

# Изследване, анализ и оптимизация на показателите на пътнотранспортното движение на светлинно регулирани кръстовища

Илиян Дамянов<sup>1,\*</sup>, Георги Младенов<sup>1</sup>, Владимир Христов<sup>2</sup>, Милена Савова-Мраценкова<sup>1</sup>, Георги Палагачев<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Технически университет – София, катедра „Двигатели, автомобилна техника и транспорт“

<sup>2</sup> Технически университет – София, катедра „Автоматизация на електрозадвижванията“

**Резюме:** Обект на изследването са пет светлинно регулирани кръстовища в гр. София - ул. „Акад. Стефан Младенов“ и ул. „8-ми декември“, ул. „Слатинска“ и ул. „Иван Щерев“, бул. „Сливница“ и улица „Димитър Петков“, бул. „Сливница“ и бул. „Панчо Владигеров“, ул. „Оборище“ и ул. „Черковна“. В доклада се представя оптималното решение за продължителността на светлинните сигнали на светлинно регулирани кръстовища.

## 1 Въведение

Организацията и управлението на пътнотранспортното движение се основава на изследвания на неговите показатели със съответните количествени стойности и зависимости между тях. Вида на изследванията и методите за тяхното провеждане се определят от целите поставени за конкретните условия на движение и необходимите мероприятия за тяхното постигане [1].

Един от пътищата за решаване на проблемите свързани с организацията и безопасността на пътнотранспортното движение е внедряване на съвременни системи за наблюдение, управление и оптимизиране на показателите на транспортните потоци.

Методът основаващ се на аеро-заснемане намира все по голямо приложение при определяне на основни показатели на транспортното движение [2]. Използването на безпилотни летателни апарати, наречени „дронове“ позволява да се установят показателите на пътнотранспортното движение и да се вземат необходимите мерки за подобряване на организацията и безопасността на движението.

## 2 Предпоставки и начини за решаване на проблема

Основен въпрос при регулирането на движението със светофари е определянето на оптимална продължителността на цикъла на светофарната уредба при съществуващите условия на движение. За постигане на минимални стойности на задръжките на автомобилите е необходимо това да се извършва след определяне на периодите от годината (сезоните) и денонощието, в които е необходимо да се оптимизира пропускане на пътнотранспортното движение с раз-

лична продължителност на цикъла на светофарната уредба, съобразно интензивността на транспортните потоци по направления пристигащи в кръстовището.

Броят и вида на фазите при пропускане на движението през кръстовището влияят в голяма степен на продължителността на цикъла на светофарната уредба. Тяхното определяне се извършва съобразно специфични за кръстовището условия, които включват:

- стойностите за интензивността на транспортните потоци по направления, което до голяма степен определят кои потоци могат да бъдат пропускани в една фаза;
- вида на кръстовището – триклонно, четириклонно и други;
- конфигурацията на кръстовището – определящ е броя и ширината на лентите на входовете и изходите на кръстовището;
- сложност на кръстовището – зависи от броя и вида на конфликтите точки между различните транспортни потоци;
- други – координация със съседни светофарни уредби, пропускане на пешеходци, забрана на леви завои и други съображения свързани с организацията на движението в района на изследваното кръстовище.

Безопасното изтегляне на транспортните потоци между отделните фази се осигурява от междинните времена, които гарантират необходимото време последният навлязъл автомобил от освобождаващите кръстовището потоци да премине конфликтната зона с потеглящите потоци от следващата фаза преди първият автомобил от тях да достигне до нея. Тяхното определяне зависи от конфигурацията и геометричните размери на кръстовището. Времетраенето им формира частта от цикъла на светофарната уредба, която не може да бъде променяна от гледна

\* Лице за кореспонденция: [idadmyanov@tu-sofia.bg](mailto:idadmyanov@tu-sofia.bg)

точка на безопасността при преминаване през кръстовището.

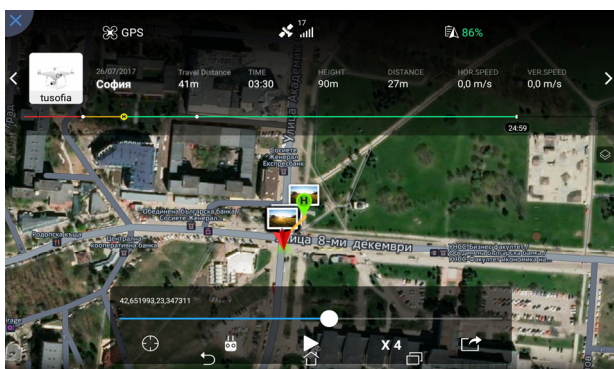
### 3 Резултати и дискусия

Обект на изследването са пет светлинно регулирани кръстовища на територията на гр. София - ул. „Акад. Стефан Младенов” и ул. „8-ми декември”, ул. „Слатинска“ и ул. „Иван Щерев“, бул. „Сливница” и улица „Димитър Петков”, бул. „Сливница“ и бул. „Панчо Владигеров“, ул. „Оборище“ и ул. „Черковна“.

Целта е да се изследват и анализират показателите на транспортните потоци, както и да се оцени възможността за оптимизация и подобряване на безопасността на движението.

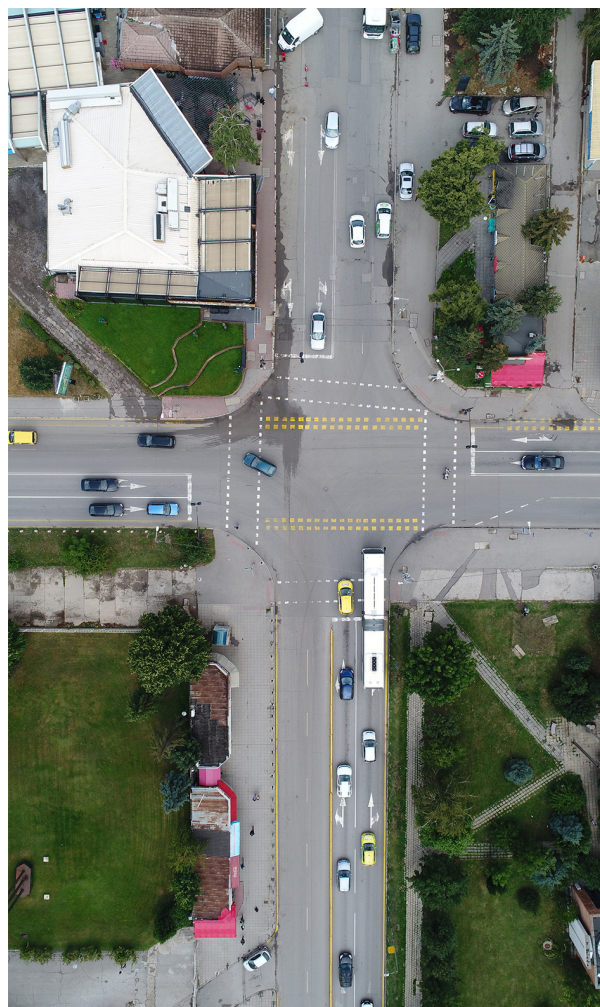
Изследване на показателите на транспортните потоци е осъществено чрез безпилотен летателен апарат който е издигнат на 90 m височина и видеозаснемане с продължителност от 15 минути, в различни часове през светлата част от денонощието. Периодите на заснемане са определен чрез предварителни частични изследвания за установяване на пиковите часове през месеци юни и юли 2017 г.

Използването на камера с висока разделителна способност позволява постигане на високо качество на записа и възможност да се проследи движението на всеки пешеходец и превозно средство, а оттам и да се получат изследваните показатели на съответните транспортни потоци. От полетния дневник на безпилотния летателен апарат може да се проследи информация за местоположение (координати), време, височина, скорост, оставащо полетно време (батерия) и други за полета. На Фиг. 1 е представена информацията от полетния запис на безпилотния летателен апарат, а на Фиг. 2 снимка на едно от изследваните светофарно регулирани кръстовища.



Фиг. 1. Информация от полетен запис.

При намаляване на интензивността на транспортните потоци голямата продължителност на светофарния цикъл необосновано задържа малкият брой автомобили пристигащи на кръстовището. В тези случаи автомобилите, които пристигат на кръстовището за един цикъл на светофарната уредба обикновено са по-малко или са равни на автомобилите, които могат да преминат по време на зеления сигнал към съответния поток.



Фиг. 2. Снимка на едно от изследваните кръстовища.

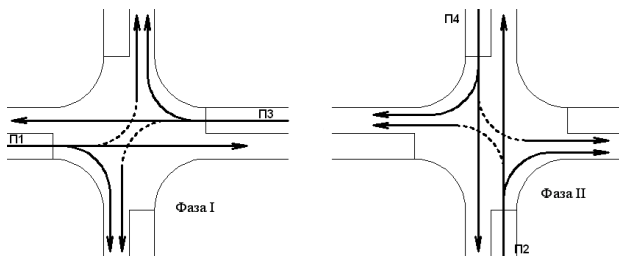
Последователно се определят броя и вида на фазите за пропускане на транспортните потоци през кръстовището.

За определяне на основните показатели на изследваните светофарно регулирани кръстовища и оптимизация им се използва алгоритъм представен в [3] използващ критерия най-малко време за чакане на всички потоци на кръстовището. Изследваните показатели са:

- продължителност на цикъла на светофарната уредба  $t_c, s$ ;
- време за червен сигнал на отделните потоци  $t_r^{fi}, s$ ;
- време за зелен сигнал на отделните потоци  $t_g^{fi}, s$ ;
- междинни времена  $t_{li}, s$ ;
- интензивност на транспортните потоци  $I_a^f, a/s$ ;
- пропускателна способност  $I_p^f, a/s$ ;
- средна дължина на опашките на транспортните потоци  $Q_{av}, counts$ ;
- общо време за чакане  $T_{wi}, s$ .

Четири от изследваните кръстовища показват, че движението се пропуска в две фази, като на едно от тях с разкъсване на първа фаза. На петото от изследваните кръстовища се установи, че движението се извършва в четири фази.

След извършване на необходимите предварителни измервания на изследваните светофари, стойностите на входящите им параметри за трите кръстовища с пропускане на движението в две фази са показани в таблици 1, 2 и 3. Времената за зелен сигнал към потоци 1-3 и 2-4 формират времената на отделните фази, а именно – потоци 1 и 3 преминават във фаза I-a, потоци 2 и 4 преминават във фаза II представени на Фиг. 3.



Фиг. 3. План на фази на трите разглеждани кръстовища.

Таблица 1. Входящи параметри на кръстовището на ул. „Акад. Стефан Младенов” и ул. „8-ми декември”.

ул. „Акад. Стефан Младенов” и ул. „8-ми декември”	$I_a^f$	$Q_{av}$	$t_r^{fi}$	$t_g^{fi}$	$t_{ii}$
потоци 1 и 3	0,41	12,47	32	20	8
потоци 2 и 4	0,38	11,43	33	19	8

Таблица 2. Входящи параметри на кръстовището на ул. „Слатинска“ и ул. „Иван Щерев”.

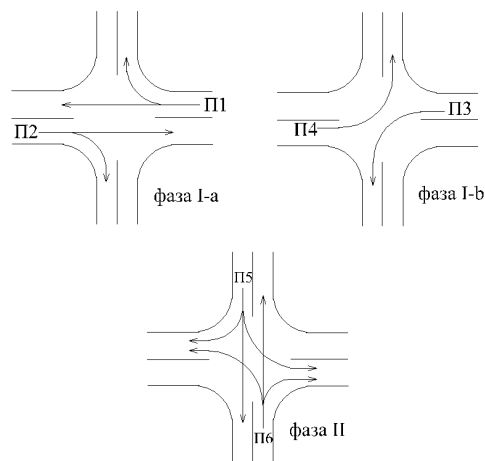
ул. „Слатинска“ и ул. „Иван Щерев”	$I_a^f$	$Q_{av}$	$t_r^{fi}$	$t_g^{fi}$	$t_{ii}$
потоци 1 и 3	0,09	2,25	26	16	6
потоци 2 и 4	0,11	2,72	24	21	5

Таблица 3. Входящи параметри на кръстовището на ул. „Оборище“ и ул. „Черковна”.

ул. „Оборище“ и ул. „Черковна”	$I_a^f$	$Q_{av}$	$t_r^{fi}$	$t_g^{fi}$	$t_{ii}$
потоци 1 и 3	0,095	2,65	28	21	6
потоци 2 и 4	0,106	1,9	18	18	7

В Таблица 4 са представени данните за кръстовището бул. „Сливница” и улица „Димитър Петков”, където движението се пропуска в две фази с разкъсване на първата фаза. Продължителността на светофарния цикъл е 88 секунди.

Времената за зелен сигнал към потоци 1-2, 3-4 и 5-6 формират фазите на кръстовището (Фиг. 4). Времената представени в таблица 5 на отделните фази – потоци 1 и 2 преминават във фаза I-a, потоци 3 и 4 преминават във фаза I-b и потоци 5 и 6 преминават във фаза II.



Фиг. 4. План на фази на разглежданото кръстовище.

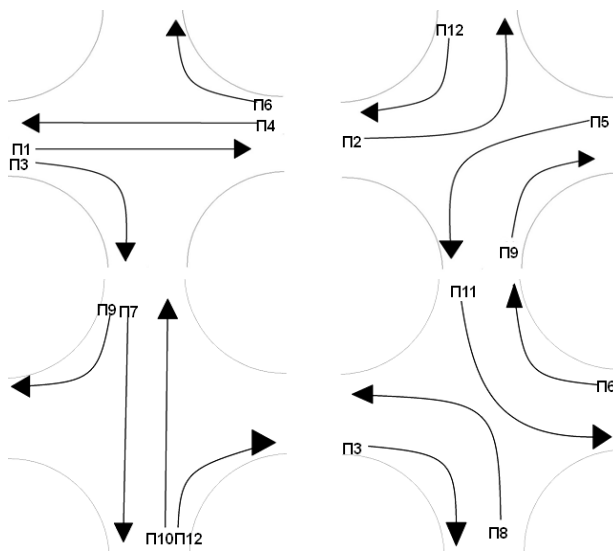
Таблица 4. Входящи параметри на кръстовището на бул. „Сливница” и улица „Димитър Петков”.

бул. „Сливница” и улица „Димитър Петков”	$I_a^f$	$Q_{av}$
потоци 1 и 3	0,37	7,25
поток 5	0,11	7,15
потоци 2 и 4	0,51	35,25
поток 6	0,10	6,45

Таблица 5. Времена за зелен, червен сигнал и междинни времена на кръстовището на бул. „Сливница” и улица „Димитър Петков”.

бул. „Сливница” и улица „Димитър Петков”	$t_r^{fi}$	$t_g^{fi}$	$t_{ii}$
потоци 1 и 2	48	35	5
потоци 3 и 4	69	14	5
потоци 5 и 6	59	24	5

Изследваните показатели на петото светлинно регулирано кръстовище е бул. „Сливница“ и бул. „Панчо Владигеров“, като е установено че движението се извършва в 4 фази. Продължителността на цикъла е 97 секунди.



Фиг. 5. План на фази на кръстовището на бул. „Сливница“ и бул. „Панчо Владигеров”



На Фиг. 5 и в Таблица 6 са представени фазите на кръстовището. През фаза 1 се пропускат потоци 1, 4, 3 и 6. Фаза 2 пропуска потоците 2, 5, 9 и 12. Фаза 3 пропуска потоците 7, 9, 10 и 12. Фаза 4 пропуска потоците 3, 6, 8 и 10. В Таблица 7 са представени стойностите на изследваните показатели на кръстовището.

**Таблица 6.** Продължителност на фазите на светофарната уредба на кръстовището на бул. "Сливница" и бул. "Панчо Владигеров"

бул. "Сливница" и бул. "Панчо Владигеров"	Продължителност на фазите, s
Фаза I	31
Фаза II	20
Фаза III	24
Фаза IV	20

**Таблица 7.** Входящи параметри на кръстовището на бул. "Сливница" и бул. "Панчо Владигеров".

бул. "Сливница" и бул. "Панчо Владигеров"	$I_a^f$	$Q_{av}$
поток 1	0,19	12,87
поток 2	0,05	3,79
поток 4	0,17	11,89
поток 5	0,03	1,89
поток 7	0,12	6,43
поток 8	0,07	6,65
поток 10	0,09	6,51
поток 11	0,05	4,78

След въвеждането на измерените данни в използвания алгоритъм [3] се установява съответствието му с реалната обстановка. При извършената оптимизация на показателите на транспортното движение за изследваните кръстовища се установи, че действащият цикъл на кръстовище ул. „Акад. Стефан Младенов” и ул. „8-ми декември” е оптимален и не се нуждае от оптимизиране. Оптимизираните времена на светофарния цикъл за останалите кръстовища са представени в Таблица 8.

## 4 Заключение

Използването на безпилотен летателен апарат позволява да се установят показателите пътнотранспортното движение и да се вземат необходимите мерки за подобряване на организацията и безопасността на движението.

След извършеното изследване се постига оптимизация, чрез промяна на продължителността на времената на светофарния цикъл и намаляване на транспортните задръжки.

1. Докладът се публикува във връзка с проект №171ЦФ0001-04

2. Резултатите публикувани в доклада са свързани с НИС по проект №171ЦФ0001-04 към ТФ на ТУ-София.

**Таблица 8.** Оптимизирани времена на светофарните цикли на изследваните кръстовища.

ул. „Слатинска“ и ул. „Иван Щерев“	$t_r^{fi}$	$t_g^{fi}$	$t_{ii}$
потоци 1 и 3	21	18	6
потоци 2 и 4	18	21	6
ул. „Оборище“ и ул. „Черковна“			
потоци 1 и 3	21	16	7
потоци 2 и 4	16	21	7
бул. „Сливница” и ул. „Димитър Петков”			
потоци 1 и 2	36	47	5
потоци 3 и 4	69	14	5
потоци 5 и 6	71	12	5
бул. "Сливница" и бул. "Панчо Владигеров"	Продължителност на фазите, s		
Фаза I	38		
Фаза II	10		
Фаза III	24		
Фаза IV	24		

## Литература

1. W. McShane, R. Roess, *Traffic engineering*, Prentice-Hall. Englewood Cliffs, N.J, 1990.
2. *Highway Capacity Manual*. TRB, National Research Council, Washington, DC, 2000.
3. Д. Салиев, *Моделиране на пътнотранспортното движение при на стъпване на аварийни ситуации*, Дисертация, Технически университет - София, (2013)

## RESEARCH, ANALYSIS AND OPTIMIZATION OF THE INDICATORS OF THE ROAD TRAFFIC OF LIGHT REGULATED CROSSROADS

Iliyan Damianov<sup>1</sup>, Georgi Mladenov<sup>1</sup>, Vladimir Hristov<sup>2</sup>, Milena Savova-Maratzenkova<sup>1</sup>, Georgi Palagachev<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Technical University of Sofia, Department of Engines, Automotive Machinery and Transport

<sup>2</sup>Technical University of Sofia, Department "Automation of Electric Drives"

**Abstract:** Subject of the study are five light-regulated crossroads in Sofia - Acad. Stefan Mladenov Street and 8th December Street, Slatinska Street and Ivan Shterev Street, Slivnitsa Blvd. and Dimitar Petkov Street, Slivnitsa Blvd. and Pancho Vladigerov Blvd., Oborishte Str. and Cherkovna Str. The report presents an optimal solution for the duration of the light signals of light regulated intersection.