

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПОЛОЖЕНИЯ ЛИНИИ ДЕЙСТВИЯ УДАРНОГО ИМПУЛЬСА НА ТРАНСПОРТНЫЕ СРЕДСТВА ПРИ СТОЛКНОВЕНИЯХ С КОСЫМ СОУДАРЕНИЕМ

А.В. Попов, А.А. Горбунов

Пермский государственный технический университет

Рассмотрена методика расчета положения линии действия ударного импульса на транспортные средства при столкновениях с косым соударением для установления значений параметров движения автомобилей до момента их столкновения. Установлено, что положение линии действия ударного импульса относительно сталкивающихся транспортных средств может быть найдено для всех случаев косоуго соударения.

Установление значений параметров движения автомобилей до момента их столкновения – это сложная задача автотехнической экспертизы. Достоверность расчетов, полученной экспертом при изучении деталей дорожно-транспортного происшествия (ДТП), является основной целью такого исследования. Адекватность модели столкновения во многом зависит от используемой методики расчета и от квалификации эксперта, осуществляющего выбор расчетной методики. Сегодня по-прежнему большой популярностью пользуется известная методика [2], несмотря на большое количество имеющихся допущений в расчетах. Неоспоримым преимуществом такой методики является простота и доступность предлагаемых аналитических вычислений. Это минимизирует вероятность умышленного и случайного искажения расчетов в процессе проведения экспертизы. Однако, известные недостатки, такие, как отсутствие учета вращения, вызванного ударным импульсом при косом соударении; отсутствие возможности оценки затрат энергии на деформацию автомобильных деталей, требуют совершенствования методики в целом.

Существующие программные продукты по моделированию ДТП, такие как DELTA-V, CARAT-3 и т.п., позволяют более точно воспроиз-

водить картину ДТП, при этом имеются возможности наглядной визуализации столкновения. Однако их применение требует ввода определенного количества исходных данных, часть из которых не может быть доподлинно известна, что приводит к самостоятельному выбору этих данных экспертом. В случае ошибочного выбора полученные результаты также могут отличаться от фактических значений параметров движения. Данное обстоятельство заставляет искать способы определения таких значений исходных параметров, применение которых в расчете привело бы к однозначному и единственному решению задачи о столкновении двух транспортных средств (ТС) – решению, в достаточной степени соответствующему действительности.

Одной из проблем, связанных с решением задачи столкновения автомобилей при косом соударении, является отсутствие информации о положении линии действия ударного импульса. Целью настоящей работы является анализ процесса столкновения, и поиск способа аналитического вычисления положения линии удара.

Для наглядности анализа, рассмотрим частную модель косоуго соударения (см. рисунок). Пусть сталкиваются два ТС различной массы под некоторым углом относительно друг друга. Такое столкновение можно охарактеризовать как *нецентральное косое соударение*¹. Главным отличием центрального соударения является отсутствие воздействия на ТС вращательного ударного импульса. На практике возможно решение задач центрального соударения, но в настоящей работе пример не приводится ввиду достаточно простого и точного решения даже при помощи известной методики [2].

Предлагаемая модель будет иметь ряд допущений, которые безусловно влияют на точность конечного результата, однако это позволит упростить решение:

- 1) удар происходит мгновенно;
- 2) силы трения в точке соударения пренебрежительно малы;
- 3) ударный импульс действует вдоль линии – нормали к точке удара.

¹ Следует отметить, что решение поставленной задачи с использованием методики [2] приведет к искажению расчетов, по причине отсутствия момента импульса: линия удара, согласно методики [2], проходит через центры масс сталкивающихся автомобилей.

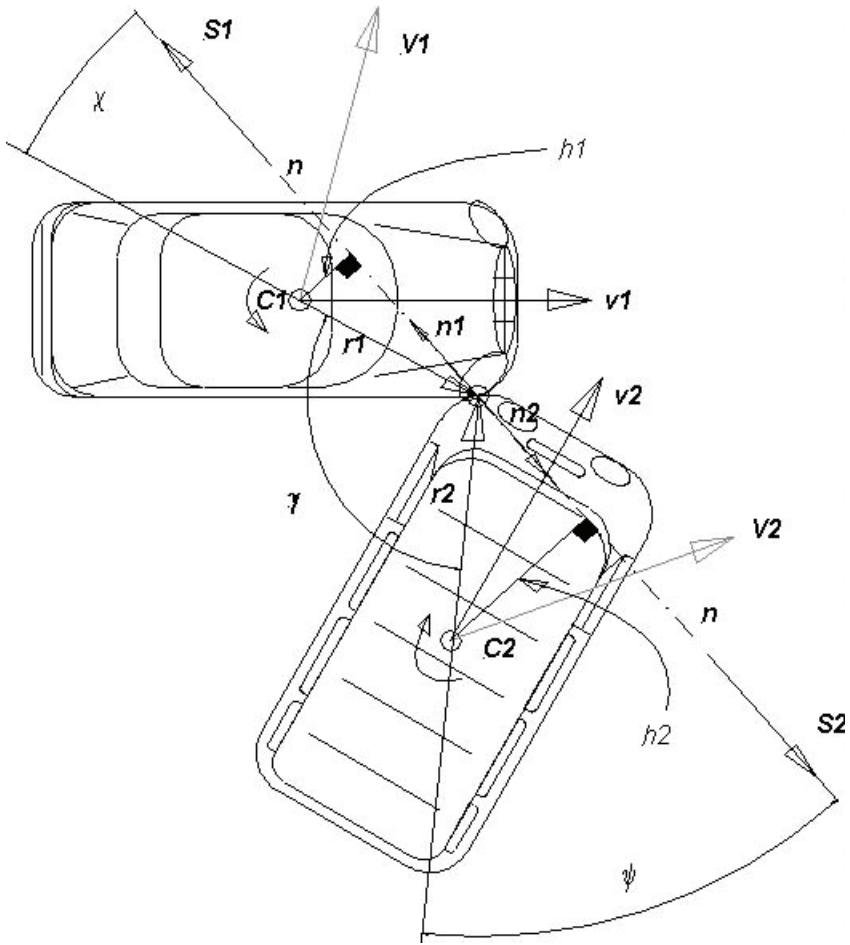


Рис. Расчетная схема процесса соударения

Достижение поставленной цели в задаче о столкновении двух тел с использованием аналитических зависимостей классической теории удара сводится к решению системы векторных уравнений [1].

$$m_1(\vec{V}_1 - \vec{v}_1) = S_1 \cdot \vec{n}_1, \quad (1)$$

$$m_2(\vec{V}_2 - \vec{v}_2) = S_2 \cdot \vec{n}_2, \quad (2)$$

$$J_1(\vec{\Omega}_1 - \vec{\omega}_1) = S_1(\vec{r}_1 \times \vec{n}_1), \quad (3)$$

$$J_2(\vec{\Omega}_2 - \vec{\omega}_2) = S_2(\vec{r}_2 \times \vec{n}_2), \quad (4)$$

$$S = \frac{1 + \frac{1}{D}}{\varepsilon} (\vec{U}_1 \cdot \vec{n}_1 + \vec{U}_2 \cdot \vec{n}_2), \quad (5)$$

где v_i – скорость i -го ТС до удара;
 V_i – скорость i -го ТС после удара;
 J_i – момент инерции i -го ТС;
 ω_i – угловая скорость вращения i -го ТС после удара вокруг вертикальной оси;
 Ω_i – угловая скорость вращения i -го ТС после удара вокруг вертикальной оси;
 S – ударный импульс, действующий на ТС;
 r_i – радиус-вектор, имеющий начало в точке центра масс, конец – в точке приложения ударного импульса i -го ТС;
 U_i, u_i – относительные скорости точек в месте соударения тел после и до удара;
 ε – коэффициент восстановления;
 n_i – единичный вектор, направленный по нормали (линии удара).
 Единичный вектор показывает направление действия ударного импульса S на транспортные средства.

На практике при решении подобных задач эксперт располагает ограниченным количеством исходных данных, а именно, могут быть известны значения следующих величин:

V_i – скорость i -го ТС после удара;
 J_i – момент инерции i -го ТС;
 Ω_i – угловая скорость вращения i -го ТС после удара вокруг вертикальной оси;
 r_i – радиус-вектор, имеющий начало в точке центра масс, конец – в точке приложения ударного импульса i -го ТС;
 γ – угол между радиус векторами r_i ;
 n_i – единичный вектор, направленный по нормали.

С учетом ранее принятых допущений, а также при условии, что известно значение коэффициента восстановления, имеется пять неизвестных величин: $v_1, v_2, S, \omega_1, \omega_2$. Кроме того, неизвестным следует считать положение линии удара – задача не может быть решена без дополнительной информации о направлениях ударных импульсов.

Анализ характера соударений при большинстве ДТП показывает, что на момент соударения импульсы от линейных скоростей направлены вдоль продольных осей соответствующих транспортных средств – автомобили движутся прямолинейно, не вращаясь. Таким образом, можно считать известными значения скоростей вращения ТС в момент

перед столкновением: $\omega_1 = \omega_2 = 0$. В этом случае становится возможным определение ориентации линии удара относительно транспортных средств.

Зная, что ударный импульс одинаково воздействует на транспортные средства, уравнения (3) и (4) можно свести к одному:

$$\frac{J_1(\vec{\Omega}_1 - \vec{\omega}_1)}{(\vec{r}_1 \times \vec{n}_1)} = \frac{J_2(\vec{\Omega}_2 - \vec{\omega}_2)}{(\vec{r}_2 \times \vec{n}_2)},$$

или, после преобразований:

$$\frac{J_1 |\vec{\Omega}_1 - \vec{\omega}_1|}{J_2 |\vec{\Omega}_2 - \vec{\omega}_2|} = \frac{|\vec{r}_1 \times \vec{n}_1|}{|\vec{r}_2 \times \vec{n}_2|} \quad (6)$$

Векторное произведение $(\vec{r}_i \times \vec{n}_i)$ имеет свой геометрический смысл в уравнениях (3) и (4): модуль произведения численно равен кратчайшему расстоянию от центра масс i -го ТС до линии действия ударного импульса (см. на рисунке 1 отрезки h_i). Умножая модуль полученного произведения на скаляр импульса S , получаем момент импульса, что соответствует численному значению левой части уравнения $-J_i \cdot (\vec{\Omega}_i - \vec{\omega}_i)$.

Считая $\omega_1 = \omega_2 = 0$, легко найти соотношение

$$\frac{J_1 |\vec{\Omega}_1|}{J_2 |\vec{\Omega}_2|} = \frac{|\vec{r}_1 \times \vec{n}_1|}{|\vec{r}_2 \times \vec{n}_2|} = \frac{h_1}{h_2},$$

а значит, и положение линии удара. Точное положение

линии удара можно вычислить аналитическим или графическим способом. Предпочтение следует отдавать первому способу, как наиболее точному. Ниже представлена система уравнений, соответствующих геометрическим зависимостям величин в соответствии с рис. 1:

$$\frac{h_1}{h_2} = \frac{J_1 |\vec{\Omega}_1|}{J_2 |\vec{\Omega}_2|}, \quad (7)$$

$$\sin(\chi) |r_1| = h_1, \quad (8)$$

$$\sin(\psi) |r_2| = h_2, \quad (9)$$

$$\chi + \psi + \gamma = 180, \quad (10)$$

Решение системы без труда позволит найти значения χ , ψ – углов ориентации линии удара относительно двух ТС.

Анализом установлено, что положение линии действия ударного импульса относительно сталкивающихся транспортных средств может быть найдено для всех случаев косоугольного соударения, когда известно, что на момент соударения автомобили не совершали вращательного движения вокруг вертикальной оси (двигались линейно).

Список литературы

1. Бутенин Н.В., Лунц Я.Л., Меркин Д.Р. Курс теоретической механики. – СПб.: Лань, 1998. – 736 с.
2. Иларионов В.А. Экспертиза дорожно-транспортных происшествий: учебник для вузов. – М.: Транспорт, 1989. – 255 с.

Получено 16.08.2010