

## **ОПРЕДЕЛЯНЕ И ОПТИМИЗИРАНЕ НА ПРОПУСКАТЕЛНАТА СПОСОБНОСТ НА СВЕТЛИННО СИГНАЛНО РЕГУЛИРАНИ КРЪСТОВИЩА**

**Георги Георгиев, Доброслав Симеонов**  
[gezzibg@yahoo.com](mailto:gezzibg@yahoo.com), [dss54@abv.bg](mailto:dss54@abv.bg)

**„Институт по пътища и мостове”**  
**ул. Бесарабия 114, София**  
**БЪЛГАРИЯ**

**Ключови думи:** Светлинно сигнално регулиране, циклограма, критерии за въвеждане, план на фазите, междинни времена, пешеходни времена, продължителност на цикъла.

**Резюме:** В доклада са разгледани проблеми свързани със светлинно сигнално регулирани кръстовища. Използвани са практики на други държави и са съпоставени със сега действащите у нас. Описана е последователността при решаване на задачи със светлинно сигнално регулиране.

От транспортна гледна точка е показано правилното подреждане на фазите на светлинното регулиране в циклограми. Обърнато е внимание на пешеходни потоци.

Острите проблеми на безопасността изискват подробното познаване на междинните времена. Представянето на най-конфликтните ситуации в матрица е желателно да съпътстват всяка циклограма.

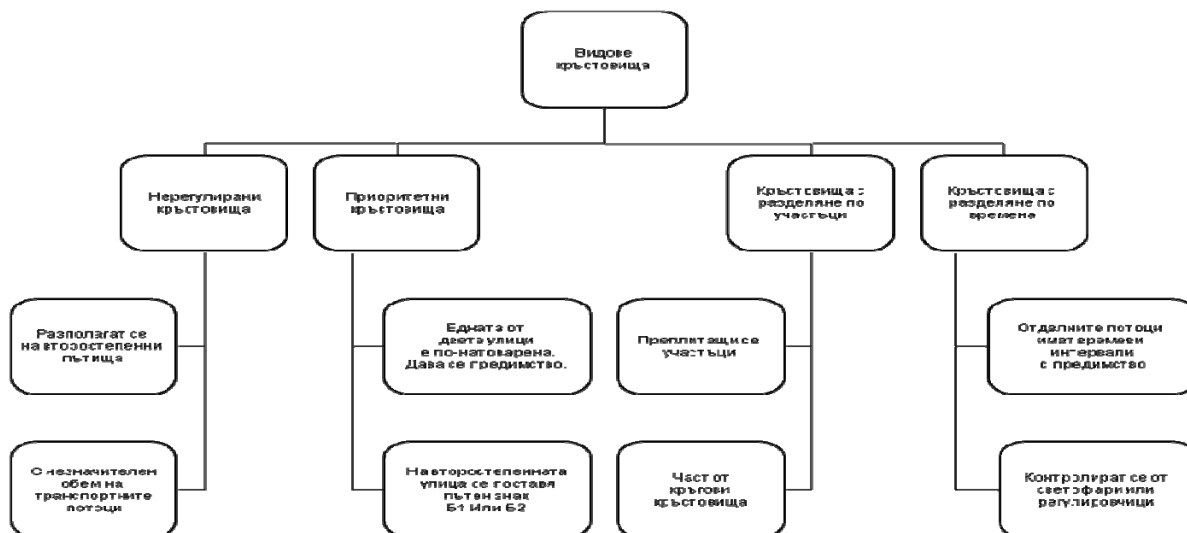
Изследването може да бъде използвано от пътно-транспортните инженери при вземането на решения.

Повечето участници в пътното движение разположени в хоризонтален план често пъти се пресичат на едно ниво. В точката на пресичане – кръстопът възникват конфликтни ситуации между водачите, движещи се в противоположни (или попътни) посоки, като възникват задръжки и/или пътно транспортни произшествия (ПТП). Ето защо експлоатацията на кръстовищата не рядко се явява критичен фактор на пропускателната възможност и степента на използване на пътя, като цяло или в определени посоки.[1]

Всички кръстовища условно могат да се разделят на четири категории:

В настоящият доклад сме разгледали четвъртата категория кръстовища с разделяне по времена или светлинно сигнално регулиране (ССР) на кръстовища.

Първият светофар датира от 10 декември 1868г. Монтиран е пред парламента в Лондон, работил е на газ и чрез превключвател е сменял зелена и червена светлина. Работил е три седмици до 2 януари, когато е избухнал. След цели 44 години, чак през 1912 година в Солт Лейк Сити, щата Юта, е изобретен първият в света електрически светофар, също само със зелена и червена светлина. Две години по-късно се появява и първият патент. През 1920 в Детройт бил монтиран първият трицветен светофар.



Фиг. 1

Към днешна дата техният брой, само в САЩ надхвърля 272 000.[2] В София са приблизително 300, а в България около 1500 бр. Тази статистика показва, че те играят важна роля в транспортната мрежа, но са и източник на недоволство от страна на обществото, когато не функционират ефективно.

Основната цел е предвиждането на хора и транспортни средства да става безопасно и ефективно. Правилното решение на тази задача изисква правилното позициониране на отделните участници. Необходимо е също така синхронизирането на сигнализацията да се актуализира периодично, за да се поддържа сигурността и ефективността на дадено кръстовище.

ССР предлага възможността, както да се подобри мобилността и безопасността на уличните мрежи, също така намаляват вредният ефект върху околната среда в сравнение с неконтролираните и приоритетните кръстовища.

Една правилно проектирана и оразмерена светофарна уредба в дългосрочен план трябва да дава един или няколко от следните предимства:

- Осигуряване на правилно, ефективно и безопасно предвиждане на пешеходци;
- Максимална пропускателна възможност в кръстовището;
- Намаляване на честотата и тежестта на ПТП;
- Осигуряване на подходящи нива на достъп на второстепенната улица;
- Освобождаване на хора от ръчно управление.

Недостатъците на ССР се изразяват в следното:

- Времената за изчакване не могат да бъдат избегнати (особено за слаби потоци биват значителни);
- Строителните и експлоатационните разходи са високи;
- При повишено транспортно натоварване се повишава и замърсяването на околната среда.

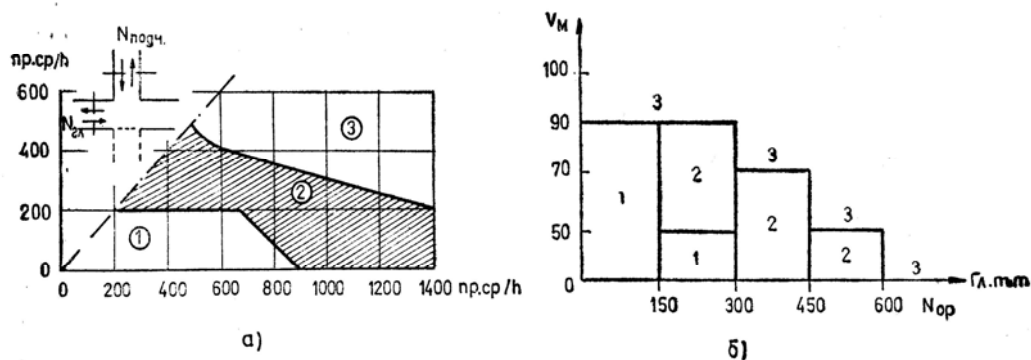
### Критерии за въвеждане на светлинно сигнално регулиране

Въвеждането на светофари може да се базира на няколко критерия:

#### I. Глобална (обобщена) оценка.

Диаграмата на фиг.2 може да служи за първоначална оценка на пропускателната способност на кръстовището. Преди всичко за избора на целесъобразен тип възел и режим на движение в стадия на предварителните проучвания.  $N_{зл.}$  и  $N_{подч.}$  отговарят на най-големите натоварвания на подходите и изходите на кръстовището в меродавните

(оразмерителни) часове. Не се взимат предвид завиващите потоци. За оценка на необходимостта от лента за ляво завиване от главния път на кръстовищата се използва фиг.2.б. Въз основа на тази първа оценка се установяват типът на възела (на едно ниво или на различни нива), режимът (регулиране със знаци или със светофари) и потребността от ляво завиващи ленти на главния път. Така в стадия на предварителните проучвания могат да се избират целесъобразните елементи на кръстовището и с това той да се очертае по конфигурация и вид [3].



**Фиг.2. Диаграми за глобални оценки на пропускателната способност с цел избор на тип кръстовище и режим на движение**

а) глобална оценка:

- 1 - светофари не са необходими;
- 2 - канализиране на потоците със светофарна уредба;
- 3 - необходима е светофарна уредба или възел на различно ниво;

б) критерии за прилагане на ляво завиващи ленти:

- 1 - могат да не се прилагат;
- 2 - по изключение не се прилагат, ако няма произшествия, добра видимост и разпознаваемост;
- 3 - прилагат се задължително.

На съществуващи кръстовища въвеждането на ССР е целесъобразно когато дневната интензивност измерена в приведени единици е не по-малка от следните стойности. [4]

**Табл.1**

Брой на пътните ленти за движение в една посока по:		Интензивност на движението в двете посоки по път с по-голяма интензивност	Интензивност на движението по напречен път за посоката на движение с по-голяма интензивност
път с по-голяма интензивност на движението	напречен път	приведени единици в час (Е/ч)	приведени единици в час (Е/ч)
1	1	750	75
		670	100
		580	125
		500	150
		410	175
2 и повече	1	380	190
		900	75
		800	100
		700	125
		600	150
2 и повече	2 и повече	500	175
		400	200
		900	100
		825	125
		750	150
2 и повече	2 и повече	675	175
		600	200
		525	225
		480	240

## II. Безопасност на движението

При съществуващи кръстовища безопасността се доказва от статистиката на ПТП. При повишен брой се търсят евентуални грешки в транспортното съоръжение (условия на видимост, грапавост на настилката, лошо сигнализиране и др.) и накрая се стига до светофарното регулиране. Чрез въвеждане на светофари на първо място се намаляват чувствително честотата на ПТП и тяхната тежест. [3]

Ако през последните 12 месеца на разглежданото място са регистрирани три или повече от три ПТП, които биха могли да бъдат предотвратени поставянето на ССР е целесъобразно. [4]

## III. Пропускателна способност

Пропускателната способност на светофарно регулираното кръстовище се увеличава при следните условия:

- Превозните средства се престоаяват във входове в повече ленти;
- По-плавни и свободни траектории на движение след стоп-линията;
- При по-еднороден състав на движението;
- При по-малко загубено време, т.е. времето, през което през зоната на кръстовището няма движение по никое от направленията;
- При по-къс общ цикъл на светофарното регулиране.

В зависимост от напречния профил на прилежащите улици и транспортното натоварване са възможни принципните преустройства във входа на кръстовището за увеличаване на лентите в зоната на изчакване.[5]

## IV. Пешеходци

Оборудването на светофари за пешеходното движение, може да бъде наложено от следните съображения: чести типични ПТП, които не се премахват с други мероприятия (тунели или пасарелка); затормозяване на пр. сп. (на възли или свободни отсечки) поради интензивни пешеходни потоци с право на предимство.[3]

### **Фази и последователност на фазите**

Движението във възела така се размества по време, че да протичат само потоците с относително осигурена безопасност. Тези времена на протичане се наричат фази или части от фази.

Продължителността на отделните фази зависи от транспортния обем и наличните ленти. Сумата на фазовите времена (началото на една фаза до повторното начало на същата фаза) е равно на цикъла  $T_{ц}$ .

Отделните фази се представят в плана на фазите, а тяхната последователност по време в циклограма (сигнална програма).[3]

### I. Образуване на фазите

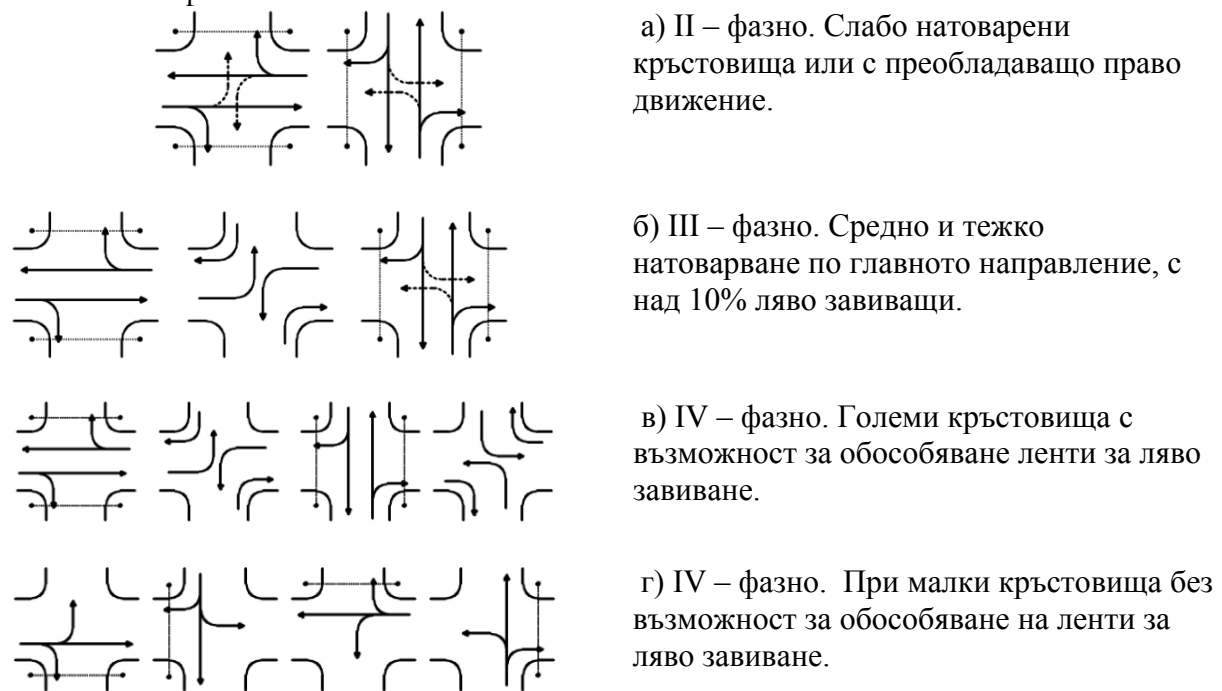
- С предимство се пропускат главните потоци;
- На първо място се събират в една фаза онези транспортни потоци, които нямат общи конфликтни точки (съвместими потоци);
- След това се събират потоци в една фаза, които показват само вторични конфликтни точки (ляво завиващи с противоположно право движение; дясно отливащи се и пешеходно движение);
- Претоварванията по ленти на различните подходи по възможност да бъдат еднакви;
-

## II. Избор на последователност на фазите

Ако се предвидят повече от две фази в един цикъл, тогава те придобиват голямо значение

- Поредицата от фази трябва да е така подбрана, че загубата на време за освобождаване да е минимална;
- За определени транспортни потоци, при които е предвидено право за преминаване в повече от една фаза в един цикъл, то те трябва да се спират само веднъж (например дясно отливащи);
- На всеки поток се определя само зеленото време, което трябва да съответства на неговата интензивност;
- Да се внимава при асиметрични върхове протичания (разкъсване на фаза). Тогава могат да бъдат необходими други фазови последователности.

Принципно провеждане на движението в четири клонни ССР кръстовища е показано на фиг.3



Фиг. 3

Желателно е броя на фазите да не надвишава четири. При по-малък брой се намалява времето за изчакване.

### Времена

За оразмеряване на ССР имаме следните понятия за време: сигнални времена, транспортни времена, и следващите от тях комбинирани времена.

I. Сигнални времена – са тези времена, които се съобщават чрез различните светлинни сигнали:

- Зелено време. Означава „**преминаването е разрешено**”. Не се допуска навлизане в кръстовището при задръстване. Тогава водачите нямат възможност да освободят кръстовището в рамките на разрешения сигнал. Във връзка с това, бе взето решение на натоварените кръстовища да се поставят таймери за отчитане на времетраенето на светлинния сигнал (ДВ. Бр. 60/2012г.).

Зелено време се определя въз основа на транспортното натоварване. Абсолютният минимум е 7s. Ако успоредно с автомобилният поток се пропуска и пешеходен, тогава минималното зелено време се определя от нуждите на пешеходния поток.

- Жълто време. Означава „внимание спри!”. При него, водачите трябва да предприемат по-малко опасната маневра, да спрат екстрено пред стоп линията или да преминат рисково през кръстовището. С въвеждане на таймери времето за вземане на това решение се удължава.

Желателно е използването на времената посочени в следващото уравнение.

$$0 < V_a < 60 \text{ km/h} \rightarrow t_{жс} = 2 \text{ s}$$

$$(1) \quad 60 < V_a < 70 \text{ km/h} \rightarrow t_{жс} = 3 \text{ s}, \text{ където } V_a \text{ скорост на автомобила}$$

$$V_a < 70 \text{ km/h} \rightarrow t_{жс} = 4 \text{ s}$$

През зимата, когато условията на движение се влошават е препоръчително тези времена да се увеличат с 1s.

- Червено време. Означава „преминаването е забранено”

II. Транспортни времена – служат за определяне на сигурно по време деление на несъвместимите потоци.

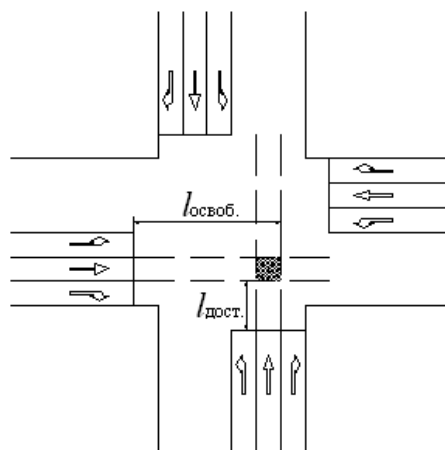
- Време за освобождаване. Времето необходимо на водач да освободи зоната на опасност.

$$(2) \quad t_{освоб.} = \frac{l_{освоб.} + l_a}{V_a} \text{ [s]}, \text{ където } l_a = 5 \div 7 \text{ [m]} - \text{дължина на автомобила}$$

- Време за достигане. Времето необходимо на водач да достигне зоната на опасност.

$$(3) \quad t_{дост.} = \sqrt{\frac{2l_{дост.}}{a}} \text{ [s]}, \text{ където } a = 1 \div 3 \text{ [m/s}^2] - \text{ускорение на автомобила}$$

На фиг.4 са показани разстоянията за освобождаване и достигане на опасната зона.



Фиг.4

- Междинни времена - Преходен интервал между две последователни фази. Има за цел да осигури безопасното изтегляне на автомобилите от текущата фаза след като бъде прекратен „зеления” сигнал. Измерва се времето от края на „зелено” на едната фаза до начало на „зелено” на следващата фаза.

$$(4) t_{\text{межд.}} = t_{\text{жс}} + t_{\text{освоб.}} - t_{\text{дост.}} + \Delta t [s], \text{ където } \Delta t \text{ време за сигурност} = 1s$$

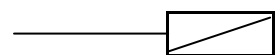
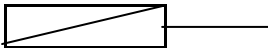
Междинното време след пресмятане се закръгля на цели секунди (пр. 3,8→приема се 4s). Тези изчисления се нанасят в т.н. матрица на междинните времена. Примерна матрица с междинните времена е дадена на фиг.5, като следва фазите от фиг. 3.б. Във всички кръгчета трябва да има цифри! Това са конфликтните ситуации на транспортните потоци при този вид подреждане на фазите.

			Потеглящи ТП											
			I фаза				II фаза				III фаза			
			12	21	14	23	13	24	31	42	34	43	32	41
Освобождаващи ТП	I фаза	12						0		0				
		21					0		0					
		14						0						
		23					0							
	II фаза	13									0	0	0	0
		24									0	0	0	0
		31												0
		42											0	
	III фаза	34	0	0	0									
		43	0	0		0								
		32	0	0										
		41	0	0										

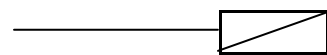
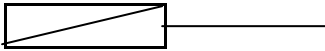
Фиг. 5

Означаване на  $t_{\text{межд.}}$  в циклограмата е показано на фиг.6

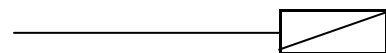
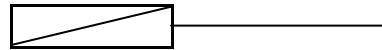
$$t_{\text{межд.}} = 3 s$$



$$t_{\text{межд.}} = 4 s$$



$$t_{\text{межд.}} = 5 s$$



Фиг. 6

Така от геометрията на възела се определят необходимите междинни времена за всяка смяна на фазите. Сумата на междинните времена означава собствените загуби на пр. сп. на кръстовището, необходими заради сигурността.[3]

### Продължителност на цикъла

Цикълът е най-малкият, периодично повтарящ се интервал от време, за който срещашите се във кръстовището потоци получават един път зелен сигнал.[3]

За да се определи продължителността на цикъла е необходимо:

I. Да имаме преброяване в пиков час ( $q$ ). Преброяването е необходимо да се приведе към единици леки автомобили. Коефициентите за приравняване са посочени в табл. 2.[6]

Табл. 2

№ по ред	Видове МПС	Коефициент за приравняване на МПС към лек автомобил
1.	Лек автомобил, в т.ч. линейка, лекотоварен автомобил с полезен товар до 800 kg, микробус до 12 места и др.	1,0
2.	Велосипед, мотопед	0,3
3.	Мотоциклет	0,5
4.	Мотоциклет с кош или ремарке	1,0
5.	Товарен автомобил с полезен товар до 5 t	2,0
6.	Товарен автомобил с полезен товар над 5 t	2,5
7.	Автобус или тролейбус	3,0
8.	Седлови влекач с ремарке, автобус с ремарке, влекач с едно, две и повече ремаркета	3,5
9.	Съчленен автобус или тролейбус	3,5

II. Да определим потока на насищане ( $S$ ).

- За движещи се на право транспортни потоци

$$(5) S = S' \cdot n \cdot \varepsilon [E/h], \text{ където } n - \text{бр. ленти, } \varepsilon - \text{коэф. на многолентност,} \\ w - \text{ширина на лентата за движение}$$

Табл. 3

w (m)	3,00	3,25	3,30	3,50	3,60	3,75	4,00	4,20	4,50	4,80	5,00	5,40
S'	1850	1870	1875	1925	1950	1980	2030	2075	2275	2475	2585	2700

Табл. 4

n	1	2	3	4
$\varepsilon$	1	0,9	0,82	0,76

- За завиващи по крива с радиус R транспортни потоци

$$(6) S' = \frac{1800}{1 + \frac{1,525}{R}} [E/h] \quad \text{За една лента}$$

$$(7) S' = \frac{3000}{1 + \frac{1,525}{R}} [E/h] \quad \text{За две ленти}$$



III. Корекционни коеф. спрямо условията на конкретното място

- Корекция на насищането по надлъжен наклон на пътя  $K_i$

$$(8) K_i = 1 + \frac{3i}{100}, \text{ където } i \text{ наклон на пътя;}$$

- Корекция на насищането при ляво и дясно завиващи  $K_{зав.}$

Налага се при смесени ленти: право-дясно, право-ляво и право-дясно-ляво, когато завиващите потоци надвишават 10%

$$(9) p = \frac{q_{зав.}}{q} \cdot 100 [\%]$$

$$(10) K_{зав.} = 1 \text{ при } p < 10\%$$

$$(11) K_{зав.} = \frac{100}{a + 1,25b + 1,75c} \text{ при } p > 10\%$$

Където  $a$  – процент движещи се на право;  $b$  – процент завиващи на дясно;  
 $c$  - процент завиващи на ляво

- Корекция на насищането според външно определящи фактори  $K_y$  (видимост, метеорологични условия, допълнително осветление, подлези и др.)

Табл. 5

Условия	Описание на условията	$K_y$
Добри	Слабо или липсва влияние на: пешеходно движение; на спрени автомобили. Добър обзор на регулираното място, достатъчна ширина на изходите му.	1,20
Средни	Средни условия за движение. Има характеристики от групите „добри” и „лоши”.	1,00
Лоши	Ниска средна скорост на движение, има влияние на: спрени автомобили; пешеходци; ляво завиване с изчакване. Лош обзор на регулираното място, недостатъчна ширина на изходите му. Наличие на магазини и спирки на градски транспорт в зоната на регулираното място.	0,85

Окончателната стойност на наситените потоци  $S$  за всяка фаза и за всеки вход на регулираното място:

$$(12) S = S' \cdot K_i \cdot K_{зав.} \cdot K_y [E/h]$$

IV. Определяне на фазовите коефициенти

$$(13) y_i = \frac{q}{S}$$

Определя се за всеки вход, за всеки поток при всяка фаза

V. Определяне на загубеното време  $L$  в цикъла на регулиране.

$$(14) L = \sum_1^n t_{\text{межд.}} [s]$$

VI. Определяне на оптималната продължителност на цикъла на регулиране

$$(15) T_u = \frac{L}{1 - \sum_1^n y_i}$$

## VII. Определяне на продължителността на разрешителните сигнали

- За пешеходци

$$(16) t_{зпеш.} = \frac{l_{пресичане}}{V_{пеш.}} [s]$$

където  $l_{пресичане}$  дължина на пешеходната пътека [m];  $V_{пеш.}=0,5\div 1,5$  m/s – скорост на пешеходеца [7]

- За МПС

$$(17) t_{змпс.}^{эф.} = \frac{y_{i\phi}}{\sum_1^n y_i} \cdot (T_u - L) [s]$$





където  $y_{i\phi}$  максимален фазов коеф. за фазата (когато в една фаза преминават няколко потока най-натовареният ТП е определящ).

### Циклограма

Циклограма (сигнална програма) или сигнален план представя в схематичен вид направените изчисления. Изобразени са: дължината на цикъла, продължителността на зелените времена за всяка фаза, подреждането на фазите, междинните времена, при наличие на пешеходни фази, те се добавят по-долу след транспортните.



Използвани означения:

-  зелена светлина
-  жълта светлина
-  червена светлина
-  червена и жълта светлина

- I, II, III - фази
- 1, 2, 3 - основни тактове
- $t_1^{\prime}$  = 1' - първи преходен интервал
- $t_2^{\prime}$  = 2' - втори преходен интервал
- $t_3^{\prime}$  = 3' - трети преходен интервал

Фиг. 7

Транспортните се разделят на автомобилни, трамвайни и велосипедни при наличие на организация на движение за съответният вид транспорт.

Циклограма трябва да се поставя във всеки шкаф с контролер на съответното кръстовище. Препоръчително е да има и матрица с междинните времена.

Примерна циклограма, която следва фазите от фиг. 3.б. е дадена на фиг. 7

#### **Изводи**

1. Използването на ССР е целесъобразно при повишаване на интензивността на потоците и/или при възникване на тежки ПТП;
2. Почти всички ССР кръстовища у нас работят на твърд режим, което е далеч от изискванията за модерно управление на трафика, но това не е предпоставка за оправдания и пренебрегване на кръстовища с такива светофарни контролери;
2. Синхронизирането на сигнализацията, е необходимо да се актуализира периодично - поне два пъти годишно (пролет и есен);
3. Чрез периодичното синхронизиране подобряваме качествата на транспортната система;
4. При реконструкция на отсечки и кръстовища е желателно ССР с твърд режим да бъде подменяно с адаптивно ССР;
5. Събирането на данни е препоръчително да става с технически средства (индуктивни рамки, микровълнови радары и др.);
6. Оптимизирането на ССР, трябва да се счита, както за местна, така и национална проблема – от това зависят опазването на околната среда и качеството на живот.

#### **ЛИТЕРАТУРА:**

- [1] М.Вол Б.Мартин, Анализ транспортных систем, перевод на руски език, „Транспорт”, 1981, 516с. (M. Vol. B. Martin, Traffic system analysis, 1967)
- [2] Traffic Signal Timing Manual, FHWA-HOP-08-024, U.S. Department of Transportation 2008, 273p.
- [3] проф. к.т.н. инж. Д. Сотиров, Проектиране на пътища, издателство „Техника” София, 1983, 451стр. (PhD. D. Sotirov, Proektirane na putishta, I. “Tehnika”, Sofia, 1983, 451 str.)
- [4] НАРЕДБА № 17 от 23 юли 2001 г. за регулиране на движението по пътищата със светлинни сигнали (Обн., ДВ, бр. 72/2001г; изм. и доп., бр. 18/2004 г.) (NAREDBA № 17, 2001 za regulirane na dvijenieto po putishtata sys svetlinni signali; Obn. DV br. 72,2001; izm. i dop. DV br.18 2004)
- [5] проф. к.т.н. инж. Г. Щилиянов, проф. к.т.н. инж. Т. Тодоров, Ръководство за проектиране на пътища, улици и аеродруми, издателство „Техника”, София, 1979, 306с. (PhD. G. Shtilqnov, PhD. T.Todorov, Rukovodstvo za proektirane na putishta, ulici I aerodrumi, i. “Tehnika”, Sofia, 1979, 306 str.)
- [6] НАРЕДБА № 2 от 29 юни 2004 г. за планиране и проектиране на комуникационно-транспортните системи на урбанизираните територии (Обн., ДВ, бр. 86 и попр. бр. 93/2004 г.) (NAREDBA №2, 2004 za planirane I proektirane na komynikacionno-transportnite sistemi na urbaniziranite teritorii, Obn. DV br. 86 I popr. DV br. 93.2004)
- [7] проф. инж. И. Златанов, Организация и безопасност на движението, издателство „Техника” София, 1985, 252с. (PhD. I. Zlatanov, Organizacia I bezopasnost na dvijenieto, i. “Tehnika”, Sofia, 1985, 252 str.)

# QUALIFICATION AND OPTIMIZE THE THROUGHPUT OF TRAFFIC LIGHT CONTROLLED JUNCTIONS

G. Georgiev, D. Simeonov  
[gezzibg@yahoo.com](mailto:gezzibg@yahoo.com), [dss54@abv.bg](mailto:dss54@abv.bg)

*“Institute of Roads and Bridges”, Besarabia 114, Sofia,  
BULGARIA*

**Key words:** Light signaling regulation, cyclogram, criteria for entering, phase plans, intermediate times, walking times, cycle time.

**Abstract:** The report examined traffic problems associated issues to the light signal controlled junctions. Used practices of other countries and are compared with the now existing in us. Described the sequence in solving problems with a light-signaling regulation.

Transport perspective shown proper arrangement of the phases of the light regulation in cyclogram. Inverted is attention of pedestrian flows.

Acute safety issues require detailed knowledge of the intermediate times. The presentation of most conflict situations in the matrix is desirable to accompany each cyclogram.

The study can be used by traffic engineers making decision.