

FRI-2.203-2-TMS-01

COLLISION SPEED ESTIMATION USING A DIFFERENT MATHEMATICAL MODELS¹

Assoc. Prof. Daniel Lyubenov, PhD

Department of Transport,
“Angel Kanchev” University of Ruse
Phone: (+359) 082 888 605
E-mail: dliubenov@uni-ruse.bg

Assist. Prof. Svilen Kostadinov, PhD

Department of Transport,
“Angel Kanchev” University of Ruse
Phone: (+359) 082 888 618
E-mail: skostadinov@uni-ruse.bg

Eng. Filip Kirilov, PHD Student

Department of Transport,
“Angel Kanchev” University of Ruse
Phone: 0885/ 00- 43- 56
E-mail: f.kirilov@uni-ruse.bg

***Abstract:** Various methods and dependencies are used in the expert practice to determine the speed in vehicle accident reconstruction. Each of the methods has advantages and disadvantages compared to others in a specific accident investigation. Accident investigators need to know their specific features and apply the most appropriate one for each particular case. This paper presents the collision speed estimation using a different mathematical models. Presented are various mathematical models to determine the vehicles speeds for frontal collisions. A comparison of the results was made using real cases of judicial practice in Bulgaria. Analyzes and recommendations have been made on the applicability of the various mathematical models for specific accidents. The results of this work can be used in expert practice and training.*

***Keywords:** Vehicle Accident Reconstruction, Collision Speed, Delta V Energy Method.*

ВЪВЕДЕНИЕ

В експертната практика се използват различни методи и зависимости за определяне на скоростта на движение на автомобилите към началото на удара [Lyubenov D., Gelkov J. (2017); Bartlett, W., Fonda, A. (2003); Evtiukov, S, etc (2017); Wach W. (2016); Brach R., M. Brach (2011)]. Те са разработени чрез използване на основни теореми от механиката. Всеки от методите има предимства и недостатъци в сравнение с останалите при изследване на конкретно пътнотранспортно произшествие (ПТП). Експертите трябва да познават специфичните им особености и да прилагат най-подходящия за всеки конкретен случай.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Математични модели

Един от често използваните методи се базира на *Закона за запазване на пълната механична енергия* - метод *Delta V* [Lyubenov D., Gelkov J. (2017); Qian W., Hampton G. (2007); Gabauer, D.J. & Gabler, H.C. (2006); Johnson, N.S. & Hampton C.G. (2014); Pride, R., etc. (2013)]. Общата кинетична енергия преди удара се трансформира в кинетична енергия след удара – трансляционна и ротационна съставлящи и на енергия на деформация – еластична и пластична.

¹ Докладът е представен на пленарната сесия на 26 октомври 2018 с оригинално заглавие на български език: ОЦЕНКА НА СКОРОСТТА ПРИ УДАР, ИЗПОЛЗВАЙКИ РАЗЛИЧНИ МАТЕМАТИЧНИ МОДЕЛИ

Този метод може да се използва при удари в твърдо препятствие, а също и при произшествия между автомобили.

Като се ползват материали от разследването и допълнителни измервания по автомобила, се определят необходимите данни за изчисленията: пълната маса на автомобила m , kg; ширината на деформацията L , m; ъгълът между нормалата към повърхнината и вектора на ударния импулс α , °; дълбочините на деформацията в шест равно отдалечени сечения c_{1-6} , cm.

В зависимост от надлъжната база L_6 на автомобила и вида на удара се определят коефициентите за коравина на конструкцията А и В [Lyubenov, D., 2017].

Преобразуваната кинетична енергия по време на удара се изчислява по зависимостта

$$E = (1 + tg^2 \alpha) \frac{L}{5} \left[\frac{A}{2}(c_1 + 2c_2 + 2c_3 + 2c_4 + 2c_5 + c_6) + \frac{B}{6}(c_1^2 + 2c_2^2 + 2c_3^2 + 2c_4^2 + 2c_5^2 + c_6^2 + c_1c_2 + c_2c_3 + c_3c_4 + c_4c_5 + c_5c_6) + 2,5A^2 / B \right] \quad (1)$$

Еквивалентната скорост при удара се изчислява по следната зависимост:

$$V = \sqrt{2E / m} \quad (2)$$

При челни удари в твърдо препятствие еквивалентната скорост (V , mph) може да бъде определена по следната зависимост [Wood, D. (1992)]

$$V = b_0 + b_1(c / L)^{2/3} \quad (3)$$

където b_0 и b_1 са коефициентите, отчитащи конструкцията на автомобила; c – дълбочината на деформацията, in.; L - дължината на автомобила, in.;

Еквивалентната скорост (V , mph) при челен удар в твърдо препятствие в зависимост от максималната деформация (C , in.) може да се определи по следните зависимости [Parkka, D., 1996]:

- за деформации от 15 до 20 in.:
 $V = C \quad (4)$

- за деформации от 21 до 25 in.:
 $V = C + 1 \quad (5)$

- за деформации от 26 до 30 in.:
 $V = C + 2 \quad (6)$

- за деформации от 31 до 35 in.:
 $V = C + 3 \quad (7)$

- за деформации от 36 до 40 in.:
 $V = C + 4 \quad (8)$

- за деформации от 41 до 45 in.:
 $V = C + 5 \quad (9)$

- за деформации до 15 in. и маса до 1111 kg.:
 $V = 0,641C + 3,04 \quad (10)$

- за деформации до 15 in. и маса от 1111 до 1338 kg.:
 $V = 0,648C + 2,46 \quad (11)$

- за деформации до 15 in. и маса от 1338 до 1565 kg.:
 $V = 0,6C + 4,04 \quad (12)$

- за деформации до 15 in. и маса от 1565 до 1792 kg.:
 $V = 0,516C + 4,84 \quad (13)$

- за деформации до 15 in. и маса от 1792 до 2018 kg.:
 $V = 0,467C + 4,33 \quad (14)$

- за деформации над 15 in.
 $V = (0,964 - 0,0000351W)C + b \quad (15)$

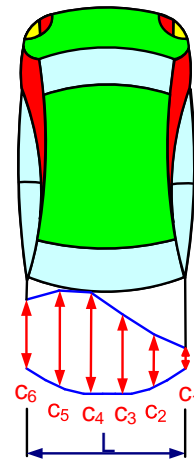
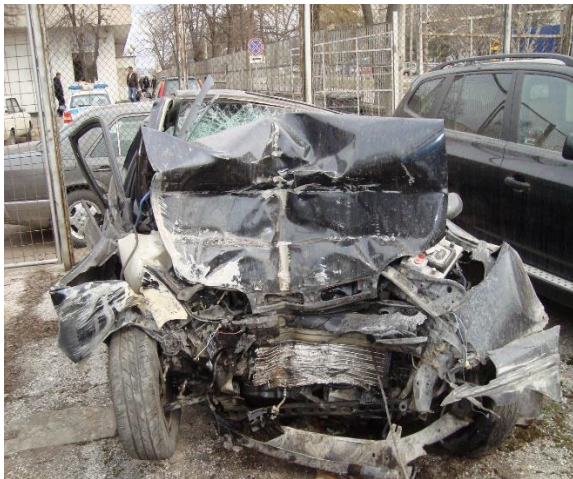
където b е максималната скорост при удар без постоянни увреждания (3 до 7 mph); W - масата на автомобила, lb ;

- за деформации до 15 in.

$$V = C\sqrt{1,27 - 0,0002W} \quad (16)$$

По описаните по горе математични зависимости ще бъде изчислена скоростта на автомобили за различни реални произшествия в България и ще бъде направено сравнение на резултатите по отделните методи.

Казус 1. При това произшествие автомобил “Фиат” се е движил по прав участък с надлъжен наклон на спускане. Автомобила се е отклонил наляво и се е ударил в бетонна колона. Времето е било ясно, пътната настилка – суха. В резултат на удара е деформирана предната част на автомобила (фиг. 1).



Фиг. 1. Деформации по автомобил “Фиат”

На базата на масата на автомобила (1345 kg), ширината на деформацията, ъгълът между нормалата към деформираната повърхнина и вектора на ударния импулс, дълбочините на деформацията в шест равно отдалечени сечения (75, 105, 111, 87, 57 и 22 cm) и коефициентите за коравината на конструкцията, по зависимост (1) се определя кинетична енергия за конкретния случай и по зависимост (2) се определя еквивалентната скорост при удара

$$V_{11} = (2.338287 / 1345)^{1/2} = 80,74 \text{ km/h} \quad (17)$$

По зависимост (3) за еквивалентната скорост се получава

$$V_{12} = 5 + 115(43,7 / 157)^{2/3} = 54,00 \text{ mph} (87,00 \text{ km/h}) \quad (18)$$

По зависимост (9) за еквивалентната скорост се получава

$$V_{13} = 43,7 + 5 = 48,70 \text{ mph} (78,40 \text{ km/h}) \quad (19)$$

По зависимост (15) за еквивалентната скорост се получава

$$V_{14} = (0,964 - 0,0000351.2965)43,7 + 7 = 44,60 \text{ mph} (71,80 \text{ km/h}) \quad (20)$$

При този вид казус добро сходство на резултатите за скоростта предлагат математичните зависимости (2) и (9) – разлика около 2 km/h. Най-голяма разлика в резултатите се получава при зависимости (15) и (3) – около 15 km/h.

Казус 2. При движението си по прав пътен участък лек автомобил „Фолксваген Поло“ се удря в спрял товарен автомобил с маса над 20 000 kg. Масата на „Фолксваген Поло“ е 1200 kg. Вследствие от удара е деформирана цялата предната част на автомобила (фиг. 2), която е с ширина 150 cm. Измерените деформациите са 0, 5, 25, 35, 47 и 40 cm.



Фиг. 2. Предна част на автомобил „Фолксваген Поло“

За този случай скоростта на автомобила е (2)

$$V_{21} = (2.52810 / 1200)^{1/2} = 33,77 \text{ km / h} \quad (21)$$

По зависимост (3) за еквивалентната скорост се получава

$$V_{22} = 3 + 90(18,5 / 157)^{2/3} = 24,60 \text{ mph} (39,70 \text{ km / h}) \quad (22)$$

По зависимост (4) за еквивалентната скорост се получава

$$V_{23} = 18,50 \text{ mph} (29,80 \text{ km / h}) \quad (23)$$

По зависимост (15) за еквивалентната скорост се получава

$$V_{24} = (0,964 - 0,0000351.2646)18,5 + 5 = 21,12 \text{ mph} (34,00 \text{ km / h}) \quad (24)$$

При този вид казус добро сходство на резултатите за скоростта предлагат математичните зависимости (2), (4) и (15) – разлика до около 4 km/h. Най-голяма разлика в резултатите се получава при зависимости (3) и (4) – около 10 km/h.

Казус 3. Автомобил “Рено Мастер” се удря във врата на гаражна постройка. Ударът е бил с предната дясна част на автомобила. Установена е деформация на предната дясна надлъжна греда с дълбочина 48 cm.

По зависимост (3) за еквивалентната скорост се получава

$$V_{31} = 7 + 93(18,9 / 193)^{2/3} = 26,80 \text{ mph} (43,10 \text{ km / h}) \quad (25)$$

По зависимост (4) за еквивалентната скорост се получава

$$V_{32} = 18,9 \text{ mph} (30,40 \text{ km / h}) \quad (26)$$

По зависимост (15) за еквивалентната скорост се получава

$$V_{33} = (0,964 - 0,0000351.4188)18,9 + 7 = 22,40 \text{ mph} (36,10 \text{ km / h}) \quad (27)$$

При този вид казус използваните математични зависимости определят разлика в резултатите за еквивалентната скорост до около 13 km/h.

Казус 4. В гр. Русе, автомобил Фиат Купе се е движил по бул. „България”, насочил се е наляво и се е ударил в метален стълб от уличното осветление. Дълбочината на деформацията отпред вляво, измерена по направление на надлъжната ос на автомобила е 152 cm (фиг. 3).

По зависимост (3) за еквивалентната скорост се получава

$$V_{41} = 5,8 + 129(59,8 / 167)^{2/3} = 70,85 \text{ mph} (114,10 \text{ km / h}) \quad (28)$$

По зависимост (15) за еквивалентната скорост се получава

$$V_{42} = (0,964 - 0,0000351.2645)59,8 + 7 = 65,10 \text{ mph} (104,80 \text{ km / h}) \quad (29)$$



Фиг. 3. Деформации по автомобил „Фиат Купе“

При този вид казус използваните математични зависимости определят разлика в резултатите за еквивалентната скорост до около 10 km/h.

Казус 5. Автомобил „Фолксваген Поло“ се е ударил с предната си част в спрял автомобил Мицубиши. В резултат на деформацията (1,25 cm) цялата предна част на автомобила е изместена надясно (фиг. 4).



Фиг. 4. Деформации по автомобил „Фолксваген Поло“

По зависимост (3) за еквивалентната скорост се получава

$$V_{51} = 5,8 + 100(49 / 148)^{2/3} = 53,70 \text{ mph} (86,40 \text{ km} / \text{h}) \quad (30)$$

По зависимост (9) за еквивалентната скорост се получава

$$V_{52} = 49 + 5 = 54 \text{ mph} (87,00 \text{ km} / \text{h}) \quad (31)$$

По зависимост (15) за еквивалентната скорост се получава

$$V_{53} = (0,964 - 0,0000351.2205)49 + 7 = 50,40 \text{ mph} (81,20 \text{ km} / \text{h}) \quad (32)$$

При този вид казус използваните математични зависимости определят разлика в резултатите за еквивалентната скорост до около 6 km/h.

Казус 6. Автомобил „Нисан Екстрейл“ се е движил към Русе по прав участък с наклон, навлязъл е в крайпътен терен и се е ударил в дърво (фиг. 5). Дълбочината на деформацията, измерена по направление перпендикулярно на надлъжната ос на автомобила е 68 cm.



Фиг. 5. Деформации по автомобил „Нисан Екстрейл“

По зависимост (3) за еквивалентната скорост се получава

$$V_{61} = 5,8 + 127(26,8 / 178)^{2/3} = 41,80 \text{ mph} (67,20 \text{ km / h}) \quad (33)$$

По зависимост (6) за еквивалентната скорост се получава

$$V_{62} = 26,8 + 2 = 28,80 \text{ mph} (46,40 \text{ km / h}) \quad (34)$$

По зависимост (15) за еквивалентната скорост се получава

$$V_{63} = (0,964 - 0,0000351 \cdot 2645)26,8 + 7 = 30,30 \text{ mph} (48,90 \text{ km / h}) \quad (35)$$

При този вид казус използваните математични зависимости определят разлика в резултатите за еквивалентната скорост до около 2 km/h за зависимости (6) и (15) и около 20 km/h между тях и зависимост (3).

ИЗВОДИ

В тази работа са представени различни математични модели за определяне на еквивалентната скорост при удар на автомобили в твърди препятствия.

Изследвана е приложимостта на отделните математични модели за конкретни реални казуси. Направена е оценка на получените резултати за скоростта на примера на реални произшествия с автомобили в България.

Консултанти: инж. Живко Гелков и инж. Орлин Дюлгеров – вещи лица към Окръжен съд Русе.

REFERENCES

- Bartlett, W., Fonda, A. (2003) Evaluating uncertainty in accident reconstruction with finite Differences. SAE Technical Paper No. 2003-01-0489, Warrendale, PA.
- Brach R., M. Brach (2011). Vehicle Accident Analysis and Reconstruction Methods.
- Evtiukov, S., etc. (2017) A. Methods of Accident Reconstruction and Investigation Given the Parameters of Vehicle Condition and Road Environment. Tr. Research Procedia. Vol. 20, P. 185-192.
- Gabauer, D.J. & Gabler, H.C. (2006) Comparison of delta-V and occupant impact velocity crash severity metrics using event data recorders. Annual Proceedings/Association for the Advancement of Automotive Medicine. Vol. 50. P. 57-71.
- Gelkov J., Lyubenov D., (2014). Bezopasnost na dvijenieto. RU, Ruse. (*Оригинално заглавие:* Гелков, Ж.Р., Любенков Д., 2014. Безопасност на движението. РУ, Русе).
- Johnson, N.S. & Hampton C.G. (2014). Evaluation of NASS-CDS Side Crash Delta-V Estimates Using Event Data Recorders. Traffic Injury Prevention Journal. 2014. Vol. 15, Issue 8. P. 827-834.
- Lyubenov D., Gelkov J., (2017). Analiz I rekonstrukcii na pytnotransportnite proizshetwiq. RU, Ruse. (*Оригинално заглавие:* Любенков Д., Гелков Ж., 2017. Анализ и реконструкции на пътнотранспортните произшествия. РУ, Русе).
- Parkka D. (1996). Equation Directory for the Reconstructionist. Institute of Police Technology and Management; 2nd edition.
- Pride, R. & Giddings, D. & Richens, D. & McNally, D. (2013). The sensitivity of the calculation of ΔV to vehicle and impact parameters. Accident Analysis & Prevention. June 2013. Vol. 55. P. 144-153.
- Qian W., Hampton G. (2007). Accuracy of Vehicle Frontal Stiffness Estimates for Crash Reconstruction. Virginia Tech, United States, Paper Number 07-0513
- Wach W. (2016). Calculation reliability in vehicle accident reconstruction. Forensic Science International Journal. June 2016. Vol. 263. P. 27-38.
- Wood, D. (1992). Collision Speed Estimation Using a Single Normalised Crush Depth-Impact Speed Characteristic, SAE Technical Paper 920604.

Докладът отразява резултати от работата по проект № 2018 - ФТ - 02, финансиран от фонд „Научни изследвания“ на Русенския университет.

Изследванията са подкрепени по договор на Русенски университет "Ангел Кънчев" с № BG05M2OP001-2.009-0011-C01, „Подкрепа за развитието на човешките ресурси в областта на научните изследвания и иновации в Русенски университет "Ангел Кънчев", финансиран по Оперативна програма „Наука и образование за интелигентен растеж“ 2014-2020”, съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз“.