

К ВОПРОСУ О ТОЧНОСТИ РАСЧЕТОВ И КАТЕГОРИЧНОСТИ ВЫВОДОВ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ АВТОТЕХНИЧЕСКИХ ЭКСПЕРТИЗ"

(доклад на международной конференции «Проблемные вопросы развития современных методологий экспертного анализа ДТП», Киев, 18-19.10.2006)

Д.т.н. Валентинас Митунявичус
Вильнюсский технический университет им. Гедиминаса

Точность расчетов при реконструкции дорожно-транспортных происшествий (ДТП) является очень важным фактором, во многих случаях определяющим *категоричность* сформулированных выводов на поставленные перед экспертом вопросы. В свою очередь, от категоричности выводов может зависеть степень виновности того или иного участника ДТП. Проблематика точности произведенных расчетов и категоричности выводов автотехнического заключения стала еще более актуальна в последнее время в связи с растущей тенденцией возмещения большого (в денежном выражении) как материального, так и морального ущерба. Поэтому, сегодняшняя ситуация в деле производства автотехнических экспертиз требует применения методик и технологий, обеспечивающих не только необходимую точность производимых вычислений, но и позволяющих всесторонне исследовать механизм имевшего места ДТП.

В странах Запада автотехническое исследование с применением специализированных компьютерных программ является стандартным приемом – как для моделирования механизма ДТП, так и для его визуализации, что позволяет не только всесторонне производить исследование, но и более понятно и наглядно представить его результаты. Здесь специализированные компьютерные программы для анализа ДТП расцениваются как компьютеризованные версии известных законов механики, а также фундаментальных исследований в области механики удара и динамики автомобилей. Поэтому, на Западе такие программы как правило не требуют какой-либо сертификации или апробации - эксперт-автотехник волен в выборе методики и несет полную ответственность за объективность и научность произведенного исследования.

На сегодняшний день в государственных учреждениях системы Министерств Юстиции и Министерств Внутренних Дел в странах СНГ в основном работают по утвержденным к применению несколько десятилетий назад методикам. Математическая модель этих методик представляет собой реализацию элементарных классических законов механики. Компьютерные программы (CARAT, PC-Crash) в странах СНГ до сих не нашли широкого распространения, в то время как в странах Балтии такие программы применяются уже сравнительно давно. Эксперты-автотехники, применяющие в своей практике

специализированные программы для анализа ДТП, иногда сталкиваются с определенными трудностями, когда необходимо аргументировать доказательную силу произведенного исследования. К сожалению, оппонировать приходится не только адвокатам, но и многим экспертам–автотехникам «старой закалки», которые признавая непоколебимость классических законов механики, с недоверием относятся к их компьютерной реализации. Более того, на одном из сайтов частных автоэкспертных компаний можно прочитать целый ряд критических статей в отношении применения компьютерных программ (см. напр., www.cneat.ru). В одной из таких статей говорится о том, что западные программы для реконструкции ДТП принципиально не отвечают требованиям относительно точности произведенных расчетов, так как *«...согласно рекомендациям РФЦСЭ, скорость автомобиля считается определенной достоверно, если погрешность ее определения не превышает 5%¹»*.

Поэтому, автор считает необходимым оговорить некоторые аспекты применения компьютерных программ для анализа ДТП с точки зрения точности расчетов и моделирований, и как результат произведенного исследования – и в отношении категоричности выводов. Рассмотрим наиболее распространенные случаи автотехнических исследований, выполняемых традиционными методами и с применением специализированных компьютерных программ, где методики расчетов в принципе следует считать объективными, поскольку их математическую основу составляют известные законы механики.

Реконструкция ДТП во многих случаях сводится к определению скорости движения автотранспортного средства (АТС) или другого движущегося объекта. Установив скорость, имеется возможность рассчитать и расстояние АТС до некоторого ориентира (места наезда или столкновения, коридора движения и т.д.) в определенный момент времени, что дает основу для оценки технической возможности у водителя избежать ДТП. Другие параметры, определяющие движение объекта (направляющий угол) принято считать однозначно привязанными к конкретной дорожной ситуации, либо они практически не учитываются (курсовой угол и как следствие угол дрейфа, угловая скорость) при применении традиционных методик автотехнического исследования.

В свою очередь, основополагающими факторами при определении скорости движения объекта могут быть:

- значение замедления – при расчете потери кинетической энергии на преодоление трения в процессе движения объекта (напр., торможение, движение транспортных средств после столкновения и т.д.);

¹ Источник информации в публикации не указан

- значение ударного импульса - при расчете потери кинетической энергии в процессе столкновений.

Универсальная формула, которая применима для определения скорости по потерям кинетической энергии на преодоления сопротивления, величина которого выражается через значение соответствующего замедления, имеет вид:

$$V = \sqrt{2 \cdot j \cdot S} \quad (1),$$

где: j – среднее значение замедления на соответствующем участке длиной S .

В практике автотехнической экспертизы одна из стандартных задач - определение скорости по длине следа торможения. Для расчетов при этом применима несколько видоизмененная формула, в которой учтены потери кинетической энергии при нарастании замедления:

$$V = 0,5 t_3 \times j + \sqrt{2 \cdot j \cdot S} \quad (2)$$

где: t_3 - время нарастания замедления;

В последней формуле первое слагаемое незначительно по величине. Поэтому, можно утверждать, что скорость движущегося объекта пропорциональна величине квадратного корня из значения замедления ($V \sim \sqrt{j}$).

Значение замедления автотранспортного средства при торможении определяется по существу двумя основными факторами: 1) коэффициентом сцепления колес автотранспортного средства с дорожной поверхностью; 2) технической возможностью автотранспортного средства реализовать близкое к максимальному по условиям трения замедление, что определяется конструкцией и техническим состоянием тормозной системы.

Замедление АТС при иных, нежели торможение, условиях движения определяется тем же сцеплением в контакте с дорожной поверхностью, а также степенью проскальзывания колес (напр., степенью блокировки колес).

Если допустить, что коэффициент эффективности торможения для конкретного автотранспортного средства является постоянным, то коэффициент сцепления является основным фактором, определяющим значение замедления. В свою очередь, наиболее влияющими на сцепные свойства шин с дорожной поверхностью являются:

- тип и состояние дорожного покрытия
- тип и состояние шин автотранспортного средства
- климатические условия
- скорость движения автотранспортного средства

В практике же автотехнической экспертизы в основном учитывается лишь первый фактор (тип и состояние дорожного покрытия), пределы значений коэффициента сцепления для основных типов и состояний дорожных покрытий представлены далее в таблице.

| № | Тип и состояние дорожного покрытия | Значение коэффициента сцепления μ^2 | Параметр $\Delta = \sqrt{\mu}$ ($\Delta_{\min} \div \Delta_{\max}$) | Потенциальная погрешность определения скорости % ($\Delta_{\max} - \Delta_{\min}$)/ Δ_{\max} , $\times 100\%$ |
|----|--|---|--|--|
| 1. | Асфальтобетонное или цементобетонное, сухое | 0,7÷0,8 | 0,837÷0,894 | 6,4 |
| 2. | Асфальтобетонное или цементобетонное, мокрое | 0,35÷0,45 | 0,592÷0,671 | 11,8 |
| 3. | Дорога, покрытая укатанным снегом | 0,2÷0,3 | 0,447÷0,548 | 18,4 |
| 4. | Обледенелая дорога | 0,1÷0,2 | 0,316÷0,447 | 29,3 |

Определим, какова потенциальная погрешность в определении скорости движения при выборе значения коэффициента сцепления из указанных пределов для типа и состояния дорожного покрытия. Результаты некоторых несложных расчетов, произведенных с целью определения погрешности расчета скорости (по потерям кинетической энергии на преодоление трения) представлены в таблице. Как указано выше, скорость по существу пропорциональна квадратному корню из значения замедления, следовательно – и квадратному корню из значения коэффициента сцепления $\sqrt{\mu}$. Поэтому, разница значений квадратного корня из минимального и максимального значений коэффициента сцепления определяет и относительную величину погрешности определения скорости движения.

Таким образом, потенциальная погрешность определения скорости (принимая за основу табличные значения коэффициента сцепления) для асфальтобетонного покрытия (в зависимости от состояния – сухое-мокрое) составляет 6,4 ÷ 11,8 %, а в сложных зимних условиях (покрытая укатанным снегом или обледенелая дорога) – практически до 30%!

Значение коэффициента сцепления, определяющее и значение установившегося замедления, эксперты – автотехники вправе выбирать из указанных пределов (если коэффициент на месте ДТП не установлен). Поэтому, потенциальная погрешность автотехнического исследования при реконструкции самой распространенной задачи – определении скорости движения по длине следа торможения - неизбежно превышает упомянутый предел в 5%! Поэтому, о точности автотехнического исследования и

² Источник : Краткий автомобильный справочник, М., НИИАТ, 1994 г.

категоричности вывода эксперта следует говорить несколько в ином смысле – в плане некоторых предельных значений. Такой прием как раз применяется в практике автотехнической экспертизы – рассчитывая по некоторому регламентированному значению замедления (напр., для легковых автомобилей на сухом асфальтобетонном покрытии³ - $6,7 \div 6,8 \text{ м/с}^2$, которое соответствует максимально возможному замедлению для минимального значения коэффициента сцепления $0,7 \times 9,81 = 6,87 \text{ м/с}^2$) по существу определяют примерное значение минимальной скорости АТС. Такой подход позволяет все же еще не совсем категорично говорить о значении установленной скорости. Это объясняется тем, что Правилом ЕЕК ООН №13 установлены требования в отношении к конструкции тормозной системы в плане обеспечения минимального значения замедления:

$$j \geq 9.81 \times (0.10 + 0,85 \times (\mu - 0.20)) \quad (3).$$

Несложно определить, что при коэффициенте сцепления $\mu = 0,80$ тормозная система должна обеспечить замедление в $j = 6,87 \text{ м/с}^2$ (т.е. 87,5% от теоретически возможного значения - $0,8 \times 9,81 = 7,85 \text{ м/с}^2$ ($6,87 \times 100\% / 7,85 \approx 87,5\%$). При коэффициенте сцепления $\mu = 0,20$ – регламентируемое замедление составляет $j = 0,98 \text{ м/с}^2$ (т.е. 50 % от теоретически возможного значения - $0,2 \times 9,81 = 1,96 \text{ м/с}^2$ ($0,98 \times 100\% / 1,96 \approx 50\%$). Данные требования применимы к процедуре гомологации нового транспортного средства, в процессе же эксплуатации тормозная эффективность по причине натурального износа и старения может быть несколько меньше (это учитывается через коэффициент эффективности торможения). Поэтому, минимальные значения замедления АТС в эксплуатации регламентируются соответствующими нормативными актами (напр., ГОСТ Р 51709-2001 устанавливает, что установившееся замедление для легковых автомобилей не должно быть меньше $5,2 \text{ м/с}^2$).

Кроме потенциальной погрешности в выборе значения коэффициента сцепления в зависимости от типа и состояния дорожного покрытия, достаточно существенными могут быть такие факторы, как зависимость коэффициента сцепления от типа и состояния шин автотранспортного средства (предназначение шины- летняя или зимняя, остаточная глубина рисунка протектора и т.д.) и климатических условий (напр., температуры воздуха). На сегодняшний день в практике автотехнической экспертизы данные факторы практически не используются, хотя обобщающие эмпирические зависимости установлены. При производстве автотехнических экспертиз традиционными методами практически не используются также зависимости снижения сцепных свойств шин с ростом скорости движения, поскольку без применения вычислительной техники учет данного фактора представляет определенные трудности.

³ Источник: Суворов Ю.Б. Судебная дорожно-транспортная экспертиза. М., Из-во «Экзамен», 2004.

Таким образом, потенциальная погрешность производимых автотехнических исследований при использовании известных методик (напр., для определения скорости по длине следа торможения) в принципе является в значительной мере зависящей от конкретных условий и даже применение некоторого минимального регламентированного значения замедления (по условиям сцепления) не обеспечивает полную категоричность вывода относительно скорости движения. Говоря с методологической точки зрения, было бы вообще некорректным ставить требование к точности автотехнического исследования, поскольку в таком случае было бы необходимым и обоснование полученной точности для конкретного расчета, что, учитывая множество влияющих факторов, было бы чрезвычайно проблематичным. Тем не менее, нет оснований считать некорректным или неточным расчет на основе применения некоторых средних или предельных значений, установленных, напр., на основе обработки статистических данных. В этом случае данные для расчета эксперт должен выбирать в зависимости от характера поставленной задачи и необходимости определенной категоричности выводов.

Специализированные компьютерные программы для реконструкции ДТП в большинстве случаев имеют так называемый кинематический модуль расчета, где вычисления выполняются по аналогичным формулам. Например, для расчета скорости по длине тормозного пути используется алгоритм расчета равнозамедленного движения (для фазы установившегося замедления) и алгоритм равномерного роста замедления (для фазы нарастания замедления). Таким образом, кинематический расчет представляет собой не что иное, как компьютерную реализацию расчета по известным применяемым в автотехнической экспертизе формулам. Поэтому, в этом случае компьютерная специализированная программа в принципе не может обеспечить иную точность выполняемых расчетов, чем при использовании традиционных методик.

Следует также отметить важное преимущество, которым может воспользоваться эксперт-автотехник при использовании специализированных компьютерных программ - возможность исследовать динамический режим движения АТС (т.е., режим движения при воздействии реальных нагрузок и их моментов). Эта стандартная функция такого рода программ позволяет оценить значения параметров движения АТС (в частности - значение замедления для конкретных условий движения), при этом учитывая следующие факторы:

- степень блокировки каждого из колес, а также ситуацию полной или частичной разгерметизации одного или нескольких колес;
- различные значения коэффициента сцепления для каждого из колес, в том числе - зависимость этого коэффициента от скорости;

- характеристики тормозной системы (с АБС или без нее, неисправность регулятора тормозных сил и т.д.).

При помощи компьютерной программ имеется возможность во времени исследовать процесс движения АТС, что позволяет установить некоторые моментные значения параметров движения (напр., при движения АТС без торможения на повороте), что рассчитать традиционными аналитическими методами не представляется возможным.

Таким образом, вообще можно говорить, что точность расчета скорости движения по потерям кинетической энергии при помощи специализированных компьютерных программ для анализа ДТП является потенциально более высокой, чем при вычислении на основе традиционных методик.

Другая задача определения скорости движения АТС или другого движущегося объекта реализуется при расчете столкновений. При использовании упрощенных методик (где расчет ведется на основе уравнений закона сохранения импульса) определение скорости АТС в момент соударения ведется по расчетным значениям скоростей непосредственно после столкновения (которые определяются на основе оценки потерь кинетической энергии при перемещении АТС от места столкновения до конечных положений), что в значительной мере определяют сцепные свойства шин с дорожной поверхностью. Система простейших уравнений, которая может быть применена для для расчета скоростей V_1 и V_2 автомобилей до столкновения имеет вид:

$$m_1 V_1 + m_2 V_2 \cos \lambda = m_1 V_1' \cos \psi_1 + m_2 V_2' \cos \psi_2$$

$$m_1 V_1 \cos \lambda + m_2 V_2 = m_1 V_1' \cos (\lambda - \psi_1) + m_2 V_2' + m_2 V_2' \cos (\lambda - \psi_2) \quad (4),$$

где: V_1' и V_2' - скорости автомобилей после столкновения;

ψ_1 и ψ_2 - курсовые углы движения автомобилей после столкновения;

λ - угол между продольными осями симметрии автомобилей перед столкновением.

Из приведенных уравнений является очевидным, что погрешность определения скоростей автомобилей перед соударением прежде всего зависит от следующих факторов:

- погрешности определения скоростей после столкновения (скорости оцениваются на основе расчета потерь кинетической энергии на трение, комментарий о потенциальной погрешности расчета представлен ранее);
- погрешности определения курсовых углов автомобилей после столкновения, а также угла между направлениями движения автомобилей до столкновения.

При наличии достаточной следовой информации точность определения курсовых углов автомобилей в лучшем случае может быть оценена в несколько градусов (в общем случае,

видимо, пределы погрешности следует считать не меньшими чем $\pm 5^\circ$). Потенциально более точно могут быть оценены направляющие углы движения автомобилей до столкновения, особенно при столкновении на перекрестках.

Однако, существует довольно значительная потенциальная погрешность в определении фактических масс автомобилей, напр., по следующим причинам:

1) неизвестна фактическая загрузка автотранспортных средств – далеко не во всех случаях точно известны массы водителя и пассажиров, а также фактический вес перевозимого груза;

2) нигде в протоколах осмотра АТС не фиксируется количество топлива, что может вызвать неточность в определении масс до 50-60 кг (для легковых автомобилей).

Таким образом, следует полагать что неточность в определении массы легкового автомобиля может составлять и все 100 кг, что может соответствовать не менее 10% от массы такого автомобиля. Поэтому, потенциальная погрешность вычислений скорости при соударениях, применяя простейшие методики, не следует считать меньшей, нежели 10-20 %.

При использовании более совершенных математических моделей столкновения имеется возможность рассчитать и параметры вращательного движения, что предполагает также применение как минимум следующих исходных данных:

- значения моментов инерции АТС;
- расстояния от приведенной точки действия ударного импульса до центра масс АТС.

Потенциальная погрешность прежде всего здесь возникает потому, что моменты инерции для автотранспортного средства рассчитывается по некоторым эмпирическим формулам, а не устанавливается для каждой конкретной модели автотранспортного средства путем непосредственным измерений. Более того, момент инерции неповрежденного и разбитого при ДТП автомобиля может существенно отличаться. Поэтому, потенциальную ошибку в определении значения момента инерции следует считать не меньшей, чем при определении массы транспортного средства.

Математические модели специализированных компьютерных программ при той или иной степени сложности все же предполагают некоторые упрощения, которые неотвратимо приводят к некоторым неточностям. Вопрос состоит в том, насколько приемлемой может быть величина этой погрешности. При применении компьютерных программ имеется целый ряд исходных либо контрольных параметров, применение же тех или иных значений которых требует определенных знаний, доступа к источникам информации и навыков. К таким параметрам относятся прежде всего:

- эквивалентная деформациям скорость (EES- Energy Equivalent Speed); при наличии соответствующих источников информации, данный параметр может быть определен с точностью до ± 3 км/ч.

- жесткость деформированной структуры кузова - данный параметр во многом зависит не только от конструкции несущей системы кузова, но и от других факторов (направление удара, степень коррозии или других подобных факторов); тем не менее, статистические данные о средних значениях жесткости для легковых автомобилей существуют;

- величина деформации – для определения необходимы достаточно информативные фотографии;

- значение коэффициента восстановления при ударе (статистические данные о пределах значений и средних значениях этого коэффициента существуют);

- для столкновения со скольжением в контакте - величина коэффициента трения (статистические данные о пределах значений и средних значениях этого коэффициента существуют).

Фаза движения АТС после столкновения моделируется в динамическом режиме, где также требуется ввод достаточно обоснованно определенных параметров (напр., коэффициенты частичной блокировки колес автомобиля). Поэтому создается впечатление, что о точности вычисления скорости при применении специализированных компьютерных программ «почти не стоит говорить» – слишком много параметров, достоверная оценка которых проблематична. На практике это выглядит совсем иначе. Проблема решается прежде всего путем верификации – проведением краш-тестов, при которых фиксируется множество параметров в момент соударения и при движении после него. Далее, реконструкция краш-теста при помощи компьютерной программы, принимая за основу объективные данные, полученные путем обработки зафиксированных параметров, позволяет установить некоторые связующие звенья между реальным краш-тестом и моделированием, что используется также при обучении экспертов для формирования необходимых навыков работы с программным модулем.

Отметим одно из важнейших преимуществ при реконструкции соударений АТС при использовании компьютерной программы: имеется возможность определить такое сочетание основных параметров, при котором можно говорить об адекватности моделируемого механизма ДТП его реальному ходу. Один из принципов достаточной точности произведенного при помощи компьютерной программы моделирования столкновения АТС состоит в том, что, если при корректно заданных исходных данных и при соответствии важнейших контрольных данных некоторым установленным пределам, удастся получить

хорошее соответствие зафиксированных на схеме ДТП и моделируемых следов колес АТС и их конечных положений, то произведенное моделирование следует считать в принципе правильным (как показывает опыт, погрешность определения скоростей столкнувшихся АТС в этом случае составляют не более ± 3 км/ч). Если же следы АТС в процессе ДТП не возникли или по каким-то причинам они не зафиксированы, то при соответствии смоделированных при помощи программы конечных положений автомобилей их зафиксированным положениям, погрешность определения скоростей следует оценивать в пределах ± 5 км/ч. Учитывая статистические данные о скоростях автомобилей в момент столкновения (90% столкновений происходит при скоростях до 60 км/ч), следует считать, что потенциальная погрешность определения скоростей АТС может быть меньше, чем 5%.

Существенным преимуществом используемых компьютерных программ для моделирования столкновений следует считать и то, что моделирование движения как до, так и после соударения может производиться в динамическом режиме (т.е., при учете действующих сил и их моментов), что позволяет получить максимально приближенный к реальным условиям механизм имевшего места ДТП. Это делает возможным исследовать ситуации и получать категорический ответ на принципиально важные вопросы, где другие методы исследования являются практически невозможными или недейственными.

Важным аспектом, говорящим в пользу применения специализированных компьютерных программ также следует считать возможность визуализации механизма ДТП, что позволяет в некоторых случаях оценивать наличие технической возможности избежать ДТП, а также оценивать достоверность показаний участников ДТП или свидетелей, что несомненно дает свои преимущества в отношении категоричности выводов произведенного автотехнического исследования.

Таким образом, применение специализированных компьютерных программ для моделирования и анализа ДТП дает возможность более всесторонне, чем при применении традиционных методик исследовать механизм дорожно-транспортных происшествий. Это дает основу говорить, что при достаточной компетенции эксперта-автотехника, произведенная при помощи компьютерной программы реконструкция ДТП может быть достаточно приближенной к реальному механизму имевшей место автоаварии. Следовательно, можно утверждать, что применение компьютерных программ создает предпосылки для более высокой точности производимых расчетов и большей категоричности выводов автотехнического исследования.