

## GRAPHO-ANALYSIS ANALYSIS OF THE MOVEMENT OF A VEHICLE, INCLUDING THE PROCESSES: ACCELERATION, MOTION AT A CONSTANT SPEED AND STOPPING<sup>1</sup>

---

**Assist. Prof. Svilen Kostadinov, PhD**

Department of Transport,

University of Ruse, Bulgaria

Tel.: +359 (82) 888-515

E-mail: skostadinov@uni-ruse.bg

***Abstract:** A large number of road accidents occurring in the living areas in Bulgaria are when accelerating cars and traveling short distances. This type of accident is typical in the areas of intersections and in the areas just before footpaths, when cars have stopped or are moving at very low speeds. In most cases, this type of car movement is performed through three processes: acceleration; motion at constant speed and braking. These processes are characterized by different parameters - acceleration, braking delay, etc., due to which the speed that cars can reach is different. The goal of this paper is to perform a graph-analytical analysis of the movement of a car, including the process of: acceleration, movement with constant speed and stopping, at different parameters.*

***Keywords:** Acceleration by car, movement with constant speed, stopping*

### ВЪВЕДЕНИЕ

Част от пътнотранспортните произшествия, настъпили в населените места у нас са непосредствено след потегляне на автомобила. Характерно за тези произшествия е изминаването на малки разстояния от мястото на потегляне до мястото на преустановяване на движението на автомобила, поради което скоростта, която може да бъде достигната е малка. Такъв вид произшествия са характерни в районите на кръстовищата и в районите непосредствено преди пешеходни пътеки, когато автомобилите са спрели. В повечето случаи този вид движение на автомобила е извършено чрез три процеса: потегляне и ускорение; движение с постоянна скорост и спиране. Тези процеси се характеризират с различни параметри – ускорение; спирачни закъснение и др., (Karapetkov St., 2005; Lyubenov D., 2020; Lyubenov D., 2011) поради, което скоростта, която може да достигнат автомобилите е различна. Цел на настоящата работа е да се извърши графоаналитичен анализ на движението на автомобил включващ процеса на: потегляне и ускорение, движение с постоянна скорост и спиране, при различни параметри.

### ИЗЛОЖЕНИЕ

При анализ на пътнотранспортни произшествия, настъпили непосредствено след потеглянето на автомобила и изминаване на малки разстояния след това, основния проблем е установяването на скоростта, която биха могли да достигнат автомобилите. В повечето случаи има данни, че непосредствено след потеглянето на автомобила възниква опасност, водача я възприема, преустановява ускорението на автомобила, като за общото време, необходимо му за започване на спиране се движи с постоянна скорост. След което намаляване на скоростта до спиране на автомобила. При описания механизъм на движение на автомобила изминава известно разстояние, включващо описаните движения: за ускорение, за движение с постоянна скорост и за спиране.

---

<sup>1</sup> Докладът е представен на сесия с оригинално заглавие на български език: ГРАФОАНАЛИЧЕН АНАЛИЗ НА ДВИЖЕНИЕТО НА АВТОМОБИЛ, ВКЛЮЧВАЩ ПРОЦЕСИТЕ: ПОТЕГЛЯНЕ И УСКОРЕНИЕ, ДВИЖЕНИЕ С ПОСТОЯННА СКОРОСТ И СПИРАНЕ

### Процес на потегляне и спиране на автомобила.

Установено, е че ускорението на автомобила при управление в градска среда заема около 30 – 45 % от общото време за управление, докато движението с постоянна скорост заема едва 15 – 25 % (Lyubenov, S. 2004). От това се вижда се, че в режим на намаляване на скоростта и спиране автомобилите се движат от 55 до 35%. При описанието на процеса на потегляне и ускорение на автомобила, а също така и при процеса на намаляване на скоростта и спиране е намерило приложение на равнопроменливите движение (Parionov 1991). Закона за пътя при равноускорителното движение при потегляне от място, изразен за изминатия път и времето гласи (Karapetkov St., 2005; Lyubenov D., 2020; Lyubenov D., 2011) :

$$S_{yc} = \frac{V_a^2}{2 \cdot a_{yc}} \quad (1)$$

където  $S_{yc}$  е изминатото разстояние за ускорение [m]  $V_a$  – скоростта на автомобила [m/s],  $a_{yc}$  – ускорението на автомобила [ $m/s^2$ ];

Закона за пътя при равнозакъснителното движение при спиране, изразен за изминатия път и времето гласи (Karapetkov St., 2005) :

$$S_{сп} = \frac{V_a^2}{2 \cdot j_{сп}} = \frac{(V_o - 0,5 \cdot t_{н} \cdot j)^2}{2 \cdot j} \quad (2)$$

където  $S_{сп}$  е изминатото разстояние за спиране на автомобила [m],  $V_a$  – скоростта на автомобила [m/s],  $V_o$  – скоростта на автомобила преди началото на спирането [m/s];  $j_{сп}$  – спирачното закъснение на автомобила [ $m/s^2$ ],  $t_{н}$  – времето за нарастване на спирачното закъснение [s];

### Процес на движение с постоянна скорост.

Процеса за движение с постоянна скорост , която е достигнал автомобила се изразява с известното описание на равномерното движение. Разстоянието, което изминава автомобила през общото време, необходимо на водачът му да започне спиране се изчислява по формулата (Karapetkov St., 2005; Lyubenov D., 2020):

$$S_{по} = (t_p + t_{сп} + 0,5t_{н}) \cdot V_a = t_{об} \cdot V_a \quad (3)$$

където  $t_p$  е времето за реакция на водача [s];  $t_{сп}$  – времето за сработване на спирачната система на автомобила [s],  $t_{н}$  времето за нарастване на спирачното закъснение [s],  $t_{об}$  – общото време, необходимо на водача да започне спиране [s];

### Аналитично решение

От написаното до тук, следва, че описания процес на потегляне, движение с постоянна скорост и спиране за дадено разстояние е сбор от формули 1, 2 и 3. От посочените формули и след математически преобразувания се вижда, че скоростта, която може да достигне автомобила е решение на квадратно уравнение с корени:

$$\frac{V_a^2}{2 \cdot a_{yc}} + t_{об} \cdot V_a + \frac{V_a^2}{2 \cdot a_{сп}} = S \quad (4)$$

$$\frac{V_a^2}{2 \cdot a_{yc}} + t_{об} \cdot V_a + \frac{(V_o - 0,5 \cdot t_{н} \cdot j)^2}{2 \cdot j} = S \quad (5)$$

За удобство в получения израз нулевия индекс на скоростта може да изпусне, като и събираемото с участието на  $t_{н}^2$  (Karapetkov St., 2005). Като се извършат преобразования се получават окончателните корени на уравнението:

$$a = \frac{a_{сп} + a_{yc}}{2 \cdot a_{сп} \cdot a_{yc}}, \quad b = t_{об}, \quad c = -S, \quad (6)$$

където  $S$  е разстоянието, което е изминал автомобила [m];

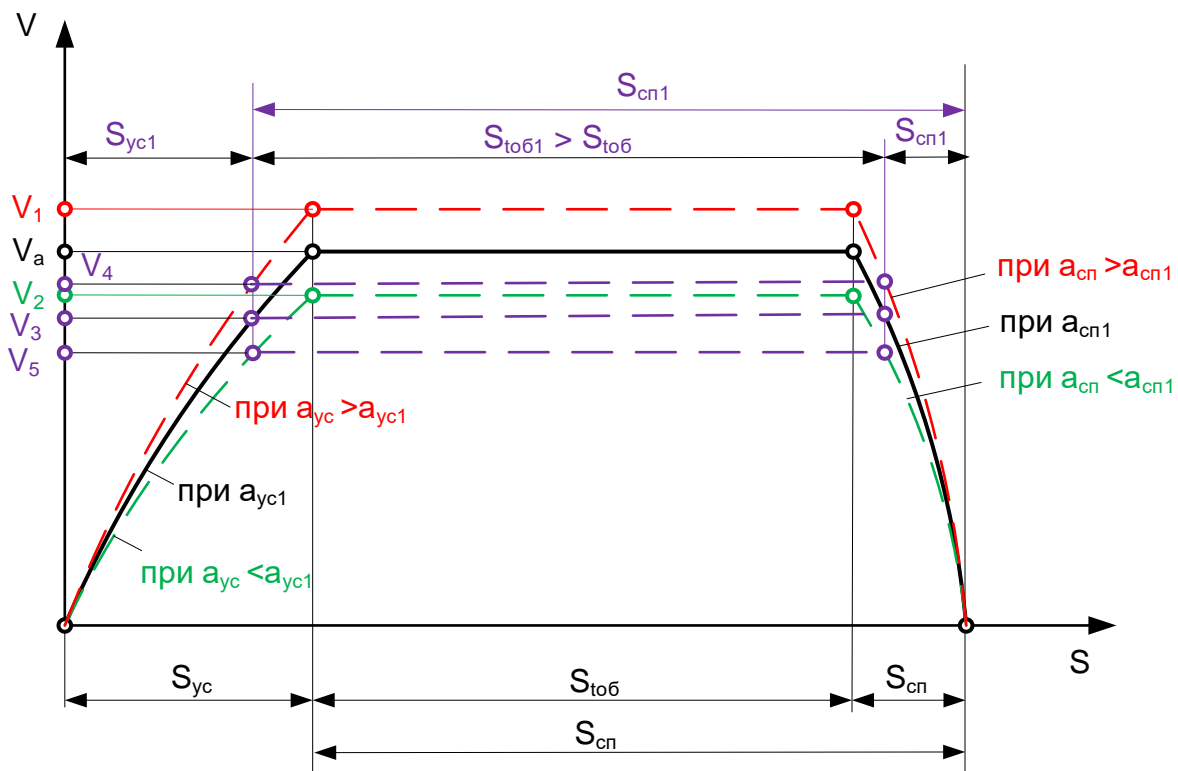
**Графоаналитичен анализ.**

На фигура 1. е представен графоаналитичен анализ на описаното движение на автомобила при потегляне с постоянно ускорение, движение с постоянна скорост и спиране с постоянно ускорение. С крива в черен цвят вляво е представено изменението на скоростта при потегляне на автомобила с ускорение -  $a_{yc}$ , при което автомобилът изминава път -  $S_{yc}$ . В дясно на крива с черен цвят е представено възможното изменението на скоростта при спиране със спирано закъснение -  $a_{cp}$ , при което автомобилът изминава път -  $S_{cp}$ . Горизонталната права с черен цвят, заключена между двете криви представлява пътя, изминат от автомобила  $S_{тоб}$  за общото време -  $t_{об}$ . Скоростта, която е имал възможност да достигне автомобила е  $V_a$ .

Вижда се, че ако има данни, че автомобила е ускорил с по-голяма интензивност, т.е. с по-голямо ускорение (червената прекъсната линия вляво на фигурата) и е спирал също по - интензивно (червената прекъсната линия вдясно на фигурата), той би има възможност да достигне по-голяма скорост -  $V_1$ .

Ако има данни, че автомобила е ускорил с по-малка интензивност, т.е. с по-малко ускорение (зелената прекъсната линия вляво на фигурата) и е спирал също по - интензивно (зелената прекъсната линия вдясно на фигурата), той би има възможност да достигне по-малка скорост -  $V_2$ .

При увеличаване на общото време, необходимо на водача да започне спиране, скоростта, която е могла да достигне автомобила намалява и обратно с намаляване на общото време скоростта, която е могла да достигне автомобила се увеличава. Това изменение е показано на фигурата с лилав цвят.



Фиг. 1. Графоаналитичен анализ.

**Проверка на резултатите от анализа**

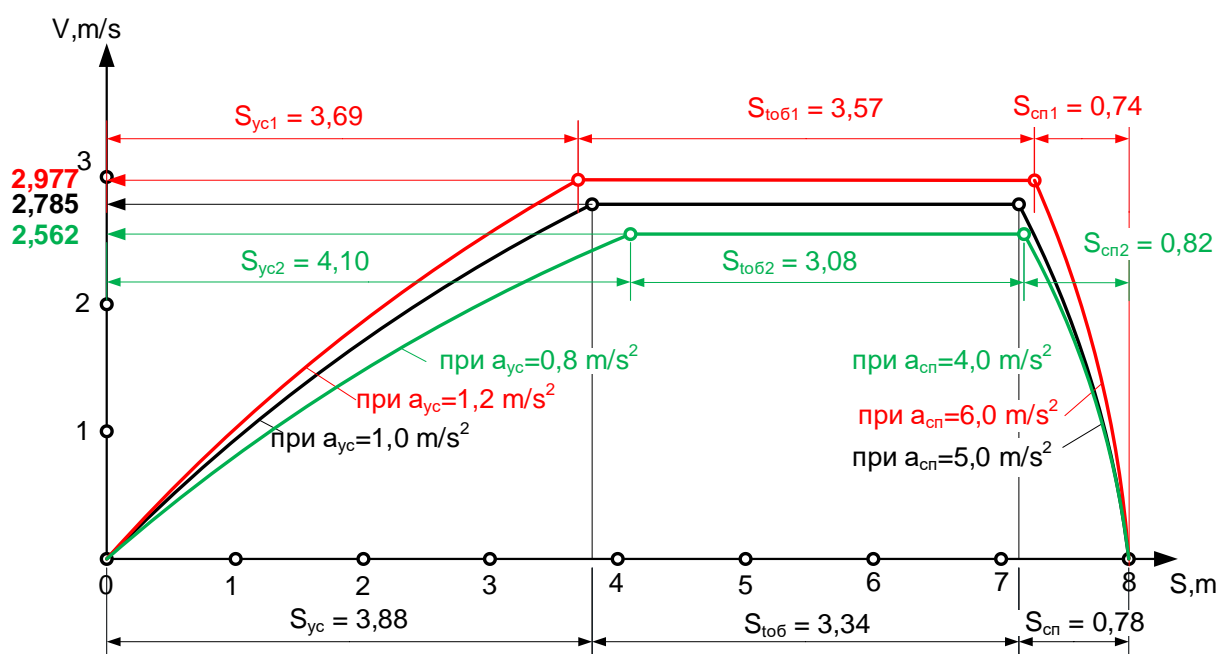
Автомобил потегля и спира след разстояние 8,0 метра. Дадени са: ускорението  $\mu$  -  $1,0 \text{ m/s}^2$ , спираното му закъснение -  $5 \text{ m/s}^2$ , общото време, необходимо на водача да започне спиране -  $1,2 \text{ s}$ .

При тези данни, след заместване във формули 6 и след решаване на квадратното уравнение, скоростта, която е могъл да достигне автомобила е  $2,785 \text{ m/s}$  ( $10,03 \text{ km/h}$ ). Разстоянията, които е могъл да измине автомобила са: ускорявайки -  $3,88 \text{ m}$ , с постоянна

скорост за общото време – 3,34 метра и за спиране 0,78 метра. Сборът от всички разстояния е 8,0 метра, колко е даденото. Тези резултати са показани с линии в черен цвят на фигура 2.

Ако има данни, че за същото разстояние автомобилът е потеглили по-интензивно, с ускорението му -  $1,2 \text{ m/s}^2$  и съответно е спрял по – интензивно със спиращното закъснение -  $6 \text{ m/s}^2$ . След заместване във формули 6 и след решаване на квадратното уравнение, за скоростта, която е могъл да достигне автомобилът при тези условия е **2,977 m/s (10,72 km/h)**. Разстоянията, които е могъл да измине автомобила за този вариант са: ускорявайки - 3,69 m, с постоянна скорост за общото време – 3,57 метра и за спиране 0,74 метра. Сборът от всички разстояния е 8,0 метра, колко е даденото. Тези резултати са показани с линии в червен цвят на фигура 2.

За изминаване на същото разстояние – 8,0 m, ако автомобилът е потеглил с по-малко ускорение –  $0,8 \text{ m/s}^2$  и съответно е спрял по – малко със спиращното закъснение -  $4 \text{ m/s}^2$ . След заместване във формули 6 и след решаване на квадратното уравнение, за скоростта, която е могъл да достигне автомобилът при тези условия е **2,562 m/s (9,22 km/h)**. Разстоянията, които е могъл да измине автомобила за този вариант са: ускорявайки - 4,10 m, с постоянна скорост за общото време – 3,08 метра и за спиране 0,82 метра. Сборът от всички разстояния е 8,0 метра, колко е даденото. Тези резултати са показани с линии в зелен цвят на фигура 2.



Фиг. 2. Графоаналитичен анализ за представения пример.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Аналитичното и графичното решаване на процес, при който автомобил потегля с дадено ускорение, движи се с постоянна скорост и спира показват следните резултати:

- при известно ускорение, спиращо закъснение и общо време необходимо на водача да започне спиране е възможно, аналитично изчисляване на скоростта, която технически е могъл да достигне автомобила при описания процес, чрез решаване на квадратно уравнение;

- графичните построение на процеса показват едни и същи резултати с тези от аналитичните изчисления.

- аналитичните изчисления и графичните построения показват, че ако автомобила е ускорил с по-голяма интензивност, т.е. с по-голямо ускорение и е спирал също по-интензивно, той би има възможност да достигне по-голяма скорост и обратно.

- графичното решение показва по-добре отношението на описаните разстоянията, характеризиращи изследваното движение на автомобила;

Докладът отразява резултатите от работата по проект № 2021-ФТ-01, финансиран от Националния научен фонд на Русенския университет.

#### REFERENCES

Parionov, *Expertise of traffic accidents*. Moscow, „Transport“, (1991).

Karapetkov St., *Auto-technical expertise*. Sofia, Technical University, 2005.

Lyubenov, D., & Kadikyanov, G. (2020). *A study of some cars dynamic parameters in urban traffic flow*. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2020, 977(1), 012014.

Lyubenov, D. (2011). *Research of the stopping distance for different road conditions*. Scientific Journal “Transport Problems”, Volume 6, Issue 4, p. 119-126. ISSN 1896-0596.

Lyubenov, D. (2020). *Different Approaches in Determining the Vehicles Speed in Road Accidents*. Proceedings of University of Ruse 2020, Volume 59, Book 4.2, p. 136-142. ISSN 1311-3321.

Lyubenov, S., Angelov B, Evtimov I, 2004, *Cars and tractors*, Ruse, University of Ruse (Оригинално заглавие: Любенов С., Ангелов Б., Евтимов И., 2004. *Автомобили и трактори*, Русе, Русенски университет)