

УДК 656.13

В.Н. Торлин, профессор, д-р техн. наук,**А.С. Остроухова, аспирант***Севастопольский национальный технический университет**ул. Университетская 33, г. Севастополь, Украина, 99053**anna111000@mail.ru***ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ АВТОМОБИЛЯ ПРИ НАЕЗДЕ НА ПЕШЕХОДА**

Рассматривается задача моделирования и реконструкции дорожно-транспортного происшествия типа «наезд на пешехода». Полученные математические модели реализуются в виде программного обеспечения, позволяющего сократить время экспертизы и повысить точность результатов.

Ключевые слова: *автотехническая экспертиза, энергетический анализ.*

Наезд на пешехода является наиболее распространенным случаем дорожно-транспортного происшествия (ДТП), число которых составляют более 45 % общего числа ДТП в Украине. Автотехническая экспертиза таких происшествий затруднена, т.к. взаимодействующие в нем объекты – автомобиль и человек имеют большую разницу динамических характеристик – массы, жесткости, скорости и др. В связи с этим разработка новых методов экспертизы таких ДТП является важной задачей в системе безопасности дорожного движения.

Разработке методов экспертизы ДТП типа «наезд на пешехода» посвящены работы [1–3], в которых рассмотрены основные факторы, влияющие на количество аварий и число пострадавших. Отмечается, что при наездах на пешехода гибнут как от удара об элементы кузова, так и об покрытие проезжей части и элементы дороги. При ударе о кузов автомобиля контактирующие элементы взаимно повреждаются, на кузове остаются вмятины, наслоения и отслоения лакокрасочного покрытия, разрушенные стекла, приборы наружного освещения и декоративные элементы кузова. При этом на теле человека появляются повреждения, которые можно идентифицировать методами судебно-медицинской экспертизы. Определение скорости автомобиля, которую он имел в момент столкновения с пешеходом, в настоящее время осуществляется по приближенным методикам трасологической экспертизы [2], дающим большую погрешность.

Целью исследования является разработка методики определения скорости транспортного средства при наезде на пешехода, позволяющей получить точность результатов экспертизы в пределах 7%, допустимой в судебной практике. Для достижения поставленной цели рассмотрен комплекс задач, включающий трасологические исследования и энергетический анализ упруго-пластического взаимодействия биообъекта с элементами кузова автомобильных транспортных средств.

Энергетический метод определения скорости автомобиля.

Для того чтобы получить исходные данные задачи необходимо выполнить следующий комплекс работ:

- идентифицировать вид дорожного покрытия и его состояние (сухое, мокрое, с дефектами и т.д.);
- исследовать следы дорожно-транспортных средств в зоне ДТП (характер, длина, ширина, расположение следов и т.д.);

- исследовать повреждения полотна дороги и сооружений;

- исследовать параметры зоны разброса осколков;

- исследовать деформации и повреждения кузова автомобиля и человека.

Основную информацию о характере ДТП получают по результатам исследования следов на дороге. Для этого хорошо разработаны методы:

- определения следов качения;

- определения следов юза;

- определения следов заноса.

Будем считать, что кинетическая энергия автомобиля, равная $U_0 = m_a V^2 / 2$, в исследуемом процессе переходит в энергию, поглощенную процессом торможения, и в энергию удара пешехода:

$$U_0 = U_t + U_r, \quad (1)$$

где U_t – энергия торможения; U_r – энергия удара.

Энергия, поглощенная процессом торможения, определяется по величине тормозного пути следующим образом:

$$U_t = G_a \phi \cdot S_t, \quad (2)$$

где G_a – вес автомобиля; ϕ – коэффициент сцепления колес с дорожным покрытием; S_t – тормозной путь (рисунок 1).

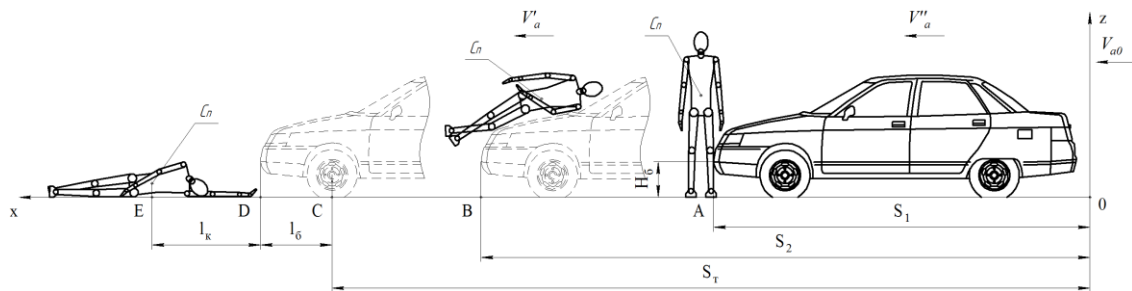


Рисунок 1 – Схема процесса наезда на пешехода

При экспертизе ДТП с участием современного автомобиля, оснащенного антиблокировочной системой, расчет тормозного пути осуществляется по формуле [4]:

$$S_T = v_a \cdot (\tau_{zn} + 0,5\tau_n) + \frac{\delta \cdot G_a \cdot (\tau_{zn} - 0,5\tau_n \cdot j_{yct})}{2g \cdot \left(\sum_{i=1}^n \frac{M_{Ti} \cdot (\tau_{zn} - s_i)}{r_d} + \sum_{i=1}^n G_{ki} \cdot f_i \cdot (\tau_{zn} - s_i) + \frac{1}{3} k_n \cdot F \cdot v_{w0}^2 + \frac{M_r}{r_d} (\tau_{zn} - s_{cp}) + \sum_{i=1}^n R_{zi} \cdot \varphi_{xi} \cdot s_i \pm G_a \cdot i \right)} \quad (3)$$

где δ – коэффициент учета вращающихся масс; v_a – скорость в начале торможения; G_a – вес автомобиля; M_{Ti} – тормозной момент на i -ом колесе; G_{ki} – нормальная реакция на i -ом колесе; M_r – момент на тормозном барабане; R_{zi} – касательная реакция на i -ом колесе; j_{yct} – установившееся замедление автомобиля; v_{w0} – относительная скорость воздуха в момент нажатия на педаль тормоза; k_n – коэффициент сопротивления воздуха (зависит от формы автомобиля и качества обработки его поверхности); F – лобовая площадь автомобиля; f_i – коэффициент сопротивления качению колес автомобиля; s_i – коэффициент проскальзывания колес автомобиля; I_k – приведенный момент инерции колеса автомобиля; r_d – динамический радиус колеса; n – количество колес автомобиля, которые затормаживаются; τ_{zn} – время запаздывания срабатывания тормозного привода; τ_n – время нарастания замедления; r_d – радиус колеса.

Энергия удара пешехода состоит из двух частей:

$$U_r = U_{r_1} + U_{r_2}, \quad (4)$$

где U_{r_1} – энергия, поглощенная элементами кузова автомобиля; U_{r_2} – энергия, затраченная на травмирование и удары пешехода (определяется по результатам судебно-медицинской экспертизы).

Для определения величины U_{r_2} используется методика определения энергии удара автомобиля о массивное препятствие [4], в которой предусмотрен анализ деформаций всех поврежденных в процессе ДТП элементов конструкции автомобиля, при этом процесс перехода кинетической энергии в энергию упругопластической деформации моделируется функционалом:

$$\mathcal{E}_{def} = \iiint_V \sigma_{ij} \varepsilon_{ij} dV + \sqrt{2} \sigma_s \iiint_V \left[\frac{E}{2(1-\nu)} \varepsilon_{ij}^2 + 2G \left(d\varepsilon_{ij} - \frac{1}{3} d\varepsilon_{ij} \delta_{ij} \right) d\varepsilon_{ij} \right] dV - \iint_S \bar{R}_i \bar{u}_i dS, \quad (5)$$

где $\mathcal{E}_{def}$ – энергия деформации; σ_{ij} – тензор напряжений Кирхгофа; σ_s – предел текучести; $\varepsilon_{ij} = \varepsilon_{ij}^y + \varepsilon_{ij}^n$ – тензор деформаций Грина; ε_{ij}^y , ε_{ij}^n – упругая и пластическая части тензора деформаций, действующие в упругой и пластических областях конструкции; $\bar{u}_i$ – перемещение; $\bar{R}_i$ – внешние силы; δ_{ij} – символ Кронекера; V – объем; S – поверхность исследуемого объекта до деформации; E , ν , G – свойства материала.

Компоненты тензора деформаций, входящих в (5), вычисляются по формулам:

$$\begin{aligned} \varepsilon_x &= \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{1}{2} \left[\left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial w}{\partial x} \right)^2 \right], \\ \varepsilon_y &= \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{1}{2} \left[\left(\frac{\partial u}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial w}{\partial y} \right)^2 \right], \\ \varepsilon_z &= \frac{\partial w}{\partial z} + \frac{1}{2} \left[\left(\frac{\partial u}{\partial z} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial z} \right)^2 + \left(\frac{\partial w}{\partial z} \right)^2 \right], \end{aligned} \quad (6)$$

где $\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z$ – компоненты тензора деформаций в декартовых координатах; u, v, w – соответствующие им перемещения точек поврежденных элементов конструкции, определяемые как разности координат начального и конечного состояний рассматриваемого объема.

Методика построена на решении обратной задачи теории пластичности. Если в прямой задаче теории пластичности перемещения u, v, w являются искомыми величинами, то в обратной задаче они известны и пропорциональны остаточным деформациям. При этом упругие перемещения u_y, v_y, w_y при разгрузке исчезают и в соответствии с теоремой А.А. Ильюшина о разгрузке составляют около 5%.

Энергия, затраченная на деформацию отдельных элементов конструкции, суммируется

$$U_r = \sum_{i=1}^N U_i, \quad (7)$$

где каждая составляющая суммы (5) определяется путем сканирования повреждения, по результатам которого вычисляется объем пластически деформированного материала V_i , после чего U_i определяется по формуле

$$U_i = \int \sigma_s V_i dx dy dz, \quad (8)$$

где σ_s – предел текучести материала кузова.

Процесс травмирования пешехода также тщательно исследуется (см. рисунок 1). Тело пешехода, получив удар о капот и лобовое стекло (стойку лобового стекла), отбрасывается в сторону. Когда скорость автомобиля гасится, тело может упасть рядом с передней дверью автомобиля. Отбрасывание и падение тела с ударом о грунт (дорожное покрытие), другие предметы приводит к образованию новых телесных повреждений и разрывам внутренних органов.

Приданная телу потерпевшего кинетическая энергия заставляет скользить тело по грунту (дороге). В результате этого скольжения образуются характерные полосчатые следы скольжения на одежде и скользящей поверхности тела пострадавшего в виде загрязнений, стёртости тканей, ориентированных в направлении скольжения тела, параллельных полосчатых ссадин, полосчатых поверхностных ран с внедрением в них частиц поверхности, по которой происходило скольжение. При таком скольжении возможны соударения с предметами, находящимися на пути пострадавшего.

Если автомобиль имеет обтекаемую форму со скошенным кпереди капотом и ветровым стеклом, а также скорость не менее 50 км в час, то тело пострадавшего нередко подбрасывается почти вертикально, перебрасывается через автомобиль и падает позади него возле места наезда, иногда под колёса позади идущего транспорта.

Удар легковым автомобилем может наноситься не только ниже центра тяжести пешехода, но и в область центра его тяжести (таз, верхняя часть бедра). В этих случаях имеет место отбрасывание тела вперед, после чего тело падает и ударяется о дорожное покрытие, скользит по нему. Повреждения от удара о дорогу и следы от скольжения тела по дороге располагаются на противоположной первичному удару стороне тела.

Энергия, затраченная на травмирование и удары пешехода, определяется суммированием энергии, затраченной на k -ую травму:

$$U_{r_2} = \sum_{k=1}^K U_k, \quad (9)$$

где каждое k -ое повреждение происходит с поглощением энергии удара. Величины U_k находятся из таблицы 1 [3], в которой каждый номер k соответствует позиции на рисунке 2.

Таблица 1 – Значение величины U_k

k	1	2	3	4	5	6	7
U_k , Дж	35,4	28,2	29,5	15,3	18,6	21,5	17,4

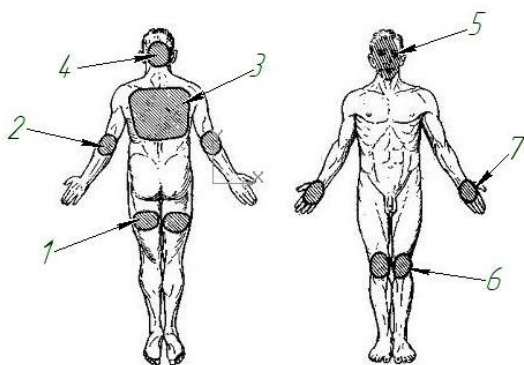


Рисунок 2 – Схема идентификации повреждений человека: 1 – тазобедренная область; 2 – рука; 3 – грудная клетка; 4 – затылок; 5 – лицо; 6 – колени; 7 – кисти рук

Для каждого k -го случая имеется схема (рисунок 3), в соответствии с которой величины, приведенные в таблице 1, могут быть уточнены.

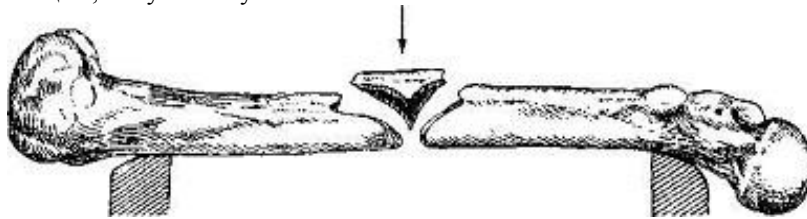


Рисунок 3 – Схема k -го повреждения

Далее автомобиль перемещается от точки А к точкам В и С (рисунок 1), проходя расстояния, соответственно, S_2 и S_T . В точке D выступающая часть бампера будет находиться при остановке автомобиля. Биообъект сначала отклонится от вертикали, затем будет скользить по капоту до момента соприкосновения с элементами кузова автомобиля (ветровое стекло, рама ветрового стекла, панель крыши и т.д.), после чего будет отброшен в точку Е. Анализ составляющих U_i и U_r позволяет через U_0 определить скорость транспортного средства

$$V_a = \sqrt{2U_0/m_a} . \quad (10)$$

Реконструкция ДТП типа «наезд на пешехода» является сложной задачей, требующей комплексной экспертизы происшествия, тем не менее, все этапы процесса наезда можно представить с высокой точностью с помощью математических моделей, которые позволяют провести компьютерное моделирование и расчет результатов экспертизы в автоматическом режиме, что значительно сокращает сроки экспертизы и повышает точность ее результатов.

Направление дальнейших исследований. Необходимо повысить точность экспериментальных показателей процесса, расширить и уточнить модель процесса взаимодействия человека с транспортным средством.

Библиографический список использованной литературы

1. Новые методы экспертизы ДТП [Электронный ресурс]. — Электрон. текстовые данные (32518 bytes) — 2009. — Режим доступа: <http://bsfp.media-security.ru> Monday, 21 June 2009 10:30:00.
2. Федоров В.А. Расследование дорожно-транспортных происшествий / Под общ. ред. В.А. Федорова, Б.Я.Гаврилова. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Изд-во «Экзамен», 2003. — 464 с.
3. Кашканов В.А. Удосконалення методики розрахунку гальмівного шляху автомобіля при екстремому гальмуванні без блокування коліс: автореф. дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.22.20 «Експлуатація і ремонт средств транспорта» / В.А. Кашканов. — Харьков: Изд-во ХНАДУ, 2006. — 20 с.
4. Суворов Ю.Б. Судебная дорожно-транспортная экспертиза / Ю.Б. Суворов. — М.: МАДИ, 2006. — 99 с.

Поступила в редакцию 20.06.2010 г.

Торлін В.М., Остроухова А.С. Визначення швидкості автомобіля при наїзді на пішохода

Розглядається завдання моделювання і реконструкції дорожньо-транспортного випадку типу «наїзд на пішохода». Отримані математичні моделі реалізуються у вигляді програмного забезпечення, що дозволяє скоротити час експертизи і підвищити точність результатів.

Ключові слова: автотехнічна експертиза, енергетичний аналіз.

Torlin V.N., Ostroikhova A.S. Determining a car's speed of running into a pedestrian

The task of road traffic accident reconstruction and design of a run into a pedestrian model are discussed. The obtained mathematical models are realized in a form of software that allows for shortening the examination time and promoting accuracy of results.

Keywords: motor-vehicle examination, power analysis.