

**Ю.Я. Ройко**

*Національний університет «Львівська політехніка»*

### **ДОСЛІДЖЕННЯ ВТРАТ ЧАСУ В ОСНОВНИХ ТАКТАХ НА РЕГУЛЬОВАНИХ ПЕРЕХРЕСТЯХ**

*За допомогою натурних досліджень визначено експериментальні значення стартової затримки під час роз'їзду черги транспортних засобів на регульованому перехресті. Встановлено, що найбільший вплив на цей процес здійснює склад транспортного потоку, ухил на підході до перехрестя, тип та стан дорожнього покриття, виражені у статті, як дорожні умови, а також психофізіологічні особливості водіїв. Важливим завданням наукового дослідження є удосконалення методів та методик щодо управління пропускнуою здатністю регульованого перехрестя шляхом мінімізації затримок транспорту під час його проїзду.*

*Ключові слова:* транспортний потік, затримка руху, черга транспортних засобів, регульоване перехрестя, склад транспортного потоку, інтенсивність руху.

**Ю.Я. Ройко**

*National University "Lviv Polytechnic"*

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ПОТЕРЬ ВРЕМЕНИ В ОСНОВНЫХ ТАКТА НА РЕГУЛИРУЕМЫХ ПЕРЕКРЕСТКАХ**

*С помощью натурных исследований определены экспериментальные значения стартовой задержки при разезде очереди транспортных средств на регулируемом перекрестке. Установлено, что наибольшее влияние на этот процесс осуществляет состав транспортного потока, уклон на подходе к перекрестку, тип и состояние дорожного покрытия, выраженные в статье, как дорожные условия, а также психофизиологические особенности водителей. Важной задачей научного исследования является совершенствование методов и методик по управлению пропускной способностью регулируемого перекрестка путем минимизации задержек транспорта при его проезде.*

*Ключевые слова:* транспортный поток, задержка движения, очередь транспортных средств, регулируемый перекресток, состав транспортного потока, интенсивность движения.

**Yu. Royko**

*National University "Lviv Polytechnic"*

### **RESEARCH OF TIME WASTE DURING THE GREEN INTERVALS AT SIGNALIZED INTERSECTIONS**

*The experimental values of the start delay during vehicle queue discharge at the signalized intersections are determined during field surveys. There is established that the biggest effect for this process is caused by traffic flow composition, grade at the intersection approach, type and condition of pavement, which are called as road conditions, and psychophysiological behavior of drivers. Improvement of methods and methodologies for signalized intersection capacity control by minimizations of traffic delays during its passing is the main task of scientific research.*

*Keywords:* traffic flow, traffic delay, vehicle queue, signalized intersection, traffic flow composition, traffic flow volume.

**Постановка проблеми.** Удосконалення методів управління транспортними та пішохідними потоками у межах сформованої забудови стає вкрай ускладненим. Інтенсивність досягає максимальних значень, часто зрівнюючись з практичною пропускнуою здатністю, а облаштування нерегульованих пішохідних переходів, особливо у центральній частині міст, де вони зустрічаються досить часто, спричиняє постійну затримку в русі автомобілів. Втрати часу є надзвичайно великими, безпека руху не забезпечується, тому ефективність транспортної системи є малою.

З метою покращення такої ситуації на перехрестях міських вулиць вводиться світлофорне регулювання, перевагою якого є розведення у часі найбільш інтенсивних потоків конфлікуючих напрямків, що збільшує показники безпеки руху, впорядковується руху пішоходів, які не можуть користуватись своїм пріоритетом на перетин проїзної частини у будь-які проміжки часу тощо. Проте, введення систем світлофорного регулювання не завжди розв'язує питання затримки руху, оскільки тепер вона визначається параметрами циклу регулювання і особливостями пофазного роз'їзду транспортних засобів.

Роз'їзд черги транспортних засобів на регульованому перехресті складається з декількох умовних етапів: 1) стартова затримка; 2) роз'їзд черги до досягнення максимальної інтенсивності;

3) максимальна інтенсивність роз'їзду (потік насичення); 4) сповільнення роз'їзду під час мигання зеленого сигналу; 5) час прориву (проїзд транспортних засобів на жовтий сигнал).

Розглянемо детальніше першу складову роз'їзду черги. Навіть із ввімкнення дозволяючого сигналу транспортні засоби, які є у потоці не відразу розпочинають рух, оскільки існує так звана стартова затримка на стоп-лінії. Стартова затримка – це постійна затримка транспортних засобів у циклі регулювання на початку основного дозволяючого такту.

Оцінка стартових втрат часу представляє безперечний практичний інтерес, особливо у випадках застосування коротких фаз [1–5]. Величина втраченого часу під час старту за даними різних авторів варіює в межах від 0,8 с до 4,5 с [1,2,4,6,7]. Такий широкий діапазон значень свідчить про різноманітність умов руху на регульованих перехрестях, де проводилися такі дослідження.

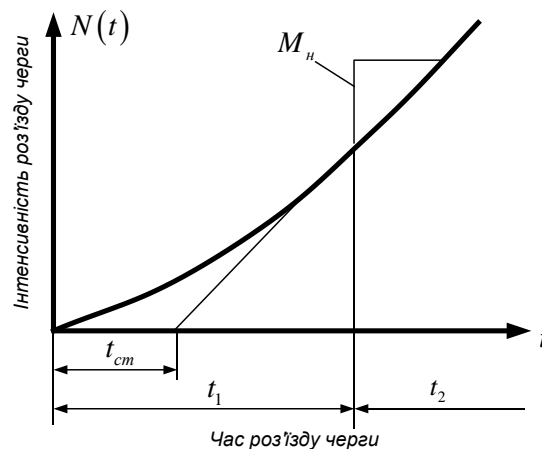
Стартові втрати часу можуть встановлюватися як у результаті спеціалізованих натурних досліджень, так і під час дослідження більш загального характеру в результаті побудови кумулятивної кривої (рис. 1) [4–6,8–10].

У працях [1,2,6,7,12] детально вивчено вплив різних чинників на величину стартових втрат. Насамперед відзначено вплив тривалості допоміжного такту (тобто тривалості горіння червоного і жовтого сигналів)  $t_{ч-ж}$ . Для стартових втрат часу  $t_{cm}$  найкращу апроксимацію даних досліджень дала залежність (1) [1,2]:

$$t_{cm} = 4.25 - 1.35 \cdot t_{ч-ж} \quad (1)$$

Таким чином, збільшення тривалості допоміжного такту (у разі поєднання червоного і жовтого сигналів) знижувало стартові втрати часу. З цього рівняння за тривалості  $t_{ч-ж}$  більше 3 с стартові втрати отримують від'ємні значення. Звідси можна зробити висновок, що водії починають рух до зеленого сигналу, що часто спостерігається в наших умовах.

Доцільно також розглянути чинники, які найбільше впливають на стартову затримку усіх автомобілів черги.



**Рис. 1. Початковий фрагмент кумулятивної кривої:  $t_{cm}$  – стартові втрати часу;  $t_1$  – час з моменту ввімкнення дозволяючого сигналу до настання моменту насичення;  $t_2$  – період сталих інтервалів руху через стоп-лінію;  $M_n$  – потік насичення (тангенс кута нахилу лінії наростання швидкості роз'їзду черги)**

На думку різних авторів, вона залежить від:

- часу реакції водія на зміну сигналів світлофора, що, у свою чергу, обумовлено його психофізіологічними особливостями та професійними навиками керування автомобілем. У роботах [6,8–10] вона становить 0,85 – 2 с;
- динамічних особливостей транспортних засобів. Для легкових автомобілів затримка, пов'язана з експлуатаційними особливостями може становити 1 – 3 с, а для вантажних, автобусів та тролейбусів до 4 с. Іноді у потоці також необхідно розглядати і рух

трамвайних вагонів та пов'язані з цим технологічні втрати часу на початковому етапі руху [6,9];

- ухилу на підході до стоп-лінії. За умови, коли черга транспортних засобів рухатиметься на спуск, стартова затримка може зменшуватися до 3% на 10% ухилу, або ж збільшуватися на таку ж величину за умови руху на підйом [6,12];
- погодних умов, типу та стану дорожнього покриття. Із погіршенням погодних умов, спричинених опадами або ж ожеледицею, зменшується коефіцієнт зчеплення і погіршуються стартові можливості транспортних засобів.

З огляду на це, встановлено, що стартова затримка є постійною сталою величиною втрати часу в циклі регулювання, а її дослідження, на різних за конструктивними особливостями перехрестях, дасть можливість удосконалити підходи до визначення раціональних часових меж його (циклу) складових.

Слід відзначити також те, що часто у фаховій літературі стартову затримку розглядають з погляду втрат часу лише першим транспортним засобом черги, хоча такі втрати часу є у всіх інших, які очікували права на проїзд. Винятком є лише ті, які проїхали стоп-лінію сходу, тобто не мали попередньої затримки в русі. Для оцінки стартової затримки усіма автомобілями необхідно провести аналіз процесу роз'їзду черги під час основного такту.

У зв'язку з цим **метою роботи** є вивчення процесу роз'їзду черги транспортних засобів на регульованих перехрестях з допомогою методів натурного дослідження для подальшої оптимізації режимів регулювання шляхом мінімізації затримок в русі під час проїзду перехрестя.

**Результати досліджень.** Враховуючи теоретичні методики [8–10] щодо означення та характеристики стартової затримки в межах регульованих перехресть, ґрунтуючись на методах транспортних досліджень [8–10] проведено ряд експериментальних вимірювань цієї величини на вулично-дорожній мережі міста Львова. Початковим етапом таких досліджень є вибір об'єктів та обсягу вибірки. Об'єктами досліджень є регульовані перехрестя, які залежно дорожніх умов (типу і стан покриття) розділені на чотири групи:

- I група – перехрестя зі сухим покриттям, яке викладене каменем (без ухилу);
- II група – перехрестя зі сухим покриттям, яке викладене каменем (з ухилом, підйом);
- III група – перехрестя зі сухим асфальтобетонним покриттям (без ухилу);
- IV група – перехрестя зі сухим асфальтобетонним покриттям (з ухилом, підйом).

Виходячи із твердження, що стартова затримка є в усіх автомобілів черги, які були зупинені на стоп-лінії на заборонний сигнал світлофора, проведено ряд вимірювань, за яких визначався час запізнення початку руху першого автомобіля від моменту ввімкнення дозволяючого сигналу світлофора; другого автомобіля від моменту початку руху першого і так кожного наступного. Це дало можливість експериментально визначити середню стартову затримку кожного транспортного засобу у черзі під час її роз'їзду. Результати таких вимірювань зображено на рис. 2.

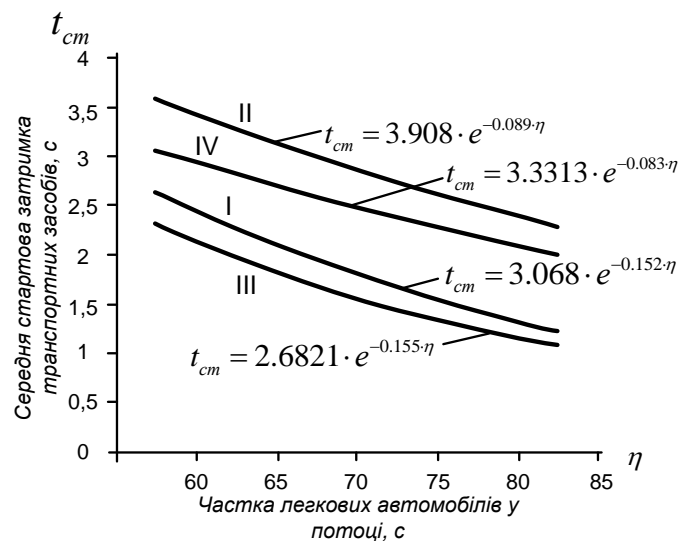


Рис. 2. Результати досліджень середньої стартової затримки у черзі транспортних засобів на дозволяючий сигнал світлофора залежно складу потоку та дорожніх умов

Аналізуючи цю графічну залежність, можна стверджувати, що за зміни ухилу на 20% у порівнянні з горизонтальними ділянками вулиць на під'їзді до перехрестя середня стартова затримка кожного автомобіля черги змінюється на 1,2 – 1,5 с. Дещо меншим є вплив типу та стану покриття, за яких зміна такої затримки становить до 1,0 с. Такі значення результатів дослідження на перший погляд є не значними, але якщо розглядати зазначені втрати часу для кожного транспортного засобу у потоках зі значною інтенсивністю, то за годину втрачаються кілька циклів.

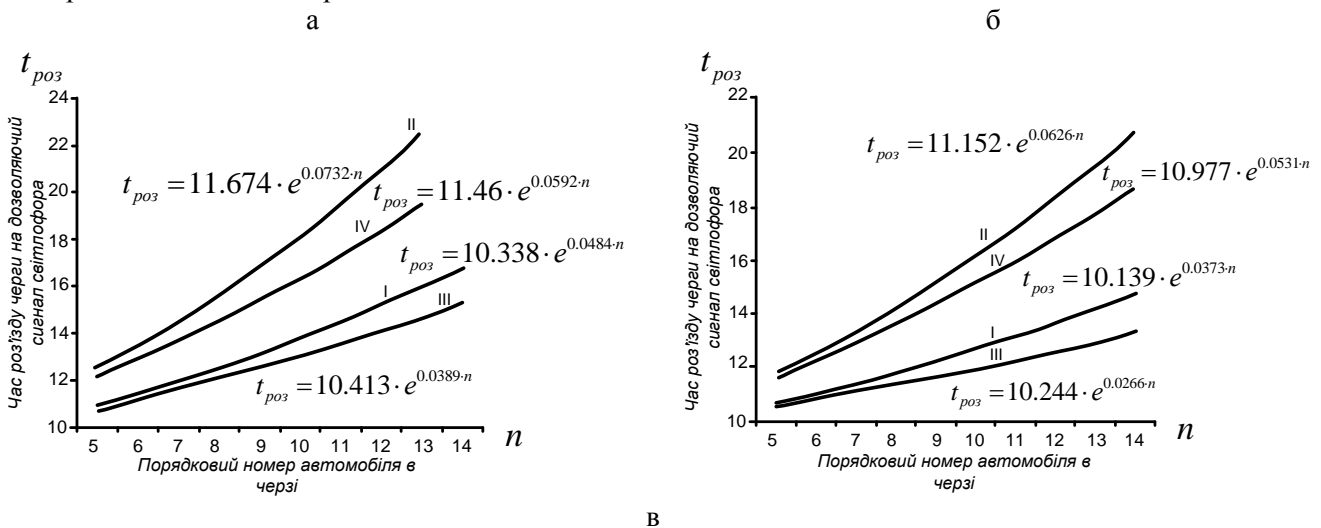
Для детальнішого аналізу проблеми на наступному етапі досліджень основну увагу зосереджено дослідженню впливу складу транспортного потоку на часові параметри роз'їзду черги транспортних засобів. Це необхідно для того, щоб мати можливість оцінити і порівняти його (складу) вплив на динаміку руху за певних дорожніх умов.

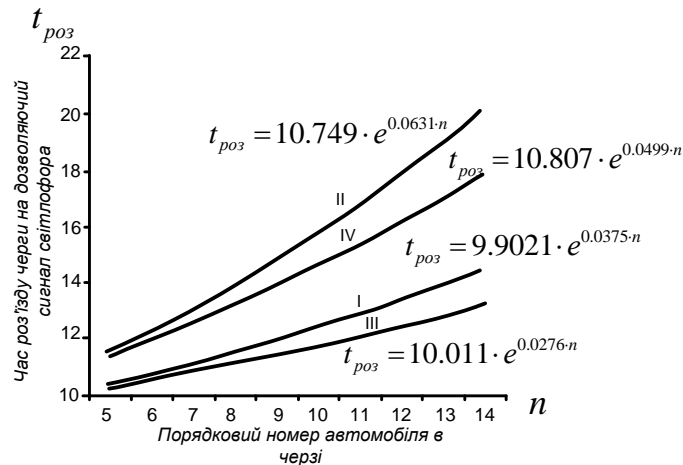
На підходах до перехресть, які розглядалися під час досліджень, транспортні потоки є досить неоднорідними, оскільки окрім легкових та вантажних автомобілів у ньому присутні також автобуси і тролейбуси, що суттєво впливає на процес роз'їзду черги не лише через їх нижчі динамічні характеристики, але також і те, що на цих підходах були необлаштовані зупинки громадського транспорту. Таке інженерне рішення може суттєво впливати на результати досліджень показників транспортного потоку під час руху у фазах регулювання. Проте, такі дослідження можуть дати відповідь на деякі питання щодо доцільності розміщення зупинних пунктів на підходах до регульованих перехресть з погляду оптимізації циклів регулювання, мінімізації затримки транспортних засобів тощо.

Доцільно також зазначити, що під час експериментальних досліджень виявлено існування тривалої стартової затримки на тих підходах, де у суміжній фазі здійснювали рух пішоходи, які на момент ввімкнення дозволяючого сигналу для транспорту не покинули проїзної частини.

Отож, у результатах вимірювань ці два чинники (зупинки громадського транспорту та наявність перешкод з боку пішоходів), які могли вплинути на викривлення результатів дослідження процесу роз'їзду черги, що складалась з неоднорідного потоку транспортних засобів, не враховувались.

За великої кількості вимірювань загалом вдалося визначити для всіх груп перехресть три типові за складом потоку види черг з близько 60%, 70% та 80% легкових автомобілів. Результати вимірювань наведено на рис. 3.





**Рис. 3. Результати натурних досліджень роз'їзду черги транспортних засобів на дозволяючий сигнал світлофора за різних складу потоку, дорожніх умов та типу покриття:**  
**а, б, в – черги транспортних засобів у яких відповідно 60%, 70% та 80% легкових автомобілів;**  
**I – IV – групи перехресть залежно дорожніх умов та типу покриття**

Оскільки тривалість дозволяючого сигналу на досліджуваних перехрестях була різною, то під час вимірювань визначався час, за який група з 14 транспортних засобів перетинала стоп-лінію. За результатами таких вимірювань можна зробити висновок, що:

- зі збільшенням частки легкових автомобілів на 10% тривалість роз'їзду черги з однакової кількості транспортних засобів зменшується на 2 с для кожної з груп;
- за наявності ухилу 20‰ тривалість роз'їзду черги з однакової кількості транспортних засобів збільшується у середньому на 4–5 с;
- тип покриття дає вплив до 1 с на тривалість роз'їзду черги, якщо воно у сухому стані.

Слід також зазначити, що під час подальших досліджень буде враховуватись тип кожного порядкового автомобіля в групі, а також зміна ухилу на підході до перехрестя, оскільки у результатах наведених досліджень на всіх перехрестях ухил становив близько 20%, тому зроблені висновки порівнюють відмінності в часі роз'їзду черги за його відсутності.

**Висновки.** За результатами експериментальних досліджень визначено величину впливу дорожніх умов (типу та стану покриття, ухилу на підходах до перехрестя), складу транспортного потоку на величину втрат часу в черзі транспортних засобів у фазі регулювання. Аналіз роз'їзду черги однакової довжини (12 – 14 транспортних засобів) показує найменший час, коли у потоці є 80% легкових автомобілів у третій групі умов – близько 14 с, а найбільший час роз'їзду – за 60% легкових у потоці для другої групи умов – близько 22 с. Найбільші стартові затримки становлять для другої групи умов при складі потоку 60% легкових автомобілів – 3,5 с. Отже, найважливішими чинниками, які можуть впливати на ефективність фази регулювання і пропускну здатність перехрестя, є склад потоку та позадвжній ухил.

#### Література

1. Левашев А. Г. Проектирование регулируемых пересечений: учеб. пособ. / А. Г. Левашев, А. Ю. Михайлов, И. М. Головных. – Иркутск : ИРГТУ, 2007. – 78 с.
2. Врубель Ю. А. Потери в дорожном движении /Ю. А. Врубель. – Минск: БНТУ, 2003. – 326 – 328 с.
3. Кременец Ю.А. Технические средства организации дорожного движения: [ученик для вузов] /Ю.А. Кременец, М.П. Печерский, М.Б. Афанасьев. – М.: Изд-ий центр «Академия», 2005. – 279 с.
4. 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.
5. 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.

6. 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.
7. Поліщук В. П. Теорія транспортного потоку: методи та моделі організації дорожнього руху /В. П. Поліщук, О. П. Дзюба. – К. : Знання України, 2008. – 175 с.
8. 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).
9. Організація та регулювання дорожнього руху: підручник /За заг. ред. В. П. Поліщука; О. О. Бакуліч, О. П. Дзюба, В. І. Єресов та ін. – К. : Знання України, 2012. – 467 с.
10. Markowski M. J. Modeling behavior in vehicular and pedestrian traffic flow /M. J. Markowski. – New York : Umi, 2008. – 162 p.
11. 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.
12. O'Flaherty C. A. Transport planning and traffic engineering /Edited by C. A. O'Flaherty. – Oxford : Butterworth-Heinemann, 2006. – 544 p.

Стаття надійшла в редакцію 28.04.2016