

Український Є.О.

Приазовський державний технічний університет

Українська Т.А.

Приазовський державний технічний університет

Ганжесєв Д.І.

Приазовський державний технічний університет

ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ МЕТОДІВ ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛІННЯ ТРАНСПОРТНИМИ ПОТОКАМИ В УМОВАХ ВУЛИЧНО-ДОРОЖНЬОЇ МЕРЕЖІ МІСТА

Транспортне управління в умовах вулично-дорожньої мережі міста є складним комплексом операцій, спрямованих на максимально ефективне функціонування транспортної системи та продуктивну взаємодію різних видів транспорту. Сучасна транспортна наука розглядає відмінні за природою та особливостями практичного використання методи оперативного управління транспортними потоками в умовах вулично-дорожньої мережі міста. Систематизація цих підходів і формування загального теоретичного базису, з урахуванням якого будуть розроблятися інновації транспортних процесів, є пріоритетами світових науковців. Саме на аналіз наявних публікацій і праць, як вітчизняних, так й іноземних науковців, повинна спиратися сучасна теоретика планувально-управлінських заходів оперативного характеру. І першим кроком до цього є розробка первинного плану розвитку оперативних управлінських рішень із урахуванням транспортних й інформаційних потоків, змінних часу та відстані, особливостей комунікаційного процесу та стохастичних факторів на транспорті. Для цього доцільно провести комплексний аналіз алгоритмів транспортного планування (у тому числі спираючись на первинні характеристики балансу між точністю вибірки та складністю формування первинних масивів даних). Ці алгоритми у спрощеному вигляді наведено на рис. 1-2. Наступним важливим кроком можна вважати встановлення розгалуженої системи зв'язків між окремими ланками алгоритмів, надання математичних апроксимацій наявних систем оперативного планування. Вони наводяться у вигляді рівнянь 1-7. Кінцевим етапом процесу розробки теоретичних засад модифікації систем оперативного транспортного планування є аналіз переваг і недоліків певних методів і підходів, з'ясування допусків на помилку, створення порівняльних характеристик. На базі зібраної інформації стає можливим надання конкретних рекомендацій щодо практичного використання методів оперативного управління транспортними потоками та можливих напрямків їх подальшого розвитку у вітчизняній науці. Вони узагальнені в блоці висновків до статті і вказують, зокрема, на протиріччя між наявною матеріально-технологічною базою транспортних систем міст і світовими тенденціями до ускладнення методології оперативних планувальних і управлінських заходів.

Ключові слова: транспорт, мережа, місто, методи, управління, оперативне планування.

Постановка проблеми. Швидкий розвиток транспортних мереж на тлі процесів урбанізації та збільшення кількості індивідуального транспорту створив передумови для перегляду наявних методів управління транспортними потоками в цілому та їх оперативного перерозподілу зокрема. Світовий досвід вказує на необхідність комплексних змін у процесах транспортного моделювання, моніторингу роботи вулично-дорожніх мереж (ВДМ) міст, транспортного планування, тощо. Вони є основоположними елементами, від налагодженого функціонування яких залежить зручність і безпека міського транспорту.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Наявні проблеми та базові перспективи розвитку методів оперативного управління транспортними потоками розглянуті достатньо детально як в іноземній, так й у вітчизняній науковій літературі. Зокрема, ряд теоретичних засад щодо властивостей транспортних потоків і нюансів їх комплексного аналізу наводиться В.І. Гуком та Ю.М. Шкодовським [1], математичні апроксимації методів перерозподілу транспорту надаються О.Ю. Крилатовим й А.П. Ширококолобовою [2], структуровані дані з моніторингу транспортного процесу та внесення оперативних змін до нього розгляда-

ються С.В. Жанказієвим, О.О. Туром, Р.Ф. Халілевім [3] та іншими.

Практичні особливості управління міським транспортом й наявні підходи до регулювання транспортних потоків розглянуті О.Ю. Крилатовим і В.В. Захаровим [4]. Моделюванню управлінських рішень присвячені роботи Д. Тапліна (Австралія) [5]. Наявний досвід реалізації інтелектуальних систем оперативного перерозподілу транспортних потоків наводиться Д. Барсело (Португалія) та І.А. Орозко [6], а також групою дослідників з Південної Кореї [7]. Проте в більшості досліджень лише поверхнево враховується складність адаптації новітніх теоретичних наробок до реальних умов і проблеми «першого кроку» до впровадження нетипових управлінських методів в умовах ВДМ міста.

Мета та постановка завдання. Виявити актуальні алгоритми оперативного управління транспортом в умовах міста, вказати їхні недоліки та шляхи подолання наявних проблем, запропоновані дослідниками. Сформувані теоретичні засади впровадження інноваційних методів оперативного управління в умовах сформованої структури ВДМ міст.

Виклад основного матеріалу. Сучасна теорія транспортних потоків спрямована на визначення точних закономірностей руху транспорту в різних умовах. Як система знань, вона відрізняється структурованістю та формалізацією взаємовідносин між транспортними засобами, маршрутами та часом [1]. Виходячи із цього, можна сформувані головну задачу розподілу трафіку на ВДМ міста – пошук оптимального маршруту без зворотного пробігу та з мінімальним часом руху [5]. Важливо враховувати й зовнішні умови, які впливають на показники часу. Так, під час виникнення небажаних стохастичних ситуацій або при певних режимах регулювання руху на подолання теоретично оптимального маршруту транспортний засіб витратить більше часу, ніж на подолання альтернативного.

Змінність показників часу на загальній хронологічній прямій потребує максимально швидкого корегування режимів руху, що враховується, зокрема, в системах управління транспортом у реальному часі (real-time fleet rerouting strategies) [6].

При середньо- та довгостроковому плануванні транспортного

процесу на вирішення вищезазначеної задачі спрямовано два методи: вузловий і матричний. Вузловий метод передбачає моніторинг скупчень транспортних засобів на ділянках ВДМ, умовно подібних до «крапок», які вносяться до обчислювальної системи як координовані проблемні вузли. Альтернативною в багатьох випадках стає побудова матриць кореспонденцій, яка лежить в основі матричного методу регулювання. Вона простіша в реалізації, проте ускладнює врахування переміщень індивідуального транспорту, спираючись переважно на вантажний трафік і рух міського пасажирського транспорту [4]. Обидва методи потребують побудови великих масивів похідних даних, що, у свою чергу, призводить до значних витрат розрахункових потужностей. Спрощення аналітичного масиву може стати ключовим елементом для адаптації середньо- та довгострокових алгоритмів до використання в оперативному плануванні. У такому випадку перевірку прийнятих управлінських рішень буде доцільним здійснювати за допомогою динамічних транспортних моделей [6].

Усі підходи перерозподілу транспортних засобів на ВДМ умовно поділяються на дві групи: інфраструктурні та організаційні [4]. У контексті оперативного регулювання доцільно розглядати лише останні, бо інфраструктурний підхід є часо- та капіталоемним. Організаційний підхід спирається на фундаментальні характеристики інтенсивності, швидкості та щільності руху [1]. Він базується на формуванні похідного аналітичного масиву з використанням вузлового чи матричного методу. Наступним етапом стає розрахунок оптимальних маршрутів перерозподілу тран-

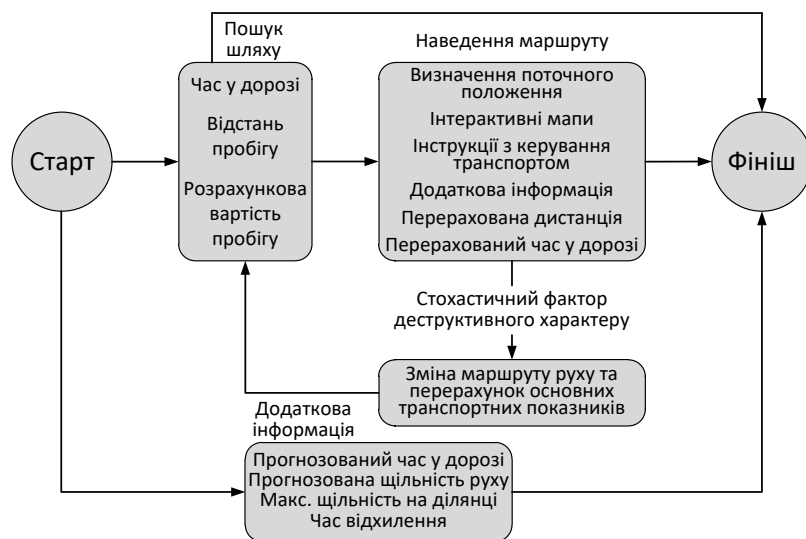


Рис. 1. Інформаційні потоки в системі управління транспортом

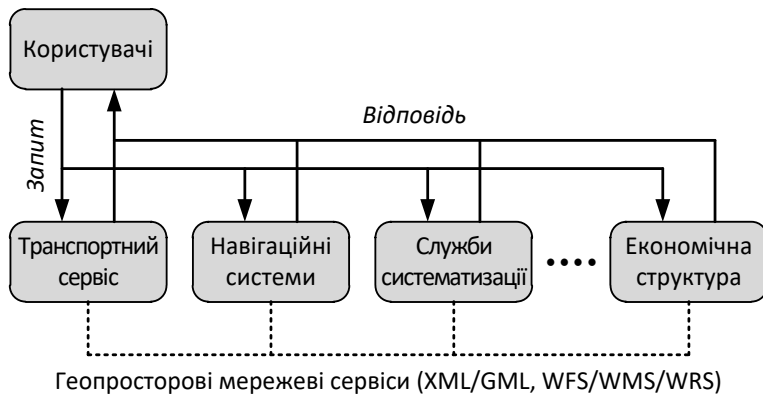


Рис. 2. Базова структура локально-орієнтованої системи управління транспортом у реальному часі



Рис. 3. Концептуальні основи прогнозування часу в дорозі

спортних потоків і проведення організаційних заходів [4]. Важливо пам'ятати, що на будь-якому етапі можливе виникнення помилок, пов'язаних із стохастичністю транспортного процесу. Тому рекомендовано використання так званого «буферного фактору» з коефіцієнтом помилки до 20% [6]. Перевірка отриманих результатів виконується

засобами математичного або імітаційного моделювання.

Прийняті управлінські рішення повинні спиратися на певний характер розподілу транспортних потоків. Він здійснюється за дугами чи маршрутами транспортної мережі. Розподіл за дугами можна формалізувати за допомогою орієнтованого графу $G = V + E$, в якому:

- V – множина послідовно нумерованих вузлів графу G ;
- E – множина послідовно нумерованих дуг графу G .

Таким чином, пошук конкурентної рівноваги може бути представлений рівнянням:

$$f^* = \arg \min(f) \sum_{e \in E} \int_0^{x_e} t_e(u) du \quad (1)$$

за умов:

$$\sum_{r \in R} f_r^w = F^w; \quad \forall w \in W \quad (2)$$

$$f_r^w \geq 0; \quad \forall r \in R^w; \quad w \in W \quad (3)$$

де:

$$x_e = \sum_{w \in W} \sum_{r \in R} f_r^w \delta_{e,r}^w; \quad \forall e \in E. \quad (4)$$

Рішення наведеної задачі є пошуком шляху умовної нелінійної оптимізації.

Алгоритм розподілу потоків за маршрутами транспортної мережі базується на групах паралельних шляхів зі зв'язком «виток-сток». Вважатимемо, що кожен із цих шляхів є комплексом дуг із різними характеристиками. Тоді задача пошуку конкурентної рівноваги прийме наступний вигляд:

$$\min(f) \sum_{r \in R} \sum_{j=1}^{f_r} \int_0^{f_r} t_{ij}(u, h_{ij}) du \quad (5)$$

при обмеженнях:

$$\sum_{r \in R} f_r = F; \quad (6)$$

$$f_r \geq 0; \quad \forall r \in R. \quad (7)$$

Ці рівняння є достатньо дієвими в сучасних умовах [2].

Практична реалізація оперативного перерозподілу транспортних потоків використовує в якості основного керуючого елементу систему регульованих перехресть, на яких діють жорсткі нескординовані або скоординовані режими. В останньому випадку відзначається зменшення витрат часу на перехрестях та зниження ризику виникнення критичних ситуацій у пікові періоди [8].

Крім того, велику роль відіграють режими руху на ділянках з одностороннім або реверсивним рухом, пріоритетні режими для транспорту загального використання, окреме регулювання руху вантажного транспорту, зміни в паркувальній політиці тощо. Також розповсюджені системи надання переваг певним транспортним одиницям, наприклад, із більшою кількістю пасажирів у салоні або за принципом парних/непарних номерів [9]. При цьому короточасні зміни станів ВДМ повинні миттєво фіксуватися та надаватися до розрахункової системи, де вони будуть використовуватися для перерахунку масиву даних і модифікації прийнятих управлінських рішень.

Висновки. Першим кроком до впровадження чи модернізації систем оперативного управління транспортними потоками в умовах ВДМ міста

є формування масивів похідних даних із зазначенням критичних точок (вузловий метод) чи зон (матричний метод). Перспективним напрямом на цьому етапі є пошук шляхів поєднання переваг кожного із зазначених підходів в одному методі, а також його адаптації до математичного або імітаційного моделювання. Перерозподіл транспортних потоків повинен здійснюватися з урахуванням характеру кореспонденції та після комплексного аналізу наявних технічних засобів розподілу та регулювання. У реальних умовах застарілість або недостатня кількість цих засобів стають значною перешкодою на етапі практичної реалізації систем. Перегляд режимів роботи елементів транспортної інфраструктури, що управляються, а також збір й аналіз результатів управління є перспективним напрямом для подальших досліджень.

Список літератури:

1. Гук В.І., Шкодовський Ю.М. Транспортні потоки: теорія та її застосування в урбаністиці. Харків : Золоті Сторінки. 2009. 231 с.
2. Крылатов А.Ю., Широколобова А.П. Равновесное распределение потоков по маршрутам линейной транспортной сети как решение системы алгебраических уравнений. *Вестник Санкт-Петербургского университета*. 2018. Т. 14. Вып. 2. С. 103–115.
3. Жанказиев С.В., Тур А.А., Халилев Р.Ф. Интеллектуальные дороги – современный взгляд. *Наука и техника в дорожной отрасли*. 2010. Вып. 2. С. 1–7.
4. Крылатов А.Ю., Захаров В.В. Управление транспортными потоками мегаполисов. *Гибкость и адаптивность глобальных цепей поставок*: сб. ст. 7-й российско-немец. конф. по логистике и SCM DR-LOG. 2012. Санкт-Петербург. С. 305–310.
5. Taplin J. Simulation models of traffic flow. *Operational Research Society of New Zealand, 34th Annual Conference, ORSNZ'99*. 1999. N/A. P. 175–184.
6. Barcelo J., Orozco J. Fleet rerouting strategies with real-time traffic information. *12th World Conference on Transportation Research WCTR*. Lisbon, 2010. 25 p.
7. Park D. Location-based dynamic route guidance system of Korea: system design, algorithms and initial results. *KSCE Journal of Civil Engineering*. 2010. Vol. 14. P. 51–59.
8. Витолин С.В. Современные методы регулирования транспортных потоков на светофорных объектах и оценка их эффективности. *Вестник Волгоград. гос. архитектурно-строит. ун-та*. 2015. Вып. 39. С. 132–139.
9. Зырянов В.В. Современные подходы к разработке комплексных схем организации дорожного движения. *Транспорт Российской Федерации*. 2011. Вып. 1. С. 54–59.

Ukrainskyi Ye.O., Ukrainka T.A., Ganzheev D.I. PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF OPERATIONAL MANAGEMENT OF TRAFFIC FLOWS IN THE CONDITIONS OF THE CITY'S ROAD NETWORK

Transport management in the street and road network of the city is a complex set of operations aimed at the most efficient operation of the transport system and productive interaction of different modes of transport. Modern transport science considers different in nature and features of practical use methods of operational management of traffic flows in the street and road network of the city. Systematization of these approaches and the formation of a common theoretical basis, taking into account which will be developed innovations in transport processes, are the priorities of world scientists. It is on the analysis of existing publications and works of both domestic and foreign scientists that the modern theory of operational planning and management measures should be based. And the first step to this is the development of a primary plan for the development of operational management decisions, taking into account transport and information flows, time and distance variables, the peculiarities of the communication process and stochastic factors in transport. To do this, it is advisable to conduct a comprehensive analysis of transport planning algorithms (including based on the primary characteristics of the balance between sampling accuracy and the complexity of the formation of

primary data sets). These algorithms are shown in a simplified form in Fig. 1-2. The next important step can be considered the establishment of an extensive system of connections between the individual parts of the algorithms, providing mathematical approximations of existing operational planning systems. They are given in the form of equations 1-7. The final stage of the process of developing the theoretical foundations of modification of operational transport planning systems is the analysis of the advantages and disadvantages of certain methods and approaches, clarification of tolerances, the creation of comparative characteristics. Based on the collected information, it becomes possible to provide specific recommendations for the practical use of methods of operational management of transport flows and possible directions for their further development in domestic science. They are summarized in the block of conclusions to the article and indicate, in particular, the contradictions between the existing material and technological base of urban transport systems and global trends to complicate the methodology of operational planning and management activities.

Key words: *transport, network, city, methods, management, operational planning.*