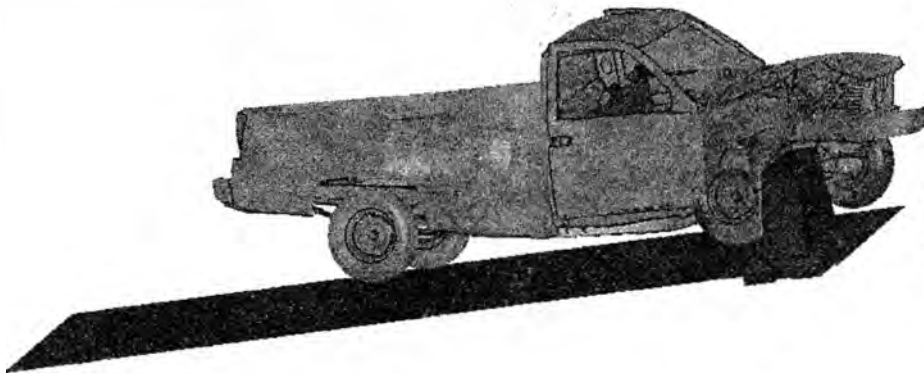
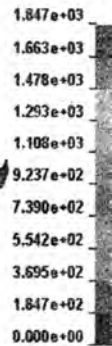


Рис. 6. Изменение перемещений при скрытии капота и лобового и боковых стекол

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 рис. 7.

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 травмозащищенности 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.

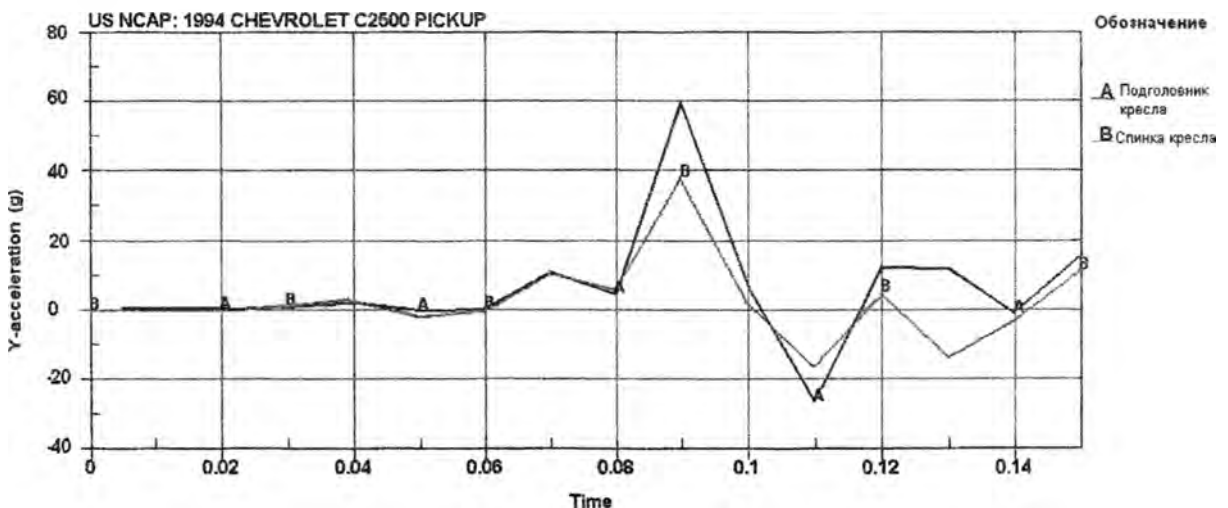


Рис. 7. График изменения ускорения. А — ускорение на подголовнике кресла, В — ускорение на спинке кресла.

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

УДК 621.793

*Соколов И.О., Спиридонов Н.В., Володько А.С., Пилецкая Л.И.*

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ НА ДОЛГОВЕЧНОСТЬ ТЯЖЕЛОНАГРУЖЕННЫХ ВАЛОВ, УПРОЧНЕННЫХ ГАЗОТЕРМИЧЕСКИМ НАПЫЛЕНИЕМ**

*Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь*

Исследованию изнашивания трущихся тел при неоднородном распределении давлений посвящен ряд работ [1, 2 – 3, 4]. Обобщенное уравнение изнашивания [5]

$$\vartheta_i = c_i V^n p^{m_i} (\alpha, t), \quad (1)$$

где  $V$  – скорость скольжения м/с;

$p$  – удельная нагрузка, МПа;

$\alpha$  – угол контакта, град;

$t$  – время трения, с;

$c$ ,  $n$ ,  $m$  – постоянные характеризующие характер изнашивания и материалы трущихся пар,  $1 \leq m \leq 3$ ,  $n=1$  при невысоких скоростях скольжения ( $V$ ).

Сформулированная в работе [6] усталостная теории изнашивания общепризнанна. Согласно концепции усталостного разрушения при трении скольжения, отделение частиц износа происходит в результате циклических силовых воздействий на приповерхностные объемы материалов трущейся пары. Ввиду дискретности контакта, обусловленного наличием микрорельефа поверхностей трения, при фрикционном взаимодействии тел имеет место циклическое изменение во времени возникающих на действительной площади соприкосновения микронеровностей контактных напряжений. В результате этого в деформированных объемах материала зарождаются микротрещины, которые, развиваясь, смыкаются, приводя к образованию частиц износа.

Как известно, доминирующая роль в процессе зарождения микротрещин при объемной усталости принадлежит сдвиговым касательным напряжениям. Следует предположить, что при трении скольжения, как процессе фрикционной усталости, зарождение и развитие усталостных микротрещин будут также главным образом обусловлены действием касательного силового фактора – удельных сил трения на поверхности контакта тел. На основании этого предположе-