



## МОДЕЛИРАНЕ НА КООРДИНИРАНО УПРАВЛЕНИЕ НА ДВИЖЕНИЕТО ПО ОСНОВНИ ГРАДСКИ ПЪТНИ АРТЕРИИ

Златин Трендафилов  
[tunzzt@yahoo.com](mailto:tunzzt@yahoo.com)

*Висше транспортно училище „Тодор Каблешков”  
гр. София, ул. „Гео Милев“ № 158  
РЕПУБЛИКА БЪЛГАРИЯ*

*Ключови думи:* градски транспорт, управление, контрол на трафика, адаптивни системи.

*Резюме:* В градове се прилагат различни подходи за настройка на светофарните уредби спрямо конкретните условия. Рационално управление на трафика се свързва с използването на адаптивни системи за контрол (Adaptive Traffic Control Systems). Представена е система за координирано управление – code|GREEN. Разгледана е възможността за прилагането и в действителен участък. Конкретизирани са функционалностите и очакваните ефекти от използването и.

### ВЪВЕДЕНИЕ

Затрудненото придвижване е проблем свързан с разрастването на градовете и увеличаването на броя на превозни средства. Част от съществуващите и по-балансираните стратегии за решаване на тези усложнения са свързани с контрола върху натоварването (запълването) на транспортната мрежа, управлението на потока на транспортни средства и контрол на пресичанията. Особено внимание се отделя на адекватното регулиране на кръстовищата за постигане на по-голяма пропускателна способност и намаление на времето за преминаване (чакане). В големите градове се прилагат различни подходи за подходяща настройка на светофарните уредби спрямо конкретните условия. Това са дейности свързани с проучването, следенето и анализ на транспортните потоци, както и конкретни работи за подмяната и добавяне на елементи от светофарните уредби. Така се създават условия за възможно оптимално управление на светофарните уредби в зависимост от интензивността на транспортните потоци, часовото натоварване, приоритизацията при специални режими на движение и други фактори, влияещи върху организацията на движението. Особено внимание се отделя и на завишени изисквания свързани с безопасност на движението. Рационално управление на светофарни уредби в пътни участъци се свързва с използването на адаптивни системи за контрол на трафика (Adaptive Traffic Control Systems – ATCSs). При тях управлението се настройва към променящият се трафик. Използва се непрекъсната оптимизация и адекватни данни събирани с помощта на телемеханиката (датчици).

В настоящата публикация ще разгледаме възможността и ефектите от прилагането на такива системи за осигуряване на координирано управление при конкретна градска пътна артерия.

## АДАПТИВНИ СИСТЕМИ ЗА КОНТРОЛ НА ТРАФИКА

Компютърните системи за управление на светофарните уредби за първи път се появяват през 60-те години на миналия век, когато компютрите за първи път се използват за координиране на контролерите на светофарните уредби за група кръстовища. В тези системи (известни като управление с отворен контур) прилаганите режими за управление на трафика, не отговарят на действителното натоварване. При тях плановете се разработват, като се използват исторически данни за движението - и се прилагат според часовете и деня от седмицата. Развитието в подхода за управление включва използване на информацията за текущите условия на трафик, при избора на режим за работа на светофарните уредби, който да бъде приложен (управление в затворен цикъл). Въз основа на информацията, получена от детекторите за трафика, компютъризирани системи напасват наблюдавания модел на трафика с модели, съхранявани в предварително създадена „библиотека“, като се прилага „оптимален“ план свързан с идентифицирания модел. Този тип адаптивна система за контрол на трафика се приема като *система от първо поколение*. При тях, режимите за управление отговарят на условията на движение, но са разработени предварително. Системите от първо поколение работят на базата на текущите данни за трафика и като цяло нямат възможности за прогнозиране на трафика. В настоящият момент все по-широко използвани системи за контрол на движението са така наречените адаптивни системи. При тях „оптималният“ план за управление на светофарните системи се изчислява и реализира в реално време. Оптималните времеви сигнали се изчисляват, като се използват текущите данни за движение, получени от различни детектори. Това налага наличието на значителна изчислителна мощност, необходима за извършване на изчисления в реално време. Завишени са изискванията и към получаването на достатъчно данни от детектори за състоянието на пътната мрежа. Системите, които разработват плановете в реално време, се класифицират като *системи от второ поколение*. Те обикновено имат много по-къса честота на актуализиране на плана в сравнение със системите от първо поколение, обикновено на всеки 5 минути. В допълнение на тези системи се прилагат и такива от *трето поколение*. Те използват прогнози за условията на движение, получени от подаване на информацията от детектори използвайки краткосрочен алгоритъм за прогнозиране на трафика. Актуализиране на плана за управление при тях е от 3 до 5 минути.

Според различни проучвания, такива системи могат да намалят времето за пътуване в пиковите часове с около 30%. [3]

## МЕТОДИ ЗА ЛОКАЛНА ОПТИМИЗАЦИЯ И КОРДИНИРАНО СЪЗДАВАНЕ НА “ЗЕЛЕНИ ВЪЛНИ” В УПРАВЛЕНИЕТО НА ТРАФИКА

Когато в разглеждан участък има повече от две кръстовища регулирани със светофари се търси възможност транспортните потоци да преминат последователно, без спиране. Координирането на движението се предлага така, че образуващата се опашка между последователните кръстовища да не задръства движението по напречните направления. Основната цел на такава организация е да се осигури максимално количество основен трафик на улицата или булеварда без да се налагат принудителни спираня.

Прилагат се модели, които използват адаптивни системи за контрол на трафика. Принципът е в създаването на *циклични потокови профили*- CFP, които отразяват разликата в потока от превозни средства през различни периоди. Данните за трафика могат да се получават динамично (чрез детектори) или да се използват такива от предварително статистически създадена база данни (библиотека), която съхранява голям брой различни модели на трафика в конкретния участък. Така се осигурява

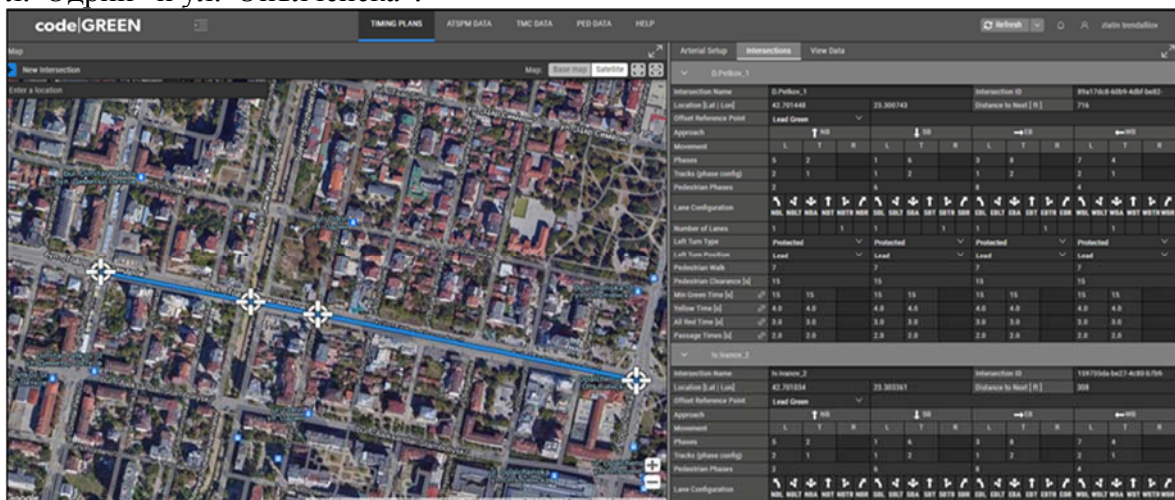
възможност за създаване на голямо разнообразие специфични за времето планове, включително такива за всеки ден от седмицата, за специални събития, планове извън пиковите натоварвания и с по-малки дължини на цикъла, както и сезонни разработки.

Използвайки CFP, се изчисляват опашките на стоп-линията пред светофарните уредби. Целта е да се оптимизира големината на опашката спрямо продължителността на сигналите в светофарните уредби. За цялостното ефективно управление в участъка се прилага така наречено *динамично насочване на маршрута (DRG)*. То се дефинира с помощта на целевата функция, свързана с общото време на пътуване за всички превозни средства. Стремешът е стойностите на следения критерий да бъде сведени до минимум.

Ще разгледаме конкретен софтуерен инструмент - code|GREEN. Това е система от трето поколение за управление на светофарни уредби. Тя може да функционира и по-опростено, който позволява разгръщането на времеви планове използвайки предварително събрана статистическа информация за движението. При нея се използва интелигентен модел, който функционира чрез внедряване на две нива на оптимизация: *локален оптимизатор* и *глобален оптимизатор*. Локалният оптимизатор изчислява оптимални дължини на цикъла и продължителността на зелените сигнали за всяко пресичане. Глобална оптимизация създава времеви тунели през сигналите, което позволява преминаване на автомобилите в целият разглеждан участък.

Като начална фаза при тази оптимизацията се изчисляват зелени вълни (тунели), на базата на данни за трафика, като се цели осигуряване на максималната пропускателната способност на главното направление. В последващата глобална оптимизация се коригират продължителността на циклите на светофарните уредби, като се персонализират координираните отмествания на движението и зелени интервали при всяко едно от разглежданите кръстовища с цел да осигури по-голяма гъвкавост при изчистване на опашки от странични улици. Глобалната оптимизация позволява да се коригира интелигентно продължителността на фазите на управление, като се взема предвид общото (за участъка) време за придвижване на всички (планирани/следени) превозни средства.

За установяване на възможностите за постигане на координирано управление чрез code|GREEN е разгледан е участък за движение от около 1000 м. по бул.“Тодор Александров“, от ул.“Зайчар“ до ул.“Опълченска“. Функциониращите светофарни уредби регулиращи движението са при бул.“Димитър Петков“, бул.“инж.Иван Иванов“, ул.“Одрин“ и ул.“Опълченска“.

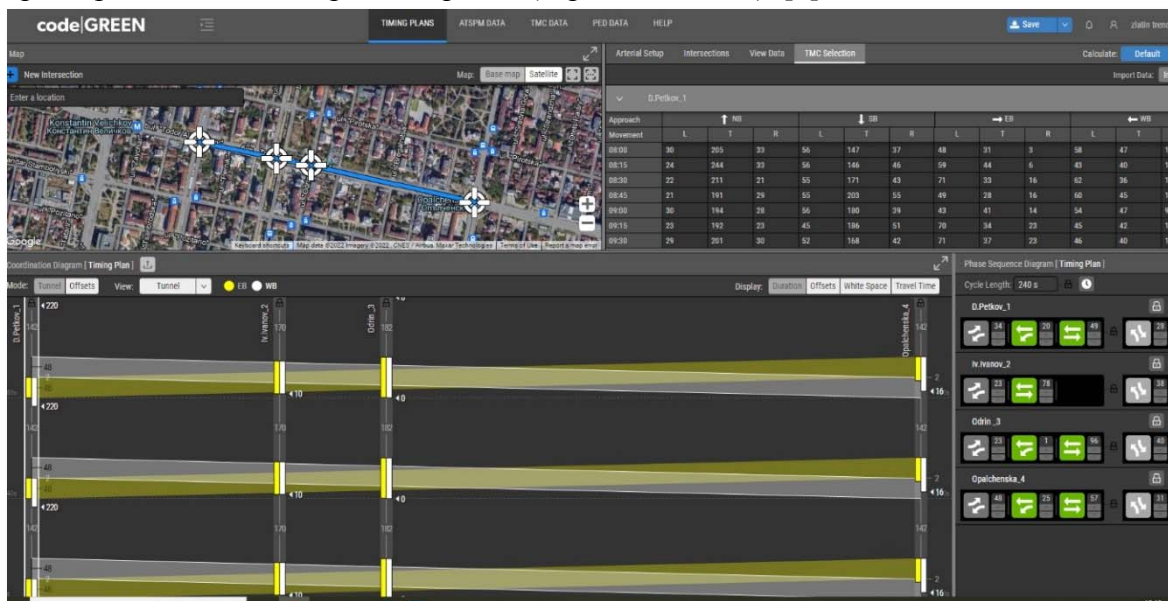


Фиг.1. Дефиниране на характеристиките на пресичанията

Системата изисква да се дефинира цялата специфика за определените кръстовища. Ориентация и ленти за движение, фази на сигналите (в случая 3 фазна система), позиция за ляв завой, различни времена характерни за конкретно кръстовище (например продължителност на жълтия сигнал или червения насрещен на ляв завой) и др. Параметрите е необходимо да се попълват щателно. Те заедно с данните за движението се използват за генериране на диаграмата на фазовата последователност и диаграмата време-пространство придвижване в участъка – Фиг. 1.

Данните свързани с трафика могат да получават в системата динамично от различен тип броячи (индуктивни рамки или оптично разпознаване). При наличието на такава подробна информация, например данни за всеки 15 мин, последващото създаване на времеви план и фазите на координираното управление е значително прецизно.

За нуждите експеримента с който целим определяне на функционалностите на разглежданата система, се генерират данни за часово движение на базата на обобщена информация за преминаващите автомобили в този участък. По данни от „Дирекция за анализ и управление на трафика“ към Столична община за 2020 г. се приема, че средната интензивност на движение по бул.“Тодор Александров“ за един час в посока центъра е 680 МПС, а в обратна посока – 750 МПС. Полученото генерирано часово натоварване до голяма степен отразява действителното натоварване, като се запазва характера на часовата неравномерност (изразени 2 пика). [4]



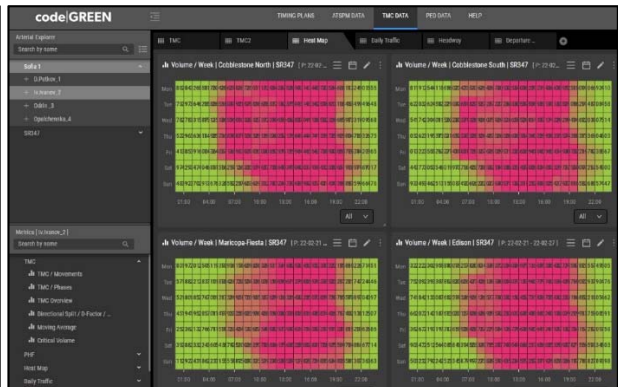
Фиг.2. График на координирано управление по бул.Т.Александров

При получаване оптимизиран план- Фиг.2, времевите тунели получени в система - code|GREEN са с много сходни параметри (продължителност на сигналите) като на предишно аналитично изчислени. Разликата която се наблюдава е намалената продължителност на зелен сигнал с 4 сек. (кръстовище с ул.“Одрин“) и съответно удължен зелен сигнал на бул.“Д.Петков“. Общата продължителност на цикъла на светофарната уредба, осигуряваща координирано управление в дадена посока се запазва от 120 сек. При така регулирано движение се осигурява пропускателна способност на около 1530 МПС за час посока центъра и на около 1600 МПС за час в обратна посока. В пиковите моменти се очаква средния престой на автомобилите в опашката да е малко под 2 мин. Разглежданата система позволява да бъдат анализирани различни варианти (сценарии) на организация на движението на базата на натоварване на пътната мрежа. Очакваната промяна в пропускателната способност, може да бъде

лесно визуализирана и детайлно преглеждана по часове и по направление за всяко едно от кръстовищата включени в координираното управление Фиг. 3. Функционалната (пълна) версия на code|GREEN притежава много полезен инструмент свързан с изготвянето на цялостен план за управление на движението през месеците, дните от седмица и различни часови интервали (дефинирани предварително), като се осигурява проектирана пропускателна способност. Експортирането на данни е възможно директно в контролерите за управление на светофарните уредби, при наличието на директна връзка. Предвиден е и запис на плановете за „ръчно“ използване във формат достъпен за множество контролери директно или чрез конвертиране- Фиг.4.



**Фиг.3.** Отчетена и моделирана пропускателна способност -МПС за час.



**Фиг.4.** План за управление с отчитане на дневна и часова неравномерност

Направената локална оптимизация с намаляване на опашките и увеличаването на пропускателната способност по основната транспортна артерия е възможно, като се осигури координирано управление без спиране. Съпоставимостта на резултатите получени аналитично и тези от code|GREEN, ни дават основание да предположим значителната ефикасност на използвания подход за оптимизация.

Липсата на данни за натоварването по пресичащите основното направление пътни артерии, не позволяват да се използва пълната функционалност на разглеждания инструмент за осигуряване на координация. С оглед на глобалната оптимизация свързана със стремежа на намаляване на общото време за преминаване не само в основното направление, може да очакваме значителна модификация в управлението. Тези промени биха довели да известно намаляване на пропускателна способност. Параметрите свързани с глобалната оптимизация могат да бъдат разглеждани само при наличието на множество адекватни данни свързани с движението Очаква се те да бъдат обект на последващи изследвания.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Използването на координирано управление има значителен положителен ефект върху организацията на придвижване. В представеното проучване а и в други публикации [5], осигуряването на прогресивни системи за управление повишават пропускателната способност по главното направление с около 70% .

Използването на адаптивно управление при координиране на движението предполага значително подобряване на движението особено в натоварените часови интервали. Прилагането на глобална оптимизация за голяма част от пътната мрежа, ще подобри придвижването не само в основните направления за движение.

По-важните ефекти от подобна координацията се очаква да са свързани с подобряване на придвижването. По-голям и по-плавен поток през управляваните сигнализираните кръстовища. Намаляване на разходите, чрез намален брой спираня и

свързаните с тях закъснения. Пестене на енергия (по-малко гориво) и от там положителни ефекти за околната среда. Поддържане на добре оформени групи чрез осигуряване на пропускане на превозни средства към страничните улици, разположени между управляваните пресечки. Общия ефект от спиране на по-малко превозни средства.

Използването на интегриран софтуер code|GREEN, значително подобрява процеса по синхронизиране на сигналите и позволява създаването на планове за различни периоди, като се използват налични данни. Този инструмент използва математически алгоритъм за генериране на адекватния план за синхронизиране с оптимална координация и дължина на зеления тунел, отмествания, фазова последователност и продължителност. Голямото предимство е възможността за създаване на голямо разнообразие от управлявани от данни, специфични за времето планове.

#### **ЛИТЕРАТУРА:**

- [1] A. Stevanovic, M. Zlatkovic, Evaluation of InSync Adaptive Traffic Signal Control in Microsimulation Environment. Prepared for the Transportation Research Board Annual Meeting 2013.
- [2] R. Chandra, C.Gregory, InSync Adaptive Traffic Signal Technology: Real-Time Artificial Intelligence Delivering Real-World Results. Rhythm Engineering, 2012.
- [3] J.Clark, Insync Safety benefits report, Rhythm Engineering, 2013.
- [4] С.Георгиева. Изследване на прилагането на „зелени вълни“ при регулирането на трафика в градовете. Дипломна Работа, ВТУ.София , 2022.
- [5] Тодорова М., Б.Гюров, Моделиране на сигнализирането на четириклонно кръстовище чрез разработване на EXCEL ADD-INS, Научно електронно списание „Механика Транспорт Комуникации“ ISSN:1312-3823, бр.3/2018, статия ID 1600, ВТУ "Тодор Каблешков", Боровец, 2018 г.

## **MODELING OF COORDINATED TRAFFIC MANAGEMENT ON MAJOR URBAN THOROUGHFARES**

**Zlatin Trendafilov**  
[tunzzt@yahoo.com](mailto:tunzzt@yahoo.com)

*Todor Kableshkov University of Transport,  
1574 Sofia, 158 Geo Milev Str.  
THE REPUBLIC OF BULGARIA*

**Key words:** *public transport, management, traffic control, adaptive systems*

**Abstract:** *In the cities, different approaches have been used to regulate traffic lights according to the specific conditions. The use of Adaptive Traffic Control Systems (ATCSs) is a prerequisite for rational traffic management. A coordinated control system, code GREEN, is presented along with a simulation of its implementation at a real location. The functionalities and expected effects of its use are specified.*