

Цимбал С.В., завідувач кафедри Автомобілів
та транспортного менеджменту, к.т.н., доц.
Коваль Р.В., аспірантка кафедри Автомобілів
та транспортного менеджменту
Вінницький національний технічний університет

АНАЛІЗ ТЕОРІЙ МОДЕЛЮВАННЯ ТРАНСПОРТНИХ ПОТОКІВ

Активний розвиток транспортних систем сприяє зростанню кількості досліджень у цій галузі, при цьому торкається великої кількості наукових галузей. Ряд досліджень стосується екології (зниження впливу емісії шкідливих речовин та шумових впливів на навколишнє середовище), хімії (розробка нових, більш економічних та чистих видів палива та матеріалів для обслуговування автомобілів), важкої промисловості (створення нових матеріалів, що володіють кращими властивостями), економіки та багатьох інших. Одне з найважливіших місць займають дослідження щодо підвищення безпеки дорожнього руху та його оптимізації. Однак усе це має ґрунтуватися на певних теоретичних знаннях. При розробці заходів та методик підвищення ефективності та безпеки дорожнього руху неможливо діяти, не опираючись на теорію транспортних потоків та знання про фізичну сутність функціонування транспортних систем.

Однією з різновидів моделі LWR є модель Танака, запропонована ним у 1963 р. [1]. Автор визначає залежність щільності від швидкості $\rho(v)$ як обернено пропорційну середній відстані між автотранспортними засобами при заданій швидкості v :

$$\rho(v) = \frac{1}{d(v)} \quad (1)$$

Середня (безпечна) відстань між транспортними засобами $d(v)$ визначається за такою формулою:

$$d(v) = L + c_1 v + c_2 v^2 \quad (2)$$

де L – середня довжина транспортного засобу ($L = 5,7\text{м}$);

c_1 – час реакції водія ($c_1 = 0,504\text{с}$);

c_2 – коефіцієнт пропорційності гальмівному шляху, що залежить від дорожніх умов.

За нормальних умов показник $d(v)$ буде представлений наступною залежністю:

$$d(v) = 5,7 + 0,504v + 0,0285v^2 \quad (3)$$

Для мокрого асфальту та зледенілої дороги коефіцієнт пропорційності гальмівного шляху становитиме 0,0570 та 0,1650 відповідно [2].

Подальшим розвитком моделей транспортних потоків послужив облік у них дистанції видимості дороги водієм [3] (це було згадано Дж. Уїземом в 1955 р., проте остаточно було запропоновано ним же в 1974 р.):

$$v(t, x) = V(p(t, x)) - \frac{D(p(t, x))}{p(t, x)} \cdot \frac{\delta p(t, x)}{\delta x}, \quad D(p) > 0$$

Звідси з урахуванням закону збереження кількості автотранспортних засобів отримаємо наступне:

$$\frac{\delta p}{\delta t} + \frac{\delta Q(p)}{\delta x} = \frac{\delta}{\delta x} \left(D(p) \frac{\delta p}{\delta x} \right) \quad (4)$$

У формулі (4) $Q(p)$ – інтенсивність потоку транспортних засобів (кількість автомобілів, які проходять одиницю часу через задані координати). Це рівняння показує, що швидкість знижується водіями при збільшенні щільності потоку автотранспортних засобів, що йдуть попереду, і збільшується при зменшенні.

Модель Уїзема називається залежністю (4) у сукупності з деякими обмеженнями щодо щільності потоку транспортних засобів.

Одним із важливих кроків у становленні теорії транспортних потоків стала модель Пейна, запропонована ним у 1971 р. [4]. Цю модель можна сприймати як закон збереження:

$$\frac{\delta p}{\delta t} + \frac{\delta(pv)}{\delta x} = 0$$

Тут передбачається, що бажана швидкість встановлюється миттєво.

Власне модель Пейна описується такою системою:

$$\begin{cases} \frac{\delta p}{\delta t} + vp \frac{\delta p}{\delta x} = 0 \\ \frac{\delta v}{\delta t} + \frac{Dv}{\tau p} \cdot \frac{\delta v}{\delta x} = \frac{V-v}{\tau} \end{cases} \quad (5)$$

Тут $\tau = 1$ с – характеристика швидкості прагнення.

У 1995 р. була розроблена модель Хельбінга-Ейлера-Нав'є-Стокса [5], заснована на моделі Пейна. До системи рівнянь (5) додається третє рівняння, що характеризує розбіжність швидкостей відносно середнього значення.

За аналогією з газовою динамікою І. Пригожин спільно з Ф. Ендрюсом та Р. Херманом у 1960 р. запропонували описувати транспортний потік кінетичним рівнянням типу Больцмана з «інтегралом взаємодії автотранспортних засобів» замість «інтеграла зіткнення частинок газу». Надалі метод Пригожина був розвинений у 1975 р. у роботах Павері-Фонтану, у 1995 р. – у роботах Д. Хельбінга та багатьох інших.

Також існують моделі, що знаходяться між кінетичними та гідродинамічними, які називаються мезоскопічними [6].

Модель LWR з її різновидами відіграє важливу роль у сучасних дослідженнях у галузі транспортних потоків і широко розповсюджена в прикладних розрахунках. Ця модель добре підходить для керування транспортними потоками [7].

Як зазначає А.В. Гасніков, з фундаментальної діаграми зрозуміло, що тому самому значенню інтенсивності потоку автотранспортних засобів відповідають різні, частіше дві, щільності та відповідно швидкості (рисунк 1).

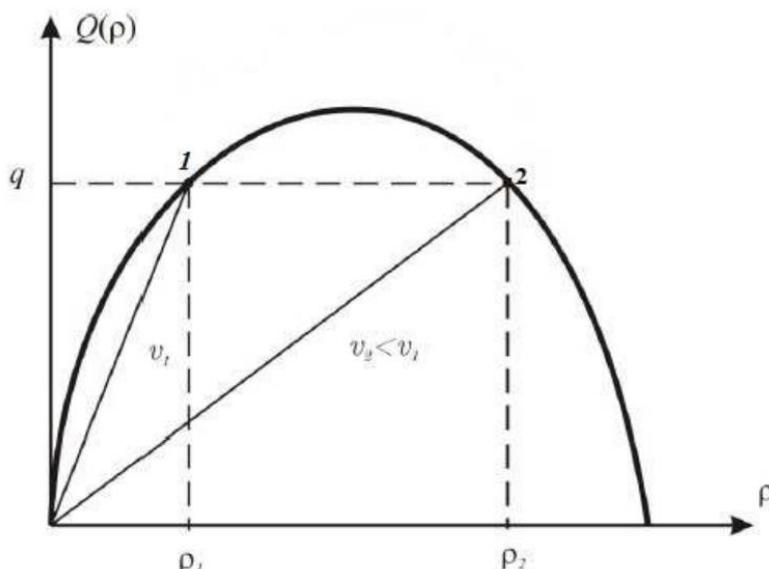


Рис. 1 - Фундаментальна діаграма залежності інтенсивності транспортного потоку від його густини

З діаграми випливає, що більш вигідним режимом є режим із більшою швидкістю (точка 1). Кількість транспортних засобів, що проходять через певний переріз, є такою ж, однак швидкість v_1 більша, відповідно середній час пересування знижується, і, як наслідок, густина потоку зменшується.

Поділ на вільний і щільний потік теорії Кернера аналогічно класичній теорії LWR. Основною відмінністю є те, що в щільному потоці виділяються дві фази на основі загальних емпіричних властивостей транспортного потоку, незмінних різних автошляхах по всьому світу. Поділ фаз транспортного потоку в теорії трьох фаз, як і сама теорія, заснований на емпіричних даних[8].

У транспортному русі існує вільний потік (фаза F – free), а в щільному існують дві фази – синхронізований потік (фаза S – synchronized) і широкий кластер, що рухається, або локальний затор, що рухається (фаза J – jam).

У вільному потоці автотранспортних засобів фактично не існує для водіїв обмеження щодо встановлення бажаної для них швидкості. У щільному транспортному потоці швидкість автотранспортних засобів менша, ніж мінімально можлива у вільному. Як показують емпіричні дослідження, фазовий перехід до щільного транспортного потоку на автомагістралях відбувається, як правило, поблизу різних неоднорідностей – місць примикання з'їздів, зменшення кількості смуг та інших перешкод, що призводять до ефекту «пляшкового шийки» [9].

Модельовання транспортних потоків зараз є невід'ємною частиною сфери вивчення транспорту, вирішення транспортних проблем, які все частіше й частіше торкаються повсякденного життя суспільства. Усі інтелектуальні транспортні системи тісно пов'язані з математичними моделями, вивчення яких так само актуальне, як і в середині минулого століття, але вже на іншому, вищому рівні, із застосуванням комп'ютерних засобів та великого досвіду досліджень у цій сфері.

Література

1. Lighthill M.J., Whitham G.B. On kinematic waves: II. Theory of traffic flow on long crowded roads // Proc. R. Soc. London, Ser. A. 1955. V.229. P. 281 – 345.
2. Richards P.I. Shock Waves on the Highway // Oper. Res. 1956. V. 4. P. 42 – 51.
3. Traffic flow theory: A state-of-the-art report / N.H. Editors, C. Gartner, J. Messer, A.K. Rathi. Washington DC: Transportation Research Board, 2001.
4. Численное исследование транспортных потоков на основе гидродинамических моделей / А.В. Гасников, И.И. Морозов, В.Н. Тарасов, Я.А. Холодов, А.С. Холодов // Компьютерные исследования и моделирование. 2011. Т. 3. № 4. С. 389 – 412 .
5. Иносэ Х., Хамада Т. Управление дорожным движением. М.: Транспорт, 1983.
6. Бабков В.Ф. Дорожные условия и безопасность дорожного движения. М.: Транспорт, 1993.
7. Уизем Дж. Линейные и нелинейные волны. М.: Мир, 1977.
8. Payne H.J. Models of freeway traffic and control // Simulation Council Proc. 28. Mathematical models of public systems / edited by G.A. Bekey. 1971. V. 1. P. 51 – 61.
9. Helbing D. Traffic and related self-driven many particle systems // Reviews of modern physics. 2001. V. 73. № 4. P. 1067 – 1141.1. Гудима Р.Р. Проблемні аспекти розвитку транспортної інфраструктури України / Гудима Р.Р. // Проблеми і перспективи розвитку національної економіки в умовах євроінтеграції та світової фінансово-економічної кризи. Чернівці / МФУ, БДФА та ін. гол. ред. В.В.Прядко – Чернівці, 2009. – с.238 – 239.