

Использование КЭ моделей для расчетной оценки автомобиля в отношении безопасности пешехода

Сивковская Е.В., Курдюк С.А, НТЦ ОАО «АВТОВАЗ»

В связи с введением новых требований по безопасности столкновения с пешеходом актуальной является задача расчетной оценки безопасности конструкции автомобиля на стадии проектирования в отношении удара головой пешехода в капот.

Проведенные нами расчеты показали, что одним из основных параметров конструкции автомобиля, влияющим на безопасность столкновения с головой пешехода, является расстояние от поверхности капота до жестких элементов подкапотного пространства. Было показано также, что в качестве основного критерия расчетной оценки конструкции удобно принимать вероятность получения отрицательного результата при проведении соответствующих испытаний. Такой выбор критерия позволяет учесть при проведении расчетной оценки большое количество случайных факторов, которые оказывают влияние и на результаты реальных экспериментов. Кроме того, было показано, что статистический анализ конструкции удобно проводить на регрессионных моделях, построенных по результатам анализа динамических моделей.

Проверенная нами на упрощенной динамической модели методика расчетов включает в себя следующие основные шаги :

1. **Выбор расчетной схемы (модели)**, которая будет использована для проведения виртуальных испытаний :

$$Y = M (X_1, X_2, X_3,), \text{ где}$$

M – принятая для расчетов модель (как правило, конечноэлементная);

Y – вектор расчетных показателей, используемых для оценки результатов испытаний. Для головы такими показателями являются критерий травмирования (НІС) и величина деформации испытываемых структур (S)

X₁ – вектор параметров модели, отражающий основные параметры анализируемой конструкции

X₂ – вектор параметров модели, отражающий влияние на результат условий проведения испытаний

X₃ – вектор параметров, отражающий возможный разброс свойств испытательного оборудования.

2. **Планирование и проведение многофакторного эксперимента** по виртуальным испытаниям конструкции с целью получения данных для построения регрессионных зависимостей оценочных показателей от основных параметров модели. В основе эксперимента лежит варьирование параметров модели в заданных пределах $\Delta X_1, \Delta X_2, \Delta X_3$. Вычисляются и сохраняются данные по величинам НІС и S. В случае, если для части испытаний происходит “пробой” капота (встреча ударника с жестким элементом подкапотного пространства), то либо результаты этих испытаний исключаются из

дальнейшего анализа, либо эти испытания повторяются на модели, где этот элемент исключен из модели. В дальнейшем для краткости будем называть многофакторный эксперимент, при котором не происходило “пробоя” капота, *экспериментом первого рода*; эксперимент, при котором зарегистрирован пробой хотя бы в одном случае – *экспериментом второго рода*.

3. **Получение линейных регрессионных зависимостей** для принятых оценочных показателей вида

$$y = A_0 + A_i \cdot X_i, \text{ где}$$

y - приближенное значение расчетного показателя, вычисленное по уравнению регрессии;

A_i – коэффициент регрессии для фактора **X_i**, $i=1, n$

При этом для эксперимента первого рода строится регрессионная зависимость только для НИС, для эксперимента второго рода – для НИС и S.

4. **Проведение статистического анализа и расчет вероятности получения отрицательного результата испытаний** с использованием полученной регрессионной модели. Анализ удобно проводить методом статистических испытаний на большом количестве реализаций (1000 и более). При этом для эксперимента первого рода вероятность получения отрицательного результата равна вероятности превышения НИС величины 1000 единиц. Для эксперимента второго рода оценка складывается из вероятности превышения НИС величины 1000 единиц и вероятности “пробоя” капота.

Ниже рассматривается применение предложенной методики для оценки реальной конструкции на подробной КЭ модели.

1. Выбор расчетной схемы

Расчетная схема (рис.1) представляет собой конечно-элементную модель автомобиля с направляемым на него ударником головы. Угол удара (65°) и скорость удара (11,1 м/с) соответствуют требованиям Директивы 90/2004/ЕС.

Выделено семь факторов, которые, предположительно, могут оказать сильное влияние на результаты испытаний:

Свойства материала ударника:

1. Модуль Юнга виниловой кожи ударника
 $E=1,152 \pm 0.408 \cdot 10^{-2}$ ГПа.

Условия испытаний:

2. Угол направления удара $\alpha=65^\circ \pm 2^\circ$.
3. Скорость удара $V=11,1 \text{ м/с} \pm 0,2 \text{ м/с}$.

Свойства испытываемых структур:

4. Предел текучести стали внешней панели капота. $\sigma_{\text{тек1}}=181 \pm 38,7$ МПа.

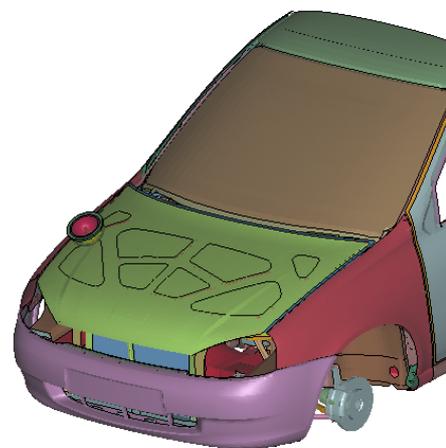


Рис.1 Схема расчетного испытания в рамках многофакторного эксперимента

5. Предел текучести стали внутренней панели капота. $\sigma_{\text{тек}2}=181\pm 38,7$ МПа.
6. Толщина листа внешней панели капота. $\delta_1=0,8\pm 0,1$ мм.
7. Толщина листа внешней панели капота. $\delta_2=0,8\pm 0,1$ мм.

2. Планирование и проведение многофакторного эксперимента.

Был спланирован и осуществлен многофакторный эксперимент на основе дробной реплики 2^{7-3} разрешающей способности IV. Ни в одном из испытаний не зафиксировано “пробоя” капота, однако результаты по деформации капота все равно подвергались обработке для иллюстрации применения методики в случае эксперимента второго рода.

3. Получение регрессионных зависимостей для НИС и S

Получены следующие регрессионные зависимости для НИС и деформации:

$$\begin{aligned} \text{НИС} &= 906 - 1,3 * e_{\text{Евинилаj}} + 12 * e_{\alpha j} + 40 * e_{\nu j} + 59 * e_{\sigma_{\text{тек}1j}} + 48 * e_{\sigma_{\text{тек}2j}} + \\ & \quad 46 * e_{\delta_{1j}} + 61 * e_{\delta_{2j}} \\ S &= 79,5 + 0,25 * e_{\text{Евинилаj}} - 0,25 * e_{\alpha j} + 1,13 * e_{\nu j} - 2,5 * e_{\sigma_{\text{тек}1j}} - 1,75 * e_{\sigma_{\text{тек}2j}} \\ & \quad - 2,63 * e_{\delta_{1j}} - 2,13 * e_{\delta_{2j}}, \end{aligned}$$

где e_{p_i} - нормированные значения параметра P_i

Расчет критерия Фишера показал высокую достоверность моделей (его значение для НИС 0.077, для деформации – 0.053).

4. Проведение статистического анализа и оценка вероятности получения отрицательного результата испытаний

Статистическая оценка результатов проводилась методом статистических испытаний на выборке 1000 реализаций. Диапазон разброса критерия травмирования НИС в виртуальных испытаниях составил 750–1050 единиц; деформаций капота – 73–85мм (рис.3) Поскольку при проведении эксперимента “пробоя” капота не произошло, оценка вероятности получения отрицательного результата соответствует вероятности получения $\text{НИС} > 1000$ и составляет около 1%.

Предположим, что анализу подвергалась бы конструкция, у которой расстояние от поверхности капота до ближайшего жесткого элемента составляло бы величину 83 мм, и в части расчетных случаев для многофакторного эксперимента произошел бы “пробой” капота. Тогда для получения оценки конструкции должны быть использованы регрессионные зависимости для НИС и S, а при их получении нужно было бы использовать только результаты расчетов, где “пробоя” не произошло. В рассматриваемом случае суммарная вероятность получения отрицательного результата получается сложением вероятности слишком жесткой конструкции капота ($\text{НИС} > 1000$) с вероятностью достижения ударником жесткого элемента

подкапотного пространства ($s > D_n = 83$ мм). Вероятность деформации $D_n > 83$ мм составляет 2.2 % (рис.3). Вероятность получения $HIC > 1000$ составляет около 1%. Следовательно, вероятность получения отрицательного результата испытаний для этой конструкции составляет 3.2 %.

Выводы:

- 1) Предложенная методика расчетной оценки автомобиля в отношении безопасности столкновения с головой пешехода позволяет использовать КЭ модели и учитывать влияние на полученный результат как условий проведения испытаний, так и параметров испытываемых структур.
- 2) В качестве обобщенного критерия оценки конструкции можно принять величину вероятности положительного (отрицательного) результата.
- 3) Для расчета должны использоваться математические модели ударников, позволяющие учесть возможный разброс их параметров.
- 4) Статистический анализ конструкции проводится на регрессионных зависимостях. При построении такой зависимости для HIC из результатов испытаний исключаются случаи “пробоя” капота.
- 5) Суммарная величина вероятности отрицательного результата в общем случае складывается из вероятности превышения целевого значения HIC из-за общей высокой жесткости конструкции и вероятности такой деформации капота при ударе, при которой ударник соприкасается с жесткими элементами подкапотного пространства.

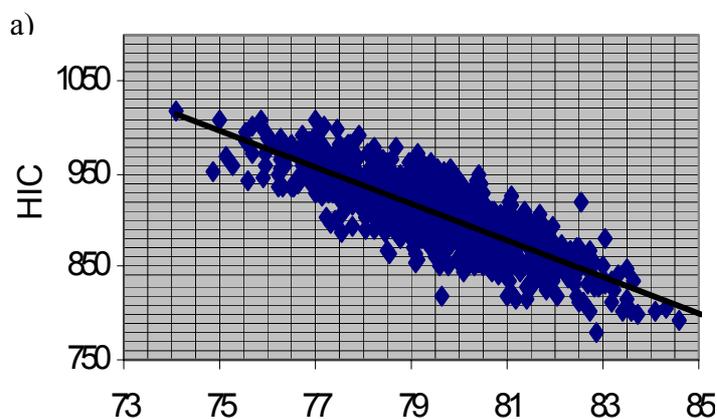


Рис.3 Результаты статистических испытаний.
 а) Картина распределения пар $HIC-S$
 б) распределение вероятности для HIC
 в) распределение вероятности для деформаций.

