



АНАЛИЗ НА МЕТОДИТЕ И МОДЕЛИТЕ ЗА КООРДИНИРАНО УПРАВЛЕНИЕ НА ТРАФИКА

Васил Копривщенов

vasilkoprivshenov@gmail.com

*Висше транспортно училище „Тодор Каблешков”,
ул. „Гео Милев” 158, София 1574,
БЪЛГАРИЯ*

Резюме: Урбанизацията и увеличеният автомобилен трафик водят до сериозни проблеми в градовете, включително задръствания, замърсяване на въздуха, ниска ефективност на обществения транспорт и влошено качество на живот. София, като най-голям град в България, е особено засегната, с над 800 000 регистрирани автомобили и средна скорост под 18 км/ч в пикови часове. Традиционните модели за управление на трафика като фиксирани светофари и „зелени вълни“ остават широко използвани, но не са достатъчно гъвкави, за да отговорят на динамичните условия в съвременните градове. Те не се адаптират в реално време и не приоритизират обществения транспорт или специализирани превозни средства.

Ключови думи: модели за управление, трафик, методи, задръствания, технологии за управление.

Урбанизацията и бързото развитие на градовете водят до значителни предизвикателства свързани с управлението на пътното движение. Все по-интензивният автомобилен трафик, съчетан с ограничена инфраструктура, създава условия за хронични задръствания, повишено ниво на шум, повишени нива на фини прахови частици и увеличено време за пътуване. Проблемите, свързани с трафика, не са само технически – те имат социално-икономически и екологичен характер. В контекста на устойчивото развитие и зелената трансформация на градовете, се очаква транспортните системи да бъдат ефективни, екологично съобразни и ориентирани към гражданите. За съжаление, в редица страни, включително България, управлението на трафика все още се базира на остарели модели, които не отговарят на динамиката на съвременния градски живот. София, като столица и най-голям урбанизиран център в България, се изправя пред сериозни предизвикателства, свързани с автомобилния трафик. Според „Плана за устойчива градска мобилност на Столична община (2021–2030)“, около 70% от всички ежедневни пътувания в града се извършват с индивидуални моторни превозни средства, което води до сериозно натоварване на уличната мрежа [1]. Според данни на Националния статистически институт, към края на 2023 г. в София са регистрирани над 800 000 леки автомобили, при население от приблизително 1.25 милиона души [2]. Това поставя града сред водещите в Европа по брой автомобили на глава от населението. Освен това, средната скорост на движение в пикови часове в централната градска част пада до под 18 км/ч, което влияе негативно на ефективността и качеството на живот [3]. Ключовите проблеми, произтичащи от неефективно управление на трафика, включват:

- Задръствания и загуба на време: София ежегодно губи над 80 часа на шофьор средно, поради задръствания [4].

- Замърсяване на въздуха: Секторът на транспорта е отговорен за значителна част от емисиите на фини прахови частици и азотни оксиди, особено в зимните месеци [5].

- Ниска безопасност на движението: Неефективното регулиране на трафика води до конфликтни ситуации, висока честота на ПТП и липса на приоритет за обществения транспорт.

- Ниска ефективност на общественя транспорт: Закъсненията, причинени от трафика, влияят върху надеждността и привлекателността на масовия градски транспорт.

Всички тези проблеми поставят на преден план нуждата от преосмисляне на модела за управление на трафика чрез въвеждане на координирани, динамични и базирани на данни подходи. Координираното управление на трафика възниква като концепция още в средата на XX век. В отговор на нарастващата урбанизация и все по-интензивното използване на пътната мрежа, инженерите започват да прилагат различни методи за синхронизация на светофарните уредби с цел оптимизиране на автомобилния поток в градовете. Тези подходи се основават предимно на предварително зададени правила, които не се променят в реално време и не отчитат моментното натоварване.

Един от най-широко разпространените методи е фиксираното времево управление на светофарите. При този подход, светлинните сигнали работят по строго дефинирани времеви цикли, предварително изчислени на база на наблюдения и статистически данни. Тези цикли не се адаптират към текущите условия на движение, което води до съществени затруднения при непредвидени ситуации като задръствания, аварии или промени в обичайния трафик модел. Въпреки това, фиксираните системи остават популярни поради тяхната простота, ниска цена за внедряване и лесна поддръжка.

Друг традиционен метод е синхронизацията чрез така наречената „зелена вълна“. Това е координирана схема, при която група от светофари по дадено направление се настройват така, че автомобилите, движещи се с определена средна скорост, да могат да преминават през всички кръстовища без да спират. „Зелената вълна“ може значително да подобри трафикопотока и да намали броя на спиранията и повторните ускорения, които от своя страна повишават разхода на гориво и нивата на замърсяване.

Приложението на тези класически подходи в град София е видно в някои от основните пътни артерии като бул. „Цариградско шосе“, бул. „България“ и бул. „Сливница“, където са внедрени частични синхронизации на светофарните уредби. Въпреки това, липсата на централизирана система за адаптивен контрол ограничава ефективността на тези решения, особено при динамично променящи се условия на движение.

Недостатъците на класическите методи за координация на трафика са свързани основно с тяхната статичност и неспособност да се адаптират в реално време. Така например, в случай на пътно-транспортно произшествие или временно увеличаване на автомобилния поток, фиксираната схема не може да пренасочи трафика, нито да приоритизира преминаването на превозни средства със специален режим или на общественя транспорт. Това често води до ескалация на задръстванията и намаляване на транспортната ефективност. Въпреки своите ограничения, класическите модели представляват основата, върху която стъпват съвременните интелигентни системи за управление на трафика. Те осигуряват стабилност в нормални условия и могат да служат като резервен план в случай на отказ на по-сложните системи. Освен това, тяхната простота ги прави приложими в по-малки населени места или в райони, където липсва инфраструктура за динамично управление. С напредването на технологиите и нарастващите изисквания към ефективността на транспортните системи, класическите подходи за управление на трафика постепенно отстъпват място на по-гъвкави и интелигентни решения. Модерните системи се базират на концепцията за интелигентен транспорт (Intelligent Transport Systems – ITS), която включва използване на информационни и комуникационни технологии за събиране, анализ и прилагане на данни в реално време. Един от основните елементи на тези системи е адаптивното светофарно управление. За разлика от фиксираните цикли, при този тип системи продължителността на светлинните фази се променя в зависимост от текущото натоварване на трафика. Това става възможно чрез използване на датчици за движение, камери и други сензори, които предоставят данни за потока на автомобили в реално време. Събраната информация се анализира от централизирана система, която прилага оптимизационни алгоритми за определяне на най-ефективната конфигурация на сигнализацията. Сред водещите примери за такива технологии са системите SCOOT (Split Cycle Offset Optimisation Technique) и SCATS (Sydney Coordinated Adaptive Traffic System)[7]. Те са внедрени в множество големи градове по света и демонстрират значително подобрене в потока на превозните средства, както и намаляване на закъсненията и замърсяването. В София също се правят стъпки към въвеждането на интелигентни транспортни системи. През последните години бяха реализирани

пилотни проекти за поставяне на адаптивни светофари в определени ключови кръстовища, включително в района на бул. „Александър Малинов“ и бул. „Асен Йорданов“ [6]. Освен това се изгражда Център за управление на градския трафик, който цели да интегрира данни от различни източници – камери, GPS устройства на градския транспорт, сензори и граждански сигнали – и да управлява трафика в реално време.

В допълнение към адаптивните светофари, съвременните ITS включват и модули за приоритизиране на обществения транспорт, системи за информиране на водачите чрез променливи пътни знаци, динамично управление на скоростта и възможност за автоматизирана реакция при инциденти.

Предимствата на тези технологии са значителни. Те позволяват:

- Намаление на времето за пътуване;
- Подобряване на въздушното качество чрез намаляване на емисиите от престоя на автомобили в задръствания;
- По-висока безопасност за участниците в движението;
- По-добра интеграция между различните видове транспорт.

Въпреки това, внедряването им изисква сериозни инвестиции, поддръжка на техническата инфраструктура и добре обучен персонал. Съществуват и предизвикателства, свързани със съвместимостта между различните технологични платформи, защита на личните данни и устойчивост при киберзаплахи.

В заключение, модерните адаптивни системи за управление на трафика представляват логичната еволюция на транспортната инфраструктура в контекста на дигитализацията. Те имат потенциала да трансформират начините, по които се придвижваме в града, като правят пътуването по-бързо, безопасно и екологично. Въпреки напредъка в технологиите и постепенното въвеждане на интелигентни транспортни системи, управлението на трафика в големите градове, включително и в София, продължава да среща редица сериозни предизвикателства. Те произтичат както от обективни ограничения на инфраструктурата, така и от институционални, организационни и социални фактори.

На първо място, старите и ограничени по капацитет улични мрежи често не отговарят на съвременните нужди. В централните части на градовете липсва възможност за разширяване на пътната инфраструктура, което налага търсене на решения чрез оптимизация, а не чрез физическо разширяване. Това налага по-сложни алгоритми за управление и координация на светофарите, които изискват по-високи изчислителни мощности и точност в данните.

Второ, липсата на интегрирана система за събиране и анализ на трафични данни в реално време затруднява вземането на информирани решения. В София, например, макар да има определен брой камери и датчици, те не обхващат цялата пътна мрежа и често не са синхронизирани в обща система. Това води до забавена или неточна реакция на възникващи задръствания, ПТП или промени в пътните условия.

Трето, липсата на нормативна и институционална координация между различните участници в транспортния процес – община, полиция, частни оператори на таксите, платформи за споделено пътуване и др. – допринася за фрагментираност на управлението. При липса на централен орган с реални правомощия за контрол и синхронизация, често възникват дублирания, пропуски и неефективно използване на ресурсите.

Четвърто, общественият транспорт в столицата все още не е напълно приоритизиран в рамките на системите за управление. Макар и да има частично реализирани бус-ленти, много често те са блокирани от неправилно паркирани автомобили или не са ефективно контролирани. Приоритизацията на автобусите и трамваите на светофарните уредби се прилага ограничено и не е обхванала всички ключови маршрути.

Не на последно място, обществото често не е достатъчно информирано и ангажирано с проблематиката на трафика. Поведението на водачите, включително агресивното шофиране, неспазване на ограниченията и честото преминаване на червено, допринася за нарушаване на ритъма на трафика и влошаване на безопасността. Това налага включване на образователни и комуникационни кампании като част от цялостната стратегия за управление. Тези предизвикателства показват, че технологиите сами по себе си не могат да решат проблема с трафика. Необходим е комплексен подход, включващ инвестиции в инфраструктура, подобряване на координацията между институциите, законодателни промени и ангажиране на

гражданите. Само чрез такъв системен подход може да се постигне реална и устойчива ефективност в управлението на трафика в урбанизираните райони. Развитието на координираното управление на трафика в градска среда зависи не само от внедряването на нови технологии, но и от способността на институциите да прилагат добри практики, адаптирани към местния контекст.

Анализът на успешни примери от различни страни, както и текущите усилия в София, очертават няколко ключови насоки за ефективно планиране и изпълнение на стратегии за управление на трафика. Една от най-успешните глобални практики е въвеждането на системи за интелигентен транспорт (ITS) с фокус върху адаптивно управление на светофарите. Градове като Лондон, Сингапур и Сидни прилагат комплексни алгоритми, които анализират трафичния поток в реално време и променят светофарните цикли така, че да минимизират закъсненията и да осигурят плавен поток на движение. В София тази практика започва да се прилага поетапно чрез пилотни проекти, но остава необходимост от по-машабно и интегрирано внедряване. Добра практика е и създаването на централизиран оперативни центрове, които събират информация от различни източници – камери, GPS на градски транспорт, сигнали от граждани – и позволяват бърза реакция при инциденти или пренасочване на трафика.

В София вече функционира Център за управление на трафика, който има потенциал да се превърне в основен инструмент за координация между институции, стига да бъде добре ресурсно обезпечен и организационно укрепен. Пример за ефективна мярка в подкрепа на устойчивата мобилност е приоритизирането на обществения транспорт. Градове като Виена и Копенхаген предоставят приоритет на автобусите и трамваите чрез отделни коридори, интелигентни светофари и намалена конкуренция от частни автомобили в централните зони [8]. За София това би означавало разширяване на мрежата от бус-ленти, интегриране на трамвайните трасета с адаптивни системи и засилен контрол върху неправомерното паркиране.

Не по-малко важна е ролята на общественото участие. В градове като Барселона се използват дигитални платформи, чрез които гражданите могат да подават сигнали, предложения и обратна връзка относно трафика. Това води до по-голяма ангажираност и съпричастност към взетите решения. За София подобна инициатива може да бъде реализирана чрез мобилни приложения или интеграция с вече съществуващи платформи за градски транспорт. Въз основа на анализирания примери и текущото състояние на трафика в София, могат да бъдат формулирани следните препоръки:

- Разработване на дългосрочна стратегия за управление на трафика, базирана на реални данни и прогнози;
- Разширяване и модернизирание на съществуващата ITS инфраструктура;
- Интеграция между институциите, отговорни за пътната безопасност, обществен транспорт и урбанистичното планиране;
- Засилване на законодателната рамка относно споделените пътувания, микромобилността и цифровото управление на трафика;
- Провеждане на образователни кампании, насочени към културата на шофиране и устойчивата мобилност. Координираното управление на трафика не е еднократен акт, а непрекъснат процес на адаптация и усъвършенстване. Само чрез интегриране на технологиите, политиките и участието на гражданите може да се постигне устойчива и ефективна градска мобилност.

Таблица 1.

Локация	Период	Преди (бр. ПТП)	След (бр. ПТП)	Разлика	% Намаление
Columbia County, GA	2009–2010	162	120	-42	-26%
Topeka, KS	2009–2012 (средно)	142	108	-34	-24%
Lee's Summit, MO	Jan–Jun 2011	89 (екстраполирано)	76	-13	-15%
Springdale, AR	May 2009–Apr 2011	63	44	-19	-30%

В София, поради високия дял на индивидуалните пътувания (70%) и над 800 000 регистрирани автомобили, средната скорост в пикови часове спада под 18 км/ч, което води до

годишна загуба на над 80 часа на шофьор средно. Адаптивните светофарни системи, базирани на реално време, намаляват броя на спиранията и закъсненията. В САЩ, системата InSync показва до 87% намаление на закъсненията и до 90% по-малко спирания по натоварени коридори [9]. Според СЗО, пътнотранспортните произшествия (ПТП) са глобален здравен проблем с над 1.27 милиона загинали годишно. В САЩ, около 21% от всички фатални ПТП се случват на кръстовища [7]. Един от най-ефективните подходи за подобряване на пътната безопасност са адаптивните системи за управление на трафика. Конкретно, системата **InSync**, внедрена в няколко града в САЩ, показва следните измерими резултати:

Освен броя на ПТП, е отбелязано значително намаление на тежките инциденти:

В Lee's Summit, MO, **ляво завиващи сблъсъци намаляват с 48%**, а rear-end инциденти – с 10%.

В Торека се наблюдава спад на rear-end катастрофи с 26%.

Намаляването на спирания и задръствания води до:

- 30% по-ниски емисии на вредни газове;
- икономии на гориво и време .

Това прави адаптивните системи не само транспортно ефективни, но и екологично устойчиви.

Приоритизация на автобуси и трамваи чрез адаптивно управление е прилагана в Виена, Копенхаген и частично в София (напр. бул. „Александър Малинов“) [6].

В София приоритетът за градския транспорт е все още ограничен и често нарушаван от неправилно паркирани МПС.

В доклада за InSync се отчита, че премахването на задръствания води до излишност на контрол за „red-light running“ – сигнал за повишена ефективност и безопасност за всички участници.

В София се изгражда Център за управление на трафика с интеграция на GPS данни, камери и сигнали от граждани [6]. InSync показва как модерна система работи без фиксирани цикли, като оптимизира трафика на база реални данни всяка секунда.

- Внедряването на ATCS изисква:
 - инвестиции в сензори, камери и комуникации;
 - обучен персонал;
 - институционална координация между община, полиция, оператори на транспорт и др.

InSync се отличава с:

- оптимизация в реално време всяка секунда;
- липса на фиксирани цикли – по-голяма гъвкавост;
- намаление на rear-end и right-angle crashes [7].

За София се препоръчва:

- мащабно внедряване на адаптивни системи;
- приоритет за обществен транспорт;
- засилен контрол на бус-ленти;
- дигитална платформа за сигнали от граждани;
- образователни кампании за устойчиво поведение.

Тези резултати демонстрират как внедряването на адаптивни системи не само подобрява трафик потока, но директно повлиява върху безопасността. В контекста на София, където липсва ефективна адаптация на светофарите към текущи условия, подобни системи биха имали значим ефект, особено в натоварени участъци като бул. „България“, „Цариградско шосе“ или „Сливница“. Прилагането им дори на няколко ключови коридора може да доведе до стотици предотвратени ПТП годишно.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Ефективното управление на трафика в съвременните градове, включително София, не може да се постигне единствено чрез традиционни методи. В условията на нарастваща урбанизация и автомобилен натиск, е необходим преход към интелигентни, адаптивни и базирани на данни

системи, които да осигурят по-висока ефективност, безопасност и устойчивост. Внедряването на такива технологии обаче изисква не само техническа инфраструктура и инвестиции, но и силна институционална координация, нормативни реформи и активно участие на гражданите. Само чрез интегриран и дългосрочен подход, съчетаващ технологии, политики и образование, може да се постигне трайно подобрене на градската мобилност и качеството на живот.

ЛИТЕРАТУРА:

- [1]. План за устойчива градска мобилност на Столична община (2021–2030) – стратегически документ на Столична община, който предоставя данни за транспорта в София и визия за бъдещото развитие. sofia.bg+11infrapro.com+11nag.sofia.bg+11
- [2]. Национален статистически институт (НСИ), 2023 – официална статистика, включително броя на регистрираните леки автомобили в София (~800 000) и населението (~1.25 млн). reddit.com
- [3]. Показател „средна скорост в пикови часове“ – изведена от транспортни анализи, които сочат скорост под 18 км/ч в централната градска част на София.
- [4]. Индекс за загуба на време в задръствания – интерпретация от индекси като TomTom Traffic Index / INRIX и др., съгласно 80+ часа годишно изгубено време. reddit.com+1reddit.com+1
- [5]. Данни за замърсяване от транспорта – базисна информация, подкрепена от анализи, споменати в Брюкселската рамка за устойчива мобилност и инициативи на ЕС. sofia.bg+11europarl.europa.eu+11innoair-sofia.eu+11
- [6]. Пилотни проекти за адаптивни светофари в София – данни за реализирани тестове на бул. „Александър Малинов“, „Асен Йорданов“ и Центъра за управление на трафика.
- [7]. Международни ITS системи (SCOOT, SCATS) – широко описани в техническата литература за адаптивни светофари и интелигентни транспортни системи.
- [8]. Международни добри практики – примери за приоритизация на обществения транспорт и гражданско участие в градове като Лондон, Виена, Копенхаген, Барселона и др.
- [9]. “InSync Safety Benefits Report”, Jim Clark, Rhythm Engineering.

ANALYSIS OF METHODS AND MODELS FOR COORDINATED TRAFFIC MANAGEMENT

Vasil Koprivshenov

vasil1koprivshenov@gmail.com

*Todor Kableskov University of Transport,
Sofia, Geo Milev Str. 158,
BULGARIA*

Abstract: *Urbanization and increased car traffic lead to serious problems in cities, including congestion, air pollution, low efficiency of public transport and a deteriorated quality of life. Sofia, as the largest city in Bulgaria, is particularly affected, with over 800,000 registered cars and an average speed below 18 km/h during peak hours. Traditional traffic management models such as fixed traffic lights and “green waves” remain widely used, but are not flexible enough to respond to the dynamic conditions in modern cities. They do not adapt in real time and do not prioritize public transport or specialized vehicles.*

Key words: *management models, traffic, methods, congestion, management technologies.*