

УДК 629.113.04

**Е.В. Яковенко,****А.А. Ветрогон***Севастопольский национальный технический университет**ул. Университетская, 33, г. Севастополь, Украина, 99053***УТОЧНЕНИЕ МЕТОДИКИ ЭКСПЕРТИЗЫ ДТП**

*Предлагается методика совершенствования энергетического метода экспертизы ДТП, основанная на использовании конечноэлементного анализа деформации кузова автомобиля, которую он получил при ДТП. С помощью разработанной математической модели получены численные оценки влияния степени пластической деформации элементов кузова автомобиля на величину остаточных упругих деформаций.*

**Ключевые слова:** экспертиза ДТП, упругие деформации, пластические деформации.

**Постановка проблемы.** В настоящее время получили широкое распространение методы экспертизы скорости при ДТП, основанные на анализе энергообмена между соударяющимися объектами. Объект исследования – процесс деформации кузова автомобиля – представляет собой очень сложный процесс, поэтому, не смотря на постоянно разрабатываемые исследовательские инструменты, погрешности, возникающие при использовании тех или иных методик еще достаточно велики. Вследствие этого задача повышения точности методики экспертизы ДТП не теряет своей актуальности и требует разработки методик, позволяющих не только повысить точность, но и упростить процесс проведения экспертизы.

**Анализ последних исследований и публикаций.** При проведении экспертизы ДТП считается, что при столкновении автомобилей доля энергии, затраченной на упругую деформацию, очень мала, т.е. основным вся энергия тратится на образование пластической деформации. Суммой деформаций отдельных элементов определяется общая деформация, а по ней – энергия, поглощаемая при этом автомобилем. То есть, при столкновении автомобиля с препятствием его кинетическая энергия поглощается автомобилем, преобразовываясь в энергию деформации отдельных его частей, состоящей из упругой и пластической составляющих[1], а часть энергии затрачивается на отскок:

$$\Delta E = 0,5mV_0^2 = \sum \Delta E_{\text{кинет}} + \sum (\Delta E_{\text{упр}} + \Delta E_{\text{пласт}}), \quad (1)$$

где  $m$  – масса автомобиля;  $V_0$  – скорость автомобиля при столкновении;  $\Delta E_{\text{кинет}}$  – кинетическая энергия отскока автомобиля;  $\Delta E_{\text{упр}}$  – энергия упругой деформации отдельных частей автомобиля;  $\Delta E_{\text{пласт}}$  – энергия пластической деформации отдельных частей автомобиля.

При этом обычно, принимается что энергия, затраченная на упругое восстановление детали, составляет порядка 5% [2].

В работе [3] предложено определять энергию упругих деформаций при решении обратной задачи конечноэлементного анализа на основании того, что разгрузка пластически деформированного тела осуществляется по прямой, параллельной линии упругого нагружения (рисунок 1). Основная погрешность данного метода заключается в том, что при экспертизе рассматривается область пластических деформаций, а упругие деформации при этом могут распространяться на гораздо больший участок.

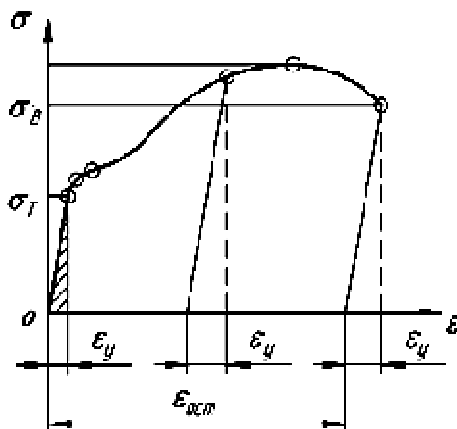


Рисунок 1 – Определение остаточной деформации

**Целью** настоящей работы является повышение точности результатов экспертизы скорости при ДТП за счет разработки методов определения энергии упругих деформаций кузова, основанных на исследовании остаточных деформаций элементов конструкции поврежденного автомобиля.

**Результаты исследований.** Для уточнения цифры в 5% были проведены численные эксперименты, в которых цилиндрический образец сталкивался с неподвижным препятствием. На рисунке 2 показана исходная модель и результат расчета столкновения. При симуляции образец двигался совместно с недеформируемой плоскостью фиксированной инерционной массы. Расчеты проводились с помощью пакета Abaqus. Всего было проведено 5 экспериментов, в которых образец соударялся под различными углами, в каждом было проведено 10 испытаний при различных величинах начальной скорости.

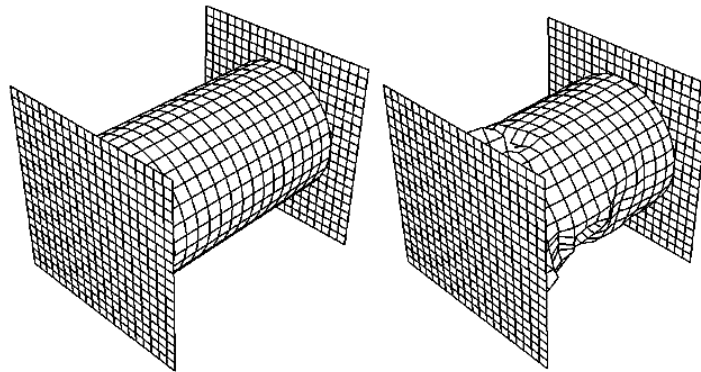


Рисунок 2 – Исходная и деформированная модели

В ходе анализа графиков изменения кинетической энергии системы, внутренней энергии  $U$  деформирующегося объекта и энергии рассеиваемой при пластических деформациях было выявлено что в процессе деформации высвобождается лишь часть энергии упругой деформации  $E_{упр.в}$  (рисунок 3). Именно эта часть затрачивается на сообщение кинетической энергии объектам, обеспечивающей их отскок.

Часть же упругих деформаций остается внутри объекта, т.к. пластические деформации делают невозможный их высвобождение. По мере увеличения пластических деформаций доля упругих деформаций  $\delta_{упр}$  возрастает, а доля их высвобождаемой части  $\delta_{упр.в}$  уменьшается. Результаты одного из экспериментов приведены в таблице 1.

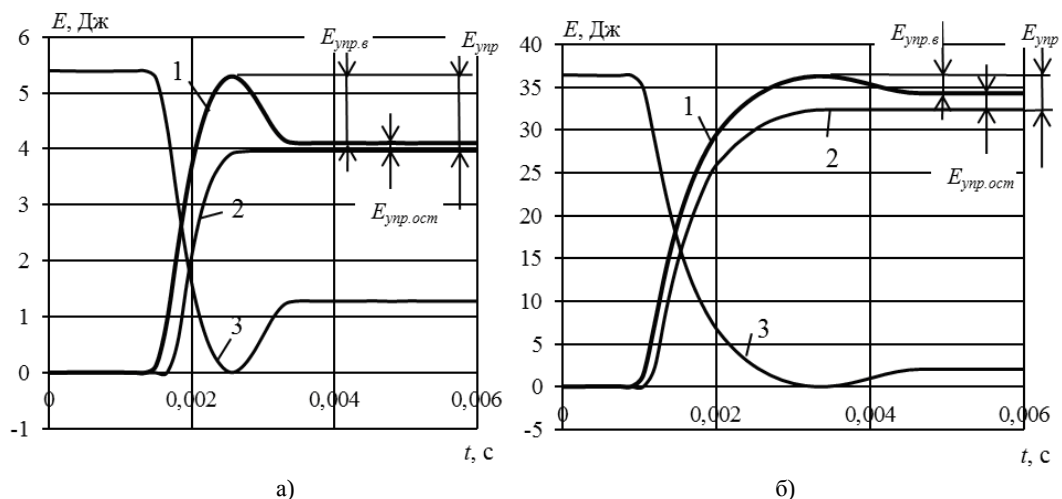


Рисунок 3 – Графики изменения кинетической энергии (кривая 1), внутренней энергии (кривая 2) и энергии рассеиваемой при пластических деформациях (кривая 3): а) при скорости 0,6 м/с и незначительных остаточных деформациях; б) при скорости 1,6 м/с и значительных остаточных деформациях

В таблице 1  $U_{\max}$  и  $U_{уст}$  – максимальное значение внутренней энергии при деформации и некое установившееся значение после высвобождения части энергии упругих деформаций (кривая 1 на рисунке 3).

Таблиця 1 – Результати численного эксперимента

| $V_0$ ,<br>м/с | $U_{\max}$ ,<br>Дж | $U_{\text{уст}}$ ,<br>Дж | $E_{\text{пласт}}$ ,<br>Дж | $E_{\text{упр}}$ ,<br>Дж | $E_{\text{упр.в}}$ ,<br>Дж | $E_{\text{упр.ост}}$ ,<br>Дж | $\delta_{\text{упр}}$ | $\delta_{\text{упр.в}}$ | $\delta_{\text{упр.ост}}$ |
|----------------|--------------------|--------------------------|----------------------------|--------------------------|----------------------------|------------------------------|-----------------------|-------------------------|---------------------------|
| 0,75           | 8,37               | 7,52                     | 7,21                       | 1,16                     | 0,85                       | 0,31                         | 16,1%                 | 11,7%                   | 4,40%                     |
| 1,00           | 14,95              | 14,29                    | 13,42                      | 1,53                     | 0,66                       | 0,87                         | 11,4%                 | 4,9%                    | 6,50%                     |
| 1,50           | 33,70              | 32,94                    | 29,82                      | 3,89                     | 0,76                       | 3,13                         | 13,0%                 | 2,6%                    | 10,40%                    |
| 2,00           | 59,89              | 58,88                    | 51,64                      | 8,25                     | 1,00                       | 7,25                         | 16,0%                 | 1,9%                    | 14,10%                    |
| 2,50           | 93,59              | 92,05                    | 79,58                      | 14,02                    | 1,55                       | 12,47                        | 17,6%                 | 1,9%                    | 15,70%                    |
| 3,00           | 134,86             | 132,17                   | 113,88                     | 20,98                    | 2,69                       | 18,29                        | 18,4%                 | 2,4%                    | 16,00%                    |
| 3,50           | 183,20             | 181,10                   | 147,06                     | 36,15                    | 2,10                       | 34,05                        | 24,6%                 | 1,4%                    | 23,20%                    |
| 4,00           | 239,63             | 237,43                   | 201,75                     | 37,88                    | 2,21                       | 35,67                        | 18,8%                 | 1,1%                    | 17,70%                    |
| 4,50           | 303,54             | 299,14                   | 245,74                     | 57,79                    | 4,39                       | 53,40                        | 23,5%                 | 1,8%                    | 21,70%                    |
| 5,00           | 375,06             | 371,38                   | 302,44                     | 72,61                    | 3,67                       | 68,94                        | 24,0%                 | 1,2%                    | 22,80%                    |

На рисунке 4 показана зависимость величин  $\delta_{\text{упр}}$ ,  $\delta_{\text{упр.в}}$  и  $\delta_{\text{упр.ост}}$  от величины энергии пластической деформации. Исходя из характера зависимости, видно что энергия упругой деформации может значительно превышать величину в 5% от пластических деформаций. Для рассматриваемого образца эта величина может составлять до 23%.

В работе [2] приводится понятие предельно возможной энергии деформации, которую может получить автомобиль, при условии, что вся инерционная масса перейдет в пластическое состояние (остаточные деформации):

$$E_{\text{пласт}}^a = \sigma_s V_{\text{см}}, \quad (2)$$

где  $\sigma_s$  – напряжение текучести;  $V_{\text{см}}$  – смещенный объем.

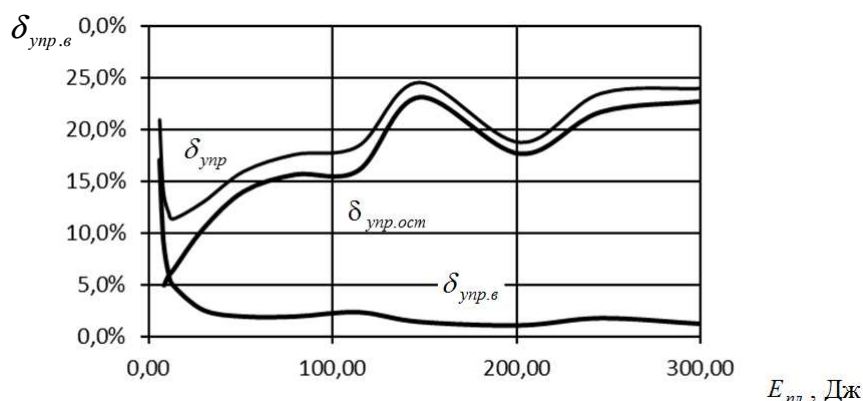


Рисунок 4 – Зависимость величины энергии упругой деформации от величины энергии пластической деформации

В нашем случае эту величину удобно использовать для определения степени подверженности детали пластическим деформациям

$$\delta_{\text{пл}} = \frac{E_{\text{пласт}}}{\sigma_s V_{\text{см}}}. \quad (3)$$

На рисунке 5 показаны результаты проведенных экспериментов – зависимость величины  $\delta_{\text{упр.ост}}$  от  $\delta_{\text{пл}}$ , полученная методом сплайн-интерполяции.

Данная зависимость описывается выражением

$$\delta_{\text{упр.ост}} = 291,62\delta_{\text{пл}}^3 - 52,003\delta_{\text{пл}}^2 + 3,0865\delta_{\text{пл}} + 0,0718. \quad (4)$$

Энергия остаточных упругих деформаций тогда будет определяться из выражения

$$E_{\text{упр.ост}} = \delta_{\text{упр.ост}} \cdot E_{\text{пласт}}. \quad (5)$$

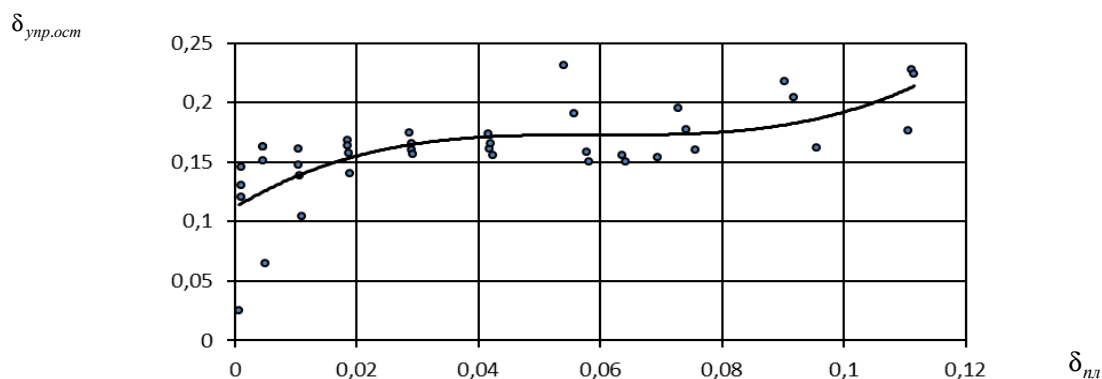


Рисунок 5 – Влияние степени пластической деформации элементов кузова автомобиля на величину остаточных упругих деформаций

Для проверки методики был проведен численный эксперимент, в котором производилась деформация сложной конструкции – передней части кузова автомобиля. Результаты показаны на рисунке 6.

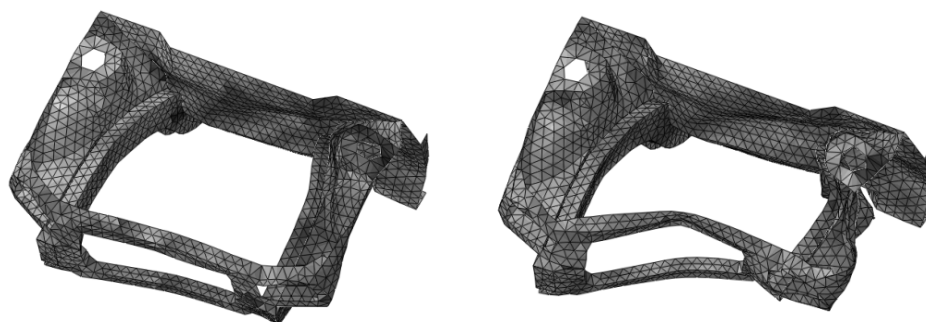


Рисунок 6 – Деформации передней части кузова автомобиля

По результатам эксперимента была составлена таблица 2.

Таблица 2 – Результаты численного эксперимента

| Деформация в продольном направлении, мм | $E_{\text{пласт}}$ , Дж | $E_{\text{пласт}}^a$ , Дж | $\delta_{\text{пл}}$ | $E_{\text{упр.ост}}$ , Дж | $\delta_{\text{факт упр.ост}}$ | $\delta_{\text{упр.ост}}$ | Погрешность |
|-----------------------------------------|-------------------------|---------------------------|----------------------|---------------------------|--------------------------------|---------------------------|-------------|
| 100                                     | 4528                    | 1386541                   | 0,33%                | 365                       | 8,10%                          | 8,14%                     | 0,53%       |
| 200                                     | 11065                   |                           | 0,80%                | 961                       | 8,70%                          | 9,33%                     | 6,77%       |
| 300                                     | 22169                   |                           | 1,60%                | 2295                      | 10,40%                         | 10,91%                    | 4,64%       |

Из таблицы 2 видно что погрешность определения величины энергии упругой деформации с помощью предложенной зависимости (4) не превышает 7%.

**Вывод.** Т.к. величина  $\delta_{\text{упр}}$  зависит от характера остаточных деформаций, а, следовательно, и от скорости и от направления удара, то использование цифры 5% может приводить к недостаточно достоверным результатам экспертизы. Предложенная зависимость позволяет более точно определить величину энергии упругой деформации, а, следовательно, и скорость автомобиля до столкновения.

#### Библиографический список использованной литературы

1. Огородников В.А. Энергия. Деформация. Разрушение. (Задачи автотехнической экспертизы) / В.А. Огородников, В.Б. Киселев, И.О. Сивак. — Винн.: Универсум, 2005. — 204 с.
2. Ксенофонтова В.А. Разработка метода определения скорости транспортного средства до столкновения в результате ДТП: дис.... канд. техн. наук: 05.22.20 / Ксенофонтова Виктория Анатольевна. — Харьков, ХНАДУ, 2003. — 226 с.
3. Ветрогон А.А. Повышение точности результатов экспертизы скорости при дорожно-транспортном происшествии: дис.... канд. техн. наук: 05.22.20 / Ветрогон Александр Анатольевич. — Харьков, ХНАДУ, 2009. — 205 с.

Поступила в редакцию 16.05.2012 г.

**Яковенко Є.В., Ветрогон О.А. Уточнення методики експертизи ДТП**

Пропонується методика вдосконалення енергетичного методу експертизи ДТП, заснована на використанні конечноелементного аналізу деформації кузова автомобіля, яку він отримав при ДТП. За допомогою розробленої математичної моделі отримані чисельні оцінки впливу ступеня пластичної деформації елементів кузова автомобіля на величину залишкових пружних деформацій.

**Ключові слова:** експертиза ДТП, пружні деформації, пластичні деформації.

**Jakovenko E.V., Vetrogon A.A. Refinement of methodology expertise accident**

A method of improving the energy method examination of road accidents, based on the use of finite element analysis of deformation of the car body, which he received in an accident. With the help of the developed mathematical model, numerical evaluation of the influence of the degree of plastic deformation of the vehicle body by the amount of residual elastic strain is obtained.

**Keywords:** examination of an accident, the elastic deformation, plastic deformation.