

ИЗСЛЕДВАНЕ ВЛИЯНИЕТО НА СИСТЕМИТЕ ЗА АКТИВНО РЕГУЛИРАНЕ НА СКОРОСТТА НА АВТОМОБИЛИТЕ ВЪРХУ ПРОПУСКАТЕЛНАТА СПОСОБНОСТ НА СВЕТОФАРНА УРЕДБА

гл. ас. д-р инж. Красимир Иванов Неделчев,
Технически университет – София, кат. „Двигатели, автомобилна техника и транспорт”, България

АНОТАЦИЯ

В работата се изследва влиянието на различни системи за активен контрол на скоростта на автомобила върху пропускателната способност на светофарна уредба при движение на право. При изследването се отчита влиянието само на дължината на транспортните средства (ТС) и дистанцията между тях.

KEY WORDS: Adaptive Cruise Control, Active Cruise Control (ACC), Advanced Driver Assistance Systems, Autonomous Intelligent Cruise Control, Cooperative Intelligent Cruise Control, Traffic Flow

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Непрекъснатото увеличаване на преноса на товари/пътници в различни направления води до повишаване на интензивността на трафика на пътя. Тъй като комуникационно-транспортните възли се проектират за определен трафик на ТС при непрекъснатото увеличаване на автомобилите все повече от тези възли не могат да осигурят нормалното пропускане на автомобилният поток през тях [1]. Това налага предприемането на мерки за осигуряване на непрекъснато нарастващият трафик от ТС в големите градове. Методите, чрез които може да се повиши интензивността на транспортните потоци в дадено направление могат да се разделят на две основни групи: инфраструктурни [2, 13] и електронни системи [2, 8 ÷ 14]. При първите - за да се повиши интензивността на транспортните потоци е необходимо да се промени инфраструктурата, което определя и най – високата необходима стойност за реализиране. Втората група от своя страна се разделя на други две подгрупи: системи вградени в пътната инфраструктура и автомобилите [3 ÷ 9] и системи вградени само в автомобилите. “Най – ниска” себестойност има последната система, тъй като се заплаща от водача на ТС при закупуването му.

Най – добри резултати по отношение на повишаване интензивността на транспортните потоци на се получават при комбиниране на трите метода.

В населените места регулирането на движението се осъществява с помощ на светофарни уредби. При тях единственият начин за повишаване на пропускателната способност в дадено направление без промяна на инфраструктурата, е чрез повишаване на средната скорост на движение. В този

случай не разглеждаме общата пропускателна способност върху, която оказват влияние разпределението на времената на зелените сигнали по различните направления.

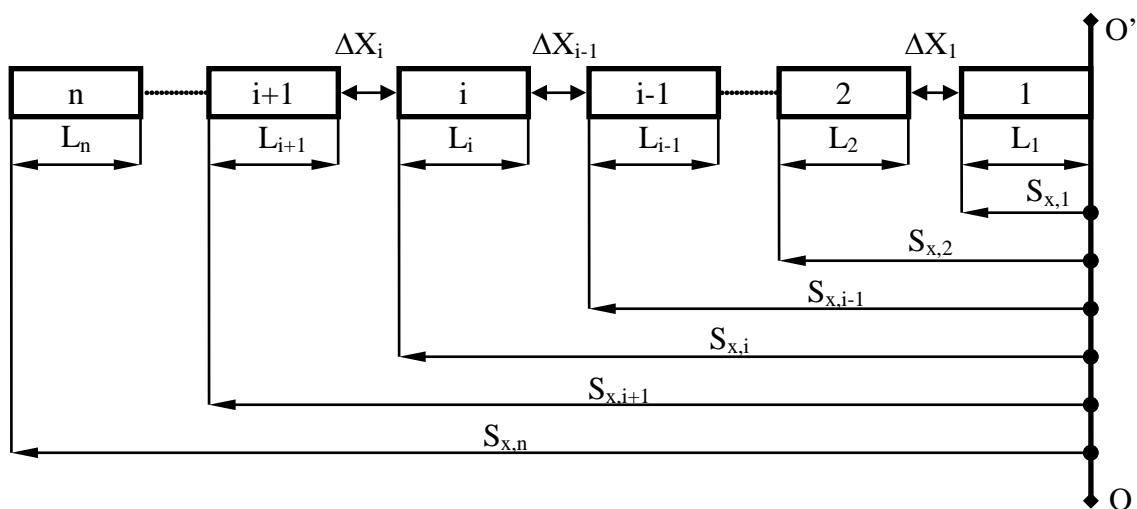
Целта на работата е да се изследва влиянието на системите за регулиране на скоростта върху пропускателната способност на светофарна уредба при движение на право.

2. МЕТОДИКА НА ИЗСЛЕДВАНЕТО

На фиг.1 е показана схемата въз основа, на която се определят различните варианти на уравненията на движение на групата от ТС при потегляне на светофарна уредба. Изследват се два основни варианта: едновременно потегляне със запазване на дистанцията между ТС ($\Delta X_{\min}=dX_{\min}=\text{const}$) и потегляне с увеличаване на дистанцията между ТС ($\Delta X_{\min}=dX_{\min}=f(V)=dt.V$).

При първият вариант се изследва влиянието на комбинираните системи за контрол на скоростта [9] върху броя на автомобилите преминали през светофарна уредба за единица време. В този случай работят паралелно най-малко две системи – АСС и Car by Car, за да се реализира постоянна стойност на ΔX_{\min} .

Вторият вариант може да се раздели на два под варианта: потегляне със и без АСС. Разликата между отделните варианти е във времезакъснението на потеглянето на отделните ТС в колоната. При първия подвариант се изследва влиянието на АСС върху броя на преминалите автомобили през светофарна уредба за единица време при $dt=1$ s [9]. Всички останали варианти с $dt>1$ sec са еквивалент на потегляне без АСС.



Фиг.1 Схема на разположение на ТС при потегляне на светофарна уредба.

При изследването се приема, че всички автомобили в колоната са с еднаква дължина. При изследването са използвани седем варианта на дължините на ТС (леки автомобили): $L = [2.20; 2.70; 3.20; 3.70; 4.20; 4.70; 5.20]$, m. Те са използвани при изследване влиянието на дължината на ТС върху

пропускателната способност на светофарна уредба. Товарните автомобили, автобусите, седловите влекачи и др. ТС с по – голяма дължина се привеждат до еквивалентен брой леки автомобили.

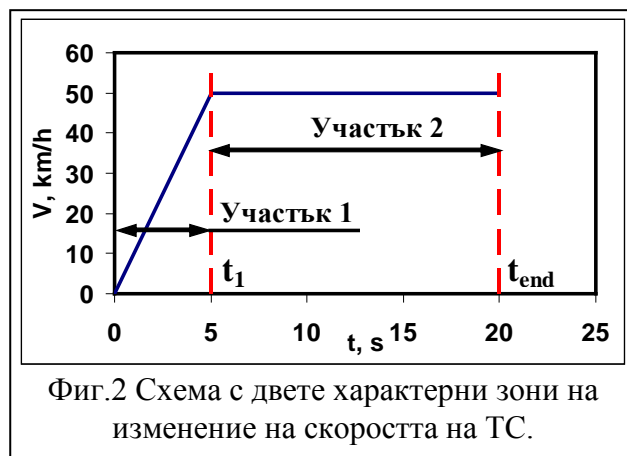
Ускорението на ТС е прието $0,25g \text{ m/s}^2$ [9].

Изследвано е и влиянието на крайната скорост, до която ускоряват ТС. В конкретният случай са зададени две максимални скорости 50 и 80 km/h, които са максимално допустими в градски условия.

За съпоставимост на резултатите е прието едно и също време на работа (продължителност на зеленият сигнал на светофара) на светофара 20 s.

Вариант 1: Потегляне на всички ТС едновременно със запазване на дистанцията между тях $dX_{\min} = \text{const} = 2 \text{ m}$, при светване на зелен сигнал на светофара.

Уравнението описващо изменението на изминатият път от ТС в **Участък 1** (фиг.2) при $t \leq t_1$ е:



Фиг.2 Схема с двете характерни зони на изменение на скоростта на ТС.

$$S_a(i, j) = a_{\max} \cdot t(i)^2, \text{ m} \quad (1)$$

където S_a е изминатият път от ТС за време $t(i)$, m;

$a_{\max} = 0,25.g$ – ускорението на автомобила, m/s^2 ;

$t(i)$ – текущата стойност на времето, s.

Уравнението описващо изходното положение на ТС в колоната е:

$$S_x(j) = brA(j) \cdot L(j) + (brA(j) - 1) \cdot dX_{\min}, \text{ m} \quad (2)$$

където S_x е разстоянието от ос OO' (светофарната уредба) до най-задната част на $j^{\text{ТОТО}}$ ТС, m;

$brA(j)$ – броя ТС преминали през светофарната уредба за време t и дължина $L(j)$, -;

$L(j)$ – база на $j^{\text{ТОТО}}$ ТС, m ($L = [2.20; 2.70; 3.20; 3.70; 4.20; 4.70; 5.20]$, m).

След приравняване на уравнения (1) и (2) ($S_a(:, j) = S_x(j)$) се получава уравнението (3) определящо колко ТС, ще преминат през светофарната уредба за време $t(i)$ с дължина $L(j)$.

$$brA(i, j) = \frac{a_{\max} \cdot t^2(i) + dX_{\min}}{L(j) + dX_{\min}}, \text{ бр. ТС} \quad (3)$$

Уравнението описващо изменението на изминатият път от ТС в **Участък 2** (фиг.2) при $t > t_1$ е:

$$S_a(i, j) = a_{\max} \cdot t_1^2 + V_1 \cdot [t(i) - t_1], \text{ m} \quad (4)$$

където t_1 е моментът от време в който се достига максималната разрешена скорост $V_1 = 50 \text{ km/h}$ (80 km/h), s;

V_1 – максималната разрешена скорост 50 km/h ($13,89 \text{ m/s}$) или 80 km/h ($22,22$), m/s.

След приравняване на уравнения (4) и (2) ($S_a(:, j) = S_x(j)$) се получава уравнението (5) определящо колко ТС, ще преминат през светофарната уредба за време $t(i)$ с дължина $L(j)$.

$$brA(i, j) = \frac{a_{\max} \cdot t_1^2 + V_1 \cdot [t(i) - t_1] + dX_{\min}}{L(j) + dX_{\min}}, \text{ бр. ТС.} \quad (5)$$

Уравненията (3) и (5) дават като резултат естествени (N_0) и реални числа (R). В действителност броят на ТС са естествени (цели, положителни) числа, по тази причина стойностите на уравненията (3) и (5) се приведат към цели числа с помощта на функцията $\text{round}(brA(i, j))$ от Matlab.

Вариант 2: Потегляне на всички ТС едновременно с дистанция между тях $dX=f(V)=dt \cdot V$ ($dX_{\min}=2\text{m}$ при $V=0, \text{ km/h}$) при светване на зелен сигнал на светофара.

Уравнението описващо изменението на изминатият път от ТС в **Участък 1** (фиг.2) за $j^{\text{ТОТО}}$ ТС в интервала от време $t_a(i, j) - (j-1) \cdot dt \leq t_1$ е:

$$S_a(i, j) = a_{\max} \cdot [t_a(i, j) - (brA(j) - 1) \cdot dt]^2, \text{ m} \quad (6)$$

където dt е времезакъснението между потеглянето на две съседни ТС, s;

$t_a(i, j) = f(j, dt) \geq (j-1) \cdot dt$ – момента от време, в който потегля $j^{\text{ТОТО}}$ ТС, s.

Дистанцията между ТС се определя с уравнения (7) и (8). По уравнение (7) се определя дистанцията между две съседни (i и $i+1$) ТС от момента на потегляне на $i^{\text{ТОТО}}$ ТС до момента на достигане на максимално разрешената за даденият пътен участък скорост (50 или 80 km/h).

$$dX(j+1) = f(V) = dX_{\min} + a_{\max} \cdot t^2(i, j), \text{ m} \quad (7)$$

$$dX(j+1) = f(V) = dX_{\min} + dt \cdot V_1, \text{ m.} \quad (8)$$

Уравнението описващо изменението на изминатият път от ТС в **Участък 2** (фиг.2) за $j^{\text{ТОТО}}$ ТС в интервала от време $t_a(i, j) - (j-1) \cdot dt > t_1$ е:

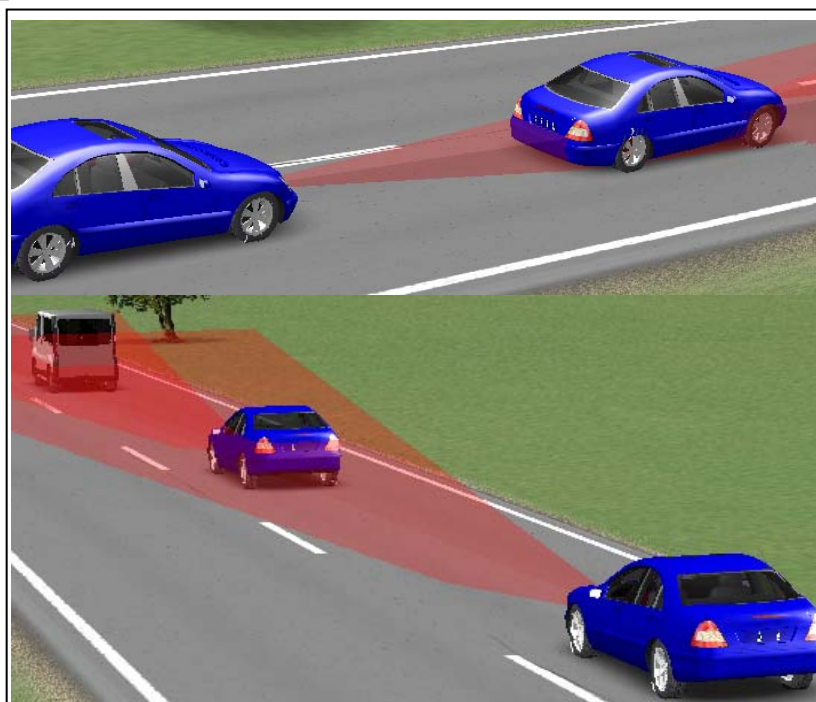
$$S_a(i, j) = a_{\max} \cdot t_1^2 + V_1 \cdot [t_a(i, j) - t_1 - (j-1) \cdot dt], \text{ m} \quad (9)$$

Въз основа на решаване на неравенството (11) между уравнения (2) и (6) за участък 1 (2) и (9) за участък 2 се определят броя ТС с определена дължина, които могат да преминат за определено време.

$$\max(S_a(:, j)) \geq S_x(j). \quad (11)$$

3. РЕЗУЛТАТИ ОТ ИЗСЛЕДВАНЕТО

На фиг.3 са показани два изгледа на потегляне на група от ТС с радарна система за контрол на дистанцията.



Фиг.3 Симулация на потегляне на ТС със система за активно регулиране на скоростта.

Влиянието на дължината на ТС в проценти е определено по формули (12) ÷ (16).

$$L_p(jL) = \frac{L(jL) - L(7)}{L(7)} \cdot 100, \% \quad (12)$$

$$brAp_{11}(i, j) = \frac{brA_{11}(i, j) - brA_{11}(i, 7)}{brA_{11}(i, 7)} \cdot 100, \% \quad (13)$$

$$brAp_{12}(i, j) = \frac{brA_{12}(i, j) - brA_{12}(i, 7)}{brA_{12}(i, 7)} \cdot 100, \% \quad (14)$$

$$brAp_{21}(i, j) = \frac{brA_{21}(i, j) - brA_{21}(i, 7)}{brA_{21}(i, 7)} \cdot 100, \% \quad (15)$$

$$brAp_{22}(i, j) = \frac{brA_{22}(i, j) - brA_{22}(i, 7)}{brA_{22}(i, 7)} \cdot 100, \% \quad (16)$$

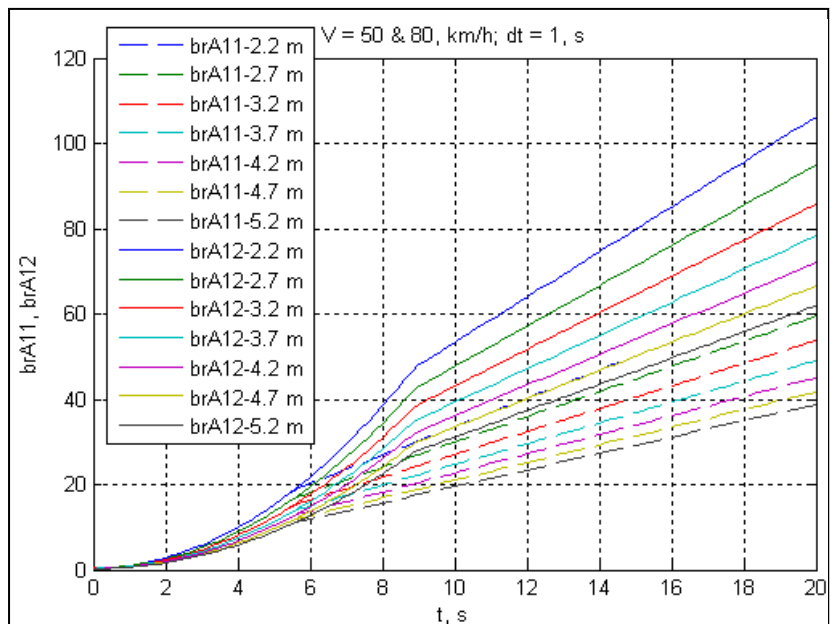
където L_p е процентното изменение на дължината на ТС, %;

$brAp_{11}$ – отчита влиянието на дължината на ТС и продължителността на зеленият сигнал на светофарната уредба (СУ), върху пропускателната и способност (при максимална скорост 50 km/h, Вариант 1), %;

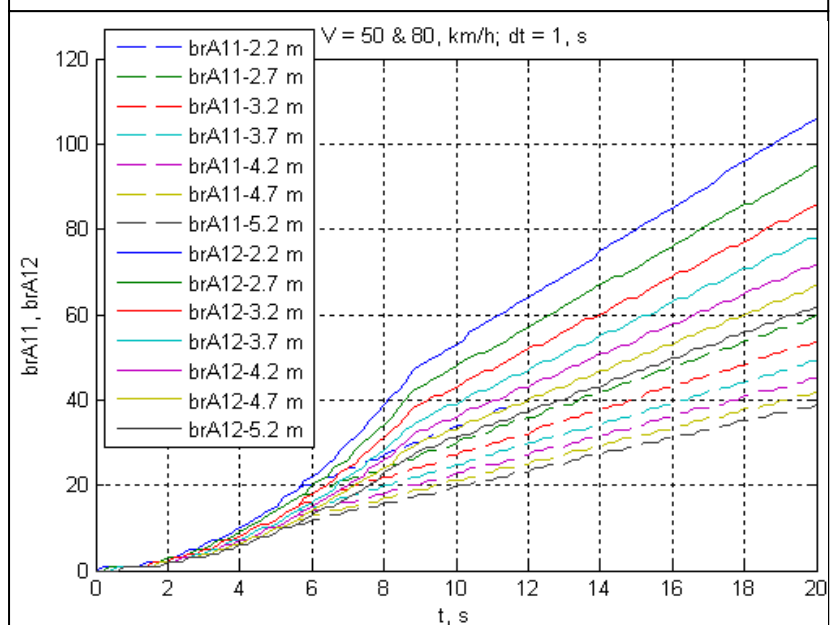
$brAp_{12}$ – отчита влиянието на дължината на ТС и продължителността на зеленият сигнал на светофарната уредба (СУ), върху пропускателната и способност (при максимална скорост 80 km/h, Вариант 1), %;

$brAp_{21}$ – отчита влиянието на дължината на ТС и продължителността на зеленият сигнал на светофарната уредба (СУ), върху пропускателната и способност (при максимална скорост 50 km/h, Вариант 2), %;

$brAp_{22}$ – отчита влиянието на дължината на ТС и продължителността на зеленият сигнал на светофарната уредба (СУ), върху пропускателната и способност (при максимална скорост 80 km/h, Вариант 2), %;



Фиг.4 Изменение на броя на автомобилите преминали през СУ във функция на времето и дължината на ТС – Вариант 1.



Фиг.5 Изменение на броя на автомобилите преминали през СУ във функция на времето и дължината на ТС с използване на функцията $round(brA(i,j))$ – Вариант 1.

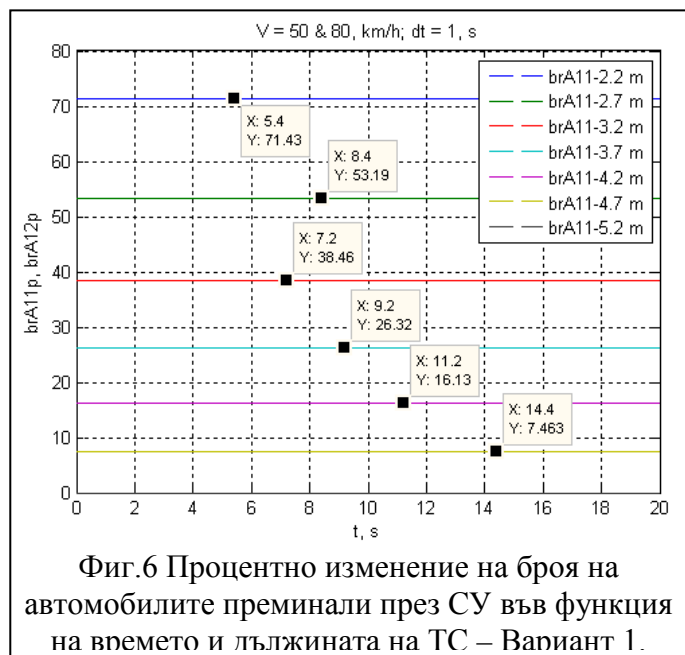
$$L_p = [57,6923; 48,0769; 38,4615; 28,8462; 19,2308; 9,6154; 0], \%$$

От резултатите се вижда, че максималната скорост и продължителността на зеленият сигнал не оказват влияние върху пропускателната способност на СУ. Влияние оказва само дължината на ТС при Вариант 1 на потегляне на ТС (фиг.6).

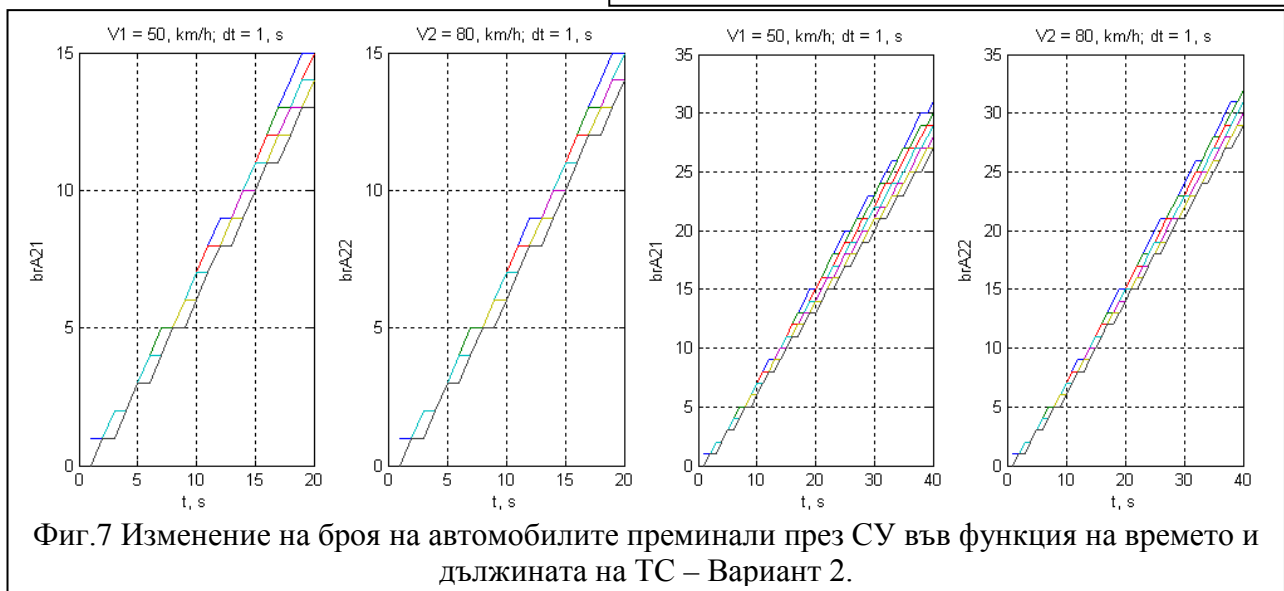
$$brAp_{11}=brAp_{12}=[71,43; 53,19; 38,46; 26,32; 16,13; 7,46; 0], \%$$

На фиг.7 и 8 са показани резултати от изследването на пропускателната способност на СУ при Вариант 2 на потегляне на ТС. В този случай се вижда, че дължината на ТС не оказва съществено (1÷2 ТС) влияние върху пропускателната способност на СУ.

При този вариант на потегляне на ТС процентното изменение на пропускателната способност зависи и от трите параметъра – продължителност на зеления сигнал, дължина на ТС и



Фиг.6 Процентно изменение на броя на автомобилите преминали през СУ във функция на времето и дължината на ТС – Вариант 1.



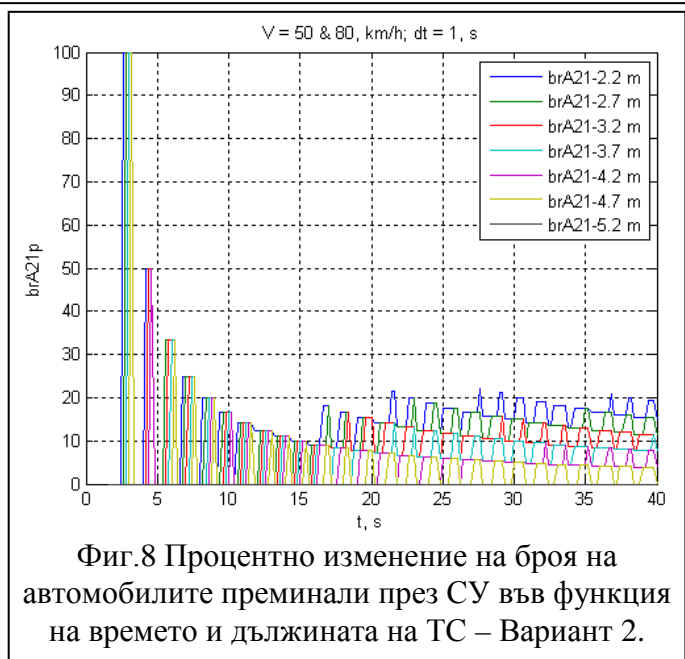
Фиг.7 Изменение на броя на автомобилите преминали през СУ във функция на времето и дължината на ТС – Вариант 2.

максимално разрешена скорост, както е показано на фиг.8.

4. ИЗВОДИ

Резултатите показват, че най – голяма пропускателна способност се получава при комбиниране на различните системи (ACC и Car by Car).

Дължината на превозните средства не оказва влияние върху пропускателната способност на светофарна уредба, ако нямаме комбинирана система за контрол на скоростта (при нея може да



Фиг.8 Процентно изменение на броя на автомобилите преминали през СУ във функция на времето и дължината на ТС – Вариант 2.

достигне до 30%).

Благодарности: *Изследванията са извършени/подпомогнати по Договор № BG051PO001/07/3.3-02/8 „Механизми за осигуряване качествено израстване на научните кадри”, финансиран по схема "Подкрепа за развитие на докторанти, постдокторанти, специализанти и млади учени" на ОП “Развитие на човешките ресурси” на “Европейския социален фонд”*

5. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Маджарски Е. М., Салиев Д. Н., Павлов А. И., „Оптимизиране на времената на фазите на сложно кръстовище в гр. София”, trans&MOTAUTO'08, гр. Созопол, 2008.
- [2] Неделчев К., Методи и средства за повишаване на средната скорост на движение на транспортните средства, ЕКОВАРНА '2009, 21 – 23.05.2009.
- [3] Bassem R. Mahafza, Ph.D., Radar Systems Analysis and Design Using MATLAB, Chapman & HALL/CRC, 2000, Huntsville, Alabama.
- [4] Bassem R. Mahafza, Atef Z. Elsherbeni, MATLAB simulations for radar systems design, Chapman & HALL/CRC, 2004.
- [5] Fancher P., Peng H., Bareket Z., Assaf C., Erving R., Evaluating the Influences of Adaptive Cruise Control Systems on the Longitudinal Dynamics of Strings of Highway Vehicles, Vehicle System Dynamics, vol.37, pp.125-136, 2002.
- [6] Hofmann U., Rieder A., Dickmanns E., Radar and vision data fusion for hybrid adaptive cruise control on highways, Machine Vision and Applications, vol.14, pp. 42–49, 2003.
- [7] Levanon N., Mozeson E., Radar signals, John Wiley & Sons, Inc., 2004.
- [8] Loewenau J.P., Richter W., Urbanczik C., Beuk L., Hendriks T., Pichler R., Artmann K., Real Time Optimization of Active Cruise Control with Map Data Using a Standardized Interface, TS World congress, 9 Nov, 2005.
- [9] Rajamani R., Vehicle Dynamics and Control, Springer, 2006.
- [10] Rill G., Vehicle Dynamics, Hochschule Regensburg, University of Applied Sciences, 2009.
- [11] Shinya Kikuchi, P.E.; Nobuhiro Uno; and Mitsura Tanaka, Impacts of Shorter Perception-Reaction Time of Adapted Cruise Controlled Vehicles on Traffic Flow and Safety, JOURNAL OF TRANSPORTATION ENGINEERING © ASCE / MARCH/APRIL 2003.
- [12] Venhovens P., Naab K. and Adiprasito B., Stop and go Cruise Control, International Journal of Automotive Technology, Vol. 1, No. 2, pp. 61-69, 2000.
- [13] Vlacic L., Parent M, Harashima F., Intelligent Vehicle Technologies, Butterworth-Heinemann, Oxford, 2001.
- [14] Wang J. and Rajamani R., The impact of adaptive cruise control systems on highway safety and traffic flow, Proc. Instn Mech. Engrs Vol. 218 Part D: J. Automobile Engineering, 2004.