

КРАТКИЙ ОБЗОР НЕКОТОРЫХ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СКОРОСТИ АВТОМОБИЛЯ ПЕРЕД СТОЛКНОВЕНИЕМ

Виноградова Т.В., Кулида Ю.В.

ФГБОУ ВПО Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, Россия (190005, Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4), e-mail:rector@spbgasu.ru

Проблема достаточно точного определения скорости автомобиля перед столкновением с другим транспортным средством является одной из самых актуальных в экспертной практике. Известное значение данного параметра позволяет установить как виновника дорожно-транспортного происшествия (ДТП), так и степень вероятности нарушения правил дорожного движения. Существует несколько методик для определения скорости автомобиля перед столкновением с другим транспортным средством. В данной статье рассмотрены: 1. Методика, базирующаяся на анализе следов торможения (юза), зафиксированных на дорожном покрытии, на месте ДТП; 2. Методика определения скорости автомобиля при известном значении коэффициента влияния соударяющихся автомобилей; 3. Методика, основанная на определении работ сил сопротивления перемещениям автомобилей в процессе их отбрасывания после столкновения; 4. Методика оценки объема деформации кузова легковых автомобилей, предназначенная для определения доли затрат кинетической энергии ΔE на развитие деформаций и эквивалентную данным затратам скорость. В статье представлены основные положения данных методик, а также возможные недостатки в точности установления скорости.

Ключевые слова: дорожно-транспортное происшествие; скорость автомобиля перед столкновением; следы торможения; теория удара; коэффициент восстановления; закон сохранения энергии; кинетическая энергия; деформация транспортных средств.

THE BRIEF REVIEW OF SOME EXISTING METHODS FOR DETERMINING VEHICLE SPEED THE COLLISION

Vinogradova T.V., Kulida J.V.

Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering (SPSUACE), Russia (190005, St. Petersburg, 2-nd Krasnoarmeiskaya St. 4)

The problem sufficiently precise definition of speed of the car before a collision is one of the most actual in expert practice. The known value of this parameter allows to establish who is the culprit of the accident (RTA) and whether the violation of traffic rules. There are several methods for determining the speed of the car before the collision with another vehicle. This article discusses: 1. Method based on the analysis of traces of braking, fixed on the pavement; 2. Method of determining the speed of the car at a known value of the coefficient of restitution of the colliding vehicles; 3. Method based on the determination of the resistance forces work to move the car in the process of discarding them after the collision; 4. Method of estimating the amount of deformation of the car bodies. This method is based on determination of kinetic energy expended in the development of the deformation and the determination of the velocity equivalent this energy costs. This article presents the main points of these methods, as well as possible shortcomings in determining the speed of cars.

Keywords: Accident car; vehicle speed before the collision; traces of braking; impact theory; coefficient of restitution; law of energy conservation; kinetic energy; deformation vehicles.

Введение

При расследовании причин ДТП наиболее важным вопросом является установление скорости автомобиля перед столкновением с другим транспортным средством. Как правило, в ходе предварительного следствия, для ее определения используют показания свидетелей, потерпевших либо обвиняемых в данном ДТП. Но как показывает практика, полученные показания не всегда достоверны и имеют значительный разброс. Это обусловлено тем, что, с одной стороны, каждый наблюдатель склонен либо к переоценке скорости, либо к ее недооценке, а с другой – рассеянием индивидуальной оценки вокруг ее среднего значения

[3].

Анализ методов определения

Более объективный результат, при определении скорости автомобиля перед столкновением, можно получить лишь при оценке последствий ДТП (следы торможения, положение автомобилей, деформация кузова). В настоящее время разработан ряд методик, позволяющих установить с той или иной погрешностью скорость автомобиля перед столкновением.

Так методика, описанная в литературе [3,4], базируется на анализе следов торможения (юза), зафиксированных на дорожном покрытии, на месте ДТП. Если при экстренном торможении колеса транспортного средства доводятся до блокировки, его скорость перед началом торможения определяется по формуле [3]:

$$V_a = 0,5 \cdot t_3 \cdot j + \sqrt{2 \cdot S_{ю} \cdot j}, \quad (1)$$

где V_a – искомая скорость движения, м/с;

t_3 – время нарастания замедления при экстренном торможении, с;

j – установившееся максимальное замедление, м/с²;

$S_{ю}$ – длина следа юза колеса до полной остановки транспортного средства, м.

При выводе этой формулы исходили из условия, что длина следа торможения равна расстоянию, на которое перемещается транспортное средство в процессе торможения его с максимальным замедлением.

Величина установившегося максимального замедления j определяется экспериментальным или расчетным путем с учетом обстоятельства происшествия [4].

Данный способ определения скорости автомобиля перед столкновением имеет ряд существенных недостатков, таких как:

- на влажных покрытиях следы юза обычно мало заметны, а на обледенелой и укатанной заснеженной дороге могут быть не видны совсем. Кроме того, частицы резины протектора, образующие следы юза на покрытии, с течением времени выветриваются или смываются, вследствие чего длина следа уменьшается;
- не учитывается гашение скорости автомобиля при столкновении с другим транспортным средством.

Данная методика определения скорости автомобиля эффективна лишь в случае нахождения автомобиля в конце тормозного следа, длина которого замеряется до задних колес. Такое положение автомобиля характерно для случая наезда на пешехода.

В случае столкновения автомобилей наибольшее распространение в экспертной практике получили методики по определению скорости, основанные на положениях теории удара [1,2,3]. В результате столкновения автомобилей кинетическая энергия удара гасится за очень короткое время и на небольшом расстоянии. Это вызывает появление ускорений и пропорциональных им ударных сил значительной величины. Практически возникают силы, составляющие для легковых автомобилей от нескольких десятков до 400 кН. Для автобусов и грузовых автомобилей эти силы могут возрастать до нескольких тысяч кН.

В теории удара используется понятие коэффициента восстановления $K_{уд}$ – величины, характеризующей потери механической энергии соударяющихся тел вследствие появления в них остаточных деформаций и их нагревания. При прямом ударе тел коэффициент восстановления представляет собой отношение относительных скоростей тел перед ударом и после него [3]:

$$K_{уд} = \frac{v_2' - v_1'}{v_1 - v_2}, \quad (2)$$

где v_1 и v_2 – скорости тел до удара, м/с;

v_1' и v_2' – скорости тех же тел после удара, м/с.

Если коэффициенты соударяющихся тел равны, то, зная скорости после v_1' и v_2' удара, можно найти начальные значения скоростей [3]:

$$\begin{aligned} v_1 &= \frac{[(m_1 \cdot v_1' + m_2 \cdot v_2') \cdot K_{уд} - m_2 \cdot (v_2' - v_1')]}{(m_1 + m_2) \cdot K_{уд}}; \\ v_2 &= \frac{[(m_1 \cdot v_1' + m_2 \cdot v_2') \cdot K_{уд} - m_1 \cdot (v_2' - v_1')]}{(m_1 + m_2) \cdot K_{уд}}, \end{aligned} \quad (3)$$

где m_1 и m_2 – массы соударяющихся тел, кг;

$K_{уд}$ – коэффициента восстановления.

Для определения скорости автомобилей до столкновения по формуле (3) необходимо знать величину коэффициента восстановления для соударяющихся автомобилей, достоверных данных о значении которого весьма немного. Непосредственное использование теории удара в экспертизе ДТП малоэффективно по ряду причин, таких как:

- практически невозможно установить значения коэффициента восстановления расчетным путем;
- в теории рассматривается столкновение тел простых форм, автомобили же представляют собой сложные механические системы, имеющие различные очертания и механические свойства;
- в теории контакт тел рассматривается в точке, на практике же автомобили взаимодействуют на обширных участках и т.п.

В [3] описывается методика определения скоростей автомобилей при их столкновении, основанная на определении работ сил сопротивления перемещениям автомобилей в процессе их отбрасывания после столкновения. Согласно [3], начальные скорости автомобилей 1 и 2 при перекрестном столкновении можно определить, предположив, что кинетическая энергия каждого автомобиля после удара перешла в работу трения шин по дороге во время поступательного перемещения на расстояние $S_{\text{пн1}}$ ($S_{\text{пн2}}$) и поворота вокруг центра тяжести на угол ε_1 (ε_2).

Работа трения шин по дороге при поступательном перемещении автомобиля 1:

$$A' = m_1 \cdot g \cdot S_{\text{пн1}} \cdot \varphi_y, \quad (4)$$

где m_1 – масса автомобиля 1, кг;

$S_{\text{пн1}}$ – расстояние, пройденное автомобилем 1 после удара, м;

φ_y – коэффициент поперечного сцепления шин с дорогой.

То же при повороте автомобиля 1 относительно его центра тяжести на угол ε_1 :

$$A'' = R_{z1} \cdot a_1 \cdot \varepsilon_1 \cdot \varphi_y + R_{z2} \cdot b_1 \cdot \varepsilon_1 \cdot \varphi_y, \quad (5)$$

где a_1 и b_1 – расстояние от переднего и заднего мостов автомобиля 1 до его центра тяжести, м;

ε_1 – угол поворота автомобиля 1 вокруг его центра тяжести, рад;

R_{z1} и R_{z2} – нормальные реакции дороги, действующие на передний и задний мосты автомобиля 1 и определяемые, как:

$$R_{z1} \approx \frac{m_1 \cdot g \cdot b_1}{L'}; R_{z2} \approx \frac{m_1 \cdot g \cdot a_1}{L'}, \quad (6)$$

где L' – база автомобиля 1, м.

$$\text{Следовательно: } A' + A'' = \frac{m_1 \cdot (v'_1)^2}{2} = m_1 \cdot g \cdot \left(S_{\text{пн1}} \cdot \varphi_y + \frac{2 \cdot a_1 \cdot b_1 \cdot \varepsilon_1 \cdot \varphi_y}{L'} \right)$$

Откуда скорость автомобиля 1 после столкновения:

$$v'_1 = \sqrt{2 \cdot g \cdot \varphi_y \left(S_{\text{пн1}} + \frac{2 \cdot a_1 \cdot b_1 \cdot \varepsilon_1}{L'} \right)} \quad (7)$$

Аналогично определяется скорость автомобиля 2 после столкновения:

$$v'_2 = \sqrt{2 \cdot g \cdot \varphi_y \left(S_{\text{пн2}} + \frac{2 \cdot a_2 \cdot b_2 \cdot \varepsilon_2}{L''} \right)}, \quad (8)$$

где $S_{\text{пн2}}$ – расстояние, пройденное автомобилем 2 после удара, м;

a_2 и b_2 – расстояние от переднего и заднего мостов автомобиля 2 до его центра тяжести, м;

ε_2 – угол поворота автомобиля 2 вокруг его центра тяжести, рад;

L'' – база автомобиля 2, м.

Скорости автомобилей 1 и 2 до перекрестного столкновения окончательно определяются из закона сохранения количества движения с учетом формул (7), (8):

$$v_1 = \frac{\left[\sqrt{2 \cdot g \cdot \varphi_y} \cdot \left(m_1 \cdot \cos \Phi_1 \cdot \sqrt{S_{\text{пн1}} + \frac{2 \cdot a_1 \cdot b_1 \cdot \varepsilon_1}{L'}} + \right. \right.}{m_1} \left. \left. + m_2 \cdot \cos \Phi_2 \cdot \sqrt{S_{\text{пн2}} + \frac{2 \cdot a_2 \cdot b_2 \cdot \varepsilon_2}{L''}} \right) \right]}{m_1} \quad (9)$$

$$v_2 = \frac{\left[\sqrt{2 \cdot g \cdot \varphi_y} \cdot \left(m_1 \sin \Phi_1 \cdot \sqrt{S_{\text{пн1}} + \frac{2 \cdot a_1 \cdot b_1 \cdot \varepsilon_1}{L'}} + \right. \right.}{m_2} \left. \left. + m_2 \cdot \sin \Phi_2 \cdot \sqrt{S_{\text{пн2}} + \frac{2 \cdot a_2 \cdot b_2 \cdot \varepsilon_2}{L''}} \right) \right]}{m_2}$$

где $S_{\text{пн1}}$, $S_{\text{пн2}}$, – расстояния, на которые переместились центры тяжести автомобилей 1 и 2 соответственно после перекрестного столкновения, м;

Φ_1 , Φ_2 – углы, на которые переместились центры тяжести автомобилей 1 и 2 соответственно после перекрестного столкновения, рад.

При использовании данной методики необходимо учитывать, что расстояния $S_{\text{пн1}}$ и $S_{\text{пн2}}$ и углы Φ_1 и Φ_2 , характеризующие перемещения центров тяжести автомобиля, могут значительно отличаться от длины и углов наклона следов, оставленных шинами на дороге.

Для более точного установления скорости автомобиля перед столкновением необходимо знать, какая часть его кинетической энергии, высвобождаемой при ударе с другим транспортным средством, вызывает механические повреждения и переходит в потенциальную энергию пластического деформирования кузова автомобиля. Методика оценки объема деформации кузова легковых автомобилей, изложенная в литературе [1,2], основана на алгоритме Crash 3[1,2,5] и предназначена для определения доли затрат кинетической энергии ΔE на развитие деформаций и эквивалентную данным затратам скорость. Данная методика используется в таких специализированных продуктах, как: Crash 3, PC Crush 7.2, Big Sums Pro, Damage, AR pro 7 и других подобных. Согласно [1,2], кинетическая энергия, затраченная на развитие деформации (на примере 2-х характерных точек зоны локализации деформаций), определяется, как:

$$\Delta E = (1 + \text{tg}^2 \delta^2) \cdot L_{\text{д}} \cdot \left[\frac{m_A \cdot k_0 \cdot k_1}{2 \cdot g \cdot L_{\text{д}}} \cdot (C_1 + C_2) + \frac{m_A \cdot k_1^2}{6 \cdot g \cdot L_{\text{д}}} \cdot (C_1 + C_1^2 + C_2 + C_2^2) + \frac{3 \cdot m_A \cdot k_0^2}{4 \cdot g \cdot L_{\text{д}}} \right], \quad (10)$$

где δ – угол столкновения транспортных средств, град;

L_D – ширина зоны локализации деформаций, мм;

m_A – масса автомобиля, кг;

k_0 – коэффициент жесткости (квадратичная постоянная), определяемый по результатам краш-тестов [2,5];

k_1 – коэффициент жесткости, определяемый по результатам краш-тестов [2,5];

C_1, C_2 – величина деформации в характерной точке, определяемая линейной съемкой объемных деформаций транспортных средств, мм.

Методика определения данных деформаций подробно описана в [1,2].

Скорости автомобилей 1 и 2 перед столкновением, в простейшем случае, определяются как слагаемое из следующих составляющих: скорости погашенной при развитии локальной зоны деформации автомобиля при ударе – ΔV_{crush} , и скорости автомобиля, к моменту столкновения исходя из пути их отбрасывания – V_{OT} [1,2]:

$$V_{\Sigma} = \sqrt{V_{OT}^2 + \Delta V_{crush}^2} \quad (11)$$

Скорости автомобилей 1 и 2 к моменту их столкновения можно получить из закона сохранения энергии:

$$\begin{aligned} v_{OT1} &= v'_1 \cdot \cos \alpha_1 + \frac{m_2}{m_1} \cdot v'_2 \cdot \cos \alpha_2 \\ v_{OT2} &= v'_2 \cdot \sin \alpha_2 + \frac{m_1}{m_2} \cdot v'_1 \cdot \sin \alpha_1 \end{aligned} \quad (12)$$

где α_1 и α_2 – углы отбрасывания автомобилей 1 и 2 соответственно, град;

v'_1 и v'_2 – скорости после столкновения автомобилей 1 и 2 соответственно, км/час.

Поскольку расход энергии на перемещение автомобилей 1 и 2 после ДТП незначителен, то их скорости после столкновения можно определить исходя из энергетических затрат перемещения центра масс автомобиля после наезда на препятствие [1,2]:

$$\begin{aligned} v'_1 &= \sqrt{254 \cdot \phi' \cdot S_1} \\ v'_2 &= \sqrt{254 \cdot \phi' \cdot S_2} \end{aligned} \quad (13)$$

где S_1 и S_2 – расстояние, пройденное автомобилем 1 и 2 после удара, м;

ϕ' – коэффициент поперечного сцепления шин с дорогой.

Скорость ΔV_{crush} , затраченная на развитие локальной зоны деформации автомобиля после столкновения определяется по полученному значению кинетической энергии ΔE (10) [1,2]:

$$\Delta V_{crush} = \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta E}{m_A}} \quad (14)$$

где m_A – масса автомобиля, кг.

Таким образом, можно получить оценочную скорость движения автомобиля до столкновения с другим транспортным средством с учетом полученных им деформаций в результате ДТП.

Недостатком данного метода является отсутствие возможности учесть ряд факторов, существенно влияющих на деформации, полученные автомобилем в результате столкновения. К таким факторам можно отнести техническое состояние автомобиля на момент столкновения, особенности конструкции кузова, состояние тормозной системы, срок службы автомобиля и т.п. Таким образом, данный метод определения скорости автомобиля перед столкновением требует дальнейшей проработки, с целью включения неучтенных исходных данных, значительно влияющих на конечный результат расчета.

Заключение

Рассмотренные в статье методы определения скорости автомобиля до столкновения, к сожалению, не позволяют получить абсолютно достоверную информацию о исходной скорости движения. Погрешности вычисления, в свою очередь, приводят к недостоверной картине произошедшего ДТП.

В настоящее время на мировом рынке программного обеспечения существует достаточно много различного рода программных средств, применяемых при анализе ДТП и позволяющих определить также и скорость автомобиля перед столкновением. К сожалению, в России они практически не известны. Однако роль специализированного программного обеспечения в экспертных исследованиях при реконструкции ДТП неопределима, а активное развитие и совершенствование делает многие программные комплексы мощным инструментом эксперта [1,2].

Список литературы

1. Евтюков С.А., Васильев Я.В. Дорожно-транспортные происшествия: расследование, реконструкция, экспертиза / под ред. проф. С.А. Евтюкова. – СПб.: Изд-во ДНК, 2008. – 392 с.
2. Евтюков С.А., Васильев Я.В. Экспертиза дорожно-транспортных происшествий. Справочник. – СПб.: Изд-во ДНК, 2006. – 536 с.
3. Иларионов В.А. Экспертиза дорожно-транспортных происшествий: учебник для вузов. – М.: Транспорт, 1989. – 255 с.
4. Кристи Н.М. Решение отдельных типовых задач судебной автотехнической экспертизы. Справочное пособие для экспертов-автотехников. – М.: ВНИИСЭ, 1988. – 71 с.

5. Noga T., Oppenheim T. CRASH3 User's Guide and Technical Manual. – NHTSA, U.S. Dept. of Transportation, Washington, DC, 1981.

Рецензенты:

Бардышев О.А., д.т.н., профессор, генеральный директор ЗАО «Санкт-Петербургская техническая экспертная компания», г. Санкт-Петербург.

Ушаков А.И., д.т.н., профессор, директор ООО «Научно-производственный информационно-консультационный центр-плюс», г. Санкт-Петербург.