

Автомобільний, річковий, морський та авіаційний транспорт

УДК 656.051

doi: 10.26906/SUNZ.2024.4.021

П. Ф. Горбачов, Є. В. Любий

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків, Україна

КРИТЕРІЙ ВКЛЮЧЕННЯ РЕГУЛЬОВАНОГО ПЕРЕХРЕСТЯ В ПЛАН ПРОСТОРОВОЇ КООРДИНАЦІЇ

Анотація. Стаття містить результати опису і обґрунтування кількісного критерію розширення плану просторової координації на ділянках міської вулично-дорожньої мережі. Використання запропонованого критерію дозволяє робити висновки про доцільність включення додаткового регульованого перехрестя до просторової координації на підставі даних про інтенсивності транспортного потоку на ділянках вулично-дорожньої мережі, що досліджується. Розроблений критерій відповідає прийнятій методиці розрахунку тривалості світлофорного циклу, яка ґрунтується на формуванні пачок зеленої хвилі у кожному напрямі руху ділянками вулично-дорожньої мережі міста. Наступними етапами дослідження в цьому напрямку є розробка імітаційної моделі плану просторової координації на ділянці вулично-дорожньої мережі та експериментальна перевірка працездатності запропонованого критерію включення додаткового регульованого перехрестя в план координації.

Ключові слова: зелена хвиля, інтенсивність, пачка автомобілів, план просторової координації, регульоване перехрестя.

Вступ

Постановка завдання. Основною метою цієї статті є отримання кількісного критерію, що дає відповідь на запитання: де доцільно провести межу об'єкта просторової координації? Або інакше, на якому перехресті зупиниться при розширенні області координації? Відповіддю на це запитання в сучасній науковій і методичній літературі з організації дорожнього руху (ОДР) слугують суб'єктивні оцінки відстані від включеного в координацію регульованого перехрестя (РП) до сусіднього РП (щодо якого розглядають питання його включення в координацію), що ґрунтуються на інтуїтивних міркуваннях їхніх авторів щодо процесу розпаду пачки зеленої хвилі (ЗХ) у процесі її руху [1–5].

Прийнято вважати, що чим більша відстань між сусідніми РП, тим менше сенсу в координації роботи цих двох перехресть між собою, тому що в разі стаціонарного або рівномірного потоку прибуття ефективнішим є індивідуальне налаштування світлофорного циклу (СЦ) на транспортні потоки (ТП), що входять у перехрестя.

Таке налаштування полягає в призначенні раціональної тривалості СЦ і його окремих фаз, які забезпечують мінімум середнього часу затримки транспортних засобів (ТЗ) на перехресті за рахунок мінімізації часу очікування ввімкнення дозволяючого сигналу для кожного напрямку.

Але не тільки суб'єктивний характер оцінок критичної довжини перегону і, як наслідок, великий розкид її значень є перешкодами для обґрунтованого прийняття рішень щодо меж координації. Збільшення довжини пачки ЗХ насправді не є перешкодою для координації, оскільки навіть за таких умов вчасне ввімкнення дозволяючого сигналу, орієнтоване не на

найшвидші автомобілі в ній, може суттєво скоротити середній час очікування можливості проїзду через перехрестя, у порівнянні з адаптацією в режимі реакції на прибуття ТЗ (vehicle actuated) [6], не кажучи вже про опосередкований режим реакції на інтенсивність ТП (traffic actuated) [7].

Це твердження підтверджується одним із базових методів координації TRANSYT, що спирається на циклічні профілі потоків, які не вимагають наявності в них щільної пачки [8]. Цей метод забезпечує приблизно таку саму ефективність, як і альтернативний базовий метод максимізації ширини коридору для координованих ТЗ [9], що передбачає наявність щільної пачки в потоці.

Обидва методи експлуатуються вже більше 60-ти років і продемонстрували свою працездатність, що свідчить про можливість ефективної координації роботи світлофорів навіть за відсутності щільних пачок ТЗ у потоці.

Але найбільша проблема стандартного підходу до вирішення питання про доцільність координації полягає в тому, що перелік чинників, які визначають параметри вхідного потоку, насправді не обмежуються довжиною перегону між світлофорами, особливо в міських умовах, де координація є найактуальнішою і потенційно максимально ефективною. У просторовій, і дещо менше в лінійній, координації джерелами формування ТП найчастіше виступають не одне РП, а кілька перетинів ділянки вулично-дорожньої мережі (ВДМ), яка підходить до перехрестя, з іншими вулицями, виїздами з дворів, паркувань тощо.

Вони можуть кардинально змінити параметри ТП на перегоні перед РП і зробити координацію недоцільною, навіть якщо відстань до сусіднього РП є відносно невеликою. Можливі також й інші ситуації,

що призводять до порушення умов, придатних для координації, наприклад, наявність значного поворотного ТП з потенційно другорядного напрямку, який за величиною можна порівняти з ТП на основному напрямі координації.

Описувати всі можливі випадки, що призводять до аналогічних результатів з погляду властивостей ТП, що входить у перехрестя, сенсу немає, внаслідок необмеженої кількості варіантів дорожніх ситуацій, тут тільки важливо прийняти, що ключовим параметром під час визначення доцільності внесення чергового РП до плану просторової координації є ТП, який прибуває з його боку до вже внесеного в координацію перехрестя.

Виклад основного матеріалу

Під час визначення критеріїв включення РП до координації слід виходити з того, що спільна робота сусідніх світлофорів стає доцільною тоді, коли вона дає змогу зменшити середній час очікування дозвольного сигналу для автомобілів, що прибувають до координованого перехрестя, порівняно зі світлофорним регулюванням на ньому за допомогою постійного оптимального СЦ або, можливо, порівняно з адаптивним світлофором. Повністю розв'язати таку задачу в аналітичному вигляді поки що не є можливим, через відсутність надійних аналітичних оцінок затримок ТЗ на РП, проте можна знайти оцінки потенційної придатності вхідного ТП для координації, використовуючи його характеристики, які опосередковано відображають циклічність процесу прибуття автомобілів до перехрестя.

У найзагальнішому випадку, це питання постає вже на початку процесу формування об'єкта просторової координації, за наявності одного РП як потенційного об'єкта для координації, хоча, найімовірніше, початок цього процесу визначатиметься декількома близько розташованими РП, доцільність координації яких є очевидною априорі. Для проведення меж об'єкта тоді необхідно розглянути всі РП, які є сусідніми з уже включеними до координації перехрестями, і оцінити потенційні можливості, які створює його включення до координації на підставі характеристик ТП між ними.

Така постановка задачі передбачає проведення обстеження ТП на невеликій відстані перед РП, у якому фіксується моменти перетину переднім бампером ТЗ поперечного зрізу дороги.

Відстань між зрізом і перехрестям має бути якомога меншою, але достатньо великою для того, щоб черга ТЗ перед ним не впливала на результати обстеження, тобто не відображалася на інтервалах проїзду ТЗ повз зріз.

Крім того, бажано, щоб на ділянці між зрізом і перехрестям не було незначних джерел появи ТЗ (виїздів із дворів і паркувань) і обов'язково не повинно бути нерегульованих примикань другорядних вулиць.

Тривалість обстеження має становити щонайменше годину, яка розбивається на 15-хвилинні інтервали, прийняті як орієнтир стабільності ТП у НСМ 2010 [10] та інших методичних документах.

Вона надалі позначається T_s , с, кількість зафіксованих за час спостереження ТЗ – N_s , кількість зафіксованих інтервалів між ними – N , $N = N_s - 1$.

Відмінним параметром різних варіантів прибуття є інтервал прибуття, а оскільки це випадкова величина, то вона має певні параметри і закон розподілу.

Найбільш інформативними з параметрів є математичне сподівання (середнє значення) інтервалу прибуття M і його стандартне відхилення σ . Середній інтервал оцінюється як $M = T_s / N$, тому під час опрацювання результатів тривалість обстеження T_s слід уточнювати так, що початком обстеження слід приймати момент проїзду через переріз 1-го ТЗ, а закінченням – момент проїзду останнього ТЗ у ньому. Стандартне відхилення оцінюється за формулою для генеральної сукупності

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^N (I_{sk} - M)^2}{N}}, \quad 1 \leq k \leq N_s, \quad (1)$$

де $I_{sk} = t_{k+1}^s - t_k^s$ – k -й зафіксований в обстеженні інтервал між ТЗ $k+1$ і k , с; t_k^s – фактичний момент проїзду k -го ТЗ в обстеженні, с.

У реальному ТП, в якому автомобілі їдуть один за одним на деякій дистанції, нульовий інтервал зустрітися не може, проте існує мінімальний інтервал T_{\min} , який може бути визначено або як мінімальне значення з усіх спостережень за умови щільного та середнього потоку, або, за умови дуже низької фактичної інтенсивності ТП, розрахунковим шляхом, на основі середніх габаритів ТЗ і дистанції безпеки. Другий випадок для даної задачі виглядає не зовсім цікавим, оскільки завдання координації для низької інтенсивності ТП багато в чому втрачає свою актуальність, так як її переваги, порівняно з адаптацією, більшою мірою проявляються в щільному трафіку, але якщо ж прибуття виявиться груповим, позитивний ефект від координації роботи світлофорів з жорстким циклом все ж таки можливий і виключати з розгляду цю ситуацію не варто.

Розгляд можливих варіантів прибуття ТЗ до перехрестя починається з регулярного потоку, в якому ТЗ рухаються з рівними інтервалами. У цьому не придатному для координації, ідеалізованому випадку потік характеризується нульовим стандартним відхиленням

$$\sigma_r = 0, \quad (2)$$

що дає можливість вважати його крайнім випадком серед усіх варіантів прибуття.

Наступним, за ступенем зростання стандартного відхилення, варіантом прибуття приймається найпростіший, Пуасонівський потік, який на відміну від регулярного потоку, широко поширений у реальному житті взагалі і в транспортних процесах зокрема.

Загальноприйнятим є використання найпростішого потоку під час визначення параметрів роботи

ізолюваних світлофорів, тому що він за умовами виникнення цілком підходить для цього випадку, що також не спростовувалося численними спостереженнями за подібними об'єктами. Цей потік також не підходить для координації, тому що всередині фіксованого на осі часу відрізка події в ньому розподілені рівномірно, тобто ймовірність їх потрапляння в якийсь невеликий проміжок часу не залежить від місця розташування останнього, а пропорційна довжині проміжку.

Така рівномірність не дає підстави для виокремлення в цьому потоці якихось проміжків часу з зниженою інтенсивністю, протягом яких заборона проїзду для потоку не збільшує середній час затримки ТЗ.

У найпростішому потоці інтервали між ТЗ розподілені показниково, а у випадку ТП – показниково, зі зсувом розподілу вправо на величину T_{\min} . У відповідності до відомих властивостей показникового розподілу, в якому математичне очікування і його стандартне відхилення σ_s дорівнюють один одному, тоді для реального ТП

$$\sigma_s = M - T_{\min}. \quad (3)$$

Оскільки в рівнянні стандартного відхилення (3) з'являється математичне очікування, то від окремого розгляду цих двох показників доцільно перейти до іншої характеристики випадкової величини – коефіцієнту варіації CV , що об'єднує їх відношенням $CV = \sigma/M$.

Тоді для регулярного ТП

$$CV_r = 0, \quad (4)$$

а для найпростішого ТП

$$CV_s = 1 - \frac{T_{\min}}{M} \neq 1. \quad (5)$$

Нерівність одиниці коефіцієнту варіації найпростішого ТП зумовлена тим, що є небажаною під час пошуку відмінностей між різними варіантами прибуття ТЗ до координованого РП. Його можна подолати за допомогою припущення про те, що мінімальний інтервал набагато менший за його середнє значення, $T_{\min} \ll M$.

Але це буде справедливо не для всіх умов і в разі зростання трафіку відношення T_{\min}/M може наближатися знизу до значення $\lambda = T_s/T_c$ – частки зеленого сигналу T_s в світлофорному циклі T_c РП у координації, до якого прибуває досліджуваний ТП. З погляду завдання, що розглядається, наближення коефіцієнту варіації найпростішого потоку до 0 є небажаним, оскільки звужує порівняльну базу для оцінювання параметрів ТП.

Необхідно відійти від цього явища, усунути його причину, що полягає у невідповідності між реальним ТП та ідеальним найпростішим потоком, у якому події є точками на осі часу, а не відрізками завдовжки T_{\min} .

Щоб уникнути цієї невідповідності, доцільно вирізати відрізки T_{\min} , що починаються з моментів

фіксації ТЗ в обстеженні, і перейти від початкової тривалості обстеження T_s до її перетвореного (ідеалізованого) аналога T_a :

$$T_a = T_s - T_{\min} \cdot N, \quad (6)$$

з відповідним перетворенням зафіксованих в обстеженні моментів проїзду ТЗ через обраний переріз та інтервалів між ними:

$$t_k = t_k^s - (k-1)T_{\min}, \quad 1 \leq k \leq N_s, \quad (7)$$

$$I_k = t_{k+1} - t_k, \quad (8)$$

де t_k – приведений до найпростішого потоку момент проїзду k -го ТЗ в обстеженні, с; $I_k = t_{k+1} - t_k$ – k -й приведений до найпростішого потоку інтервал між ТЗ $k+1$ і k , с.

Перетворення (6, 7, 8) приводить до шуканого результату – відповідності ТП, що прибуває на координоване перехрестя, його найпростішому аналогу і забезпечує рівність коефіцієнту варіації перетвореного ТП CV_a одиниці, $CV_a = 1$.

Воно зменшує математичне очікування інтервалу на T_{\min} в будь-якому варіанті прибуття, але нічого не змінює в коефіцієнті варіації регулярного потоку (2), який залишається рівним 0.

Таким чином два потоки прибуття, які точно не відповідають умовам включення їхнього джерела в координацію, надають два коефіцієнти варіації, що дорівнюють 0 і 1.

Попадання між ними або невелике перевищення одиниці отриманим у результаті обстеження перетвореним коефіцієнтом варіації означатиме недовільність включення до координації РП, від якого цей потік прибуває.

Для того, щоб з'ясувати, наскільки великою має бути відмінність від 1 коефіцієнту варіації реального ТП, після перетворення (6, 7, 8) необхідно розрахувати цей показник для варіантів прибуття, які для координації підходять.

Реальний варіант прибуття ТЗ на координоване перехрестя в будь-якому разі є випадковим, відповідно випадковим буде і коефіцієнт варіації потоку прибуття, що не дає можливості для визначення точних орієнтирів для характеристики групового прибуття, аналогічних уже описаним вище варіантам потоків.

Тому розв'язати задачу проведення межі району координації можна тільки за допомогою ідеалізації, відмовившись від випадковості прибуття і задаючи варіанти групового прибуття, які гарантовано забезпечують можливість для ефективної координації роботи світлофорів на двох сусідніх РП.

Ідеальним варіантом групового прибуття ТЗ до перехрестя є наявність у потоці однієї або кількох однорозмірних пачок з інтервалом між ТЗ у них, що дорівнює T_{\min} , і рівними інтервалами між пачками. У перетвореному потоці, інтервали в пачці дорівнюватимуть 0.

Для різної кількості пачок у такому потоці необхідно розрахувати коефіцієнти варіації, які слугуватимуть орієнтирами для розв'язання питання

щодо доцільності включення нового РП у координацію.

Нехай кількість пачок у зафіксованому під час обстеження ТП дорівнює i . Виходячи із загальної кількості інтервалів у ТП, що дорівнює N , кількість інтервалів між пачками дорівнює i , а кількість інтервалів усередині пачки дорівнює $N-i$. Тоді стандартне відхилення вихідного ТП, що складається з i пачок, дорівнюватиме:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^{N-i} (T_{\min} - M)^2 + \sum_{k=1}^i (T_{\max} - M)^2}{N}}, \quad (9)$$

де T_{\max} – інтервал між пачками ТЗ, с.

У перетвореному потоці T_{\min} стає рівним 0 і користуючись цим, а також тим, що доданки суми в цьому ідеалізованому потоці є константами, стандартне відхилення для нього матиме такий вигляд:

$$\sigma = \sqrt{\frac{(N-i)M^2 + i(T_{\max} - M)^2}{N}}. \quad (10)$$

Метою перетворень є отримання значень коефіцієнтів варіації для різної кількості пачок у ТП, водночас уже наявні орієнтири щодо його значень для регулярного і найпростішого потоків не залежать від його ступеня

$$CV = CV^2,$$

що дає змогу перейти до використання квадрата коефіцієнта варіації як шуканого критерію для розв'язання питання про доцільність занесення нового РП у координацію

$$CV^2 = \left(\frac{\sigma}{M}\right)^2 = \frac{N^2 \sigma^2}{T^2}. \quad (11)$$

Це дасть змогу спростити шуканий критерій, позбувшись квадратного кореня в (10), при цьому не погіршуючи інформаційних можливостей і не втрачаючи смислового навантаження критерію:

$$CV^2 = \frac{N \left[(N-i)M^2 + i(T_{\max} - M)^2 \right]}{T_a^2}. \quad (12)$$

Рівняння (12) можна істотно спростити, для отримання зрозумілої форми критерію, розкривши для початку квадрат різниці в його чисельнику:

$$CV^2 = \frac{N \left[(N-i)M^2 + i(T_{\max}^2 - 2T_{\max}M + M^2) \right]}{T_a^2}. \quad (13)$$

Відкриття дужок у чисельнику надає широкі можливості для отримання такої простої форми критерію (12):

$$CV^2 = \frac{N \left[NM^2 - iM^2 + iT_{\max}^2 - 2iT_{\max}M + iM^2 \right]}{T_a^2}. \quad (14)$$

оскільки дає можливість для взаємного скорочення двох доданків:

$$CV^2 = \frac{N \left[NM^2 - 2iT_{\max}M + iT_{\max}^2 \right]}{T_a^2}. \quad (15)$$

Користуючись тим, що в перетвореному ТП інтервал між пачками дорівнює

$$T_{\max} = T_a / i,$$

можна підставити його значення в попереднє рівняння:

$$CV^2 = \frac{N \left[NM^2 - 2i \frac{T_a}{i} M + i \frac{T_a^2}{i^2} \right]}{T_a^2}. \quad (16)$$

Після очевидного приведення спільних множників у дробах виникає нова форма рівняння (16), у якій найактивнішу роль відіграє математичне очікування інтервалу M :

$$CV^2 = \frac{N \left[NM^2 - 2T_a M + \frac{T_a^2}{i} \right]}{T_a^2}. \quad (17)$$

Це дає можливість замінити його відповідним виразом для перетвореного ТП, $M = T_a / N$:

$$CV^2 = \frac{N \left[N \frac{T_a^2}{N^2} - 2T_a \frac{T_a}{N} + \frac{T_a^2}{i} \right]}{T_a^2}. \quad (18)$$

Після цього стають можливими кілька очевидних послідовних перетворень отриманої форми критерію (18):

$$CV^2 = \frac{N \left[\frac{T_a^2}{N} - 2 \frac{T_a^2}{N} + \frac{T_a^2}{i} \right]}{T_a^2}, \quad (19)$$

$$CV^2 = \frac{N \left[\frac{T_a^2}{i} - \frac{T_a^2}{N} \right]}{T_a^2}, \quad (20)$$

$$CV^2 = \frac{N}{i} - 1. \quad (21)$$

Отриманий критерій досягає максимуму за однієї щільної пачки в зафіксованому ТП:

$$CV_{\max}^2 = N - 1. \quad (22)$$

Зі зростанням кількості пачок він з уповільненням знижується, доходить до показника найпростішого потоку, $CV^2 = 1$, при

$$i = \frac{N}{2}, \quad (23)$$

і перетворюється на показник регулярного потоку, $CV^2 = 0$, при

$$i = N. \quad (24)$$

Така поведінка критерію показує взаємозв'язок між характеристиками різних варіантів потоків прибуття, зокрема цікавим є співвідношення між кількістю щільних пачок у найпростішому і рівномірному потоці (23) і (24). Воно показує, що в сенсі регулярності, найпростіший потік відрізняється

від рівномірного вдвічі, оскільки його аналогом з погляду дисперсії потоку є регулярний транспортний потік, який складається з пачок по два ТЗ у кожній. І цю відмінність правильно вважати незначною, з урахуванням максимального CV^2 (22), яке за реальних значень N перевищуватиме значення CV^2 регулярного і найпростішого потоку на кілька порядків.

Отриманий результат не суперечить загальновідомим статистичним закономірностям, за яких повністю випадкові процеси сходяться до регулярних подій, що добре ілюструється формулами для достатнього обсягу вибірки.

Графічне представлення залежності величини критерію (21) від величини N та i наведено на рис. 1.

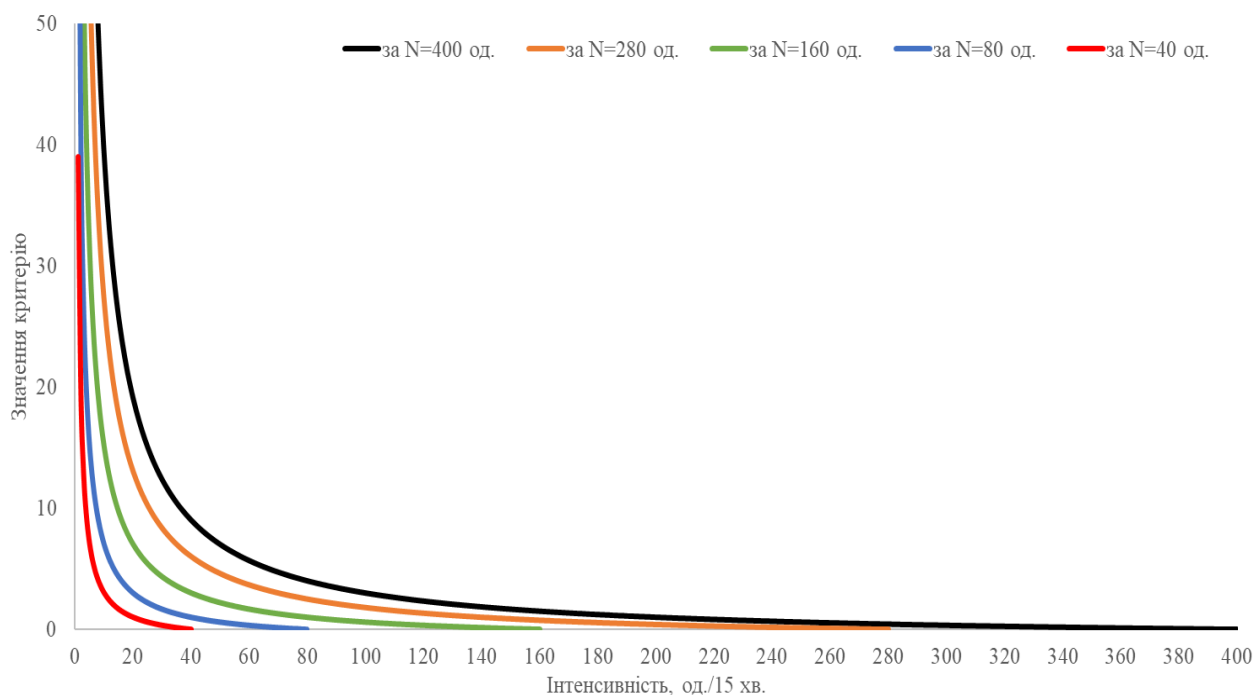


Рис. 1. Характеристичний графік (теоретичні криві) залежності величини критерію (21) від N та i

Отриманий критерій (21) повністю відповідає прийнятій методиці розрахунку тривалості СЦ, що ґрунтується на формуванні пачок ЗХ у кожному напрямі, оскільки за відомої з обстеження кількості ТЗ, N , її розмір на досліджуваному напрямі повністю визначається відношенням N/i .

Він дає змогу ухвалювати рішення щодо доцільності включення додаткового РП до просторової координації на підставі даних про інтенсивності ТП у досліджуваному районі.

Якщо розрахунковий CV^2 перетвореного ТП (21) на під'їзді до координованого РП, за раціонального значення величини пачки ЗХ, виявиться вищим за його фактичне значення, це означатиме, що координація роботи додаткового РП навряд чи можлива, внаслідок його близькості за властивостями до найпростішого потоку.

І навпаки, перевищення фактичним CV^2 розрахункового значення критерію свідчатиме про потенційну доцільність включення до координації додаткового РП, хоча й не може гарантувати ефективність цього рішення, внаслідок суттєвої залежності результатів координації від геометрії розглянутого фрагмента ВДМ, а також способу отримання критерію CV^2 (21) на основі ідеалізації реального транспортного потоку.

Величина CV^2 значною мірою випадкова, і не має однозначної відповідності з кожним варіантом транспортного потоку, тобто одні й ті самі його значення можуть відповідати різним за набором інтервалів прибуття потокам.

Тому використовувати його слід як необхідну, а не достатню умову доцільності розширення об'єкта

просторової координації за рахунок додаткового регульованого перехрестя, віддаючи перевагу остаточній оцінці ефективності різних варіантів плану координації в імітаційній моделі.

Висновки

Низьке значення критерію

$$CV^2 \leq 1$$

для перетвореного транспортного потоку дає однозначну негативну відповідь на питання щодо доцільності включення в координацію додаткового регульованого перехрестя, оскільки вказує на дуже високу рівномірність потоку прибуття до координованого регульованого перехрестя.

Виокремлення в такому потоці пачок зеленої хвилі на ще не включеному до координації регульованого перехрестя, з погляду економії середнього часу очікування на координованому регульованому перехресті, не має сенсу, оскільки його вплив на потік прибуття до координованого регульованого перехрестя виявляється в такому разі практично непомітним.

Ще одним результатом оцінки транспортного потоку на під'їзді до координованого регульованого

перехрестя має стати оцінка навантаження на ньому, що передбачається використанням методом координації роботи світлофорів. Тут також, як і в процесі перетворення транспортного потоку з метою отримання критерію (21), важливу роль відіграє значення мінімального інтервалу між транспортними засобами T_{\min} , що приймається в розрахунках, питання визначення якого в конкретних місцевих умовах до кінця не вирішене.

Ґрунтуючись на висловлених на початку цього матеріалу припущеннях, кращим видається комбінований спосіб його отримання, як мінімального значення з його розрахункової величини, на основі середніх габаритів транспортних засобів і дистанції безпеки та мінімуму з усіх зафіксованих в обстеженні інтервалів. Більше уточнення цього показника можливе надалі, під час накопичення експериментального досвіду з реалізації планів просторової координації.

Подальшими напрямками дослідження є проведення імітаційного експерименту щодо розробки плану просторової координації на вулично-дорожній мережі і експериментальна оцінка працездатності запропонованого критерію внесення нового регульованого перехрестя в план координації.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Ройко, Ю.Я., Грицунь, О.М. (2014). Підвищення ефективності функціонування ділянок вулично-дорожньої мережі в умовах координованого регулювання. Наукові нотатки, 45, 472-476.
2. Хітров, І.О. та ін. (2021). Аналіз транспортних затримок в центральній частині міста та шляхи їх зниження. Вісник машинобудування та транспорту, 2(14), 131-139. <https://doi.org/10.31649/2413-4503-2021-14-2-131-139>.
3. Кондрашова, В.Д. Магістральне управління транспортних потоків. Матеріали конференції [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://eprints.kname.edu.ua/52334/1/%D1%871-161-163.pdf>.
4. Gluck, J., Levinson, H.S., Stover, V. (1999). Impacts of Access Management Techniques, NCHRP Report 420, Transportation Research Board, Washington, DC. 157 p.
5. Горбачов, П.Ф., Макарічев, О.В., Любий, С.В. (2024). Імітаційне моделювання часу випередження включення дозвільного сигналу світлофора в плані координації на міських магістралях. Вісник ВПІ, 3, 112-124. <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2024-174-3-112-124>.
6. Wang, X.B., Yin, K., Liu, H. (2018). Vehicle actuated signal performance under general traffic at an isolated intersection. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 95, 582-598. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2018.08.002>.
7. Wierchowska, A. (2016). Design of Traffic-Actuated Plan Selection Road Signal Control : Thesis of Master Degree. Roma: Sapienza Universita di Roma. 123 p. https://web.uniroma1.it/cdaingtrasporti/sites/default/files/Thesis_AngelikaWierchowska.pdf.
8. Robertson, D.I. (1986). Research on the TRANSYT and SCOOT Methods of Signal Coordination. ITE Journal, 56(1), 36-40.
9. Gartner, N.H., Little, J.D.C., Gabbay, H. (1976). Simultaneous Optimization of Offsets, Splits, and Cycle Time. Transportation Research Record, 596, 5-15.
10. National Research Council. (2010). Highway Capacity Manual. Washington, DC: TRB. 1475 p.

Received (Надійшла) 12.09.2024

Accepted for publication (Прийнята до друку) 12.11.2024

The criteria for including a signalized intersection in the coordination plan

Peter Horbachov, Yevhen Liubiy

Abstract. The article contains the results of the description and substantiation of the quantitative criterion for expanding the coordination plan on sections of the urban street road network. The use of the proposed criterion allows us to draw conclusions about the feasibility of including an additional regulated intersection in the spatial coordination based on data on the intensity of traffic flow on the sections of the road network under study. The developed criterion corresponds to the accepted methodology for calculating the duration of the traffic cycle, which is based on the formation of platoon progression in each direction of traffic on sections of the city's road network. The next stages of research in this area are the development of a simulation model of the coordination plan for a section of the road network and the experimental verification of the performance of the proposed criterion for including an additional signalized intersection in the coordination plan.

Keywords: progression, intensity, platoon, coordinated plan, signalized intersection.