

## Особенности методики расчетной оценки капота в отношении удара головой.

Курдюк С.А., Сивковская Е.В., Кирсанов А.Р., НТЦ ОАО “АВТОВАЗ”

С точки зрения создания конструкций передка автомобиля, безопасной в отношении удара головой пешехода, важно обеспечить необходимое минимально допустимое расстояние от поверхности капота до ближайшего жесткого элемента подкапотного пространства **Dn**. Оценка теоретически необходимой величины **Dn** может быть проведена с использованием простейшей модели, изображенной на рис. 1.

Проведенные расчеты показали, что для обеспечения величины НИС менее 1000 единиц необходимо обеспечить не менее 62 мм свободной деформации капота для идеального случая (если поверхность капота горизонтальна, удалось достичь идеально прямой характеристики капота на продавливание и т.д.)

На оценку безопасности конструкции в реальных испытаниях будет оказывать влияние большое количество факторов, которые не принимались во внимание при получении оценки. Это :

- колебания свойств самой конструкции (вероятностный разброс механических свойств материалов, неточности и технологические дефекты)
- разброс условий проведения испытаний (отклонения в скорости и направлении полета ударника, разрешенные процедурой проведения испытаний)
- колебания свойств испытательного оборудования (масса, жесткостные характеристики ударника).

Проведение расчетной оценки конструкции без учета перечисленных выше факторов может привести к ошибкам в проекте, которые, к тому же, могут быть обнаружены уже на стадии испытания прототипов. Поскольку исправление таких ошибок напрямую связано с возможным изменением дизайна автомобиля, стоимость таких исправлений может быть весьма большой. Целью настоящей работы является отработка методики расчетной оценки автомобиля в отношении удара головой на ранних стадиях проекта.

Проведение реальных проектных расчетов на модели типа изображенной на рис.1 невозможно, поскольку она учитывает конструкцию укрупнено, в

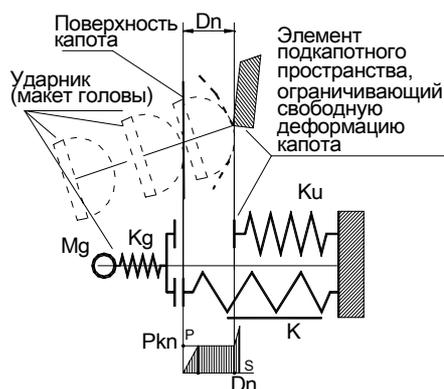


Рис.1. Схема испытаний и динамическая модель, использованная для анализа процедуры испытаний автомобиля на удар головой пешехода.  
**Mg, Kg** – масса и коэффициент жесткость ударника  
**K, Ku** – коэффициенты начальной жесткости капота и ограничивающего элемента подкапотного пространства  
**Dn** – возможная свободная деформация капота по нормали к поверхности  
**Pkn** – среднее усилие деформации капота

виде нескольких коэффициентов в соответствующих дифференциальных уравнениях движения. Точный расчет может быть проведен только на подробной КЭ модели. Однако модель рис.1 может быть полезной для отработки методики проведения таких расчетов.

В качестве критерия оценки конструкции может быть принята вероятность получения положительного (или отрицательного) результата испытаний. В случае анализа большого количества образцов форма ожидаемых нами результатов показана на рис.2. Расчет должен позволить оценить вероятность превышения нормируемого показателя НИС  $((A+C)/(A+B+C))$  на рис.2) и/или вероятность получения положительной оценки  $(B/(A+B+C))$

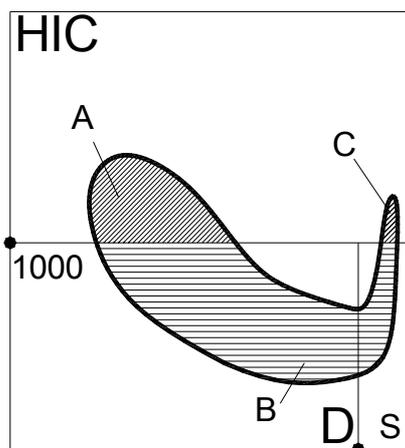


Рис.2. Форма ожидаемых результатов по оценке конструкции капота в отношении удара головой. Изображено облако точек – зависимость критерия травмирования от деформации капота при большом количестве реализаций конструкции.

**1000** – критический показатель критерия травмирования.

**A** – реализации, для которых НИС превышен из-за высокой жесткости конструкции

**B** – хорошие реализации (НИС < 1000)

**C** – реализации, в которых НИС превышен из-за встречи ударника с жестким элементом подкапотного пространства.

Принятые в расчете параметры модели приведены в таблице 1.

**Таблица 1. Основные параметры, принятые в расчетной модели**

Группа параметров	Параметр	Значение параметров		Источник данных
		номинал	Отклонение	
Свойства ударника	Масса	4.8 кг	± 0.1 кг	Директива 2004/90
	Жесткость	4050 кН/м	±550 кН/м	Получено моделированием сертификац. испытаний
Условия удара	Угол	22°	±2°	Данные Директивы 2004/90 при условии, что угол наклона капота 3°
	Скорость	11.1 м/с	±0.2 м/с	Директива 2004/90
Свойства капота	Dn	83 мм	-	Типичное значение
	Rkn	4 кН	± 0.5 кН	Параметр конструкции, близкой к оптимальной

Модель рис.1, вообще говоря, может быть подвергнута прямому статистическому анализу по методу статистических испытаний. Однако реализация такого подхода на полной КЭ модели является невозможной.

Перспективным с точки зрения отработки универсальной расчетной методики является построение для расчетной модели регрессионных зависимостей типа

$$HIC = [a_i]^T [x_i] \quad \text{и} \quad s = [b_i]^T [x_i], \quad (1)$$

где  $i=1, n$  - количество варьируемых факторов,

$a_i, b_i$  – коэффициенты регрессии,

$HIC, s$  – расчетные значения HIC и деформации

: и проведение статистического анализа уже на этих упрощенных моделях.

Для получения регрессионной зависимости для модели с параметрами табл.1 был спланирован эксперимент на основе дробной реплики  $2^{5-1}$  разрешающей способности IV. После анализа его результатов с целью их возможного улучшения за счет учета парных взаимодействий был проведен эксперимент, дополняющий исходный до ПФЭ. Поскольку планируемый результат не был достигнут, была предложена другая методика учета жестких элементов подкапотного пространства. Для реализации этого подхода был реализован третий эксперимент, в котором параметр Dn был принят большим, так что ни при каких сочетаниях факторов пробоя капота не происходило. Сводные результаты расчета коэффициентов регрессии для всех трех экспериментов приведены в таблице 2.

**Таблица 2. Сводные результаты расчета коэффициентов регрессии для модели удара головой о капот.**

	N	Факторы	HIC			S		
			1	2	3	1	2	3
Главные эффекты	0	Среднее	1086	1097	959	77,6	77,6	78,1
	1	Масса ударника	41	56	-31	1,1	1,1	1,3
	2	Жесткость ударника	-54	17	-0,6	0,1	-0,1	-0,1
	3	Угол удара	110	120	13	1,5	1,5	1,8
	4	Скорость удара	125	138	16	1,9	1,9	2,3
	5	Усилие Pкп	61	49	188	-5,8	-5,8	-6,3
Смешанные взаимодействия	1-2			13	3		0	-0,3
	1-3			55	-0,4		-0,1	0
	1-4			70	-0,6		-0,1	0
	1-5			-93	-6		0,1	-0,2
	2-3			15	0		0	0
	2-4			16	-6		0	-0,2
	2-5			-18	-0,6		0	0
	3-4			91	0,4		-0,2	0,1
	3-5			-105	2,5		0,1	-0,2
4-5			-119	3		0,1	-0,3	

Краткие результаты анализа экспериментов.

**Эксперимент 1.** Расчет критерия Фишера для регрессионных зависимостей дал : для НИС 0.78, для деформации – 0.006, что показывает очень высокий уровень достоверности моделей. Результаты статистических испытаний для полученных уравнений изображены на рис. 3. Оценка вероятности получения отрицательного результата для конструкции (НИС>1000) составила 92%. Эти результаты слабо согласуются с ожидаемыми (нет заметного спада оценки НИС для средних деформаций).

В целом, несмотря на высокие параметры достоверности модели, можно считать полученный результат неудовлетворительным.

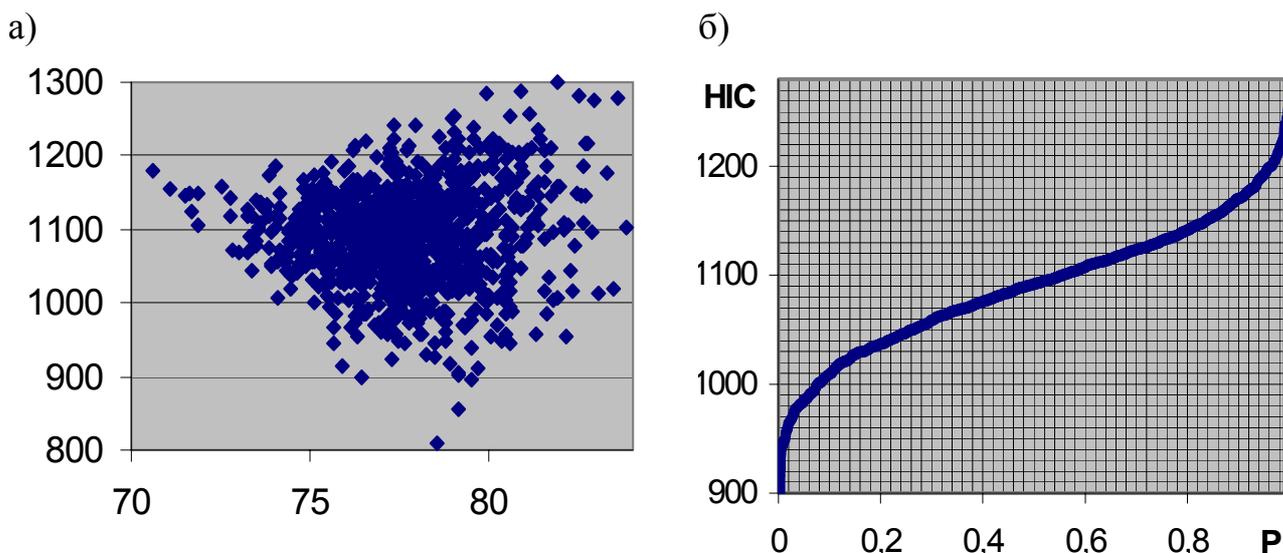


Рис.3. Результаты статистического анализа модели удара для первого эксперимента.

а) картина распределения пар **НИС-S** на выборке 1000 испытаний. Получено  $70 < S < 85$ ;  $800 < \text{НИС} < 1300$

б) распределение вероятности для величины НИС. НИС больше 1000 получается с вероятностью 92%.

**Эксперимент 2** предпринят с целью достижения более правдоподобных результатов за счет включения в модель нелинейных членов, учитывающих парные взаимодействия. Получены высокие коэффициенты парных взаимодействий для регрессионной зависимости НИС. Оценка критерия Фишера для уточненной модели НИС составила 0.37 (уровень достоверности модели еще более высок). Однако, картина распределения пар НИС-S сходна с полученной в первом эксперименте. Примерно такие же средние оценки НИС и S. Вероятность получения  $\text{НИС} > 1000$  составила 93%. Результат также признан неудовлетворительным

**Эксперимент 3.** Основной причиной неудовлетворительных результатов оценки является наличие в модели параметра **Dn**, делающего систему существенно нелинейной. Принятое в этом расчете значение величины **Dn** = 95 мм таково, что при любом сочетании параметров деформация капота меньше этой величины. Результаты эксперимента приведены на рис. 4.

Критерий Фишера для НИС 0.84, для деформации – 0.006. Оценка суммарной вероятности получения отрицательного результата составляет 27.6 %. Она складывается из вероятности получения НИС > 1000 (25.4%) и вероятности получения деформаций капота, превышающих 83 мм (2.2%). Полученные результаты согласуются с ожидаемыми.

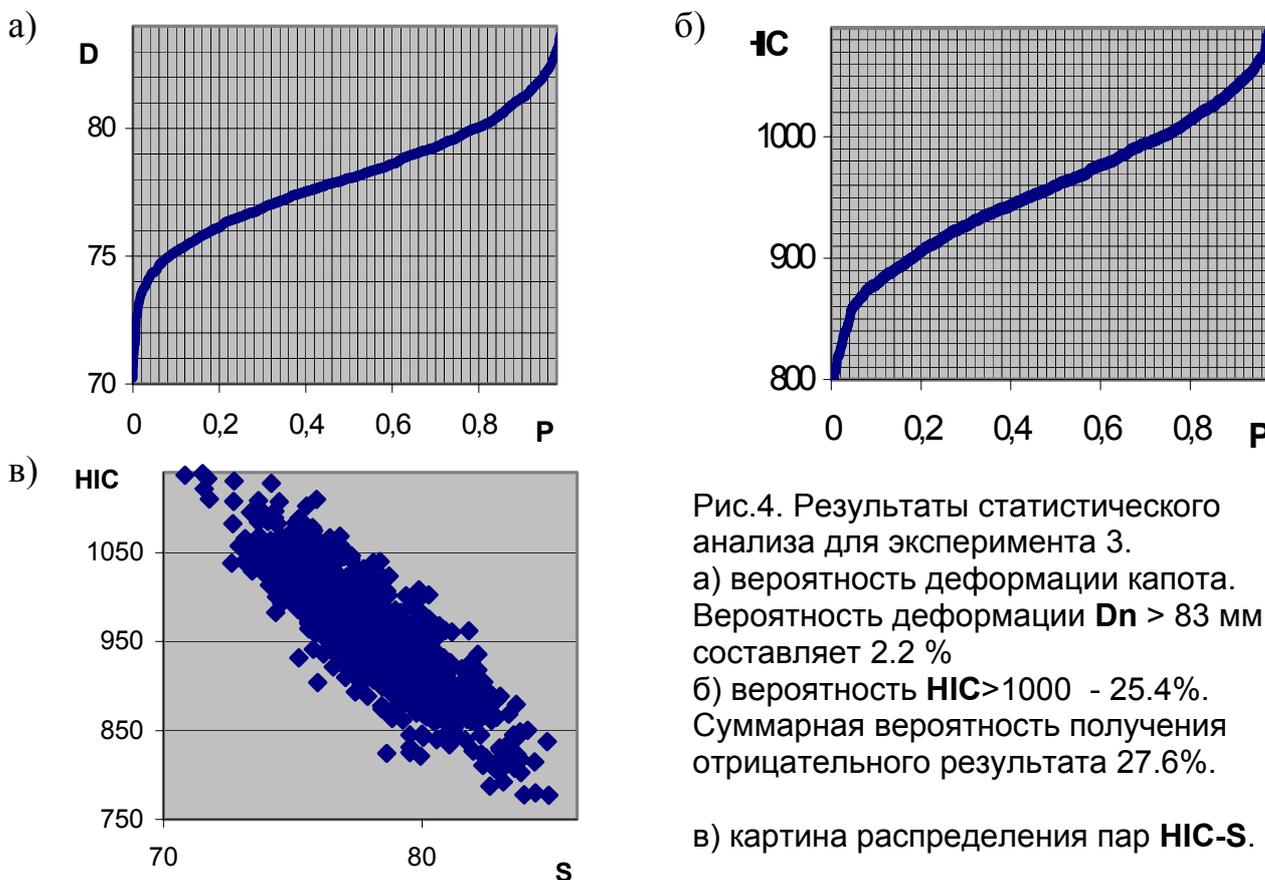


Рис.4. Результаты статистического анализа для эксперимента 3.  
 а) вероятность деформации капота. Вероятность деформации  $D_n > 83$  мм составляет 2.2 %  
 б) вероятность  $HIC > 1000$  - 25.4%. Суммарная вероятность получения отрицательного результата 27.6%.  
 в) картина распределения пар **HIC-S**.

- Краткие выводы.** 1) В качестве критерия безопасности конструкции может быть принята величина вероятности получения отрицательного результата испытаний.  
 2) Статистическая оценка безопасности конструкции передка автомобиля в отношении удара головой пешехода может проводиться на регрессионных зависимостях вида (1). В расчетных случаях, соответствующих рис.1, для получения этих зависимостей нужно использовать модели, не учитывающие жесткие элементы подкапотного пространства.  
 3) Суммарная вероятность получения отрицательного результата складывается из вероятности слишком жесткой конструкции капота ( $HIC > 1000$ ) и вероятности достижения ударником жесткого элемента подкапотного пространства ( $s > D_n$ ).