

А. Г. Федорченко, Д. Г. Тукмакова

Автомобильно-дорожный институт

ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Горловка

## ВЫЯВЛЕНИЕ КАЧЕСТВЕННЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЗАТРАТ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ЭКСПЕРТИЗЫ ДТП

*Выполнен анализ транспортно-трассологической и инженерно-прочностной экспертизы дорожно-транспортного происшествия. Дополнен комплексный метод определения энергетических затрат транспортного средства при проведении экспертизы дорожно-транспортного происшествия, основанного на использовании закона сохранения энергии. Энергия транспортного средства до начала дорожно-транспортного происшествия устанавливается путем определения суммарной энергии, которая состоит из энергий трения, упругого деформирования, деформации, разрушения его конструктивных частей и энергий, а также энергий, которые привели к перемещению транспортного средства в разных плоскостях во время процесса дорожно-транспортного происшествия.*

**Ключевые слова:** экспертиза ДТП, упругость, энергия трения, энергия упругого деформирования, энергия подбрасывания, энергия отбрасывания, энергия разрушения, энергия деформации, транспортное средство

### *Постановка научной проблемы и задачи, которая решается*

Обеспечение безопасности движения на автомобильном транспорте представляет собой значительную научно-практическую проблему. Мировая тенденция роста количества дорожно-транспортных происшествий отмечается многими авторами [1–3]. Указанная проблема связана прежде всего с приростом численности парка автомобильного транспорта, особенно в пределах улично-дорожных сетей городов.

С целью установления механизма дорожно-транспортного происшествия назначается экспертиза дорожно-транспортного происшествия. Эта экспертиза позволяет найти причины, которые привели к дорожно-транспортному происшествию и к обстоятельствам, при которых оно произошло, оценить последствия дорожно-транспортного происшествия и меры по их предотвращению [3].

### *Анализ последних исследований*

При столкновении или наезде на препятствие транспортных средств (ТС), часть кинетической энергии ТС гасится в течение короткого промежутка времени, вследствие этого в месте контакта тел возникают мгновенные (ударные) силы, величина которых весьма значительна. Именно этим обстоятельством объясняется факт, что такого рода события имеют гораздо более тяжелые последствия, чем другие виды ДТП. Так, при фронтальном столкновении легковых автомобилей ударные силы достигают 40 000 кгс, а при столкновении автобусов и грузовых автомобилей они возрастают до нескольких сотен тысяч кгс [4].

Определение затрат кинетической энергии на пластическую деформацию собственной конструкции ТС других участников столкновения, и возможных препятствий является решающим фактором при установлении истинного виновника ДТП.

В настоящее время теория пластичности позволяет решать почти все задачи, которые возникают при пластическом деформировании твердых материалов. Однако в последнее время на первое место выходят вопросы пластических формоизменений и энергетических затрат, обусловленных появлением деформаций в металле [3].

Транспортно-трассологическая экспертиза объективна только в тех случаях, когда вся кинетическая энергия ТС, или по крайней мере большая ее часть, тратится на работу сил трения. С момента столкновения ТС или начала физических процессов, которые описывают-

ся законами механики, объективность транспортно-трасологической экспертизы требует обоснования для каждого конкретного ДТП. Как правило, в рамках только одной транспортно-трасологической экспертизы такое обоснование невозможно получить.

Теоретической основой инженерно-прочностной экспертизы является теория деформирования металлов [4]. Для выполнения этой экспертизы необходимо иметь доступ к данным о характеристиках материала поврежденных элементов конструкций ТС, в виде специальных функций [4], которые в свою очередь формируют технологический паспорт материала. Этот метод оценки высвобождаемой энергии является наиболее точным, особенно для расчета высвобождаемой энергии деформирования конструктивных частей ТС, т. к. конструкции ТС изготовлены из тонколистовых материалов, толщина которых составляет 0,8 мм и более.

### **Цель работы**

Выявление энергетических затрат транспортного средства при проведении экспертизы ДТП.

### **Основная часть**

Согласно транспортно-трасологической экспертизе расчетная скорость ТС с достаточной степенью точности определяется по формуле (1):

$$V_a = 0,5 \cdot t_z \cdot j_m + \sqrt{2 \cdot S_{ю} \cdot j_m}, \quad (1)$$

где  $V_a$  – расчетное значение скорости движения автомобиля, м/с;

$t_z$  – время роста замедления при экстренном торможении ТС в исследуемых дорожных условиях, с;

$j_m$  – максимальное замедление, которое установилось, при торможении ТС в исследуемых дорожных условиях,  $(\text{м/с})^2$ ;

$S_{ю}$  – длина следов торможения ТС, г.

Начиная со времени  $t_z$ , тормозная система ТС срабатывает, и в результате этого начинает тратиться какая-то часть полной  $T_{ТС}$  кинетической энергии ТС непосредственно на торможение.

В формулу (2) не входят те параметры, которые отображали бы влияние другой части полной кинетической энергии ТС, влияющей на значение его скорости к началу ДТП. В данном случае речь идет о деформировании и разрушении конструктивных частей ТС. Определение скорости по этой методике позволяет установить лишь ту часть полной кинетической энергии, которая израсходована на торможение ТС:

$$T_{mp} = \frac{m_a V_a^2}{2}, \quad (2)$$

где  $m_a$  – масса ТС, кг.

Процесс удара можно разделить на две фазы:

– от момента соприкосновения тел до момента их максимального сближения. В этой фазе кинетическая энергия переходит в механическую энергию разрушения и деформации тел, а также в тепловую и потенциальную энергию; продолжительность этой фазы – 0,5...0,1 с;

– от конца первой фазы до момента разъединения тел. В этой фазе потенциальная энергия упругодеформированных тел вновь переходит в кинетическую, под действием которой происходит разъединение тел; продолжительность этой фазы – 0,02...0,04 с.

Отношение относительных скоростей тел перед и после удара при неподвижном состоянии называют коэффициентом восстановления [7]:

$$K_{y\partial} = -\frac{V_a'}{V_a}, \quad (3)$$

где  $V_a'$  – скорость тел после удара, м/с.

Данный коэффициент позволяет определить часть кинетической энергии, которая пошла на упругую деформацию и разрушение  $T_{УПР}$  конструктивных частей автомобиля:

$$T_{УПР} = T_{ТР} \cdot K_{y\partial}. \quad (4)$$

Знак «-» указывает на изменение скорости движения при отскоке ТС от препятствия.

Согласно существующей инженерно-прочностной экспертизе ДТП при столкновении вся кинетическая энергия превращается в энергию пластического деформирования конструктивных частей ТС [4]. Однако это утверждение является неверным, т. к. во время столкновения ТС и его части не только деформируются, но и смещаются или даже разрушаются. Это обусловлено тем, что во время ДТП кинетическая энергия ТС высвобождается и на энергию разрушения различных конструктивных частей ТС, которые не рассматриваются в инженерно-прочностной экспертизе [3]. Это приводит к занижению значения полного количества кинетической энергии ТС при ДТП, а со временем и к снижению значения его скорости. Результаты выполненной таким образом экспертизы приводят к неверным выводам, вследствие чего могут быть наказаны невинные люди, а мероприятия по улучшению безопасности дорожного движения не приведут к положительному результату.

Полную потенциальную энергию деформации  $T_{ДЕФ}$  конструктивных частей АТС получаем путем суммирования отдельных значений потенциальных энергий  $E_{defj}$  всех ее элементов по формуле:

$$T_{ДЕФ} = \sum E_{defj} \quad (5)$$

Именно поэтому во время выполнения инженерно-прочностной экспертизы необходимо устанавливать также ту часть энергии  $T_{РАЗР}$ , которая была израсходована непосредственно на разрушение каждой детали. Значение этой энергии в общем виде можно определить по формуле [4]:

$$T_{РАЗР} = \sum (k \cdot (\frac{S^2}{2})), \quad (6)$$

где  $k$  – жесткость детали,  $\frac{Н}{м}$ ;

$S$  – сжатие детали, м.

Однако расчет формулы (1) является недостаточным для определения энергии разрушения всех видов. И потому в каждом частном случае, в зависимости от характера и вида разрушения, необходимо ее конкретизировать [5].

В результате столкновения возможно отбрасывание ТС на некоторое расстояние без контакта его колес с дорогой. Кроме того, во время процесса отбрасывания ТС разворачивается в разных плоскостях, которые проходят через центр масс ТС перпендикулярно и параллельно плоскости движения. Энергию  $T_{ОТБР}$  по отбрасыванию каждого из ТС в этом случае можно определить по формуле [6]:

$$T_{ОТБР} = m_a \cdot g \cdot f(l + a \cdot \theta), \quad (7)$$

где  $m_a$  – вес ТС, нетто (учитывается не только вес ТС, но и вес людей, которые находились во время столкновения в ТС, и других вещей, которые увеличивают действительный вес ТС), кг;

$l$  – расстояние, на которое откидывается ТС после столкновения, м;

$g$  – ускорение свободного падения = 9,81 м/с<sup>2</sup>;

$f$  – коэффициенты трения колес ТС об дорогу;

$a$  – расстояния в плане от центра масс ТС к его левому либо правому переднему колесу, м;

$\theta$  – угол разворота ТС, рад.

Во время отбрасывания возможны повторные столкновения, на которые тратится также какая-то часть кинетической энергии. При этом возникают как повторные столкновения, так и другие деформирования различных частей, а также возможное повторное отбрасывание ТС до тех пор, пока не будет израсходована вся полная кинетическая энергия ТС. Именно поэтому считаем, что определение энергии на отбрасывание лишь по формуле (2) не соответствует действительности, т. к. в этой формуле учтено лишь одно отбрасывание.

К тому же при перемещении ТС после столкновения в процессе отбрасывания возможно выделение энергии по забрасыванию (подбрасыванию)  $T_{ПОДБР}$  ТС, например, на тротуар, которая определяется по формуле [6]:

$$T_{ПОДБР} = m_a \cdot g \cdot \Delta h, \quad (8)$$

где  $\Delta h$  – высота подбрасывания.

Это свидетельствует о том, что не существует единой формулы для определения возможной энергии на отбрасывание. Отметим также то, что определенное количество изменений расположения центров кривизны следов торможения относительно траектории ТС может свидетельствовать о том, что во время процесса ДТП происходило такое же количество повторных столкновений.

Т. к. на ТС в эти промежутки времени действовали другие разные силы, отличные от тех, которые были в начале ДТП, повторные столкновения приводят к повторному деформированию тех же или других конструктивных частей ТС. Несмотря на этот факт, на сегодня невозможно установить на каком этапе были получены те или другие деформирования и разрушения.

Именно поэтому определение энергий, которые являются составляющими кинетической энергии ТС, проводится по каждому типу отбрасывания отдельно и может определяться по формулам (2) и (3), а также по каким-то другим, в зависимости от характера ДТП. Но в общем виде вывести формулы для определения энергии отбрасывания и подбрасывания ТС сегодня невозможно.

Установление кинетической энергии ТС на отбрасывание должно сводиться к тому, что в каждом частном случае ДТП нужно определять конкретные процессы, которые возникли, и согласно им выполнять расчеты энергии.

Процессы повторного отбрасывания ТС могут быть установлены во время анализа механизма ДТП разными способами, например, по изменению расположения кривизны тормозного пути или опрашиванием очевидцев ДТП.

Таким образом, итоговое значение энергетических затрат  $T_{ЭЗ.ТС}$  для каждого отдельного ТС (4):

$$T_{ЭЗ.ТС} = T_{ТР} + T_{УПР} + T_{ДЕФ} + T_{РАЗР} + T_{ОТБР} + T_{ПОДБР}, \quad (9)$$

где  $T_{ДЕФ}$  – потенциальная энергия деформации, которая определяется согласно инженерно-прочностной экспертизе [3].

Значение действительной скорости ТС определяем по формуле:

$$V_0 = \sqrt{(2 \cdot T_{ЭЗ.ТС}) / m_a}. \quad (10)$$

### **Выводы**

Доказано, что выявление качественных изменений механизма ДТП позволяет установить следующие виды энергетических затрат кинетической энергии АТС: 1) энергия торможения  $T_{TR}$ ; 2) энергия упругого деформирования  $T_{УПР}$ ; 3) энергия деформирования  $T_{ДЕФ}$ ; 4) энергия разрушения  $T_{РАЗР}$ ; 5) энергия отбрасывания  $T_{ОТБР}$ ; 6) энергия подбрасывания  $T_{ПОДБР}$ .

Проведен анализ существующих экспертиз и предварительных выводов. На основании закона сохранения энергии разработана системная методика выполнения экспертизы ДТП, в которой учитывается шесть видов энергетических затрат.

### **Список литературы**

1. Евтюков, С. А. Реконструкция и экспертиза ДТП в примерах / С. А. Евтюков, Я. В. Васильев. – СПб. : Петрополис, 2012. – 324 с.
2. Подопригра, Н. В. Уточнение традиционной методики вычисления остановочного пути / Н. В. Подопригра, П. А. Степина // Актуальные проблемы безопасности дорожного движения. – СПб. : СПбГАСУ, 2012. – С. 121–123.
3. Куниця, А. В. Використання закону збереження кінетичної енергії при проведенні експертизи дорожньо-транспортної пригоди / А. В. Куниця, О. Г. Федорченко // Вісті Автомобільно-дорожнього інституту : наук.-вироб. зб. / ДВНЗ «ДонНТУ» АДІ. – Горлівка, 2010. – № 2 (11). – С. 105–109.
4. Огородников, В. А. Энергия. Деформация. Разрушение (задачи автотехнической экспертизы) : моногр. / В. А. Огородников, В. Б. Киселев, И. О. Сивак. – Винница : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2005. – 204 с.
5. Байков, В. П. Учет потерь кинетической энергии при столкновении транспортных средств / В. П. Байков, В. И. Гутник, В. Б. Киселев // Вестник Донбасской государственной машиностроительной академии. – 2008. – № 1/11. – С. 10–16.
6. Федорченко, А. Г. Определение части кинетической энергии транспортных средств на отбрасывание при проведении комплексной экспертизы ДТП [Электронный ресурс] / А. Г. Федорченко, Д. С. Рябчук // Проблемы развития транспортной системы Донбасса : сборник тезисов докладов I республиканской научно-практической конференции, 16 июня 2016 г., Горловка ; отв. ред. А. В. Толок / Автомобильно-дорожный институт ГОУВПО «ДонНТУ». – Горловка : АДИ ДонНТУ, 2016. – 96 с.
7. Домке, Э. Р. Расследования и экспертиза дорожно-транспортных происшествий / Э. Р. Домке. – М. : Издательский центр «Академия», 2009. – 288 с.

*А. Г. Федорченко, Д. Г. Тукмакова*  
*Автомобильно-дорожный институт*

*ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет» г. Горловка*

**Выявление качественных составляющих энергетических затрат  
при проведении экспертизы ДТП**

В настоящее время теория пластичности позволяет решать почти все задачи, которые возникают при пластическом деформировании твердых материалов. Однако в последнее время на первое место выходят вопросы пластических формоизменений и энергетических затрат, обусловленных появлением деформаций в металле.

Рассматривается решение проблемы учета всех составляющих кинетической энергии автомобиля, возникающих в процессе ДТП. Сформулированы и выявлены основные 6 составляющих, а именно: энергия трения, энергия деформации, энергия упругости, энергия разрушения, энергия отбрасывания и подбрасывания. Разработана методика учета составляющих для каждого из участников ДТП. Проанализированы и получены зависимости для расчета необходимых составляющих соответствующих транспортных средств в зонах остановок. Проведена формализация процессов движения – где и как происходит процесс столкновения и последующее перемещение ТС. Получены формулы шести составляющих кинематической энергии, которая выделяется в процессе ДТП. Доказано влияние всех частей кинетической энергии автомобилей на расчет общих энергетических затрат автомобилей при возникновении ДТП. Сформулирована и разработана системно усовершенствованная методика проведения экспертизы ДТП с учетом затрат кинетической энергии автомобилей в процессе ДТП.

**ЭКСПЕРТИЗА ДТП, ЭНЕРГИЯ ТРЕНИЯ, ЭНЕРГИЯ ПОДБРАСЫВАНИЯ, ЭНЕРГИЯ ОТБРАСЫВАНИЯ, ЭНЕРГИЯ РАЗРУШЕНИЯ, ЭНЕРГИЯ ДЕФОРМАЦИИ, МЕТОДИКА, ТРАНСПОРТНОЕ СРЕДСТВО**

*A. G. Fedorchenko, D. G. Tukmakova*  
*Automobile and Highway Institute of Donetsk National Technical University, Gorlovka*  
**Identification of Energy Expenditure Qualitative Components at the Expertise  
of Traffic Accidents**

Now the theory of plasticity allows to solve all problems arising at the plastic deformation of hard materials. However, questions of plastic forming and energy expenditure caused by deformations in the metal have come first lately.

Accounting problems solution of all components of the automobile kinetic energy arising during the traffic accidents are being considered. Main six components are formulated including: energy of friction, energy of deformation, resilience energy, fracture energy, energy of throwing and tossing. The method of the components accounting for each of the accident participants is developed. Dependences for the calculation of necessary components of appropriate vehicles in stop zones are analyzed and obtained. The formalization of movement processes is carried out, where and how the process of collision and the vehicle subsequent movement is taking place. Formula of six kinematic energy components standing out during the accident are obtained. The impact of all parts of the automobile kinetic energy on the calculation of the automobile general energy expenditure during the accident is proved. Systematically advanced expertise of the traffic accident taking into account kinetic energy expenditure of automobiles during the traffic accident is formulated and developed.

EXPERTISE TRAFFIC ACCIDENT, FRICTION ENERGY, TOSSING ENERGY, THROWING ENERGY, FRACTURE ENERGY, DEFORMATION ENERGY, METHOD, VEHICLE

**Сведения об авторах:**

**А. Г. Федорченко**

SPIN-код: 4105-0754

Телефон: +38 (066) 441-43-68

Эл. почта: fedorchenko@adidonntu.ru

**Д. Г. Тукмакова**

Телефон: +38 (066) 047-87-83

Эл. почта: jelaroy1988@gmail.com

*Статья поступила 17.02.2017*

© А. Г. Федорченко, Д. Г. Тукмакова, 2017

*Рецензент: А. Н. Дудников, канд. техн. наук, доц., АДИ ГОУВПО «ДонНТУ»*