

УДК 656.001.5; 625.712

ДИНАМІКА ТРАНСПОРТНИХ ПОТОКІВ В УМОВАХ МІСТА

DYNAMICS OF TRANSPORT FLOWS IN CITY CONDITIONS

Гук Валерій

Харківський національний університет будівництва та архітектури
вул. Сумська, 40, м. Харків, 61000

Covering the new approach to the study of traffic flow states based on the dynamics of its characteristics. The change of states or the dynamics of traffic as a system of road traffic flow is first described by the mutual change in speed and intensity over time. The equations for solving practical problems of the dynamics of changes in the rate and dynamics of changes in intensity are summarized. Provided summary of the main sections of the dynamic theory. The equations for solving practical problems of the dynamics of changes in the rate and dynamics of changes in intensity are summarized. Provided summary of the main sections of the dynamic theory.

Для вирішення різних прикладних завдань, що виникають при розрахунку пропускної спроможності міських вулиць і доріг, особливо з врахуванням різних методів і засобів організації руху, в цілях забезпечення вимог безпеки, необхідно перш за все скласти рівняння руху транспортного потоку (трафіку), що описують його динаміку на різних по геометричних зображеннях елементах магістралей.

Розробкою теорії транспортного потоку займалися і займаються багато фахівців різних країн. Проте все зводилося або до моделювання взаємозв'язку між інтенсивністю N і швидкістю V , або до розподілу інтервалів між автомобілями, що явно є не повним розкриттям динаміки трафіку. Не враховувалася одна особливість автомобіля, що він одночасно є і джерелом трафіку і джерелом його швидкості, тобто дуальність автомобіля.

Знання динаміки транспортного потоку на перегоні, перед перехрестям і після проходження лінії «stop», а також положення автомобіля і дія на нього інших довколишніх автомобілів дозволяють отримати ряд рівнянь стану або описати рух транспортного потоку як в цілому по магістралі міста, так і на її геометричних елементах

Так, зміна кількості автомобілів в трафіку λ під впливом швидкості V визначається:

$$C \frac{d^2\lambda}{dt^2} + \frac{1}{Q} \cdot \frac{d\lambda}{dt} + \frac{\lambda}{J} = V(t) \qquad C \frac{dN}{dt} + \frac{N}{Q} + \frac{\lambda}{J} = V(t) \qquad (1)$$

В той час зміна швидкості трафіку V під впливом зміни інтенсивності N , описується:

$$J \frac{d^2x}{dt^2} + Q \frac{dx}{dt} + \frac{x}{C} = N(t) \qquad J \frac{dV}{dt} + QV + \frac{x}{C} = N(t) \qquad (2)$$

де C – напружність руху, Q – щільність трафіку, J – інерційність руху.

Напружність, що особливо має місце перед перехрестям, де трафік стискається у групу, якій при зеленому сигналі світлофора доцільно рухатись далі без зупинок, дозволяє підвищувати пропускну спроможність перегонів магістралей. Середня швидкість групи суттєво вище ніж рух безперервного потоку, швидкість якого через 3-5 хвилин досягає нуля. В свою чергу, розподіл швидкості автомобілів у групі, від першого в 60 км/год до послідуєчого 15-го в 40 км/год визначає інерційність. Середня швидкість групи (кількості потоку λ) буде 50 км/год. На це вказує встановлений закон зміни кількості потоку λ «зміна інтенсивності трафіку за деякий час дорівнює зміні кількості потоку за той же час», що

дозволяє по початковій швидкості першого автомобіля групи знаходити кінцеву швидкість автомобілів в трафіку, минувши всі обчислення проміжних швидкостей. У зв'язку з однорідністю простору магістралі кількість автомобілів у групі залишається незмінною, і тому має місце закон збереження кількості потоку.

Суть транспортних потоків, як системи «автомобілі – водії – дорога», його динаміка, характеристики і закономірності станів, зміна яких визначає рух, їх прикладне танення розкриваються в фундаментальних роботах автора [1-3], де сформовано такі напрямки:

1. Теорія вимірників транспортних потоків (параметри трафіку), де на фундаменті головних вимірників: одиниця потоку (авт.), транспортний шлях (км) і транспортний час (год) – визначаються похідні від них, інтенсивність, швидкість, щільність, потужність, напруженість, інерційність та інші що дозволяють керувати транспортним рухом. У потенційній формі обґрунтовані нові вимірники трафіку як то: дорожній і транспортний потенціали, ексергія (зовнішня робота системи) і потужність трафіку – які дозволяють вперше складати рівняння станів у диференціальній формі (1),(2) з врахуванням причинно-наслідкових зв'язків і динаміки трафіку. Особливий інтерес з прикладного підходу надає потужність трафіку як системи «дорога – автомобілі». Це добуток параметра в перетині магістралі (інтенсивності) на параметр руху у просторі магістралі (швидкість) (авт.км/год²). Наявність у знаменнику прискорення (год²) вказує на необхідність управляти трафіком, підтримуючи постійну швидкість

2. Теорія станів транспортних потоків, яка включає аналіз і математичний опис всіх (відомих і нових) вимірників транспортних потоків, побудову і розв'язання рівнянь станів для різних умов руху з урахуванням зміни інтенсивності, розв'язання рівнянь й аналіз зміни кількості потоку в залежності від зміни швидкості, рівняння і аналіз зміни інтенсивності і швидкості при напруженому русі і в щільному транспортному потоці, вирішення загальних рівнянь (1) та (2). Так у рівнянні (1) першій член враховує зниження швидкості з ростом напруженості (трафік сжимається), другий член враховує постійну швидкість руху на перегоні, а третій – зростання швидкості після затримки. У рівнянні (2) першій член описує зростання інтенсивності у просторі, другий вказує на постійне значення інтенсивності на перегоні, а третій – на зниження інтенсивності після затримки. То б то, рух трафіку від перехрестя по перегону до перехрестя описується зміною станів.

3. Теорія кількісного аналізу станів транспортних потоків, яка включає використання методу узагальнених змінних, визначення структури кількісних співвідношень що характерні для транспортних потоків та аналіз кількісних співвідношень. Для більш повної характеристики станів руху транспортного потоку визначино можливі критерії при оцінці умов руху в просторі і в часі. Характеризовано транспортний потік всіма вище одержаними параметрами і змінними. Такий підхід дозволить одержати найбільший різновид кількісних співвідношень. знайдено узагальнений вплив на інтенсивність всіх параметрів 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:

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

Здійснено аналіз 26 критеріїв і наведено її практичне застосування в керуванні рухом транспортним потоком.

4. Терія хвиль транспортного потоку, яка включає методи теорії хвиль для кількісного аналізу розподілених станів транспортних потоків, скалярне хвильове рівняння, гіперболічні хвилі швидкості трафіку, кінематичні хвилі щільності в транспортному потоці, обернені (ударні) хвилі в транспортному потоці, хвилі трафіку в зоні регульованого перехрестя, хвилі трафіку в умовах нерівномірного розподілу параметрів (транспортне поширення і час реакції). Для підвищення пропускної спроможності в умовах функціонування АСУ-Д потік автомобілів необхідно розбивати на групи, використовуючи змінну - кількість потоку λ (авт.), оскільки швидкість групи в 1,5 – 2 рази вище швидкості потоку в колонному русі. Дане положення має і містобудівний аспект, оскільки організація безперервного руху груп автомобілів (хвиль щільності) на вулично-дорожній мережі міста вимагає розміщення світлофорних об'єктів на магістралях для підтримки розривів між хвилями через 500-600м. Ця відстань і має стати модулем для довжини перегону. При цьому відстань між перетинами може мати протяжність перегону в 2 – 3 модулі, але тоді між модулями потрібно розміщувати регульовані пішохідні переходи, світлофори, які підтримуватимуть постійну групову швидкість потоку. Отже, структура вулично-дорожньої мережі має бути близькою до прямокутної або радіально-кільцевої з дугами, що дорівнюють довжині радіусу, тобто 500 – 600м.

5. Окремо розвивається теорія оцінки станів дорожнього руху в умовах нерівномірного розподілу транспортного потоку по міських вулицях і дорогах, де враховується не тільки щільність, а і градієнт щільності, який, в свою чергу, визначає параметр мобільності (добуток дальності руху без затримок на швидкість руху)

$$\frac{N}{\frac{dQ}{dx}} = l_{cp} V = \beta, \text{ (км}^2\text{/год)}, \quad (5)$$

де β коефіцієнт, який характеризує "рухливість" автомобілів або нерівномірність їх руху по дорозі. Одночасно він є об'єктивним критерієм кількісної оцінки якості організації дорожнього руху в місті, як похідна середньої дальності вільного пробігу без затримки на середню швидкість потоку. Чим β більше, тим вище якість організації дорожнього руху. Як критерій стійкості дорожнього руху він визначений у кінематичних хвилях.

Таким чином, рух трафіку в просторі вулиць і доріг адекватне руху плоскої хвилі, що біжить. Хвилевими властивостями володіють всі змінні потоку. Обґрунтовано основні п'ять видів одновимірних скалярних хвильових рівнянь і наведено приклади їх використання в проектуванні структур вулично-дорожніх мереж, магістралей і в організації дорожнього руху. Наявність зворотних хвиль підтверджена натурними спостереженнями. Розроблено методи проектування, алгоритми і програми організації руху груп із автомобілів на міських магістралях і складено рекомендації по зміні та доповненню відповідних розділів ДБН. Рекомендовано новий критерій (коефіцієнт оцінки стану поширення дорожнього руху(5)) використовувати в практиці проектування комплексних транспортних систем.

Література:

1. Гук В.И. *Элементы теории транспортных потоков и проектирование улиц и дорог* / В.И. Гук. – К.: УМК ВО, 1991. – 254 с.
2. Гук В.И. *Транспортні потоки : теорія та їх застосування в урбаністиці: монографія* / В.И. Гук, Ю.М. Шкодовський. – Х.: Золоті сторінки, 2009. – 232 с.
3. Гук В.И. *Теория измерителей транспортного потока (параметры трафика)* / В.И. Гук // монографія. *Palmarium. academic publishing*. 2017. 162 p.