

УДК 656.11

ДОСЛІДЖЕННЯ ШВИДКОСТІ РУХУ В ПЕРІОД ПРОМІЖНИХ ТАКТІВ СВІТЛОФОРНОЇ СИГНАЛІЗАЦІЇ

Ройко Ю.Я.

RESEARCH VELOCITY BETWEEN THE INTERMEDIATE CYCLES TRAFFIC LIGHT SIGNALING

Royko Yu.

У статті розглянуто результати дослідження миттєвих швидкостей руху в зоні регульованих перехресть за умови проїзду їх транспортними засобами без попередньої зупинки. Результати таких досліджень дають можливість оцінити ефективність світлофорної сигналізації у період дії проміжних тактів, тобто у ті проміжки часу, протягом яких на регульованих перехрестях існує найбільша ймовірність виникнення аварійної ситуації. Наведено графічні залежності зміни швидкості руху від складу транспортного потоку та проведено оцінку часу проїзду автомобілями зони регульованого перехрестя за час жовтого сигналу залежно стану дорожнього покриття.

Ключові слова: миттєва швидкість руху, склад транспортного потоку, проміжний такт, світлофорна сигналізація, дорожнє покриття, дорожньо-транспортна подія.

Вступ. Під час роботи світлофорної сигналізації існують такі проміжки часу, коли транспортні засоби, які здійснювали рух на дозволяючий сигнал світлофора продовжують його на жовтий сигнал, здійснюючи «прорив». Таке явище відбувається з двох причин: коли водій не має технічної можливості безпечно зупинити власний транспортний засіб на стоп-лінії під час зміни сигналу світлофора; водій приймає рішення проїхати перехрестя, оскільки вважає такий маневр виправданим з погляду безпеки руху. Проте, досить часто такі транспортні засоби опиняються в зоні перехрестя, утворюючи конфлікти з тими, які почали рух у наступній фазі регулювання. Небезпека таких конфліктів різко зростає, коли автомобілі суміжних фаз регулювання проїжджають зону регульованого перехрестя сходу. Тому, з погляду безпеки руху, особливу увагу слід приділити визначенню тривалості проміжних тактів, виходячи з швидкостей руху, які можуть існувати в зоні перехресть. Цей показник руху залежить від складу потоку та типу і стану дорожнього покриття. Визначення тривалості проміжних тактів та рознесення у часі їх ввімкнення для конфліктуєчих на-

прямків, дасть можливість уникати аварійних ситуацій у зоні перехрестя. Такі заходи дозволять зменшити кількість та ступінь небезпеки дорожньо-транспортних подій з транспортними засобами, а також пішоходами.

Постановка проблеми. Існуючими нормативами встановлено рекомендовані значення тривалості складових світлофорного циклу, зокрема і проміжних тактів. Досить часто на практиці виникає ряд проблем, зумовлених конструктивними особливостями перехресть, станом дорожнього покриття на них, складом транспортного потоку, які не дозволяють безпечно виконати маневри та уникнути затримок транспортних засобів. На цей час недостатньо визначено: вплив дорожніх умов на формування транспортних потоків та особливостей їх проїзду через зону регульованого перехрестя; врахування чинника людини під час прийняття рішення про проїзд перехрестя в момент зміни сигналів світлофора; критерії оцінки конфліктів між транспортними та пішохідними потоками в період зміни фаз світлофорної сигналізації; затримки в зоні регульованого перехрестя зі значними розмірами, зумовленими великою кількістю вулиць, які його утворюють тощо. Для того, щоб оцінити цей вплив, необхідно провести ряд вимірювань одного із основних показників, які найхарактерніше визначають ступінь впливу перелічених вище умов – швидкості руху. Це дасть змогу визначити часові обмеження для складових циклу регулювання залежно дорожньо-планувальних умов та особливостей транспортних потоків з метою підвищення ефективності роботи регульованих перехресть та безпеки руху на них.

Аналіз останніх досліджень та публікацій.

Призначення проміжного такту ґрунтується на двох умовах: інформувати водіїв про наближення ввімкнення заборонного сигналу і дати можливість транспортним засобам, які виїхали на перехрестя

звільнити небезпечну зону до того моменту, як буде дозволено руху у конфліктному напрямку [1–3]. Тривалість проміжного такту призначається залежно швидкості транспортних засобів, які під'їжджають до перехрестя. Для задоволення першої умови мінімальне значення тривалості проміжного такту розраховують з формули [1]:

$$t_n = t_p + \frac{v}{2a}, \quad (1)$$

де t_p – час реакції водія, с; v – швидкість транспортних засобів, які наближаються до перехрестя, м/с; a – сповільнення транспортного засобу, м/с². Невірно визначена тривалість проміжного такту може спричинити виникнення так званої зони ризику, яка є ділянкою близько перехрестя, знаходячись у якій транспортний засіб не може ані здійснити безпечно зупинку, ані звільнити перехрестя до початку ввімкнення заборонного сигналу без збільшення швидкості [1–5]. Виходячи із цього твердження, тривалість заборонного сигналу, яка задовольняє обидві умови, розраховується за формулою [1,6–8]:

$$t_n = t_p + \frac{v}{2a} + \frac{w+l}{v}, \quad (2)$$

де w – ширина перехрестя, м; l – довжина транспортного засобу, м.

Рівняння (1) та (2) є досить наближеними, оскільки результати останніх досліджень показують, що час реакції тривалістю 1 с задовольняє менше 50% водіїв [2], а у потоці, який проїжджає перехрестя можуть бути різнотипні транспортні засоби, у тому числі великогабаритний громадський транспорт. Також слід врахувати ту особливість, що ширина перехрестя не завжди відображає траєкторію руху транспортних засобів у його зоні, зокрема, коли мова йде про виконання маневру лівого повороту на складному перехресті, утвореного кількома вулицями (5 і більше) [8–10]. За такого випадку у роботах [4–7,12,13] пропонується уточнений підхід до визначення проміжного такту

$$t_n = t_p + \frac{v}{7,2a} + \frac{3,6(l_i + l_a)}{v}, \quad (3)$$

де l_i – відстань від стоп-лінії до дальньої конфліктної точки (ДКТ), м; l_a – довжина транспортного засобу, який найчастіше зустрічається у транспортному потоці, м.

Основною перевагою цього підходу є те, що відстань до ДКТ враховує траєкторію руху транспортних засобів, а це є важливим чинником за умови, коли на перехресті значна частка громадського транспорту, зокрема передбачено рух у складі транспортного потоку трамвайних вагонів.

Досить часто також виникає питання до оцінки рівностей (1) – (3), коли йдеться про умову, за якої транспортні засоби проїжджають стоп-лінію на жовтий сигнал, перебуваючи перед цим у стані розгону, тобто перед перехрестям існує черга певної довжини. Тоді швидкості у потоці будуть дещо меншими, а ніж у випадку, коли черги не було і транспортні засоби проїжджають перехрестя сходу. Слід звернути увагу, що на швидкість руху суттєвий вплив мають планувальні чинники і стан покриття [8–10,13].

Мета статті. Дослідити вплив складу транспортного потоку та планувальних особливостей регульованого перехрестя на швидкості руху в його зоні під час зміни сигналів світлофора. Визначити експериментальну тривалість проміжного такту, виходячи з умови покращення показників безпеки руху у конфліктній зоні.

Результати досліджень. Миттєва швидкість руху – це швидкість одиночного автомобіля в даному місці в даний час, зафіксована на короткій ділянці дороги (20-50 м) або за малий проміжок часу (2-4 с). Саме миттєва швидкість вирішальним чином впливає на безпеку руху – вона визначає кінетичну енергію автомобіля, а отже і його гальмівний шлях.

Зазвичай вибірка дослідження має містити швидкості найменше 50 автомобілів (бажано 100 і більше). Для оцінки необхідного об'єму вибірки використовують метод, який ґрунтується на середньодобовому об'ємі інтенсивності руху для даної ділянки.

Щоб уникнути зміщення результатів, вибір автомобілів із транспортного потоку для вимірювання швидкості руху необхідно проводити випадковим чином з такими умовами:

- коли автомобілі рухаються групами, вимірювання необхідно проводити шляхом варіювання положення транспортного засобу у групі; для вимірювання вибирають велику кількість вантажних автомобілів та громадського транспорту.

- необхідно намагатись отримати у вибірці приблизно таку ж пропорцію вантажних автомобілів та громадського транспорту, яка фактично існує у потоці, що досліджується;

На першому етапі формування залежностей визначено вплив складу потоку та стану і якості покриття на середні значення миттєвих швидкостей транспортних засобів, які перетинають сходу зону регульованого перехрестя. Для можливості порівняння об'єкти досліджень розділено на 4 групи умов за експлуатаційними якостями покриття у зоні перехрестя:

- I група – рівне асфальтобетонне покриття;
- II група – асфальтобетонне покриття з нерівностями;
- III група – покриття, викладене каменем без нерівностей;
- IV група – покриття, викладене каменем зі значними нерівностями.

На наступному етапі, використовуючи результати натурних вимірювань, визначено вплив

складу потоку на середнє значення миттєвих швидкостей у зоні регульованого перехрестя для кожної з груп (рис. 1).

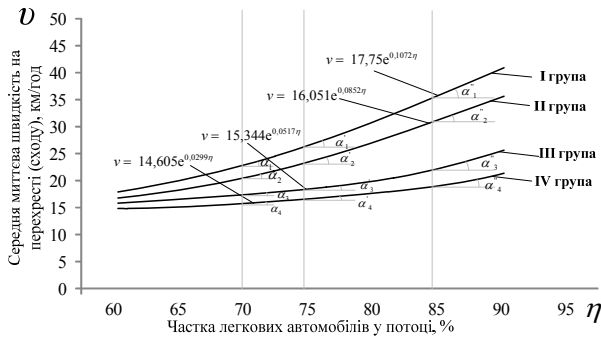


Рис.1. Залежність зміни миттєвої швидкості від складу потоку за різного стану дорожнього покриття:

α_i – кут нахилу лінії швидкості

Аналізуючи рис. 1, можна стверджувати, що для потоків з великою неоднорідністю діапазон зміни швидкості незначний. Суттєва різниця настає, коли транспортний потік досягає однорідності у 75% легкових автомобілів. Від тоді різко відчувається вплив і складу потоку, і стану дорожнього покриття, що відображено за допомогою кута α_i , тангенс якого рівний швидкості руху.

Для отримання експериментальної залежності, ґрунтуючись на рівності (3), введемо такі значення параметрів: якщо у потоці 60 – 70% легкових автомобілів, то l_a приймаємо 10 м, а a_{cn} – 4 м/с²; 70 – 80% легкових автомобілів, то l_a приймаємо 7 м, а a_{cn} – 3,5 м/с²; 80 – 95% легкових автомобілів, то l_a приймаємо 5 м, а a_{cn} – 3 м/с². Відстань до ДКТ для всіх перехресть прийнята рівно 20 м. Враховуючи це і, використовуючи змінні значення швидкостей руху, відображені на рис. 1, наведемо графічну залежність величини тривалості проміжного такту для різних груп умов залежно складу транспортного потоку (рис. 2).

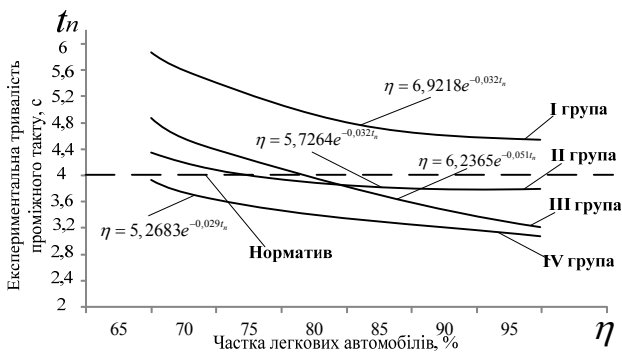


Рис. 2. Залежність зміни проміжного такту від складу транспортного потоку за різного стану дорожнього покриття

Із наведеного рис. 2 можна провести такий аналіз: лише за першої групи умов усі транспортні засоби, незалежно від динамічних габаритів, безпешочно пройдуть ДКТ за час менший 4 с., за другої та третьої групи умов безконфліктно пройдуть лише потоки у яких відповідно від 75% та 80% легкових автомобілів, а за четвертої групи тривалість проміжного такту 4 с. провокує конфлікт між транспортними засобами, які рухаються у суміжних фазах.

Досить часто на практиці 4 с. проміжного такту є недостатніми, коли у потоці рухаються великогабаритні тролейбуси та трамваї криволінійною траєкторією руху. Це спричиняє різке зниження їх швидкості та автомобілів, які їдуть за ними. Характер такого пониження швидкості і його вплив на тривалість проміжного такту відображено на рис. 3.

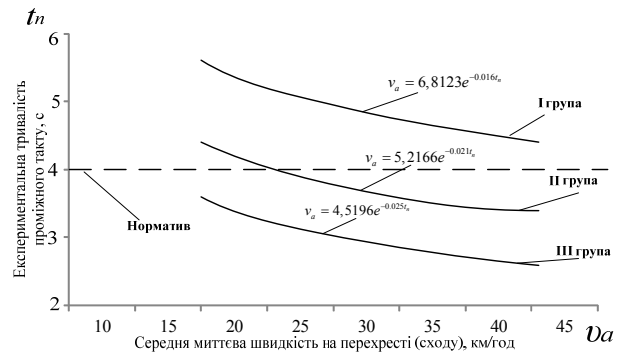


Рис.3. Залежність зміни проміжного такту від миттєвої швидкості руху за різного складу потоку

На рис. 3 транспортний потік умовно поділений на 3 групи залежно складу: 1 група – частка легкових автомобілів 60 – 70%; 2 група – 70 – 80%; 3 група – 80 – 95%. Звідси робимо висновок, що автомобілі першої групи у експериментальних умовах потребують більше 4 с. часу для безпечного проїзду перехрестя, особливо, якщо врахувати умову, що у суміжній фазі транспортні засоби будуть перетинати стоп-лінію сходу, тобто без стартової затримки.

Висновки. Встановлено, що на рівних асфальтобетонних покриттях спостерігається одномодальний розподіл швидкостей, а зі збільшенням нерівностей розподіл набуває вигляду двомодального. Знайдено залежність середньої миттєвої швидкості на перехресті залежно частки легкових автомобілів у потоці. Так, якщо частка легкових автомобілів близько 60%, то така швидкість змінюється в межах 5 км/год для всіх чотирьох груп, а за 90% розмах значень досягає 20 км/год. Встановлено експериментальну залежність тривалості проміжного такту від частки легкових автомобілів, відповідно до якої за частки 75% і нижче невелика кількість транспортних засобів можуть встигнути пройти відстань до ДКТ за 4 с. За результатами досліджень можна стверджувати, що рекомендований час проміжного такту може прийматись для регульованих перехресть 3 – 6с.

Література

1. Рэнкин В. У. Автомобильные перевозки и организация дорожного движения / В. У. Рэнкин – М. : Транспорт, 1981. – 592 с.
2. Markowski M. J. Modeling behavior in vehicular and pedestrian traffic flow / M. J. Markowski. – New York : Umi, 2008. – 162 p.
3. Chen X. Capacity reliability of signalized intersections with mixed traffic conditions / X. Chen, C. Chao, D. Li, C. Dong // Tsinghua science and technology. – 2009. – Vol. 14. – Num. 3. – P. 333-340.
4. Shao Chang-qiao. Study of the saturation flow rate and its influence factors at signalized intersections in China / Chang-qiao Shao, Jian Rong, Xiao-ming Liu // Procedia Social and Behavioral Sciences. – 2011. – 16. – P. 504-514.
5. Susilo B.H. Modification of saturation flow by width of road approach / B.H. Susilo, Y. Solihin // Procedia social and behavioral science. – 2011. – Vol. 16. – P. 620-629.
6. Кременец Ю. А. Технические средства организации дорожного движения : [Текст] / Ю. А. Кременец, М. П. Печерский, М.Б. Афанасьев. – М. : Изд-ий центр «Академия», 2005. – 279 с.
7. Системологія на транспорті. Організація дорожнього руху [Гаврилов Е. В., Дмитриченко М. Ф., Доля В. К. та ін.]; за ред. М. Ф. Дмитриченка. – К. : Знання України, 2007. – 452 с. – (5 кн./ Гаврилов Е. В., Дмитриченко М. Ф., Доля В. К. та ін.; кн. 4).
8. Moughtin C. Urban design: street and square / C. Moughtin. – Oxford : Architectural Press, 2003. – 320 p.
9. Marshall S. Streets and patterns: The structure of urban geometry / S. Marshall. – New York : Spon Press, 2005. – 318 p.
10. Transport planning and traffic engineering / Edited by C. A. O'Flaherty. – Oxford : Butterworth-Heinemann, 2006. – 544 p.
11. Chen X. Influence of bicycle traffic on capacity of typical signalized intersection / X. Chen, C. Chao, H. Yue // Tsinghua science and technology. – 2007. – Vol. 12. – Num. 2. – P. 198-203.

References

1. Renkin V. U. Avtomobilnyie perevozki i organizatsiya dorozhnogo dvizheniya / V. U. Renkin – M. : Transport, 1981. – 592 s.
2. Markowski M. J. Modeling behavior in vehicular and pedestrian traffic flow / M. J. Markowski. – New York : Umi, 2008. – 162 p.
3. Chen X. Capacity reliability of signalized intersections with mixed traffic conditions / X. Chen, C. Chao, D. Li, C. Dong // Tsinghua science and technology. – 2009. – Vol. 14. – Num. 3. – P. 333-340.
4. Shao Chang-qiao. Study of the saturation flow rate and its influence factors at signalized intersections in China / Chang-qiao Shao, Jian Rong, Xiao-ming Liu // Procedia Social and Behavioral Sciences. – 2011. – 16. – P. 504-514.
5. Susilo B.H. Modification of saturation flow by width of road approach / B.H. Susilo, Y. Solihin // Procedia social and behavioral science. – 2011. – Vol. 16. – P. 620-629.
6. Kremenets Yu. A. Tehnicheskie sredstva organizatsii dorozhnogo dvizheniya : [Tekst] / Yu. A. Kremenets, M. P. Pecherskiy, M.B. Afanasev. – M.: Izd-iy tsentr «Akademiya», 2005. – 279 s.

7. Sistemologiya na transporti. Organizatsiya dorozhnogo ruhu [Gavrilov E. V., Dmitrichenko M. F., Dolya V. K. ta in.]; za red. M. F. Dmitrichenka. – K. : Znannya Ukraini, 2007. – 452 s. – (5 kn./ Gavrilov E. V., Dmitrichenko M. F., Dolya V. K. ta in.; kn. 4).
8. Moughtin C. Urban design: street and square / C. Moughtin. – Oxford : Architectural Press, 2003. – 320 p.
9. Marshall S. Streets and patterns: The structure of urban geometry / S. Marshall. – New York : Spon Press, 2005. – 318 p.
10. Transport planning and traffic engineering / Edited by C. A. O'Flaherty. – Oxford : Butterworth-Heinemann, 2006. – 544 p.
11. Chen X. Influence of bicycle traffic on capacity of typical signalized intersection / X. Chen, C. Chao, H. Yue // Tsinghua science and technology. – 2007. – Vol. 12. – Num. 2. – P. 198-203.

Ройко Ю.Я. Исследование скорости движения в период промежуточных тактов светофорной сигнализации

В статье рассмотрены результаты исследования мгновенных скоростей движения в зоне регулируемых перекрестков при условии проезда их транспортными средствами без предварительной остановки. Результаты таких исследований дают возможность оценить эффективность светофорной сигнализации в период действия промежуточных тактов, то есть в те промежутки времени, в течение которых на регулируемых перекрестках существует наибольшая вероятность возникновения аварийной ситуации. Приведены графические зависимости изменения скорости движения от состава транспортного потока и проведена оценка времени проезда автомобилями зоны регулируемого перекрестка за время желтого сигнала в зависимости от состояния дорожного покрытия.

Ключевые слова: мгновенная скорость движения, состав транспортного потока, промежуточный такт, светофорная сигнализация, дорожное покрытие, дорожно-транспортное происшествие.

Royko Yu. Research velocity between the intermediate cycles traffic light signaling.

In the article the results of research instantaneous speeds in the zone controlled intersections provided passage of vehicles without first stopping. The results of these studies provide an opportunity to assess the effectiveness of traffic lights signaling the duration of the intermediate cycles, ie those intervals during which at controlled intersections there is the greatest likelihood of an emergency. An image changes depending on the speed of movement of traffic flow and estimated time of travel zone controlled intersections cars during yellow signal depending on the state of the road surface.

Keywords: instantaneous speed, traffic flow composition, intermediate cycle, traffic light signaling, road surface, road-traffic accident.

Ройко Ю.Я. – доцент, к.т.н., доцент кафедры транспортных технологий, Национальный университет «Львівська політехніка», м. Львів, Україна, e-mail: jurij.rojko@gmail.com

Рецензент: д.т.н., проф. **Марченко Д.М.**