



УДК 656.13.08:65.012.1

## РАСЧЕТ БОЛЬШИХ ПЛАСТИЧЕСКИХ ДЕФОРМАЦИЙ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ АВТОТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЕРТИЗЫ

*В. Н. Никонов\**, *А. М. Бичевин\*\**

\* Институт механики УНЦ РАН, Уфа

\*\* Башкирская коллегия адвокатов, Уфа

**Аннотация.** Рассматривается вопрос о применении численных методов расчетов больших пластических деформаций при проведении технических экспертиз автомобиля. Предлагается новый подход к методике проведения экспертизы и пути его внедрения в практику работы автомобильных экспертов.

**Ключевые слова:** автотехническая экспертиза, дорожно-транспортное происшествие, деформация

---

Исследование и обобщение опыта по автотехническим экспертизам выявило трудности, с которыми сталкиваются эксперты в практической работе, применяя принятые в экспертной практике методические рекомендации [1, 2]. Одной из основных задач автотехнической экспертизы является определение момента возникновения «опасной обстановки» — ситуации, когда водителям транспортного средства (ТС) следует принимать необходимые меры для предотвращения дорожно-транспортного происшествия (ДТП). Дополнительной задачей автоэкспертизы является заключение о соответствии показаний участников ДТП техническим расчетам.

Решение этой проблемы — расчетное определение скорости ТС. Один из способов нахождения скорости основан на видимых следах торможения ТС и определяется из решения дифференциального уравнения движения твердого тела с учетом различных граничных условий. Так же используются справочные данные, рекомендованные НИИ судебной экспертизы, и технические характеристики автомобилей. В случае, когда следов торможения нет, методики не дают возможности определить

скорость ТС в момент возникновения опасной обстановки. Положение усугубляется тем, что количество находящихся в эксплуатации автомобилей, оборудованных современными антиблокировочными тормозными системами, не оставляющими видимые следы торможения, возрастает.

Кинематические уравнения не учитывают затраты кинетической энергии движущегося тела на пластическую деформацию элементов конструкций автомобиля, дорожного ограждения или препятствия. Авторами монографий [1, 2] и в заключениях самих автоэкспертов указывается, что такая методика им неизвестна. Их предложения использовать эффективные упруго-пластические характеристики конструкции автомобиля, как целого, пока не подкреплены наличием достоверных экспериментальных данных, полученных в лабораторных условиях, и, как будет показано ниже, получение исчерпывающего набора таких данных практически нереально.

Заключение автотехнической экспертизы по уголовным делам, в связи с ДТП, является одним из основных доказательств. Неточность в расчетах, либо отказ эксперта от ответа на поставленный вопрос по причине отсутствия методики, может привести к привлечению к уголовной ответственности невиновного человека.

Численные методы прочностных расчетов элементов конструкций с учетом истории нагружения известны уже более 25 лет, так же достаточно хорошо проработаны вопросы математического моделирования больших пластических деформаций деталей конструкций [3]–[7]. Но использование таких методов пока не дошло до автоэкспертизы.

В настоящей работе предлагается применить указанные численные методы при проведении автоэкспертизы. Согласно закону сохранения энергии, кинетическая энергия автомобиля массой  $m$ , движущегося с начальной скоростью  $v_0$ , при торможении и ударе расходуется на работу сил трения шин о дорожное покрытие  $A_f$ , пластическую  $A_p$  и упругую  $A_e$  деформацию элементов конструкции автомобиля, кинетическую энергию остаточной скорости  $v$  после удара

$$\frac{mv_0^2}{2} = A_f + A_p + A_e + \frac{mv^2}{2}. \quad (1)$$

Очевидно, что при столкновении двух автомобилей начальная и остаточная кинетические энергии являются суммой кинетических энергий обоих автомобилей. Методами автоэкспертизы определяются только первое и последнее слагаемые правой части выражения (1), и, следо-

вательно, дается заниженная оценка начальной скорости  $v_0$ . При этом оценка занижена всегда, т.к. при  $A_p = 0$  нет и, собственно, аварии. Механическая работа, затраченная на пластическую деформацию автомобиля, имеет аддитивный характер и является суммой работ, затраченных на деформацию отдельных элементов конструкции. При этом вклады работ деформации различных конструктивных элементов в суммарную механическую работу деформации существенно различаются по величине. Но всегда можно выбрать один или несколько массивных конструктивных элементов, работа деформации которых вносит преимущественный вклад в суммарную работу деформации. Технических препятствий, позволяющих провести отдельный расчет механической работы деформации каждого отдельного элемента конструкции, нет, ввиду унификации элементов. Форма и свойства материала каждого элемента конструкции известны из документов завода-изготовителя, или могут быть получены измерением нового аналогичного элемента. Более того, расчет механической работы деформации подобных элементов достаточен в силу того, что кинетическая энергия является интегралом от количества движения  $mv$  по скорости  $v$ , и чем выше скорость  $v$ , тем меньше влияние фиксированной величины приращения энергии на дальнейший рост скорости.

Ниже приведены характерные примеры расчета скорости автомобиля с использованием расчета затрат механической энергии на пластическую деформацию элементов конструкций. Условия описываемых аварий были таковы, что данные примеры практически без натяжек можно назвать штатными.

В условиях гололеда в стоящий груженный автомобиль КамАЗ-5410 с прицепом врезался автомобиль ВАЗ-2103, двигавшийся во встречном направлении. Удар пришелся на левое переднее колесо КамАЗа, после чего разбитый автомобиль ВАЗ был выброшен на обочину справа по ходу своего движения. На схеме ДТП следов торможения автомобиля ВАЗ зафиксировано не было. Однако на той же схеме было зафиксировано, что автомобиль КамАЗ стоит на 2 см левее осевой линии. В результате, несмотря на то, что слева от КамАЗа оставалось 3.9 м свободной и не занятой другими автомобилями полосы, водитель КамАЗа оказывается на скамье подсудимых, а владелец ВАЗа возбуждает гражданский иск на крупную сумму к предприятию-собственнику КамАЗа, утверждая при этом, что двигался со скоростью не более 40 км/час. Автоэксперт, сославшись на отсутствие следов торможения и невозможность вычислить скорость ВАЗа, делает вывод о виновности водителя КамАЗа, ссылаясь на те же 2 см и соответствующий пункт Правил дорожного движения

(ПДД).

Осмотром КамАЗа установлено, что среди прочих элементов деформирована передняя поперечная балка, к которой крепятся рулевые колеса. Балка изогнута на 47 мм в горизонтальной плоскости, начиная от центра. Балка имеет квадратное поперечное сечение со стороной квадрата 90 мм с небольшим уменьшением к концу и изготовлена из высокоуглеродистой стали 35 (объемная закалка).

Численный расчет проводился методом конечных элементов, среда полагалась упруго-пластической с деформационным упрочнением, схема закрепления балки — консольная, использовалась теория пластического течения. Расчет велся пошаговым методом по методике [7], на каждом шаге в качестве граничных условий концу балки задавалось перемещение 1 мм. После достижения изгиба 47 мм на каждом шаге проводилась пробная упругая разгрузка с целью определения остаточного изгиба. Выяснено, что упругий изгиб конца балки составляет около 3 мм, поэтому расчет пластического изгиба велся до величины изгиба 50 мм. В ходе расчета вычислялось значение поперечной силы на конце балки в зависимости от ее прогиба и работа внутренних сил. Т. о. были установлены величины  $A_p$  и  $A_e$ , входящие в выражение (1). Остаточная кинетическая энергия, входящая в правую часть выражения (1), вычислялась методами автоэкспертизы [1] в предположении, что автомобиль ВАЗ остановился под действием сил трения колес о дорожное покрытие на расстоянии, зафиксированном в схеме ДТП. Тем самым остаточная кинетическая энергия была оценена по нижнему пределу. Работа сил трения при торможении автомобиля ВАЗ не учитывалась из-за отсутствия видимых следов торможения.

В результате расчета установлено, что усилие на конце балки в конечный момент деформирования перед ее упругой разгрузкой составляет 31500 кг. На основании энергетического баланса (1) получено, что автомобиль ВАЗ двигался со скоростью не менее 80.4 км/час, что является грубым нарушением ПДД и причиной того, что его водитель не справился с управлением в условиях гололеда. Т. о., данная методика восполнила недостатки автоэкспертизы, и невиновный водитель КамАЗа был освобожден от уголовной ответственности.

Другая авария произошла в сухую погоду. На полосе двигавшегося по трассе джипа Мицубиси, по словам его водителя, возникает препятствие — автомобиль, неожиданно выехавший справа с второстепенной дороги. В заторможенном состоянии Мицубиси входит в боковой занос, пересекает встречную полосу движения под углом около 20° к оси дороги, и ударяется о дорожное ограждение слева по ходу его движения.

От удара Мицубиси разворачивает под прямым углом к дороге, и в его правое заднее колесо врежется автомобиль ВАЗ-2107, следовавший во встречном направлении, водитель и пассажир которого погибают. Следы торможения Мицубиси зафиксированы на схеме ДТП. Ограничение скорости на данном участке в направлении движения Мицубиси — 70 км/час. Виновник аварии — автомобиль, создавший помеху, — не найден. Автоэксперт делает следующее заключение. Согласно расчету по длине тормозного следа, скорость Мицубиси перед началом торможения составляла не более 70.4 км/час, время нахождения на встречной полосе с момента пересечения осевой линии — около 3 сек. Предполагая, что ВАЗ двигался со скоростью не более 90 км/час (не нарушал ПДД), показано, что его удаления от точки столкновения было достаточно для полной остановки автомобиля. Виновником аварии является погибший водитель ВАЗа, а его вдова обязана возместить моральный ущерб и стоимость ремонта иномарки.

Автоэксперт, сделав кинематические расчеты, полагал, что Мицубиси полностью погасил свою скорость у дорожного ограждения на встречной полосе. Однако он не учел, что три столба (стандартный профиль), к которым крепится металлический профиль ограждения, оказались изогнуты. Два из них на  $90^\circ$ , а третий на  $45^\circ$ . По показаниям работников дорожной службы ограждение было новым, аварий на этом участке ранее не было.

Численный расчет механической работы деформации столбов ограждения и энергетический баланс (1) позволили сделать вывод о том, что в момент начала торможения Мицубиси двигался с несколько более высокой скоростью, а именно не менее 92 км/час, т.е. налицо нарушение ПДД при разрешенной скорости 70 км/час. Отсюда сразу последовал первый вывод, опровергающий заключение автоэксперта — водитель ВАЗа не имел времени даже для того, чтобы начать торможение, т.к. время между моментами пересечения Мицубиси осевой линии и столкновения автомобилей меньше времени реакции человека [1]. Далее, согласно [1], вектор скорости центра тяжести заторможенного автомобиля направления не изменяет, а тормозной след идет под углом около  $20^\circ$  к дороге. Следовательно, предыдущая траектория Мицубиси могла проходить на внешней стороне дуги с критическим для данной скорости радиусом заноса. Из справочных данных [1] известны минимальное время реакции водителя и время срабатывания тормозной системы, откуда на предыдущей траектории Мицубиси определена точка, в которой его водитель принял решение тормозить. Но тогда в момент принятия решения о торможении Мицубиси мог находиться только на второстепенной дороге,

параллельной трассе. Полотно второстепенной дороги лежит на 0.5 м ниже основной трассы и справа от второстепенной дороги имеется глубокий кювет. Отсюда следует, что никакого третьего автомобиля, послужившего помехой Мицубиси, не могло быть. Несколько ранее водитель Мицубиси, не заметив плавную развилку, выехал на второстепенную дорогу, с которой затем неожиданно решил вернуться на основную трассу. Автомобиль вошел в занос, а экстренное торможение привело к описанным выше последствиям. Т.о., примененная методика вновь позволила не только существенно уточнить расчеты автоэксперта, но и опровергнуть показания единственного, оставшегося в живых, участника ДТП и исключить судебную ошибку.

В заключение можно утверждать, что современные численные методы расчета больших пластических деформаций должны и могут успешно применяться при проведении автоэкспертизы.

Применение этих методов может осуществляться по двум направлениям.

Первое направление применения численных методов расчета больших пластических деформаций заключается в непосредственном расчете механической работы деформации конкретных элементов конструкций по результатам измерения этих деформаций, как показано выше. Здесь предполагается подготовка квалифицированных специалистов, владеющих методами механики деформируемого твердого тела, теоретической механики, численными методами и программированием.

Второе направление основано на ограниченности возможных вариантов деформации унифицированных элементов конструкций. Так, например, для длинномерных элементов возможны сочетания величин углов изгиба и кручения в различных соотношениях независимо от конкретных условий аварии и векторов действующих сил. Для этого требуется создание баз данных (альбомов), содержащих набор параметров деформированных элементов конструкций и уже вычисленные значения работы деформации. Промежуточные значения могут быть получены интерполяцией.

Предлагаемый в настоящей работе метод проведения автотехнической экспертизы намного эффективнее и дешевле существующего комплексного испытания упруго-пластических характеристик автомобилей как целого при разных вариантах деформирования. В самом деле, если имеется  $n$  наиболее жестких элементов конструкции и  $m_n$  вариантов их деформации, то для них требуется провести  $\sum n \times m_n$  испытаний и/или расчетов. Деформированная же конструкция автомобиля как целого — есть сочетание огромного числа всех вариантов деформации  $n$ -го элемен-

та  $n \times m_n$  с вариантами деформации всех оставшихся  $n - 1$  элементов, т.е. число порядка  $(n \times m_n)!$  (факториал). В этом случае достоверное получение достаточного числа экспериментальных данных таким путем представляется нереальным.

## Список литературы

- [1] Иларионов В. А. Экспертиза дорожно-транспортных происшествий. М.: Транспорт, 1989. 255 с.
- [2] Боровский Б. Е. Безопасность движения автомобильного транспорта. Л.: Лениздат, 1984. 304 с.
- [3] Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике. М.: Мир, 1975. 541 с.
- [4] Биргер И. А. Общие алгоритмы решения задач упругости, пластичности и ползучести // Успехи механики деформируемых тел. Сб. статей. / М.: Наука. 1975. С. 216–220.
- [5] Иосилевич Г. Б. Концентрация напряжений и деформаций в деталях машин. М.: Машиностроение, 1981. 223 с.
- [6] Мавлютов Р. Р. Концентрация напряжений в элементах конструкций. М.: Наука, 1996. 240 с.
- [7] Мардимасова Т. Н., Никонов В. Н. Моделирование процесса формирования качества деталей при больших пластических деформациях. Уфа: УНЦ РАН, 1997. 38 с.