

СУЧАСНІ ПРОБЛЕМИ ФОРМУВАННЯ ПЛАНІВ МЕРЕЖЕВОЇ КООРДИНАЦІЇ НА МІСЬКИХ МАГІСТРАЛЯХ

Скалозубов Олександр Олександрович, здобувач третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, кафедра транспортних систем і логістики,
e-mail: a.skalozubov1@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-9511-9614>.

Міські транспортні системи сучасних великих міст переживають етап глибокої трансформації, що зумовлено як стрімким зростанням автомобілізації, так і переходом до концепції сталого міського розвитку. В умовах обмеженості транспортного простору, зростання інтенсивності руху та підвищених вимог до мобільності населення питання підвищення ефективності управління транспортними потоками набуває особливої актуальності. Одним із ключових напрямів оптимізації функціонування транспортної інфраструктури є формування планів мережевої координації на міських магістралях, що забезпечують синхронізацію роботи світлофорних об'єктів у межах транспортних коридорів та їхніх перетинів. Від правильності побудови таких планів залежить не лише пропускна здатність вулично-дорожньої мережі, але й рівень транспортних витрат, екологічна безпека міста та комфорт пересування його мешканців.

Актуальність обраної проблематики полягає у тому, що більшість наявних систем управління рухом у містах України досі побудовані на застарілих принципах фіксованих (жорстких) циклів світлофорного регулювання, які не враховують динаміку транспортних потоків у реальному часі. Відсутність мережевого підходу до координації призводить до розбалансування режимів на суміжних ділянках магістралей, появи «хвиль заторів», зростання часу затримок і непродуктивних простоїв. У великих містах неузгодженість планів координації може спричинити втрати пального і зниження середньої швидкості руху. Таким чином, проблема полягає не лише у відсутності достатньо гнучких технічних засобів, але й у недосконалому методі побудови самих планів координації, які мають враховувати просторово-часову структуру потоків і стохастичну природу транспортного попиту [1].

Аналіз існуючих підходів до формування планів мережевої координації показує, що у світовій практиці сформувалися три основні методологічні напрямки. Перший – це класичні методи оптимізації, що ґрунтуються на визначенні оптимальних міжфазних інтервалів і зсувів фаз для мінімізації середнього часу затримки транспортних засобів. Цей підхід реалізований у системах типу TRANSYT, SCOOT, SCATS [2, 3]. Його перевагою є чітка математична формалізація задачі, однак основним недоліком – складність масштабування на великі мережі та обмежена здатність реагувати на швидкі зміни умов руху. Другий напрям – імітаційне моделювання транспортних потоків із використанням мікроскопічних і мезоскопічних моделей, що дозволяє

оцінювати ефективність координаційних рішень до їх практичного впровадження [4]. Проте така методика потребує значних обчислювальних ресурсів і точних вхідних даних. Третій, найсучасніший підхід – застосування алгоритмів машинного навчання та адаптивних систем управління, що здатні самостійно коригувати параметри координації на основі потокових даних із детекторів, камер і GPS-сенсорів [3, 5].

Серед перспективних наукових розробок останніх років варто виділити методи побудови мережевих планів координації на основі генетичних алгоритмів, методу рою частинок та інших еволюційних підходів. Вони дозволяють формувати множину альтернативних рішень, враховувати багатокритеріальність задачі (час затримки, довжину черг, споживання палива, рівень викидів) і забезпечують адаптацію до змінних потоків [6]. Активно розвивається напрям прогнозування координації, коли плани світлофорного регулювання розраховуються не лише за поточними показниками, а з урахуванням прогнозів транспортного попиту на найближчі години, що генеруються моделями машинного навчання [7]. Інтеграція таких прогнозів із системами адаптивного управління дозволяє створювати динамічні «зелені хвилі», які змінюють свою конфігурацію залежно від реальної ситуації на магістралі.

Для українських міст залишаються невирішеними кілька ключових проблем: відсутність єдиної методології побудови мережевої координації, обмеженість достовірних даних про транспортні потоки, недостатня гнучкість технічних засобів регулювання та слабка інтеграція транспортних підсистем. Розв'язання цих питань можливе лише шляхом впровадження комплексного підходу, що поєднує цифрове моделювання, інтелектуальні алгоритми оптимізації та адаптивні системи управління в єдиній цифровій платформі [8].

Побудова цифрових двійників транспортних мереж дозволяє імітувати різні сценарії трафіку, тестувати альтернативні схеми координації та визначати оптимальні конфігурації зелених хвиль без втручання в реальну інфраструктуру. На основі таких моделей можуть формуватися динамічні плани мережевої координації, які оновлюються автоматично у випадку зміни транспортної ситуації. Додатковим напрямом удосконалення є застосування мультиагентного управління, коли кожен світлофорний об'єкт розглядається як автономний агент, що приймає рішення з урахуванням стану сусідніх перехресть [9]. Така децентралізована модель дозволяє зменшити затримки в обміні даними та підвищує стійкість системи до збоїв.

У підсумку можна зробити висновок, що сучасні проблеми формування планів мережевої координації на міських магістралях мають комплексний характер і потребують інтеграції технічних, математичних і управлінських рішень. Найбільш перспективним є перехід від статичних схем до адаптивних систем, що базуються на обробці великих масивів даних, методах машинного навчання та прогнозуванні транспортного попиту. Для реалізації таких підходів необхідне оновлення нормативно-технічної бази, створення міських центрів управління рухом нового покоління, а також запровадження відкритих стандартів обміну транспортними даними. Наукові дослідження у цьому

напрямі повинні бути спрямовані на розроблення універсальної моделі побудови мережевої координації, що забезпечить баланс між ефективністю, стійкістю та екологічністю функціонування міського транспорту.

Література

1. Li, J., Peng, L., Hou, K., Tian, Y., Ma, Y., Xu, Sh., & Qiu, T. Z. (2023). Adaptive signal control and coordination for urban traffic control in a connected vehicle environment: A review. *Digital Transportation and Safety*, 2(2), 89-111 DOI:10.48130/DTS-2023-0008.

2. Robertson, D.I. (1969). «TRANSYT» METHOD FOR AREA TRAFFIC CONTROL. *Traffic engineering and control*, 11(6): 276-281.

3. Stevanovic, A.Z., Kergaye, C., & Martin, P.T. (2009). SCOOT and SCATS: Closer Look into Their Operations.

4. Chen, S., Shang, C., & Zhu, F. (2023). A Flexible Traffic Signal Coordinated Control Approach and System on Complicated Transportation Control Infrastructure. *Sensors*, 23(13), 5796. <https://doi.org/10.3390/s23135796>.

5. Wang, X., & Shao, W. (2025). Networked Sensor-Based Adaptive Traffic Signal Control for Dynamic Flow Optimization. *Sensors*, 25(11), 3501. <https://doi.org/10.3390/s25113501>.

6. Genders, W., & Razavi, S. (2016). Using a deep reinforcement learning agent for traffic signal control. arXiv preprint <https://doi.org/10.48550/arXiv.1611.01142>.

7. S. Lin, B. De Schutter, Y. Xi, & Hellendoorn, H. (2010). Model Predictive Control for urban traffic networks via MILP. *Proceedings of the 2010 American Control Conference*, Baltimore, MD, USA, pp. 2272-2277, doi: 10.1109/ACC.2010.5530534.

8. Zhu, H., Sun, F., Tang, K., Wu, H., Feng, J., & Tang, Z. (2024). Digital Twin-Enhanced Adaptive Traffic Signal Framework under Limited Synchronization Conditions. *Sustainability*, 16(13), 5502. <https://doi.org/10.3390/su16135502>.

9. Wang, W., Qiao, T., Ma, J., Jin, J., Li, Z., Wu, W., & Jian, Y. (2023). Real-Time Network-Level Traffic Signal Control: An Explicit Multiagent Coordination Method. arXiv preprint <https://doi.org/10.48550/arXiv.2306.08843>.

УДК 656.02

МЕТОДИ ЗНАХОДЖЕННЯ ОПОРНИХ ПЛАНІВ ТРАНСПОРТНОЇ ЗАДАЧІ В ТРИВИМІРНОМУ ПРОСТОРИ

Славич В'ячеслав Петрович, канд. техн. наук, доцент кафедра транспортних систем і технічного сервісу, Херсонський національний технічний університет,
e-mail: vslavich@ukr.net, ORCID: [0000-0001-7882-4198](https://orcid.org/0000-0001-7882-4198)

Білоущенко Дар'я Юрїївна, бакалавр,
Херсонський національний технічний університет,
e-mail: s6782581@kntu.edu.ua

Ефективна організація внутрішньоскладських перевезень є ключовим чинником підвищення продуктивності логістичних систем. У сучасних умовах