

УДК 656.13

**В. П. Матейчик**, д. т. н., проф.;**Р. В. Олійник**, к. фіз.-мат. наук, доц.;**С. О. Никонович**

## ОСОБЛИВОСТІ РУХУ СИНХРОНІЗОВАНОГО ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКУ

*На основі емпіричних досліджень встановлено основні характеристики транспортного потоку на регульованому перехресті дороги. Проаналізовано умови виникнення затору.*

### Вступ

Моделювання транспортних потоків (ТП) сьогодні переживає певну кризу [1], оскільки існує необхідність в корінній зміні підходів до вивчення поведінки ТП в мегаполісі. Це стосується, так званої, фундаментальної діаграми, яка описує залежність щільності потоку від його інтенсивності на певній ділянці дороги. При малих і високих значеннях щільності [2] спостерігається чітка кореляція з інтенсивністю, проте, для проміжних значень, відповідної гілки на фундаментальній діаграмі не існує, у зв'язку зі специфікою конкретної ділянки дороги. Сучасні гідродинамічні моделі ТП являють собою фундаментальну діаграму, як гладку (диференційовану) криву, але якщо її побудувати за емпіричними даними [2], то в області середніх значень щільності утворюється «хмара», яка не апроксимується кривою. Це зумовило те, що в низці робіт була відтворена емпірична фундаментальна діаграма за допомогою моделі кліткового автомату [3], з іншого боку, в роботах Карлоса Ф. Даганзо та Б. Кернера, запропоновано взагалі відмовитися від фазової діаграми, і ввести інші параметри — довжина черги, час проїзду перехрестя, тощо [4, 5]. У вітчизняній теорії організації дорожнього руху використовується така характеристика ТП, як склад ТП та співвідношення в ньому різних типів транспортних засобів (ТЗ), які характеризуються, в свою чергу, фізичними габаритами (СГ— статичний габарит). Але інтерес викликає динамічний габарит (ДГ) ТЗ — ділянка дороги, яка необхідна для безпечного руху в потоці з фіксованою швидкістю.

### Основна частина

Динамічний габарит обчислюється з формули

$$ДГ = СГ + \Delta L,$$

де  $\Delta L$  — безпечна дистанція, яка корелює з гальмівним шляхом ( $\Delta L_{ГШ}$ ) ТЗ з такою швидкістю руху.

Очевидно, що  $\Delta L = f(t, v)$ . Зростання щільності в потоці (зменшення  $\Delta L$ ) повинно супроводжуватися падінням середньої швидкості ТЗ. Ситуація, яка спостерігається в реальних ТП, а саме природа поведінки  $ДГ = f(v)$ , однозначно ще не визначена. Емпірично встановлено, що ця відстань суттєво впливає на взаємодію між сусідніми ТЗ. Якщо  $\Delta L \geq \Delta L_{ГШ}$ , то цією взаємодією можна знехтувати, тоді потік вільний, якщо  $\Delta L < \Delta L_{ГШ}$ , то  $ДГ = f(v, t)$ , тобто залежить від взаємодії між ТЗ. Знаходження функціональної залежності динамічного габариту від швидкості є пріоритетною задачею. При цьому затор, і, як наслідок, виникнення черги може відбутися як спонтанно, наприклад, у разі зупинки якого-небудь одного ТЗ, так і при невідповідному регулюванні світлофорного перехрестя. При цьому, зворотний процес, затор  $\Rightarrow$  вільний рух, відбувається досить ускладнено, для ТП характерний опір цьому процесу.

Об'єктом дослідження є тривіальне перехрестя в центральному районі міста Києва (вул. Кіквідзе—вул. Бастіонна). Протягом декількох місяців досліджувалася дорожньо-транспортна ситуація

на даному перехресті. Була встановлена типова ситуація, яка спостерігалася щодня (Пн. — Пт. з 7<sup>00</sup> до 13<sup>00</sup>) — виникнення традиційного затору.

Необхідно відмітити, що входження в затор і його зникнення відбувалося досить стрімко. Чітко простежується невідповідність зеленої світлофорної фази ( $\tau_3 = 40$  с) реальній інтенсивності ТП ( $J = 2500$  год<sup>-1</sup>), оскільки пропускна здатність даного світлофорного регулювання становила близько 1200 год<sup>-1</sup>. Ефективність роботи світлофорного перехрестя показана у вигляді контрастних стрічок (рис. 1).

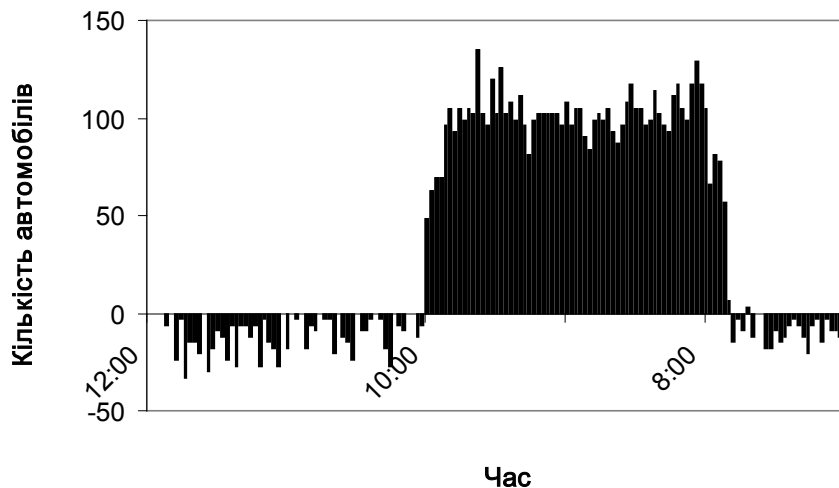


Рис. 1. Ефективність світлофорного регулювання

Від'ємна стрічка вказує на недозавантаженість перехрестя (кількість автомобілів, які ще б змогли проїхати); додатна стрічка — це кількість автомобілів, яку світлофор зупинив, утворивши чергу, тобто це перевантаженість перехрестя. Нуль в даному випадку відповідає оптимально підбраній світлофорній фазі (кількість ТЗ, що відповідає за «0» приблизно дорівнює 60). В період часу 8<sup>00</sup> – 10<sup>00</sup>, спостерігається очевидна невідповідність тривалості  $\tau_3$ , що спричиняє виникнення черг довжиною 800 – 1000 м. Своєчасна зміна фази світлофорного регулювання може запобігти виникненню тривалого затору, так, наприклад, зі збільшенням зеленої світлофорної фази вдвічі, екологічне навантаження даного перехрестя буде оптимальним.

Проблема, яка проявилася на досліджуваному перехресті, неявно зароджувалася, формувалася і розвивалася на попередній ділянці автомагістралі. Сьогодні, висувається дві причини виникнення затору:

- звуження (згин, поворот) проїжджої частини дороги;
- один ТЗ, який випав з синхронізованого ТП, заважає руху іншим ТЗ.

Структурно обидва варіанти тотожні. Вони зводяться до того, що динамічні габарити сусідніх ТЗ в сумі менші за динамічний габарит третього ТЗ, який не може проїхати між ними і краєм дороги. В цьому випадку ДГ не залежить від особливостей водія, при цьому також можна вилучити з розгляду і гальмівний шлях, оскільки гальмівні якості сучасних автомобілів все більше уніфікуються. На сьогоднішній день про властивості ДГ відомо тільки те, що при збільшенні швидкості він зростає. Емпіричні дослідження динамічного габариту ТЗ, як функції швидкості на даній ділянці дороги, дозволили отримати параметри потоку, які можуть сигналізувати про зародження заторної ситуації (рис. 2).

При середніх швидкостях потоку більших за 30 км/год ДГ значно перевищує гальмівний шлях, це означає що потік знаходиться у фазі — вільний рух. При досягненні ТП середньої швидкості близько 30 км/год динамічний габарит починає стрімко зменшуватися до розмірів близьких гальмівного шляху. Внаслідок чого, спостерігається стрибкоподібна зміна швидкості ТП до 20 км/год. При цій швидкості знову настає стиснення потоку до розмірів 4СТ або

$2D_{\min}$  — це умова виникнення затору, після чого швидкість стрибкоподібно зменшується вдвічі, потік переходить в режим руху «go and stop», а ДГ досягає СГ.

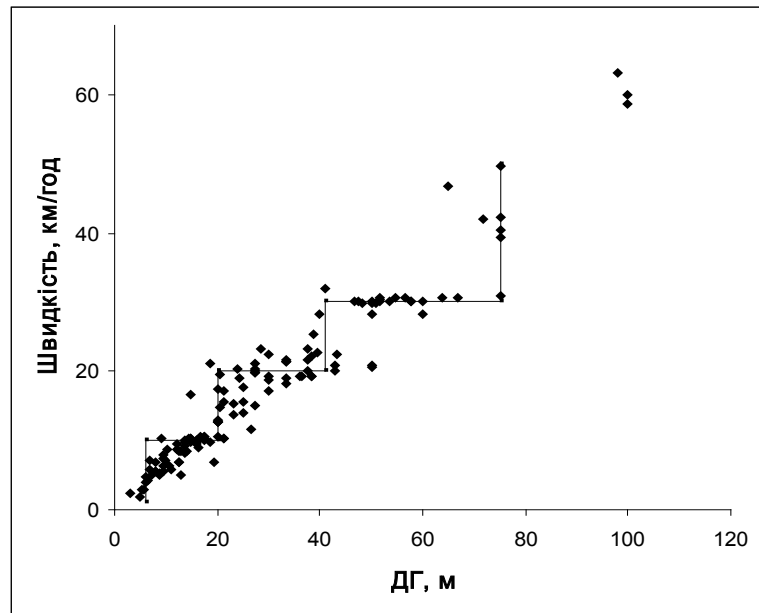


Рис. 2. Залежність ДГ від середньої швидкості ТП

### Висновок

Стрибкоподібна поведінка в залежності  $DG = f(v)$ , може бути обумовлена фазовими переходами, що протікають в транспортних потоках: вільний потік  $\Rightarrow$  синхронізований потік  $\Rightarrow$  «go and stop»  $\Rightarrow$  затор.

На основі аналізу проведених емпіричних досліджень, можна однозначно стверджувати, що передвісником утворення майбутнього затору, є виконання умови  $DG \leq 20$  м.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Семенов В. В. Математическое моделирование транспортных потоков мегаполиса / Семенов В. В. (Препринт № 34 Института прикладной математики им. М. В. Келдыша РАН, 2004).
2. Олійник Р. В. Фазові переходи в транспортних потоках / Р. В. Олійник, С. О. Никонович. — Вісник. — 2009. — № 18/2009. — С. 160—163.
3. Comari E. G., Levi G., A realistic simulation for Highway Traffic by the use of Cellular Automata, Lecture Notes In Computer Science; 2002, Vol. 2329 Proceedings of the International Conference on Computational Science-Part I, P. 763—772.
4. Daganzo C. F. Remarks on Traffic Flow Modeling and its Applications / C. F. Daganzo.
5. Kerner B. S., Klenov S. L., Konhäuser P. Asymptotic theory of traffic jams // Phys. Rev. — 1997. — Vol. E 56. — P. 4200—4216.

Рекомендована кафедрою автомобілів та транспортного менеджменту

Надійшла до редакції 10.09.09  
Рекомендована до друку 20.10.09

**Матейчик Василь Петрович** — завідувач кафедри, **Олійник Ростислав Васильович** — доцент, **Никонович Сергій Олександрович** — асистент.

Кафедра екології та безпеки життєдіяльності, Національний транспортний університет, м. Київ