

МОДЕЛИРАНЕ НА СИГНАЛИЗИРАНЕТО НА ЧЕТИРИКЛОННО КРЪСТОВИЩЕ ЧРЕЗ РАЗРАБОТВАНЕ НА EXCEL ADD-INS

Мирена Тодорова, Борис Гюров
mirena_todorova@abv.bg , borisgurov@abv.bg

**ВТУ "Тодор Каблешков", София
БЪЛГАРИЯ**

***Ключови думи:** управление на трафика, светофарни уредби, фази, модел Excel add-ins,*

***Резюме:** Най разпространеното кръстовище е четириклонното, което се различава по броя, ширината и специализацията на лентите, големините на транспортния поток по направленията, условията на движение и други геометрични особености. За определянето на показанията на светофарната уредба е разработено моделиране чрез Excel add-ins на сигнализирането на кръстовище, осигуряващо въвеждане на входните параметри чрез използването на две диалогови менюта: за големините на трафика по трите характерни часови диапазони или само за определено преброяване и геометричните особености на кръстовището. За получаване на вида на включените фази в цикъла е приложен алгоритъма „Метод на сумата на фазовите коефициенти“ отчитащ геометрията на кръстовището, големината на транспортните потоци по направления и броя на лентите, използването на пропускателната способност и големината на завиващите наляво потоци. В зависимост от разглежданите фази и участващите критични точки от получената «Матрица на междинните времена», се определя последователността на фазите, осигурявайки най-малката вероятност за произшествие в зависимост от геометричните особености на кръстовището. Като резултат в табличен вид се получава вида на фазите в цикъла, тяхното подреждане, средно време за чакане на превозно средство чрез използване на формулата на Вебстер и обща оценка чрез „Ниво на обслужване“ на кръстовището. Разработеното моделиране дава възможност за оценка на съществуващото сигнализиране на въведеното кръстовище и сравнение между него и полученото от модела.*

ВЪВЕДЕНИЕ

Днес около половината от световното население живее в градски райони, а с тяхното разрастване нараства и броят на превозните средства. Един автор описва тази ситуация по следния начин: „Твърде много хора карат твърде много автомобили в същото ограничено пространство.“. През 2017 г. София за първи път попада в топ 100 на градовете с най-големи задръствания в света и е поставена на 83-о място в индекса за трафика на холандския производител на софтуер и устройства за навигация TomTom, който измерва нивото на задръствания в големите градове, както и времето, което се

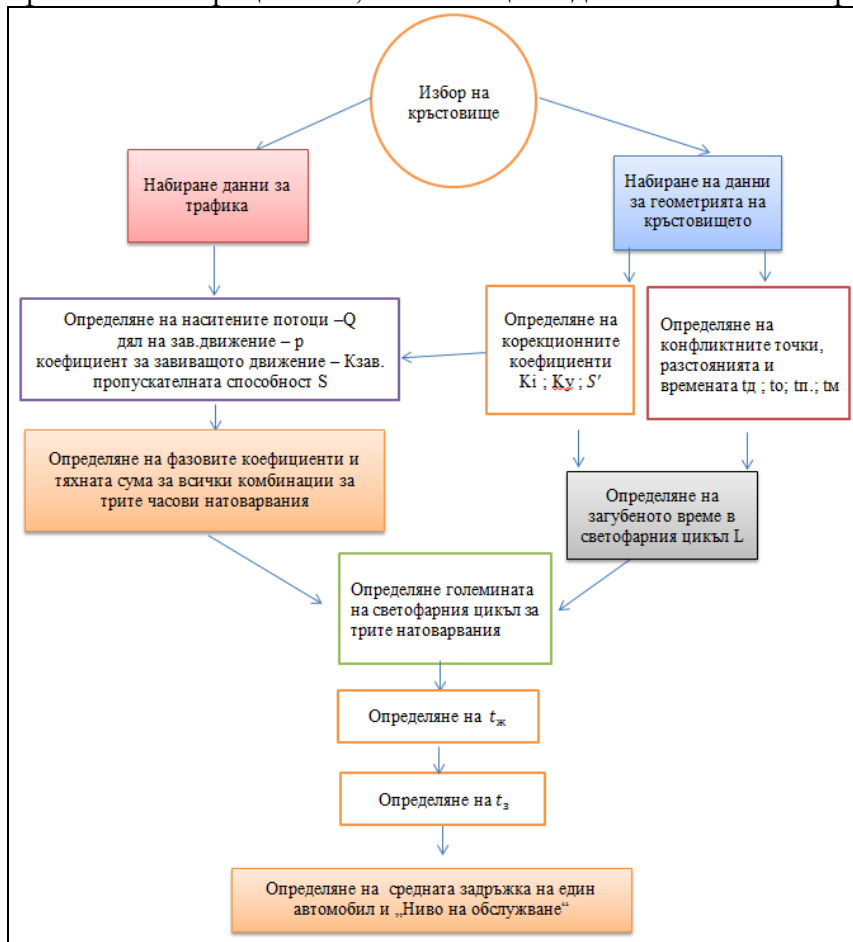
губи в чакане. Българската столица спрямо европейските попада на 23-о място сред градовете с най-големи задръствания в Европа. Софиянци губят по 38 минути на ден в чакане в задръствания. На година това прави цели 144 часа, сочат данните на TomTom [12]. Все по-често за задръстване започва да се говори и в по-малките градове.

За да се облекчи трафика в седем големи града София, Бургас, Пловдив, Варна, Стара Загора, Русе и Плевен се изпълняват проекти за интегриран градски транспорт на обща стойност 494 млн. лева, финансирани по ОП "Регионално развитие". В София, Бургас, Пловдив и Русе вече има изградени системи за управление на трафика. Системата за управление на трафика на София обхваща общо 187 кръстовища.

При работа на светофарната уредба в режим на автоматично управление продължителността на светофарния цикъл и на подаваните светлинни сигнали, моментът на тяхната смяна, както и продължителността на преходните интервали може да се определят в процеса на работа на светофарната уредба в съответствие с параметрите на потоците от ППС и пешеходци, чието движение се регулира – тъй нареченото адаптивно управление[1,2,7]. Фазите и тяхната последователност обаче остават постоянни, поради което е важно да са определени адекватно в зависимост от натоварването на кръстовището и неговата геометрия. Четириклонното кръстовище е най-разпространено и за подпомагане на регулирането му и разглеждане на различни варианти за сигнализирането му е разработено моделиране на работата на светофарната уредба чрез използване на Excel add-ins.

МОДЕЛ ЗА СИГНАЛИЗИРАНЕ НА ЧЕТИРИКЛОННО КРЪСТОВИЩЕ

Разработеният модел (фиг.1) се базира на описания в [5,6] алгоритъм на „Метод на сумата на фазовите коефициенти”, включващ следните стъпки: събиране на входни

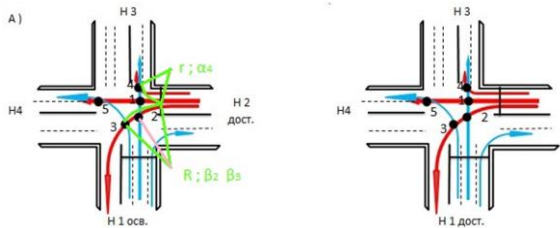


Фиг. 1 Блок схема на моделирането на сигнализиране на кръстовище

данни; определя пропускателната способност на всяка една от лентите спрямо типа на движението – наляво, направо, надясно или комбинирано; определяне на режима за левия завой; оценка на фазите на цикъла на светофара [8]; определяне на сумата на фазовите коефициенти. Използвана е методиката дадена в Наредба 17 [3]. Критерий за избор е вариантът с най-високо ниво на обслужване, използвайки нивата на обслужване дефинирани в Highway Capacity Manual, даващо минимално средно задържане на автомобил [9,10].

В модела е включено определяне на оптималното подреждане на фазите, което се извършва по следните стъпки за всяко възможно пресичане:

- Построена е «Матрица на точките на пресичане» (Фиг.3) – най-важно при определяне на междинните времена, а също и времената на циклите и всички останали параметри за създаване на безопасен светофарен режим за регулиране, разглеждани в методиката, е задължително свързано с намиране на критичните пресичания на транспортните потоци в точки, наречени конфликтни (Фиг.2). В матрицата се дава номерът на точката, в която се пресичат потоците по разглежданите направления в зависимост от предварително зададената геометрия;



Фиг. 2. Геометрия на точките на пресичане на направления Н1 и Н2

		ДОСТИГА												
		Н 1			Н 2			Н 3			Н 4			
		←	↑	→	←	↑	→	←	↑	→	←	↑	→	
ОСВОБОЖДАВА	Н 1	←	1	0	0	3	5	0	0	28	25	18	17	0
		↑	2	0	0	2	1	4	27	0	0	20	16	0
		→	3	0	0	0	0	0	26	0	0	0	19	0
	Н 2	←	4	3	2	0	0	0	8	6	0	0	23	21
		↑	5	5	1	0	0	0	9	10	7	24	0	0
		→	6	0	4	0	0	0	0	0	0	22	0	0
	Н 3	←	7	0	27	26	8	9	0	0	0	13	15	0
		↑	8	28	0	0	6	10	0	0	0	12	11	14
		→	9	24	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0
	Н 4	←	10	18	20	0	0	24	22	13	12	0	0	0
		↑	11	17	16	19	23	0	0	15	11	0	0	0
		→	12	0	0	0	21	0	0	0	14	0	0	0

Фиг. 3. Матрица на точките на пресичане на четирикълно кръстовище

- Определяне на времето за подход на ППС към стоп линията в края на разрешителния сигнал – tp , време за освобождаване на конфликтната зона за автомобили $tosv$, а и време за достигане на конфликтната зона от тръгващото превозно средство в началото на следващия разрешителен сигнал – td в секунди за всяка описана точка в зависимост от геометрията на кръстовището;

- Определяне на междинни времена за освобождаване на платното за движение от ППС в конфликтната зона на регулираното място – t_m^i за всяка описана точка (по Германската методика) [2,3]:

$$t_m^i = tp^i + tosv^i - td^{i+1} \quad \text{секунди} \quad (1)$$

където tp^i , $tosv^i$ и td^{i+1} са съответните времена за всеки поток, завършващ движението си при i -тата фаза и конфликтен със започващ движението си при $i+1$ -тата фаза поток.

- Попълване на Матрица на междинните времена за всяка комбинация на последователност за пресичане на потоци от автомобили (трафик);
- За всяка комбинация на фазите се определя междинното време за освобождаване на платното за движение от ППС;
- Оптималното подреждане на фазите е подреждането с минимална стойност.

На този етап на разработване Моделът разглежда само автомобилното движение, без да са включени пешеходци и трамваи.

ПРОГРАМНА РЕАЛИЗАЦИЯ ЧРЕЗ EXCEL ADD-INS

Реализирано е моделирането на движението на четирикълно кръстовище в Microsoft Excel и за да се използва, са необходими начални познания в работата с Excel. Разработена е диалогова система за въвеждане на информация за геометрия на изследваното кръстовище и големината на транспортните потоци по вид на

транспортни средства и направления. Целта на диалоговата система е да дава възможност за въвеждане на данните на всяко изследвано кръстовище или на някои от параметрите му за определяне на оптимално сигнализиране на светофарната уредба.

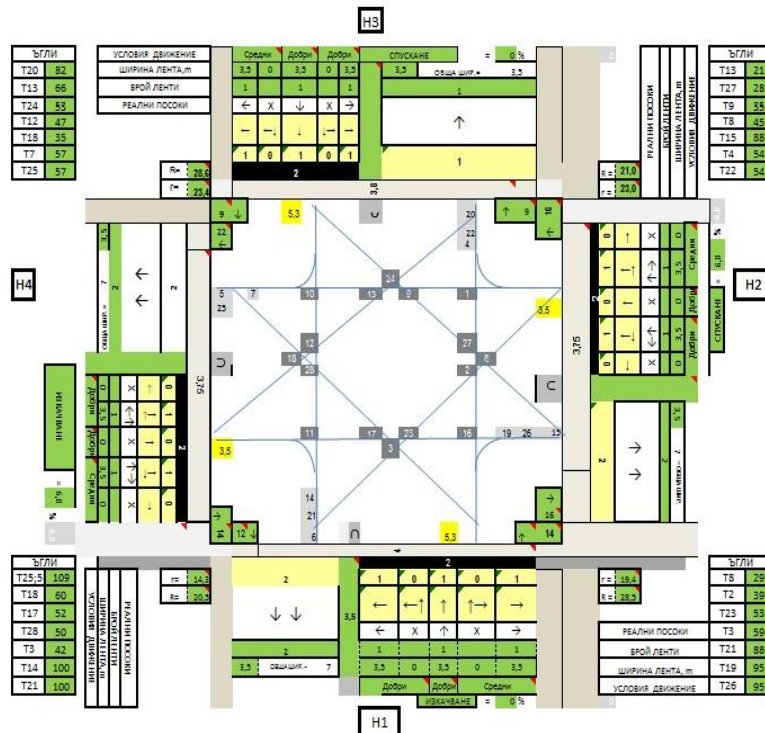
Диалоговата система изисква попълването на следните две менюта:

1. Попълване на входните данни във формуляра за анализиране на капацитета на кръстовището. На Фиг. 4 е представен изглед към формуляра за попълване на входни данни наречен IN TRAFF. След измерването на автомобилните потоци като конкретни превозни средства по вид и въвеждането им в зелените графи се извършва привеждането им в така наречени приведени стойности за автомобилен трафик, измерени приведени единици на час (Е/час). Това става на основание таблица 1 към чл. 3, ал. 4 от Наредба № 2 от 2004г.

ПРЕМИНАЛИ АВТОМОБИЛИ ЗА ТРИТЕ ЧАСОВИ ДИАПАЗОНА В ПОСОКА						НЗ											
			пиков час от 07:00 до 08:00ч			не пиков час от 13:00 до 14:00ч.			пиков час от 17:00 до 18:00ч.								
ПОКАЗАНИЯ НА ЛЕНТИТЕ ТЕРЕН			←	X	↑	X	→	←	X	↑	X	→	←	X	↑	X	→
ВИДОВЕ ПРЕМИНАЛИ ПРЕВОЗНИ СРЕДСТВА	РЕАЛНИ ПОСОКИ		←	↑	→	←	↑	→	←	↑	→	←	↑	→	←	↑	→
ЛЕКИ АВТОМОБИЛИ			85	564	59	68	318	56	105	512	71						
ЛЕКОТОВАРНИ АВТОМОБИЛИ до 5т			3	3	2	2	1	3	1	2	1						
АВТОБУС ИЛИ ТРОЛЕЙБУС			2	4	3	4	9	2	3	2	1						
ТОВАРЕН АВТОМОБИЛ НАД 5т																	
СЪЧЛЕНЕН АВТОБУС																	

Фиг. 4. Формуляра за анализиране на капацитета на кръстовището

2. Въвеждане на геометричните параметри на кръстовището се извършва в зелените квадратчета на лист IN GEO /Фиг.5/.



Фиг. 5. Меню IN GEO

За да се определят междинните времена и пропускателната способност на лентите, като базови данни се изисква въвеждане на:

- Ширините на платната (става от падащо меню);

- Разстоянията от стоп линията до началото на платното за напречно движение за всяко направление;
- Разстоянията от края на напречното платно (при изход от кръстовището с мисленото продължение на стоп линията) за всеки изход;
- Видове и брой платна за движение за всяко направление;
- Брой изходни платна от всяко направление;
- Наклон на входа за всяко направление в проценти и (дали е изкачване или спускане – става от падащо меню);
- Наличие и ширина на остров (пешеходен или обезопасителен);
- Въвеждане на условия за движение (става от падащо меню);
- Радиуси r (за завой на дясно) за всяко направление;
- Радиус R (за завой на ляво) за всяко направление;
- Централните ъгли до всяка конфликтна точка, достигането до която става по дъговидно движение (от центъра на стоп линията до конфликтната точка в посоката на движение).

След въвеждане на данните се получава «Матрица на междинните времена», в резултат на определянето им за различните варианти на последователност на всички възможни пресичания на потоци от автомобили (трафик) от «Матрица на точките на пресичане» /Фиг.6/.

		ДОСТИГА												
		Н1			Н2			Н3			Н4			
		←	↑	→	←	↑	→	←	↑	→	←	↑	→	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
ОСВОБОЖДАВА	Н1	←	1	0	0	2,36	3,75	0	0	3,66	6,33	4,35	3,97	0
		↑	2	0	0	3,60	4,45	5,35	2,42	0	0	3,62	2,94	0
		→	3	0	0	0	0	0	4,55	0	0	0	2,89	0
	Н2	←	4	5,70	4,05	0	0	0	3,43	5,96	0	0	4,44	6,86
		↑	5	5,29	3,17	0	0	0	4,22	4,95	6,71	3,17	0	0
		→	6	0	2,62	0	0	0	0	0	0	2,27	0	0
	Н3	←	7	0	5,43	4,57	3,91	3,09	0	0	0	0,99	2,90	0
		↑	8	3,94	0	0	3,16	2,62	0	0	0	2,74	4,00	4,85
		→	9	2,67	0	0	0	1,50	0	0	0	0	0	0
	Н4	←	10	3,42	5,37	0	0	4,88	6,75	6,87	5,08	0	0	0
		↑	11	3,65	4,71	5,78	3,65	0	0	5,77	3,57	0	0	0
		→	12	0	0	0	2,48	0	0	0	3,27	0	0	0

Фиг. 6. Матрици на междинните времена

«Матрица на междинните времена» се използва за определяне на подреждането на фазите след определянето им, продължителността на жълтата светлина и големината на загубеното време в цикъла. Въпреки че в случаите, когато кръстовището е многолентово и има наличие на остров в него, продължителността на жълтата светлина се определя по чл. 54 от Наредба 17 [3], е важно да се използва големината на междинното време за определяне на подреждането на фазите, защото ще даде варианта, при който вероятността за произшествие е най-малка.

Моделът определя големината на цикъла и продължителността на показанията на светофара по направления и фази, както и нивото на обслужване на движението на кръстовището А – F чрез определяне на задръжките на автомобилите на регулираното място по формулата на Вебстер (Фиг.7). Ако са въведени показания с промяната на натоварванията на трафика за трите характерни часови периода (сутрин, обед и вечер), то и резултатите за всяко едно от тях се получава със съответната продължителност на светлинните показания.

Моделът дава възможност във всеки лист, разглеждаш различен вариант на подреждане на фазите, да се задейства проверката за произволни времена на жълто и зелено. Задейства се от изобразената последна циклограма на листа (Фиг.7). В показаното падащо меню могат да бъдат избрани два варианта:

◆ Критерият „Сума на фазовите коефициенти” е лесен за определяне и ни дава оптималното подреждане и вид на включените фази в цикъла в зависимост от съществуващите условия на геометрията на кръстовището и големината на транспортните потоци по направления;

◆ Отговаря на всички условия за безконфликтно движение на завиващите наляво транспортни потоци в зависимост от големината им;

◆ Осигурява най-доброто „Ниво на обслужване”;

◆ На база на това моделиране при промяна в натоварването на кръстовищата само с въвеждане на новите стойности на потоци от автомобили (трафик) може веднага да се определи оптималното подреждане и вид на фазите в цикъла на регулиране, неговата продължителност и показанията на светофара по направления при минимум на чакането за преминаването на транспортните потоци, оценено чрез „Ниво на обслужване“.

Моделирането на сигнализиране на кръстовище чрез Excel add-ins не е завършило, защото до сега са разгледани само кръстовища без преминаване на трамваи, пешеходци и велосипедисти. По-нататъшното разработване следва да включи и тези потоци, както и ограниченията, произтичащи от преминаването им.

ЛИТЕРАТУРА:

[1] Антоф Ас., Транспортно моделиране 101, Практическо ръководство, „Прента – Ин“ ЕООД, 2017, ISBN: 978-619-90849-0-8 (печатна), ISBN: 978-619-188-109-3 (PDF)

[2] Левашев А.Г. Михайлов А.Ю. Головных И.М. Проектирование регулируемых пересечений: Учеб. пособие – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2007. 208 с.

[3] Наредба 17 НАРЕДБА № 17 от 23 юли 2001 г. за регулиране на движението по пътищата със светлинни сигнали (Обн., ДВ, бр. 72 от 2001 г.; изм., бр. 18 от 2004 г.; изм. и доп., ДВ, бр. 35 от 2015 г.)

[4] Метод быстрой оценки свойств регулируемых перекрестков, <http://www.arterylite.ru/highway-capacity-manual-glava-10-prilozhenie-a-metod-byistroy-otsenki-svoystv-reguliruemyyih-perekrestkov/>

[5] Тодорова М., Усъвършенстване на нормативна база с цел подобряване на управление на движението в градовете, Научно електронно списание „Механика Транспорт Комуникации” ISSN:1312-3823, бр.3/2016, статия ID 1308, София

[6] Тодорова М., Определяне на броя и вида на фазите по „Метод на сумата на фазовите коефициенти”, Научно електронно списание „Механика Транспорт Комуникации” ISSN:1312-3823, бр.3/2017, статия ID 1444, София

[7] Трендафилов Зл., „Анализ на методите за определяне на фазите на светофарните уредби“ Научно електронно списание „Механика Транспорт Комуникации” ISSN:1312-3823, бр.3/2017, статия ID 1446, София

[8] Babicheva T.S., Babichev S.L., Conception of effective number of lanes as basis of traffic optimization, Procedia Computer Science 91 (2016) 94 – 100

[9] Erik Ruehr, The 2010 Highway Capacity Manual, VRPA Technologies, Inc.ITE San Diego Section, June 2, 2011

[10] Highway Capacity Manual 2000, Transportation Research Board, Washington, 2000, https://snavarro.files.wordpress.com/2008/08/highway_capacital_manual.pdf

[11] Saliev D., “Calculation algorithm for cycle length of signalized intersection”, Machines, Technologies, Materials – International Scientific Journal, ISSN Print: 1313-0226, ISSN Web: 1314-507X, Year XI, Issue 1, 2017, p. 33-34.

[12] <https://fakti.bg/bulgaria/269135-sofia-v-top-100-na-nai-zadrastenite-gradove>

MODELING FOUR-WAY INTERSECTION SIGNALIZATION BY EXCEL ADD-INS DEVELOPMENT

Mirena Todorova, Boris Gyurov
mirena_todorova@abv.bg , borisgyurov@abv.bg

*Todor Kableshkov University of Transport,
Sofia, 158 Geo Milev str.
BULGARIA*

Key words: *traffic management, traffic lights, phases, model Excel add-ins*

Abstract : *The most common intersection is the four-way one (also called a crossroad), which differs in terms of the number, width and specialization of lanes, the magnitude of traffic flow in different directions, traffic conditions and other geometric features. To define the indications of traffic lights, an intersection signalling model has been developed using Excel add-ins providing input parameters through two dialog menus: for the amount of traffic in three typical time periods or only for particular counting and crossroad geometric feature. To obtain the type of phases, which are included in the cycle, the "Method of sum of critical ratios for signal cycle" algorithm has been applied. It takes into account the crossroad geometry, magnitude of transport flows in directions and number of lanes, the use of throughput and amount of left-turning flows. Depending on the phases examined and the critical points involved in the obtained "Matrix of intermediate times", the sequence of phases is determined providing the smallest chance of an accident in regard to the intersection geometric features. As a The table obtained as a result shows the type of phases in the cycle, their arrangement, the average waiting time of a vehicle using the formula of Webster and overall assessment through the crossroad "Service Level". The developed modeling gives a possibility to evaluate the existing crossroad signaling and make comparison between it and the model obtained.*