

УДК 656.13

ДУДАРЕНКО О.В., к.т.н., доцент; СОСИК А.Ю., к.т.н.,  
Запорожский национальный технический университет

## МОДЕЛИРОВАНИЕ УСЛОВИЙ ДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНОГО ПРОИСШЕСТВИЯ ПРИ ФРОНТАЛЬНОМ СТОЛКНОВЕНИИ ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА И ПЕШЕХОДА

*Проведение автотехнической экспертизы с целью определения исходных данных при дорожно-транспортном происшествии (ДТП) ставит задачу более качественного моделирования аварийных ситуаций с участием транспортного средства и пешехода. Главным вопросом при проведении экспертизы является определение скорости транспортного средства при фронтальном наезде на пешехода.*

**Ключевые слова:** скорость автомобиля, пешеход, замедление, остановочный путь.

### Постановка проблемы

Моделирование столкновений между пешеходом и автомобилем значительно отличается от реконструкции столкновения между двумя автомобилями. Большая разница в весе и скорости движения транспортного средства и пешехода определяют траекторию движения последнего. Перемещение пешехода после столкновения наиболее часто представляет воздушную траекторию, за которой следует удар о землю, переворот или скольжение. В значительной степени на природу послеударного поведения пешехода влияют скорость и конструктивные параметры автомобиля.

### Анализ последних исследований

Применяемые в мировой практике методы математического моделирования столкновения автомобиля и пешехода условно можно разделить на две группы в зависимости от моделей контактирующих объектов.

К первой группе можно отнести механические модели, ко второй – деформируемые модели. Условность группировки обуславливается тем, что в обоих методах моделирования могут применяться элементы другой группы. Простые механические модели основаны на аналитических или полуаналитических эмпирических подходах. Это модели Сирла [1], модель падения со скольжением [2], уравнения Рау-Отто-Шульца [3] и другие. К моделям средней сложности можно отнести упрощенный метод сегментов Вуда [4]. К сложным моделям относятся трехмерные многозвенные модели тела пешехода, расчёт наезда на которые производится на компьютерах при помощи специальных программ, например, PC-Crash [5,6], в основу которых, как правило, заложен метод конечных элементов.

Для упрощения экспертного расчета в практике автотехнической экспертизы используются методы определения скорости движения транспортного средства, основанные на простых механических моделях.

Современный автомобиль оборудован элементами пассивной безопасности, которые помогают водителю, пассажирам и пешеходу выжить в случае аварии и избежать серьезных травм. В качестве элемента пассивной безопасности для пешехода выступают следующие конструктивные решения: «мягкий» капот, бескаркасные щетки, мягкий бампер, покатый наклон капота и ветрового стекла, увеличенное расстояние между двигателем и капотом, подушка безопасности для пешехода. Наличие либо отсутствие элементов пассивной безопасности косвенно влияет на результат автотехнической экспертизы.

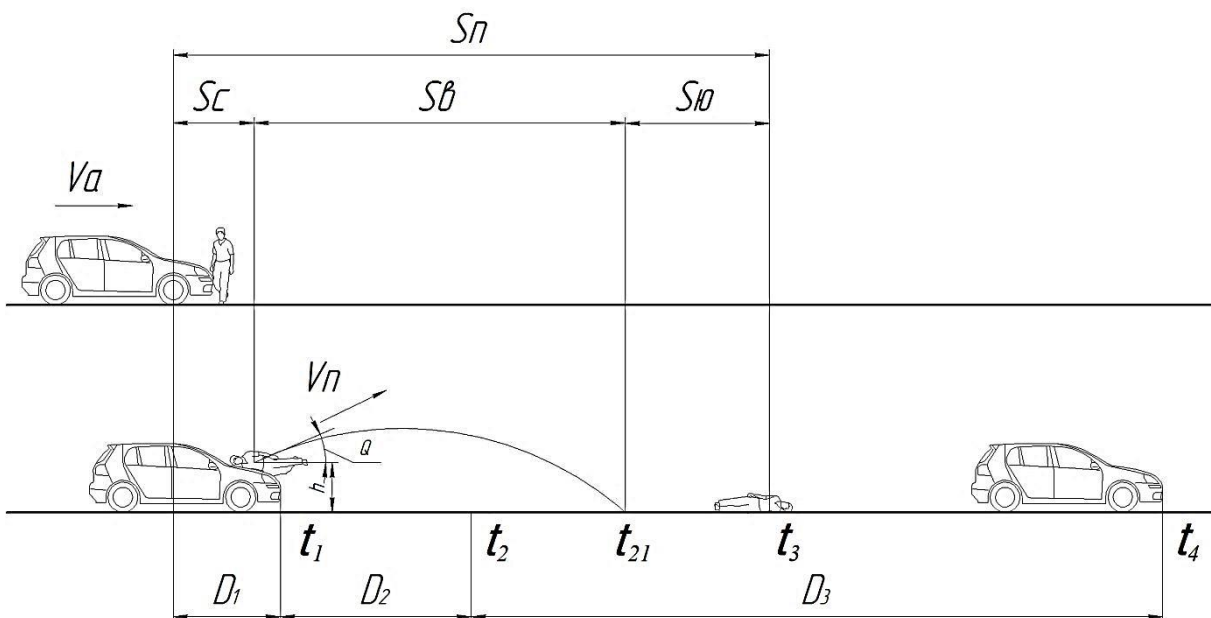
### Цель статьи

Повышение точности определения скорости движения автомобиля, оборудованного элементами пассивной безопасности, при фронтальном столкновении с пешеходом.

### Основной раздел

Анализ ДТП проводится согласно схеме, приведенной на рисунке 1. Начальный контакт автомобиля и пешехода происходит во время  $t_0$  при скорости автомобиля  $V_a$ . Автомобиль и пешеход движутся вперед на промежутке времени  $t_0 - t_1$ , до полного контакта тела пешехода с передней частью автомобиля; центр массы пешехода находится на высоте  $h$ . На промежутке времени  $t_1 - t_2$  автомобиль движется с постоянной скоростью до тех пор, пока тормозная система не будет приведена в действие. На интервале  $t_2 - t_3$  автомобиль движется с установившимся замедлением.

После полного контакта автомобиля и пешехода, последнего отбрасывает на расстояние  $S_b$ . Через промежуток времени  $t_1 - t_{21}$  пешеход контактирует с землей и оставшееся расстояние  $S_{ю}$  преодолевает с возможным скольжением (юзом) или кувырканием.



**Рис. 1. Схема ДТП при фронтальном столкновении «транспортное средство-пешеход»**

$h$  – центр массы пешехода в начале столкновения, м;  $S_b$  – расстояние, преодолеваемое пешеходом, от момента удара до столкновения с землей, м;  $S_{ю}$  – расстояние от точки контакта пешехода с землей до момента остановки, м;  $S_c$  – расстояние, преодолеваемое пешеходом до полного контакта с автомобилем, м;  $S_n$  – общее расстояние от начального контакта до неподвижного состояния, м;  $D_1$  – расстояние, преодолеваемое автомобилем до полного контакта с пешеходом, м;  $D_2$  – расстояние, преодолеваемое автомобилем при постоянной скорости движения, м/с;  $D_3$  – расстояние, проходимое автомобилем при установившемся замедлении;  $t_1 - t_4$  – время движения автомобиля от начального контакта с пешеходом до полной остановки, с;  $t_1 - t_2$  – время движения автомобиля с постоянной скоростью, с;  $t_1 - t_3$  – общее время движения пешехода от начального контакта до неподвижного состояния, с;  $t_{21}$  – время от контакта пешехода с автомобилем до касания пешеходом земли, с;  $V_a$  – начальная скорость автомобиля, м/с;  $V_n$  – начальная скорость отбрасывания пешехода, м/с;  $Q$  – угол подъема относительно плоскости дороги, град.

Простая модель столкновения автомобиля с пешеходом была разработана Вудом. Это относительно точная модель столкновения, которая учитывает всевозможные удары между автомобилем и пешеходом: позиции контакта тела, скоростей движения, время охвата и время контакта пешехода с автомобилем. В последних работах Вуд разработал гибридную модель, основанную на односоставной физической модели. Эта модель также базируется на количестве тестов системы «автомобиль-пешеход». Результаты включают простые алгебраические отношения между начальной скоростью  $V_a$  и расстоянием отброса  $S_n$ :

$$V_a = C_w \sqrt{S_n}, \quad (1)$$

где  $C_w=2,5; 3,6; 4,5$ ; – эмпирический коэффициент, учитывающий характер столкновения автомобиля и пешехода;

$S_n$  – общее расстояние от начального контакта до неподвижного состояния пешехода, м.

Различные значения  $C_w$  обеспечивают оценку средней и экспериментальной неточности, которая зависит от физиологических параметров пешехода и конструктивных параметров автомобиля.

В данном случае, формула (1) и приведенные Вудом значения  $C_w$  не учитывают наличия элементов пассивной безопасности для пешеходов, что не дает возможности корректного определения скорости транспортного средства при проведении автотехнической экспертизы.

Проведение экспериментов на масштабных моделях показало, что для определения скорости движения таких транспортных средств необходимо проведение дополнительных экспериментальных исследований. Повышение точности расчета возможно при наборе экспериментальных данных, полученных при натурном эксперименте.

С целью проведения натурного эксперимента на кафедре «Автомобили» ЗНТУ создана экспериментальная установка, состоящая из автомобиля ЗАЗ 11024, оборудованного подвижной имитационной моделью капота с возможностью изменения нормальной жесткости (рис.2).



**Рис.2. Автомобиль, оборудованный подвижной имитационной моделью капота**

Установленная на имитационной модели датчиковая аппаратура позволяет определять силу взаимодействия между манекеном пешехода и автомобилем. Экспериментальная площадка позволяет определять длину траектории манекена в воздухе и траекторию скольжения.

## **Выводы**

Для повышения точности экспериментальных показателей процесса ДТП необходимо расширить и уточнить модель процесса взаимодействия человека с транспортным средством при

оборудованиі останніми елементами пасивної безпеки. Виготовлення манекена і проведення натурного експеримента дадуть можливість провести корективну емпіричного коефіцієнта  $C_w$  (1) з метою підвищення точності розрахунку швидкості транспортного засобу при ДТП.

### Список літератури

1. Searle J., Searle A. The trajectories of pedestrians, motorcycles, motorcyclists, etc., following a road accident. // ASME Paper, (831622). 1983.
2. Eubanks J., Hill P. Pedestrian Accident Reconstruction and Litigation. // Lawyers & Judges Publishing Co, Inc., second edition. 1998.
3. Rau H., Otte D., Schulz B. Pkw-Fußgängerkollisionen im hohen Geschwindigkeitsbereich Ergebnisse von Dummyversuchen mit Kollisions-geschwindigkeiten zwischen 70 and 90 km/h. // Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik, 12:341–350. 2000.
4. Wood D. Impact and movement of pedestrians in frontal collisions with vehicles. // Proceedings of Institution Mechanical Engineer, volume 202 №D2, pages 101–110. 1988.
5. Moser A., Hoschopf H., Steffan H., Kasanicky G. Validation of the PC-Crash pedestrian model. // ASME Paper, (2000-01-0847). 2000.
6. Moser A., Steffan H., Kasanicky G. The pedestrian model in PC-Crash - the introduction of a multi body system and its validation. // ASME Paper, (1999-01-0445). 1999.

**Дударенко О.В., Сосик А.Ю. Моделювання умов дорожньо-транспортної пригоди при фронтальному зіткненні транспортного засобу та пішохода**

*Анотація.* Необхідність проведення автотехнічної експертизи з метою визначення вихідних даних при дорожньо-транспортній пригоді (ДТП) ставить завдання більш якісного моделювання аварійних ситуацій за участю транспортного засобу і пішохода. Головним питанням під час проведення експертизи є визначення швидкості руху транспортного засобу при фронтальному наїзді на пішохода.

**Ключові слова:** швидкість автомобіля, пішохід, уповільнення, зупинковий шлях.

**Dudarenko O., Sosyk A. Modelling of conditions road transport incident at frontal crash of the vehicle and the pedestrian**

*Abstract.* Carrying out a technical expertise for the purpose of definition initial data at the road accident (RA) sets a task of better modeling of emergencies with participation of the vehicle and the pedestrian. The main issue when carrying out examination is determination of speed of the vehicle at frontal end collision on the pedestrian.

**Keywords:** vehicle speed, pedestrian, slowdown, stopping distance.

Стаття надійшла до редакції 15.04.2014 р.