

INVESTIGATION OF BRAKING PROPERTIES OF FOUR-WHEEL ELECTRIC VEHICLES ¹⁹

Assoc. Prof. Daniel Lyubenov, PhD

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

Assist. Prof. Dzhemal Topchu, PhD

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

Abstract: *In recent years, Bulgaria has seen an increase in the number of individual electric vehicles. Some of them are four-wheeled electric vehicles that are used by people with special needs or the elderly. The Bulgarian literature lacks data on the longitudinal dynamic properties of these vehicles in real conditions. In this work, the dynamic properties of four-wheel electric vehicles are investigated. The research was conducted with a GPS data logging system. Data obtained in real road conditions for speeds and braking decelerations. The obtained results can be useful for the expert investigation of traffic accidents.*

Keywords: *Traffic Safety, Electric Vehicles, Decelerations, Accident Investigation.*

ВЪВЕДЕНИЕ

В световен мащаб над един милион човека загиват годишно при пътнотранспортни произшествия (ПТП), а милиони други получават сериозни наранявания с дългосрочни неблагоприятни последици за здравето. ПТП са водеща причина за смърт в света сред младите хора и основна причина за смърт за тези на възраст 15 – 29 години. ПТП понастоящем се оценяват като осмата водеща причина за смърт във всички възрастови групи (WHO, 2024).

Част от произшествията могат да бъдат предотвратени чрез предприемане на действия за подобряване на безопасността на движението по пътищата. Това изисква участие на множество сектори като транспорт, полиция, здравеопазване, образование, научни изследвания и др.

При експертното изследване на ПТП са необходими данни за динамичните характеристики на превозните средства, участвали в произшествията. Това налага необходимост от различни изследвания (Phan, C. etc., 2023; Zhengbin, Z. etc., 2015; Indu, K., & Aswatha Kumar, M., 2023). В българската специализирана литературата тези данни са недостатъчно, а за някои превозни средства липсват.

ИЗЛОЖЕНИЕ

През последните години в България се наблюдава нарастване на броя на електрическите превозни средства. Подобна е тенденцията и в други страни (Salgado, A. etc., 2024; Bingchen, M. etc., 2022). Това оказва влияние върху безопасността на движението Спо пътищата. Част от тях са четириколесни електрически превозни средства с ниски максимални скорости, които се използват от хора със специални потребности или възрастни хора. По различни причини (неподходяща пътна инфраструктура, лични мотиви и др.) тези превозни средства се движат заедно с другите превозни средства по пътищата и улиците в населените места. Това увеличава

¹⁹ Докладът е представен на пленарната сесия на 25 октомври 2024г. с оригинално заглавие на български език: ИЗСЛЕДВАНЕ НА СПИРАЧНИ СВОЙСТВА НА ЧЕТИРИ-КОЛЕСНИ ЕЛЕКТРИЧЕСКИ ПРЕВОЗНИ СРЕДСТВА

конфликтните ситуации и опасността от възникване на ПТП. Обект на това изследване са четириколесни електрически превозни средства Стерлинг С425 и Го Го Елит Травелер (фиг. 1).



(1)



(2)

Фиг. 1. Електрическите превозни средства
(1) Стерлинг С425; (2) Елит Травелер.

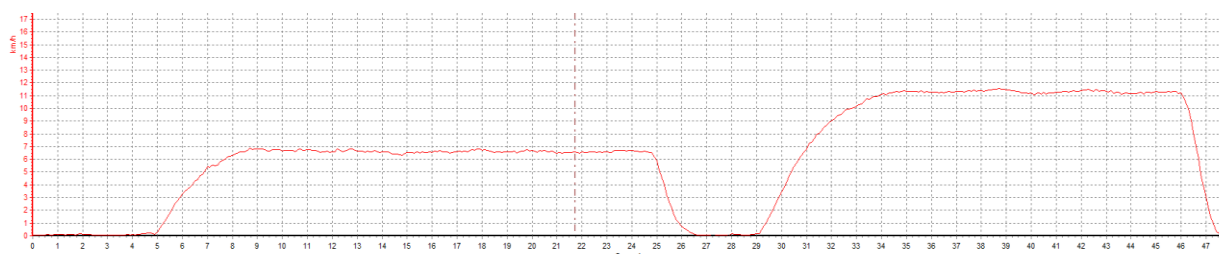
Стерлинг С425 е с дължина 1345 mm и широчина – 655 mm. Масата му е 117 kg. Максимален пробег 25 km. Гумите са Cheng Shin 4.00-4, C-154-3 (<https://mobilityhire.com>). При Стерлинг С425 е налично автоматично регенеративно спиране след освобождаване на лоста за контролиране на моментната скорост. Налична е и спирачка за паркиране, която се задейства с лост.

Елит Травелер (<https://www.pridemobility.com>) е с дължина 1003 mm, ширина 495 mm, маса (без батерия) 36 kg. Предните гумите са 5 x 17.78 cm (2" x 7"), а задните – 6.35 x 20 cm (2.5" x 8"). При това превозно средство е налична автоматична електронна спирачка.

За регистриране на скоростите и ускоренията на определени превозни средства може да се използва различно оборудване (Dimitrov, R. etc., 2022; Uzunov, H., etc., 2022). В това изследване е използвана система Vbox Sport (Balbuzanov, T., 2023; <https://www.vboxautomotive.co.uk>). Изследването е проведено по пътища от общинската пътна мрежа. Настилката е от асфалт, суха към момента на провеждане на опитите. Масата на водача е 80 kg.

Максималната скорост на Стерлинг С425 се ограничава чрез селектор на скоростта. В крайно дясно положение на селектора има символ на *заек*. Освен това има и бутон със символ на *костенурка*. Този бутон намалява скоростта до 50% от максималната. Изследването не е провеждано в такъв режим.

На фиг. 2 е представен запис на максималната постигната скорост в реални условия на Стерлинг С425 в двете крайни положения на селектора на скоростта.

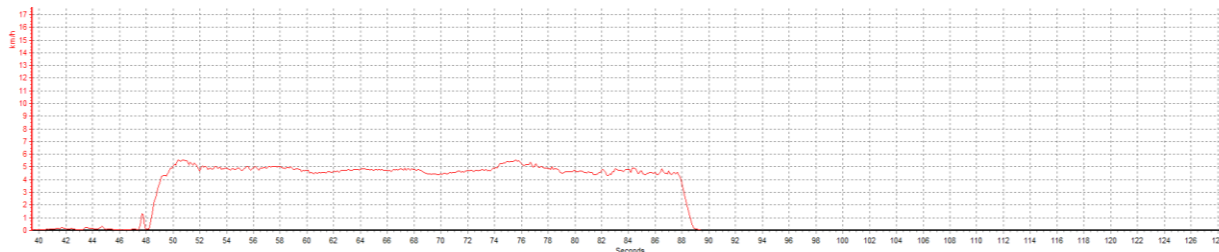


Фиг. 2. Запис на скоростта на Стерлинг С425

Лявата област на графиката е за максималната скорост при крайно положение на селектора, съответстващо на най-ниската скорост. Установява се, че максималната скорост на това превозно средство за това положение е 6 – 7 km/h. Дясната област на графиката е за максималната скорост при крайно положение, съответстващо на най-високата скорост –

символ *заек*. Установява се, че максималната скорост на това превозно средство за това положение на селектора за конкретните реални условия е около 11 – 12 km/h.

Максималната скорост на Елит Травелер се ограничава чрез селектор на скоростта. В крайните положения на селектора има символи на *костенурка* и *заек*. На фиг. 3 е представен реален запис на скоростта на Елит Травелер в положение *заек*, съответстващо на максималната скорост.



Фиг. 3. Запис на скоростта на Елит Травелер

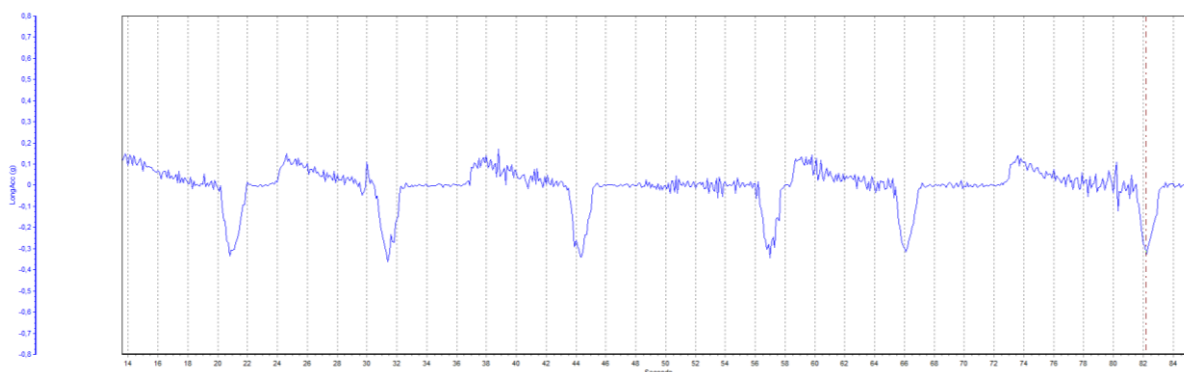
За това превозно средство максималната скорост при положение на селектора “заек” е около 5 – 6 km/h. За положение на селектора “*костенурка*” – максималната скорост е около и под 1 km/h.

Спирачните свойства на превозните средства са пряко свързани с безопасността на движението. Спирането е движение със скорост, която намалява до определена стойност или до пълно спиране. Спирачните качества на превозните средства се оценяват с показателите спирано закъснение, спиращен път и др. Спирачният път е разстоянието, което превозното средство изминава през времето за спиране. Минималният път за спиране е разстоянието, изминато през времето за реакция на водача и времето за спиране. В юридическата практика то е известно като опасна зона за спиране. Това разстояние може да се изчисли по зависимостта

$$L = (t_1 + t_2)V + V^2 / 2a , \quad (1)$$

където t_1 е времето за реакция на водача; t_2 – времето за реакция на автомобила (в българската съдебна практика включва две времена); V – скоростта на автомобила в началото на спирането, a – спиращото закъснение.

От зависимост (1) се вижда, че спиращото закъснение (отрицателното ускорение) е пряко свързано с дължината на опасна зона за спиране и е важен входен фактор при експертното изследване на ПТП. На фиг. 4 е представен реален запис на част от реализираните спиращи закъснения при спиране на Стерлинг С425 за конкретните условия.



Фиг. 4. Изменение на ускорението на Стерлинг С425

Резултатите за реализираните средни стойности на спиращите закъснения за конкретните условия са представени в табл. 1.

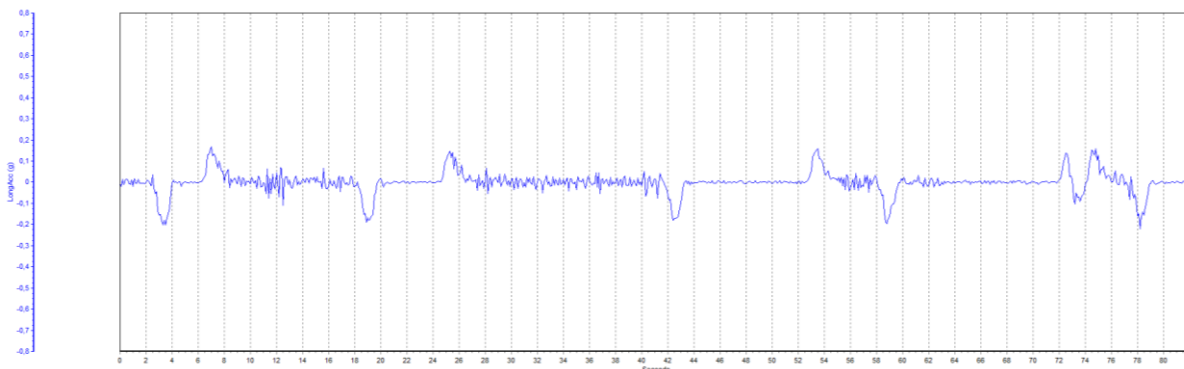
Таблица 1. Спиращи закъснения на Стерлинг С425

Спиращо	Опит
---------	------

закъснение	1	2	3	4	5	6	7
a, g	0,301	0,314	0,295	0,327	0,309	0,311	0,308
a, m/s ²	2,953	3,080	2,894	3,208	3,031	3,051	3,021

Средната стойност на спирачното закъснение от проведените опити със Стерлинг С425 е 3,034 m/s², минималната е 2,894 m/s², а максималната – 3,208 m/s².

На фиг. 5 е представен реален запис на изменението на спирачното закъснение при спиране на Елит Травелер.



Фиг. 5. Изменение на ускорението на Елит Травелер

В табл. 2 са представени резултатите за спирачните закъснения на Go-Go Elite Traveller.

Таблица 2. Спирачни закъснения на Елит Травелер

Спирачно закъснение	Опит						
	1	2	3	4	5	6	7
a, g	0,190	0,171	0,175	0,182	0,187	0,179	0,184
a, m/s ²	1,864	1,678	1,717	1,785	1,834	1,756	1,805

Средната стойност на спирачното закъснение от проведените опити с Елит Травелер е 1,777 m/s², минималната е 1,678 m/s², а максималната – 1,864 m/s².

Установява се, че разликата в спирачните закъснения за двете изследвани електрически превозни средства е значителна. Средната стойност на закъснението на Елит Травелер е с 41% по-малко в сравнение с тази на Стерлинг С425. Това доказва необходимост да бъдат провеждани подобни изследвания за създаване на база данни за спирачните закъснения на различни електрически превозни средства, необходими за експертното изследване на ПТП.

Резултатите показват също, че сравнявайки получените стойности със спирачните закъснения на леки автомобили за аналогични пътни условия разликата е голяма. При Стерлинг С 425 закъсненията са над два пъти по-малки от тези на лек автомобил, а при Елит Травелер разликата е близо четири пъти. Отчитайки това, а също и максималните скорости на движение на тези електрически превозни средства следва да се отбележи, че за подобряване на безопасността на движението отговорните институции и лица следва да търсят решения за ограничаване на движението на тези превозни средства по масово използваните пътища и улици. Тези решения не бива да ограничават по никакъв начин мобилността на потребителите, а да създават условия за безопасност, удобство, непрекъснатост и др.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Получени са данни в реални пътни условия за скоростите и спирачните закъснения на електрически превозни средства, използвани от хора със специални потребности или възрастни хора.

Средната стойност на спирачното закъснение на Стерлинг С425 е 3,034 m/s², минималната е 2,894 m/s², а максималната – 3,208 m/s².

Средната стойност на спирачното закъснение на Елит Травелер е $1,777 \text{ m/s}^2$, минималната е $1,678 \text{ m/s}^2$, а максималната – $1,864 \text{ m/s}^2$.

Установява се значителна разликата в спирачните закъснения на двете изследвани електрически превозни средства. Средната стойност на закъснението на Елит Травелер е с 41% по-малка в сравнение с тази на Стерлинг С425

Това доказва необходимост от особено внимание при избора на стойности за спирачните закъснения на различни електрически превозни средства, необходими за експертното изследване на ПТП.

REFERENCES

Balbuzanov, T. (2023). Studying the average speed of vehicle traffic on a route in an urban environment. *Proceedings of University of Ruse*, Volume 62, Book 4.2 pp. 54 –59.

Bingchen, M., Yanhui, F., Zhicheng, L., Hui, D., & Zhaofu G. (2022) *Test and analysis of braking safety performance of low-speed electric vehicle*, Proceedings Volume 12500, Fifth International Conference on MCTE 2022; 125002M (2022) <https://doi.org/10.1117/12.2660588>.

Dimitrov, R., Ivanov, D., Ivanov, Z., Mihaylov, V., Wrobel, R., & Andrych-Zalewska, M. (2022) *Investigation of Acceleration and Brake Deceleration of Light Vehicles*. International Conference on Communications, Information, Electronic and Energy Systems.

Indu, K., & Aswatha Kumar, M. (2023) *Design and performance analysis of braking system in an electric vehicle using adaptive neural networks*, Sustainable Energy, Grids and Networks.

Phan, C., Meza Buendia, S., Nguyen, B., & Fatzinger, E. (2023). *Electric Motorcycle Acceleration, Braking, and Regenerative Coast-Down Deceleration Testing and Analysis*, SAE Technical Paper 2023-01-0631.

Salgado, A., Wdowicz, D, Fernandes, F., Ptak, M., Alves de Sousa, R. (2024). *Assessing head injury risks in electric scooter accidents*. A multi-body simulation study with insights into sex differences. *Legal Medicine*.

Uzunov, H., Dimitrov, K. & Dechkova, S. (2022). *Experimental Determination of the Tire-Road Friction Coefficient for a Vehicle with Anti-Lock Braking System*. AIP Conference Proceedings, Volume 2557.

Zhengbin, Z., Jianyao, H., & Chengyu, L. (2015). *Performance investigation of low-speed electric vehicles*. *Integration Technology*, 4(1): 8–15.

<https://www.vboxautomotive.co.uk/index.php/en/products/data-loggers/vbs>.

<https://www.who.int/data/gho/data/themes/topics/topic-details/GHO/road-traffic-mortality>. World Health Organization, 2024. Road-Traffic-Mortality.

<https://mobilityhire.com/wp-content/uploads/2020/06/Sunrise-Sterling-Owners-Manual.pdf>

<https://www.pridemobility.com/go-go-travel-mobility/go-go-elite-traveller-4-wheel/specifications.asp>