

УДК 629.113.011

Е.В. Яковенко*Севастопольский национальный технический университет**ул. Университетская, 33, г. Севастополь, Украина, 99053***ОЦЕНКА ПОГРЕШНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СКОРОСТИ ПРИ СТОЛКНОВЕНИИ ДВУХ АВТОМОБИЛЕЙ**

Рассматривается методика определения скоростей транспортных средств перед столкновением, основанная на законе сохранения импульса и законе сохранения энергии. Показано влияние погрешности определения энергии деформации кузова на точность экспертизы.

Ключевые слова: столкновение двух автомобилей, закон сохранения импульса, закон сохранения энергии, погрешность экспертизы.

Постановка проблемы. При наличии данных о положении транспортных средств в момент первичного контакта на проезжей части, а также координат расположения транспортных средств на проезжей части в конечных позициях после ДТП, следовая информация предоставляет возможность провести оценочный расчет скорости движения автомобилей непосредственно перед столкновением на основании теоремы о сохранении количества движения.

Согласно принципам расчета, вектор равнодействующей количества движения двух транспортных средств до столкновения и после него остается неизменным по величине и направлению.

При столкновении автомобилей они обычно совершают сложное движение, так как в результате каждый из автомобилей начинает вращаться около своего центра тяжести. Центр тяжести в свою очередь перемещается под некоторым углом к первоначальному направлению движения.

В соответствии с направлением следов автомобилей, их конечного положения и координат места столкновения, взятых со схемы происшествия, определяется положение автомобилей в момент входа в контакт и их послеконтактные перемещения. На основании этой информации необходимо определить скорости транспортных средств в момент столкновения.

Цель и постановка задачи. Целью настоящей работы является экспериментальная проверка методики определения скоростей транспортных средств перед столкновением, основанная на законе сохранения импульса и законе сохранения энергии, а также оценка степени влияния погрешности определения энергии деформации кузова на точность определения скоростей транспортных средств перед столкновением.

Для достижения этой цели необходимо произвести компьютерное моделирование столкновений двух объектов и на основании полученных результатов произвести расчет их скоростей до столкновения. Оценку степени влияния погрешности определения энергии деформации кузова произведем путем уменьшения полученных значений энергии на величину погрешности существующих методик.

Анализ публикаций. В работе [1] изложена методика, в соответствии с которой, все количество движения системы можно разложить на две составляющие в соответствии с первоначальным направлением движения автомобилей. Скорости можно найти, предположив, что кинетическая энергия каждого автомобиля после удара перешла в работу трения шин по дороге во время поступательного перемещения на некоторое расстояние и поворота вокруг центра тяжести на некоторый угол, а также в энергию деформации.

Скорости автомобилей перед перекрестным столкновением, определенные описанным способом, являются минимально возможными, так как в расчетах не учтена энергия, затраченная на вращение обоих автомобилей. Фактические скорости могут быть на 10—20% выше расчетных.

Без учета энергии деформации система уравнений будет выглядеть следующим образом

$$\begin{aligned} V_1 &= \frac{\sin \beta_1 (m_1 U_1 \cos \alpha_2 + m_2 U_2 \cos \beta_2) - \cos \beta_1 (m_1 U_1 \sin \alpha_2 + m_2 U_2 \sin \beta_2)}{m_1 (\cos \alpha_1 \sin \beta_1 - \sin \alpha_1 \cos \beta_1)}, \\ V_2 &= \frac{\sin \alpha_1 (m_1 U_1 \cos \alpha_2 + m_2 U_2 \cos \beta_2) - \cos \alpha_1 (m_1 U_1 \sin \alpha_2 + m_2 U_2 \sin \beta_2)}{m_2 (\sin \alpha_1 \cos \beta_1 - \cos \alpha_1 \sin \beta_1)}, \end{aligned} \quad (1)$$

где m_1 – масса ТС1; m_2 – масса ТС2; α_1 – угол предконтактного движения ТС1; β_1 – угол постконтактного движения ТС1; α_2 – угол предконтактного движения ТС2; β_2 – угол постконтактного движения ТС2.

В работе [2] приведена методика определения начальной скорости автомобиля до столкновения с другим транспортным средством, учитывающий как закон сохранения импульса

$$m_1 \vec{V}_1 + m_2 \vec{V}_2 = m_1 \vec{U}_1 + m_2 \vec{U}_2, \quad (2)$$

где m_1, m_2 – массы автомобилей; $\vec{V}_1, \vec{V}_2$ – скорость их в момент столкновения; $\vec{U}_1, \vec{U}_2$ – начальная скорость отбрасывания каждого, так и закон сохранения энергии, в соответствии с которым, соотношение кинетических энергий столкнувшихся автомобилей записывается в виде

$$T_o - T = T^*, \quad (3)$$

где $T_o = \frac{1}{2}(m_1 V_1^2 + m_2 V_2^2)$ – кинетическая энергия системы «автомобиль-1 – автомобиль-2» в момент начала удара; $T = \frac{1}{2}(m_1 U_1^2 + I_1 w_1^2 + m_2 U_2^2 + I_2 w_2^2)$ – кинетическая энергия системы в момент конца удара; I_1, I_2 – моменты инерции вращения объектов; w_1, w_2 – угловые скорости автомобилей в конце столкновения; T^* – часть энергии, которая переходит в другие виды энергии (энергию деформации и разрушения элементов конструкций). Методика определения энергии деформации показана в работах [3-5] и многих других.

Материалы и результаты исследования. С учетом энергии деформации элементов конструкций система уравнений примет вид (энергией, перешедшей в тепло в проводимом исследовании пренебрегаем, т.к. в расчетных пакетах она рассчитывается как некоторый процент от энергии пластических деформаций)

$$\begin{cases} 0,5(m_1 V_1^2 + m_2 V_2^2) = \\ = E_{ynp1} + E_{nl1} + E_{ynp2} + E_{nl2} + 0,5(m_1 U_1^2 + m_2 U_2^2 + I_1 w_1^2 + I_2 w_2^2) \} \\ m_1 V_1 (\sin \alpha_1 + \cos \alpha_1) + m_2 V_2 (\sin \beta_1 + \cos \beta_1) = \\ = m_1 U_1 (\sin \alpha_2 + \cos \alpha_2) + m_2 U_2 (\sin \beta_2 + \cos \beta_2), \end{cases} \quad (4)$$

где $\alpha_1, \alpha_2, \beta_1, \beta_2$ – углы, образуемые векторами скоростей с координатной осью x ; $E_{ynp1}, E_{ynp2}, E_{nl1}, E_{nl2}$ – энергия упругой и пластической деформации объектов соответственно.

Для проверки методики был проведен численный эксперимент, в котором происходило столкновение двух тонкостенных цилиндрических образцов. На рисунке 1 показана исходная модель и результат расчета столкновения. При симуляции образцы двигались совместно с недеформируемыми плоскостями фиксированной инерционной массы. Расчеты проводились с помощью пакета Abaqus. Было проведено 10 испытаний при различных величинах начальной скорости, а также при различных направлениях удара. Схема эксперимента показана на рисунке 1.

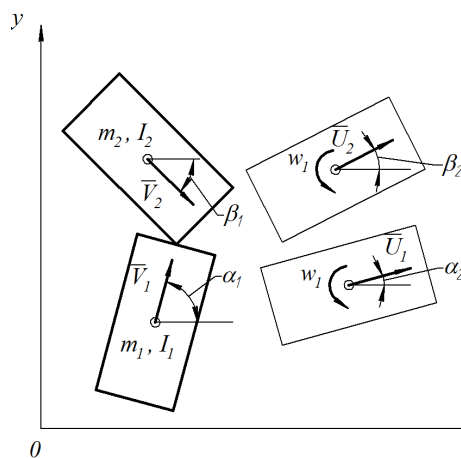


Рисунок 1 – Перемещение объектов при перекрестном столкновении

Результаты симуляции косого удара представлены на рисунке 2.

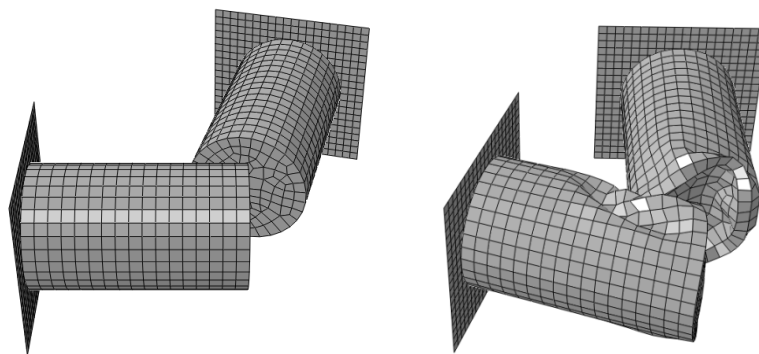


Рисунок 2 – Результаты численного эксперимента

Также результаты эксперимента приведены в таблице 1. Опыты № 1, 2 представляют собой встречное столкновение, опыты № 3-6 – косое под углом 120° , опыты № 7, 8, 10 – косое под углами 105° , 145° и 30° соответственно. Опыт №9 представляет собой перекрестное столкновение.

Таблица 1 – Результаты численного эксперимента

№ опыта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
m_1 , кг	30	25	25	30	30	25	20	25	25	25
m_2 , кг	30	30	30	25	25	25	30	25	30	25
V_1 , м/с	3,00	3,00	3,00	3,00	2,00	2,00	3,50	3,50	2,50	2,50
V_2 , м/с	2,00	2,00	2,00	2,00	3,00	3,00	2,00	2,50	2,00	3,00
U_1 , м/с	0,21	0,01	1,23	1,41	0,95	1,04	1,57	0,84	2,45	2,58
U_2 , м/с	0,79	0,49	1,26	1,43	1,60	1,59	1,60	1,21	0,94	2,76
α_1 , град	90,0	90,0	75,0	75,0	75,0	75,0	60,0	60,0	90,0	74,9
α_2 , град	90,0	90,0	25,0	40,7	6,0	-5,5	14,1	6,9	56,3	60,6
β_2 , град	-90,0	-90,0	-45,0	-45,0	-45,0	-45,0	-45,0	-85,0	0,0	45,0
β_2 , град	90,0	90,0	26,7	42,1	2,8	-3,2	12,6	21,3	23,6	54,8
w_1 , с-1	0,00	0,00	5,93	5,93	6,91	6,59	4,99	5,18	6,71	3,36
w_2 , с-1	0,00	0,00	-5,43	-5,40	-3,17	-2,80	-6,86	-2,79	-2,35	-2,81
I_1 , кг·м ²	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
I_2 , кг·м ²	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
$E_{пл1}$, Дж	104,2	106,0	44,2	44,3	77,7	72,6	42,8	76,6	14,3	9,1
$E_{пл2}$, Дж	58,5	44,9	52,9	52,8	22,7	20,5	45,4	82,5	18,8	0,0
$E_{упр1}$, Дж	12,70	12,20	8,04	8,02	8,74	8,20	6,17	15,10	1,05	0,59
$E_{упр2}$, Дж	7,60	3,60	8,54	8,62	2,53	2,30	6,62	21,00	1,61	0,07
$E_{деф}$, Дж	183,0	166,7	113,7	113,8	111,7	103,6	100,9	195,2	35,8	9,8
$E'_{деф}$, Дж	161,0	146,7	100,0	100,1	98,3	91,2	88,8	171,8	31,5	8,6
V'_1 , м/с	2,83	2,81	2,99	2,99	1,99	1,99	3,49	3,36	2,45	2,51
V'_2 , м/с	1,83	1,85	1,77	1,71	2,81	2,82	1,79	2,3	1,96	2,96
δ_1 , %	5,7%	6,3%	0,3%	0,3%	0,5%	0,5%	0,3%	4,0%	2,0%	-0,6%
δ_2 , %	8,5%	7,5%	11,5%	14,5%	6,3%	6,0%	10,5%	8,0%	2,0%	1,3%

В таблице 1: величина $E_{деф}$ – суммарная энергия деформации двух транспортных средств; $E'_{деф}$ – суммарная энергия деформации учетом погрешности существующих методик определения энергии деформации по повреждениям автомобиля [3-5], составляющая величину порядка 12%;

V'_1, V'_2 – скорости полученные решением системы уравнений (4) если вместо величины $E_{\text{деф}}$ подставить $E'_{\text{деф}}$; δ_1, δ_2 – погрешности определения скоростей перед столкновением.

Выводы.

Проведенные эксперименты показали, что использование системы уравнений (4) для проведения экспертизы определения скорости транспортных средств, при условии точного определения величины энергии затраченной на деформацию и на отбрасывание, дает погрешность порядка 7%. Также было выявлено, что погрешность существующих методик определения энергии деформации может давать погрешность определения скорости перед столкновением до 14,5%.

Направления дальнейших исследований. Необходимо произвести аналогичные исследования, варьируя погрешность определения направления скоростей до и после удара.

Библиографический список использованной литературы

1. Иларионов В.А. Экспертиза дорожно-транспортных происшествий: Учебник для вузов / В.А. Иларионов. – М. : Транспорт, 1989. – 255 с.
2. Байков В.П. Ударное взаимодействие транспортных средств при их столкновении // Безопаса дорожнього руху України / В.П. Байков, В.Б. Киселев. – 2000. – №1(6). – С. 81 – 96.
3. Ксенофонтова В.А. Исследование процесса деформации кузова легкового автомобиля при наезде на неподвижное препятствие / В.А. Ксенофонтова, А.В. Бабкин, В.Н. Торлин // Сборник научных трудов ХГАДТУ «Автомобильный транспорт». – Харьков: РИО ХГАДТУ. – 2001. – №7-8. – С. 36 – 38.
4. Торлин В.Н. Конечноеэлементный анализ энергопоглощающей способности кузова автомобиля / В.Н. Торлин, А.А. Ветрогон, Е.А. Яковенко // Вісник Східноукраїнського національного університету ім.В.Даля. – 2006. – №7(101). – С.115 – 119.
5. Огородников В.А. Энергия. Деформация. Разрушение. (Задачи автотехнической экспертизы) / В.А. Огородников, В.Б. Киселев, И.О. Сивак. – Винн.: Универсум. 2005. – 204 с.

Поступила в редакцию 26.06.2012 г.

Яковенко Є.В. Оцінка погрішності визначення швидкості при зіткненні двох автомобілів

Розглядається методика визначення швидкостей транспортних засобів перед зіткненням, яка заснована на законі збереження імпульсу і законі збереження енергії. Показано вплив погрішності визначення енергії деформації кузова на точність експертизи.

Ключові слова: зіткнення двох автомобілів, закон збереження імпульсу, закон збереження енергії, погрішність експертизи.

Yakovenko E.V. Estimating of the velocity determining error in case when two cars collide

The technique of determining the velocity of cars before the collision, based on the law of conservation of momentum and energy conservation law is considered. The error influence in determining the deformation energy of the car body on the accuracy of the examination is shown.

Keywords: collision between two cars, the law of conservation of momentum, energy conservation, error of the examination.