

APPLICATION OF A DIFFERENT PEDESTRIAN IMPACT MODELS TO THE DETERMINATION OF IMPACT SPEED¹

Assoc. Prof. Daniel Lyubenov, PhD

Department of Transport,

“Angel Kanchev” University of Ruse

Phone: (+359) 082 888 605

E-mail: dliubenov@uni-ruse.bg

Abstract: *This paper presents different models for determining the speed of vehicles at the time of impact depending throw distance of the body in a road accident with pedestrians. The applicability of the considered mathematical models has been established by a real example from the expert practice. Experts must know the specifics of the presented dependencies and depending on the type of vehicle, the mode of movement, the mechanism of the accident and the physical data of the pedestrian, should make a correct choice of mathematical dependence.*

Keywords: *Pedestrian Accidents, Pedestrian Impact Models, Impact Speed.*

ВЪВЕДЕНИЕ

България е една от страните от Европейския съюз с висок брой загинали при пътнотранспортни произшествия (ПТП) спрямо броя на населението. През 2020 година по пътища на България при 5710 тежки ПТП са загинали 463 и са ранени 7121 участници в движението. От всички загинали за посочената година 94 са пешеходци, което представлява малко над 20% (mvr.bg, 2021). Изготвянето на автотехнически експертизи за такива ПТП е задължителен етап в гражданския или наказателния процес (Lyubenov, D., 2019; Lyubenov, D., Kirilov, F., 2019).

Във връзка с това целта на тази работа е да бъдат представени различни математични модели за определяне на скоростта на превозни средства в момента на удара в зависимост от разстоянието на отхвърляне на тялото при ПТП с пешеходци, както и да бъде установена приложимостта им на примера на реално ПТП.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Съществуват различни методи за определяне на скоростта на превозното средство при ПТП с пешеходци (Ayscock, E., 2015; Karapetkov, S., 2005; Brach, R., 2011; Lyubenov, D., 2019): по дължината на оставени спирачни следи; по дължината на изминато разстояние с определено закъснение; чрез използване на видеозапис или данни от тахограф; по мястото на деформациите по превозното средство; в зависимост от разстоянието на отхвърляне на тялото и др. При известно разстояние на отхвърляне на тялото, за определяне на скоростта на превозното средство, за това изследване са приложими пет основни математични модели (Karapetkov, S., 2005; Searle, J., 1993; Eubanks J, 1992; Wood DP., 1991).

$$V = 2,95\sqrt{8,4\varphi^4 + 3,28\varphi S} - 8,94\varphi^2, \quad (1)$$

където φ е съпротивлението при плъзгане и търкаляне на тялото на пешеходеца; S - разстоянието на отхвърляне на тялото.

$$V = \frac{m_1+m_2}{m_1} \sqrt{2(S + \Delta h)\varphi g}, \quad (2)$$

където m_1 и m_2 са съответно масите на автомобила и пешеходеца; φ - съпротивлението при плъзгане и търкаляне на тялото на пешеходеца; S - разстоянието на отхвърляне на тялото;

¹ Докладът е представен на научна сесия на 30 октомври 2021 с оригинално заглавие на български език: ПРИЛОЖЕНИЕ НА РАЗЛИЧНИ МОДЕЛИ ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ НА СКОРОСТТА В МОМЕНТА НА УДАРА ПРИ ПТП С ПЕШЕХОДЦИ.

Δh - разликата между височината на предната част на автомобила и масовия център на пешеходеца; g - земното ускорение.

$$V = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}, \quad a = \frac{1}{2g\varphi}; \quad b = \frac{l}{V_2 \sin \gamma} + \sqrt{\frac{2h}{g}}; \quad c = -S, \quad (3)$$

където φ е съпротивлението при плъзгане и търкаляне на тялото на пешеходеца; S - разстоянието на отхвърляне на тялото; g - земно ускорение; V_2 - скоростта на пешеходеца; l - относителното напречно преместване на тялото спрямо автомобила от момента на първия контакт до мястото на напускане; γ - ъгълът между скоростта на пешеходеца и скоростта на автомобила; h - височината на напускане на тялото на пострадалия от автомобила;

$$V_{min} = \sqrt{\frac{2\varphi g S}{1 + \varphi^2}}; \quad V_{max} = \sqrt{2\varphi g S}; \quad V_{cp} = \frac{V_{min} + V_{max}}{2} \quad (4)$$

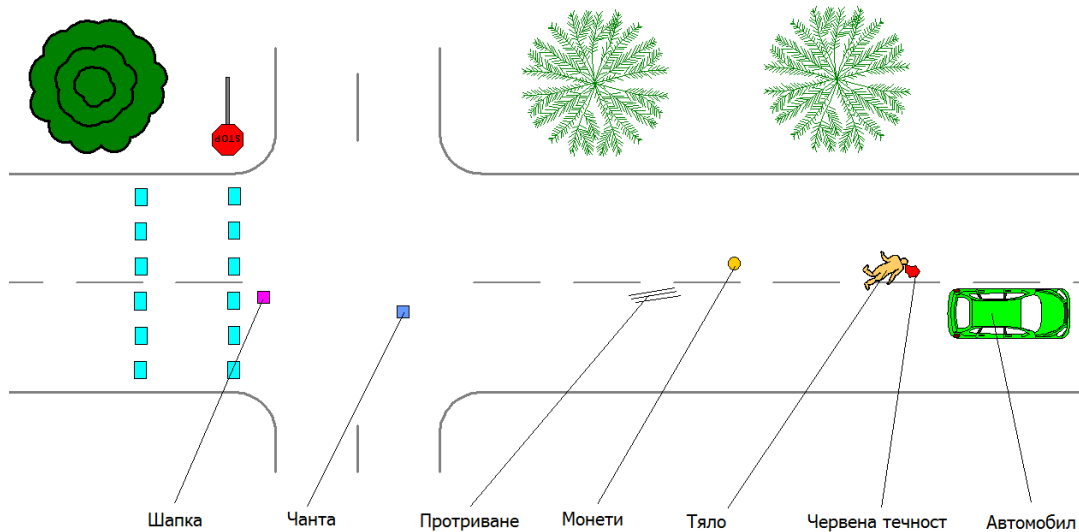
където φ е съпротивлението при плъзгане и търкаляне на тялото на пешеходеца; S - разстоянието на отхвърляне на тялото; g - земното ускорение;

$$V = \sqrt{\frac{S}{0,070}} \quad (5)$$

където S е разстоянието на отхвърляне на тялото;

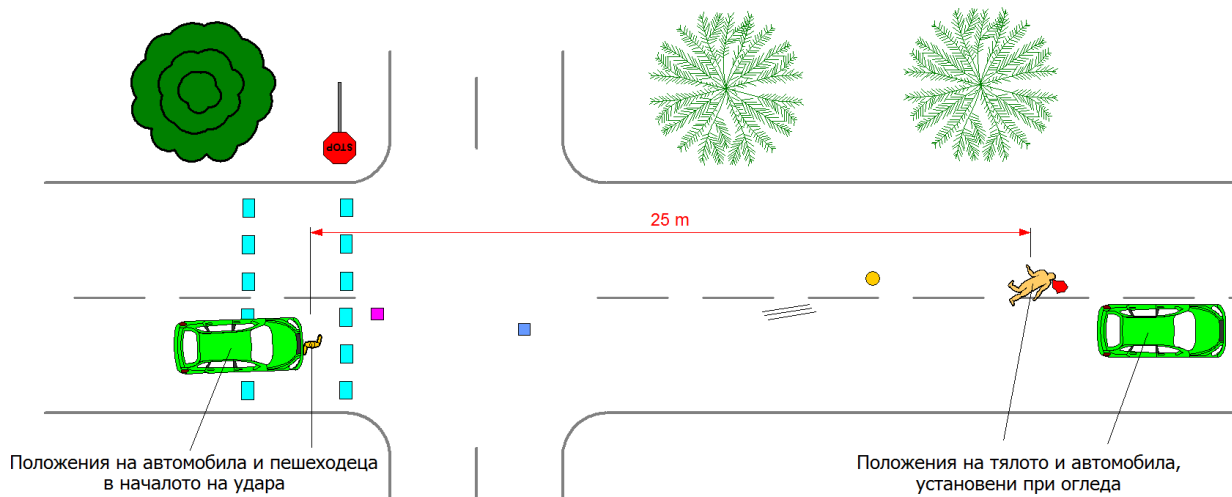
Експертите трябва да познават особеностите на представените математични модели и в зависимост от вида на превозното средство, начинът на движение, механизма на протичане на ПТП и физическите данни на пешеходеца, следва да направят коректен избор. Възниква въпрос, когато за определяне на скоростта на превозното средство при конкретно ПТП с пешеходец се ползват всички или част от представените зависимости и до какви разлики в скоростта би довел различният начин на работа.

Изследване приложението на различните методи ще бъде направено на примера на реално ПТП. Произшествието е възникнало в гр. Русе през 2020 г. Лек автомобил блъсва пресичаш от дясно на ляво (спрямо посоката на автомобила) пешеходец. По данни от огледния протокол се изготвя скица на мястото на ПТП (фиг. 1).



Фиг. 1. Скица на мястото на ПТП

От свидетелите на ПТП и деформациите по автомобила се определя, че началото на удара е било между предната страна на автомобила и лявата страна на пешеходеца. Чрез анализ на наличните доказателства и материали за конкретното ПТП се определя мястото на началото на удара. По дължина около средата на пешеходната пътека, а по ширина - на 2,40 m от десния край на платното за движение (фиг. 2).



Фиг. 2. Положения на участниците в ПТП в различни моменти

От материалите по делото, скицата и техническата литература се определят: разстоянието на отхвърляне на тялото - 25 m; съпротивлението при плъзгане и търкаляне на тялото на пешеходеца - 0,66; земното ускорение - 9,81 m/s²; скоростта на пешеходеца - 4,8 km/h; относителното напречно преместване на тялото спрямо автомобила от момента на началния контакт до мястото на напускане - 0,1 m; разликата между височината на предната част на автомобила и масовия център на пешеходеца - 0,03 m; ъгълът между скоростта на пешеходеца и скоростта на автомобила - 88°; височината на напускане на тялото на пешеходеца от автомобила - 1,0 m; масите на автомобила и пешеходеца - 1410 и 82 kg.

При тези данни, съгласно представените математически зависимости (1 - 5), за скоростта на автомобила в момента на удара се получава

$$V = 2,95\sqrt{8,4\varphi^4 + 3,28\varphi S} - 8,94\varphi^2 = 2,95\sqrt{8,4 \cdot 0,66^4 + 3,28 \cdot 0,66 \cdot 25} - 8,94 \cdot 0,66^2 = 18,13 \text{ m/s (65,30 km/h)} \quad (6)$$

$$V = \frac{m_1+m_2}{m_1} \sqrt{2(S + \Delta h)\varphi g} = \frac{1410+82}{1410} \sqrt{2(25 + 0,03)0,66 \cdot 9,81} = 19,05 \text{ m/s (68,60 km/h)} \quad (7)$$

$$V = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} = \frac{-0,526 + \sqrt{0,526^2 - 4 \cdot 0,077 \cdot (-25)}}{2 \cdot 0,077} = 14,92 \text{ m/s (53,70 km/h)} \quad (8)$$

$$a = \frac{1}{2g\varphi} = \frac{1}{2 \cdot 9,81 \cdot 0,66} = 0,077 \quad (9)$$

$$b = \frac{l}{V_2 \sin \gamma} + \sqrt{\frac{2h}{g}} = \frac{0,1}{1,33 \cdot \sin 88} + \sqrt{\frac{2 \cdot 1}{9,81}} = 0,526 \quad (10)$$

$$c = -25, \quad (11)$$

$$V_{min} = \sqrt{\frac{2\varphi g S}{1 + \varphi^2}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 0,66 \cdot 9,81 \cdot 25}{1 + 0,66^2}} = 15,02 \text{ m/s} \quad (12)$$

$$V_{max} = \sqrt{2\varphi g S} = \sqrt{2 \cdot 0,66 \cdot 9,81 \cdot 25} = 17,99 \text{ m/s} \quad (13)$$

$$V_{cp} = \frac{15,02 + 17,99}{2} = 16,50 \text{ m/s (59,40 km/h)} \quad (14)$$

$$V = \sqrt{\frac{S}{0,070}} = \sqrt{\frac{25}{0,070}} = 18,90 \text{ m/s (68,00 km/h)} \quad (15)$$

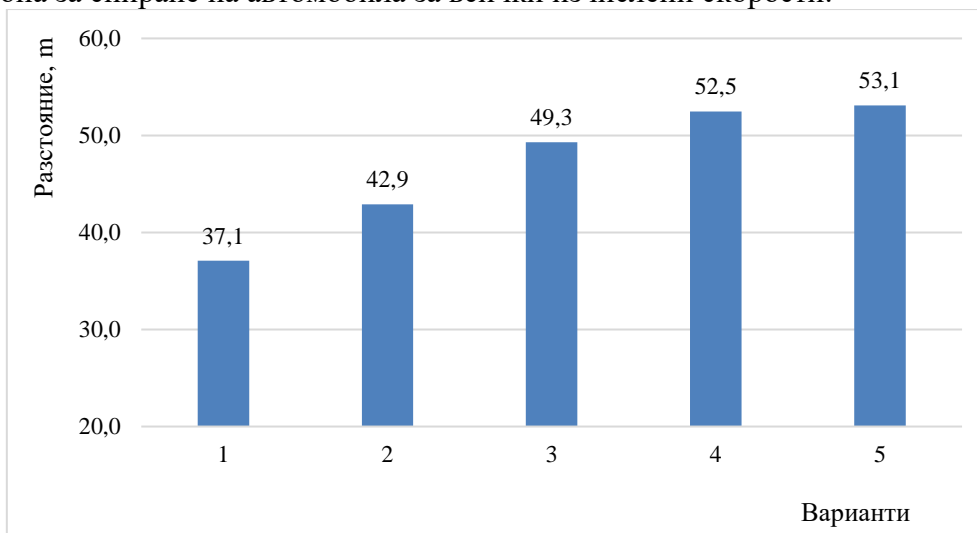
Сравнявайки резултатите за скоростите на автомобила в началото на удара от разгледаните математически модели се установява, че за конкретното ПТП те варират в граници от 53,70 до 68,60 km/h. Това определя 28% по-висока скорост за горната граница в сравнение с долната.

Опасната зона за спиране на автомобила се изчислява по следната зависимост

$$S_{on} = (t_1 + t_2 + 0,5t_3)V + \frac{V^2}{2a_{cn}} \quad (16)$$

където t_1 е времето за реакция на водача; t_2 – времето за задействане на спирачния механизъм; t_3 – времето за увеличаване на спирачното закъснение; V – скоростта на автомобила; a_{cn} - спирачното закъснение.

За конкретното ПТП времето за реакция на водача е 1,0 s, времето за задействане на спирачния механизъм е 0,2 s, времето за увеличаване на спирачното закъснение 0,4 s, спирачното закъснение е 6,87 m/s². При тези данни на фиг. 3 са представени резултати за опасната зона за спиране на автомобила за всички изчислени скорости.



Фиг. 3. Опасна зона за спиране на автомобила за различните варианти на скорости

Сравнявайки резултатите за опасната зона за спиране на автомобила за различните скорости се установява, че за конкретното ПТП тя варира в граници от 37,10 до 53,10 m. Това определя 43% по-голяма опасна зона за спиране при горната граница в сравнение с долната. Това може да окаже съществено влияние върху заключението на експертите за възможността за предотвратяване на произшествието, а от това и върху хода на делото. Върху това заключение влицие оказва и отстоянието на автомобила от мястото на удара в момента на възникване на опасността.

ИЗВОДИ

Представени са пет различни математични модели за определяне на скоростта на превозни средства в момента на удара в зависимост от разстоянието на отхвърляне на тялото при ПТП с пешеходци.

Чрез реален пример от експертната практика е установена приложимостта на разгледаните математични модели.

Установява се до 28% разлика в скоростите в зависимост от използвания модел за конкретния пример.

Установява се до 43% разлика в дължината на опасната зона за спиране на автомобила в зависимост от използвания модел за конкретния пример.

На основание резултатите от проведеното изследване се доказва, че експертите трябва добре да познават особеностите на използваните математични модели за да направят коректен избор, съобразен с механизма на конкретното произшествие.

Докладът отразява резултатите от работата по проект № 2021-RU-02, финансиран от Фонд Научни изследвания на Русенския университет.

REFERENCES

- Aycock, E. (2015). *Accident Reconstruction Fundamentals. A Guide for Understanding Vehicle Collisions*. Amazon.
- Brach, R., & Brach, M. (2011). *Vehicle Accident Analysis and Reconstruction Methods*.
- Eubanks JJ, Haight WR. (1992) *Pedestrian involved traffic collision reconstruction methodology*. SAE Technical Paper 921591.
- Karapetkov, S. (2005) *Autotechnical expertise*. Technical University of Sofia. (**Оригинално заглавие:** Карпетков С, 2005. *Авотехническа експертиза*. Технически университет София).
- Lyubenov, D. (2019) *Expert Investigation of Cars Accidents*. University of Ruse. (**Оригинално заглавие:** Любенков Д., 2019. *Експертно изследване на пътнотранспортни произшествия с автомобили*. Издателство Русенски университет, Русе).
- Lyubenov, D., & Kirilov, F. (2019). *A Study of the Influence of Input Parameters on Output Results for the Delta V Method*. Proceedings of University of Ruse 2019, Volume 58, Book 4, p. 170-176.
- Searle, J. (1993) *The Physics of Throw Distance in Accident Reconstruction*. SAE Technical Paper 930659.
- Wood DP. (1991) *Application of a pedestrian impact model to the determination of impact speed*. SAE Technical Paper 910814.
- <https://www.mvr.bg/> (2021). *Травматизъм при пътнотранспортни произшествия през 2020 г.* Министерство на вътрешните работи. Главна дирекция „Национална полиция“.