

## НОВА ПАРАДИГМА ТА АЛГОРИТМИ В ОРГАНІЗАЦІЇ ДОРОЖНЬОГО РУХУ В МІСТАХ

*В.І. Гук, д.т.н., професор,  
Харківська школа архітектури,  
О.В. Запорожцева, к.т.н., доцент  
Харківський національний автомобільно-дорожній університет*

Нова парадигма в теорії руху транспортного потоку, згідно теорії систем, є безупинна зміна його стану, що у спрощеній формі являє собою перемінну (вектор) і разом із вхідною інформацією (інтенсивністю чи швидкістю) цілком визначає динаміку транспортного потоку. Якщо розглядати транспортний потік сам по собі, без вхідної інтенсивності чи швидкості, то знання стану потоку в  $i$ -й момент часу (разом зі знанням структури і параметрів) досить для того, щоб передбачити його майбутній рух.

Таким чином, поняття стану є основним і фундаментальним поняттям і формулюється: «Даний стан транспортного потоку в момент часу  $t_0$  і усі вхідні величини (інтенсивність чи швидкість), які визначені для часу  $t_0$  і далі, цілком визначають поведінку транспортного потоку при всіх  $t > t_0$ ».

Будемо розрізняти згідно з [1, 2] такі види станів:

1. Нульовий стан, що відповідає відсутності руху транспортного потоку й характеризується двома видами:

а) порожня дорога;

б) затор.

І в тому, і в іншому випадку  $N(t) = 0$ ,  $V(t) = 0$ .

2. Сталий стан транспортного потоку, при якому інтенсивність у будь-якому перетині і швидкість на будь-якій ділянці дороги залишаються незмінними протягом як завгодно тривалого проміжку часу, тобто

$$\frac{dV}{dt} = 0; \quad \frac{dN}{dt} = 0; \quad \frac{dQ}{dt} = 0. \quad (1)$$

Це сталий режим руху транспортного потоку по вулично-дорожній мережі при постійних значеннях інтенсивності з постійною швидкістю.

3. Стан рівноваги є різновидом зазначених вище станів, коли відсутні зміни інтенсивності, швидкості, дороги й однакові керуючі впливи водіїв.

Оскільки в реальному транспортному потоці завжди мають місце флуктуації інтенсивності і швидкості, різні елементи міських вулиць і доріг і різні керуючі впливи водіїв, то стан рівноваги може бути стійким чи хитливим.

4. Періодичний стан, що найбільш властиво міському руху на вулично-дорожніх мережах з модульованою довжиною перегону й ізольованим регулюванням. У результаті рух потоку періодично зупиняється. Розрахунки, пов'язані з визначенням транспортного стану вулично-дорожньої мережі, будемо виконувати за допомогою схем заміщення, складених з однотипних ідеалізованих елементів (графів зв'язку), що відображають найбільш характерні властивості елементів мережі, незалежно від їх дійсного призначення. Кількісна характеристика цих властивостей дається числовими значеннями параметрів

Ефективне використання положень теорії станів транспортного потоку в практичних цілях стає можливим тільки в тому випадку, коли теоретичні уявлення набувають конкретного і точного характеру в кількісній формі. При цьому досягнута повнота кількісної інформації, достатньої для технічних застосувань, коли кожна з величин, важливих для транспортного процесу, буде визначена, як функція аргументів, що характеризують рух

транспортного потоку. Нині кількісні співвідношення вивчаються достатньо енергійно, але в основному числовими методами на основі експериментальних спостережень.

Хоча результати числового рішення виражають великий обсяг корисних знань, але вони не визначають внутрішніх причинно-наслідкових зв'язків, що характеризують транспортний потік. Розрізнені окремі експериментальні залежності, що пов'язують одну з одною окремі змінні (інтенсивність швидкість, інтенсивність – кількість ДТП, швидкість – інтервали та ін.), не з'єднані загальним рівнянням, більше не можуть привести до повної і виразної картини, тим паче, що вони характеризують тільки те місце, де спостерігалися. Проте числові методи можуть бути істотно посилені за допомогою інших засобів дослідження, які ґрунтуються на аналізі фізичного механізму транспортного потоку, що приводять до важливих співвідношень, які не вдається одержати іншими засобами. Як показує досвід, синтез цих співвідношень і даних числового розв'язання або експерименту є надзвичайно плідним [1, 3].

Для визначення кількісних співвідношень замінимо звичні змінні потоку транспорту величинами комплексного типу, які складені з тих самих змінних, але в певних поєднаннях, що залежать від природи транспортного потоку. Комплексні змінні згідно з [1-3] є узагальненими змінними.

Для більш повної характеристики станів руху транспортного потоку визначимо можливі критерії при оцінці умов руху в просторі і в часі. Охарактеризуємо транспортний потік всіма вище одержаними параметрами і змінними. Такий підхід дозволить одержати найбільший різновид кількісних співвідношень. Врахуємо:

- протяжність смуги руху  $x$ , км; [L];
- час руху  $T$ , год.; [T];
- швидкість потоку  $V$ , км/год.;
- щільність потоку  $Q$ , авт./км;
- кількість потоку  $\lambda$ , авт.; [A];
- інтенсивність  $N$ , авт./год.;
- потужність руху  $M$ , авт. км/год.; [A][T]<sup>-2</sup> [L];
- кількість руху  $D$ , авт. км; [A][L];
- роботу потоку  $H$ , авт. км/год.;
- динамічний габарит  $S$ , км/авт.;
- інерційність потоку  $J$ , авт. год./км;
- напруженість руху  $C$ , кмгод./авт, [L][T][A]<sup>-1</sup>;
- габаритна довжина автомобіля  $l_a$ , м;
- прискорення автомобіля  $a$ , м/с, [L][T]<sup>-2</sup>.

Тепер інтенсивність транспортного потоку на одній смузі визначимо, як функцію вищезгаданих величин

$$N=f(x, T, V, Q, M, D, H, S, J, C, l_{cp}). \quad (2)$$

Узагальнюючи, знайдемо інтенсивність в просторовому уявленні

$$N_{np} = \frac{\lambda V}{x} f\left(\frac{TV}{x}, \frac{Qx}{\lambda}, \frac{Mx}{\lambda V^2}, \frac{D}{\lambda x}, \frac{H}{\lambda V}, \frac{S\lambda}{x}, \frac{JV}{\lambda}, \frac{C\lambda V}{x^2}, \frac{ax}{V^2}, \frac{l_a}{x}\right). \quad (3)$$

У часовому уявленні замість базового параметра  $x$  необхідно прийняти час  $T$ , тому ряд критеріїв зміниться. Так,

$$N_t = \frac{\lambda}{T} f\left(\frac{x}{VT}, \frac{QVT}{\lambda}, \frac{MT}{\lambda V}, \frac{D}{\lambda VT}, \frac{H}{\lambda V}, \frac{S\lambda}{VT}, \frac{JV}{\lambda}, \frac{C\lambda}{VT^2}, \frac{aT}{V}, \frac{l_a}{VT}\right). \quad (4)$$

Змінюючи основні величини на інерційність  $J$ , напруженість  $C$  і швидкість  $V$ , одержимо наступну функціональну залежність інтенсивності від інших параметрів і змінних потоку

$$N_{np} = V \sqrt{\frac{J}{C}} f\left(\frac{T}{\sqrt{CJ}}, \frac{x}{V\sqrt{JC}}, Q\sqrt{\frac{C}{J}}, \frac{M}{V}\sqrt{\frac{J}{C}}, \frac{D}{x^2}\sqrt{\frac{J}{C}}, \frac{H}{Vx}\sqrt{\frac{J}{C}}, S\sqrt{\frac{J}{C}}, \frac{a\sqrt{CJ}}{V}, \frac{l_a V}{\sqrt{CJ}}\right), \quad (5)$$

У рівнянні (5) з'явилися нові критерії, відмінність яких від попередніх полягає в тому, що щільність потоку  $Q$  представлена відношенням  $\sqrt{J/C}$ .

Таким чином, застосування методу узагальнених змінних дозволяє одержати не тільки кількісну оцінку різних ділянок вулиць і дорогий з позиції безпеки і ефективності дорожнього руху, але і визначити критерії для управління дорожнім рухом, які є основою алгоритмів управління в реальному масштабі часу. Рекомендуються наступні алгоритми:

1. Розрахунок інтенсивності в  $j$ -перетині за спостереженнями на першому перетині

$$N_{ij} = \frac{N_i V(x_{ij}, t)}{x_j}; \frac{\lambda_i V(x_i, t)}{x_i} = N_i.$$

2. Поточний аналіз станів дорожнього руху

$$\frac{Q_i T V_i}{\lambda_i} < \Gamma < \frac{Q_j T V_j}{\lambda_j}.$$

3. Оцінка завантаження вулиць і доріг

$$\frac{M(x_i, t)}{Q_i V_i^2}; \frac{l_a}{x_i}; \frac{Ba}{V^2}; \frac{\lambda_i(x_i, t)}{\lambda_m}.$$

4. Управління рухом груп автомобілів

$$\frac{J_i}{J_{on}} = \frac{\lambda_i / V_i}{\lambda_{on} / V_{on}}; \frac{Q_{on} x_s}{\lambda_{on}}; \frac{V_i}{\lambda_i} \leq J_{on} \leq \frac{V_{oo}}{\lambda_{on}}.$$

5. Виявлення заторів з порушення безперервності потужності потоку

$$\frac{(n-1) \{ \min[M(x_{i,j}, t)]_{j=1}^n \}}{\sum_{j=1}^n M(x_{i,j}, t) - \min[M(x_{i,j}, t)]_{j=1}^n},$$

де  $n$  – число смуг руху,

$j$  – номер смуги.

6. Оцінка продуктивності дорожнього руху

$$\frac{D_i(\lambda_{j=1}, x_i)}{\lambda_i x_i}; \frac{H_i(\lambda_{j=1}, x_i, t)}{\lambda_i V_i}.$$

7. Оцінка станів безпеки:

- з дистанції  $\frac{S_{on,i} \lambda_i}{x_i}$ ,

- з напруженості  $\frac{CV(x_i, t)}{x_i^2 / \lambda_i(x_i)}$ ,

- з шуму прискорень  $\frac{a_i x}{V_i^2}; \frac{V(x_i, t)}{V_0(x_i, t)}; \frac{Q(x_i, t)}{Q_m(x_i, t)}$ .

8. Показник координації управління в АСУД

$$\frac{\beta_i(x_i, t)}{\beta_n(x_i, t)} = \frac{L_i V_i(x_i, t)}{L_n V_n(x_i, t)} \leq 1.$$

Кількість і тип алгоритмів залежить від вибраної стратегії управління.

При відбудові після перемоги у війні наших міст доцільно регульовані перехрестя розташовувати в просторі на постійній відстані в 500 метрів, тоді затримки в обох напрямках руху будуть мінімальні.

Література:

1. Вильсон А. Дж. Энтропийные методы моделирования сложных систем / Вильсон А. Дж.; пер. с англ. – М.: Наука, 1978. – 248с.
2. Гук В.І. Транспортні потоки : теорія та їх застосування в урбаністиці: монографія / В.І. Гук, Ю.М. Шкодовський. – Х.: Золоті сторінки, 2009. – 232 с.
3. Сигорский В.П. Математический аппарат инженера / Сигорский В.П. – К.: Техніка, 1975. – 768 с.