

УДК 625.7

МОДЕЛЮВАННЯ ТРАНСПОРТНИХ ПОТОКІВ У МІСЬКИХ МЕРЕЖАХ ПІД ЧАС ДОРОЖНІХ РОБІТ : АНАЛІЗ ВПЛИВУ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ РУХУ

Федорук І. С.¹, студ., Шелудяков Д. А.², студ.,

Балашова Ю. Б.³, канд. техн. наук, доц.

ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури»

Українського державного університету науки і технологій

¹zza2ccss@gmail.com, ²danilsheludyakov55@gmail.com, ³balashova.yuliia@pdaba.edu.ua

Постановка проблеми. Будівництво та ремонт міських доріг є ключовим фактором розвитку інфраструктури, але супроводжується значними порушеннями руху. Відсутність точних інструментів прогнозування таких порушень призводить до неефективного управління трафіком, зростання заторів та економічних втрат. У дослідженні аналізуються сучасні методи моделювання транспортних потоків у міських мережах [1], які зазнають впливу будівельних робіт, з метою формування рекомендацій щодо мінімізації затримок та оптимізації руху.

Мета дослідження. Розробити інструменти імітаційного моделювання для аналізу впливу дорожніх робіт на динаміку транспортних потоків у міських умовах.

Основні завдання:

- Оцінити зміни інтенсивності руху при частковому або повному перекритті смуг.
- Дослідити ефективність альтернативних маршрутів і стратегій управління потоками.
- Запропонувати рішення для зниження заторів у зонах будівництва.

Результати дослідження. 1. *Моделювання на основі клітинних автоматів (КА).* Модель КА представляє типову двосторонню шестисмугову міську дорожню мережу з кільцевими перехрестями. Вона включає кілька ключових компонентів, які підвищують точність і реалістичність моделювання. Правила зміни смуги руху: транспортні засоби можуть виконувати як обгін, так і зміну смуги руху, точно відтворюючи поведінку водія в реальному світі. Контроль перехресть: рух на перехрестях відбувається за системою пріоритетів, яка регулюється положенням, що допомагає підтримувати потік без сигналів світлофора. Запобігання заторам: додаткове правило було включено для запобігання утворенню заторів – поширеної проблеми в умовах щільної міської забудови – щоб мережа продовжувала функціонувати в умовах високих транспортних навантажень.

Архітектура моделі. Модель включала двосторонню шестисмугову дорожню мережу з чотирма кільцевими перехрестями, що імітує типовий міський ландшафт. Кожна смуга була розділена на 16 клітин (комірок), що дозволило деталізувати рух окремих транспортних засобів.

Ключові параметри: швидкість транспортних засобів: варіювалася від 0 до 5 клітин за ітерацію (відповідає 0–60 км/год.); щільність трафіку: задавалася в діапазоні 10–30 транспортних засобів на кілометр; ймовірність зміни смуги: 20 % для обгону, 15 % для уникнення перешкод.

Сценарії тестування: односмугове перекриття: зниження середньої швидкості на 18–22 % у радіусі 500 м від зони будівництва; багатосмугове перекриття (3 смуги): падіння пропускної здатності на 40 %, збільшення часу очікування на перехрестях до 8–10 хв. Ефект «водійської поведінки»: при перенаправленні 20 % трафіку на альтернативні маршрути загальний рівень заторів зменшувався на 35 %, але це викликало зростання навантаження на суміжні вулиці на 15 % [2].

2. *Інтеграція реальних даних.* Платформа TRANSIMS (Transportation Analysis Simulation System), розроблена Лос-Аламоською національною лабораторією, пропонує комплексне середовище для мікр омоделювання. TRANSIMS використовує дані перепису населення

США для створення синтетичних популяцій і моделює їх переміщення міськими мережами, використовуючи алгоритми, подібні до алгоритму Дейкстри для вибору маршруту [3].

Оптимізація маршрутів: алгоритм Дейкстри забезпечив скорочення середнього часу поїздки на 12–17 % порівняно з випадковим вибором шляхів. Валідація моделі: зіставлення результатів з даними зі Сан-Франциско показало похибку в межах 8–10 %. Мобільне зондування: динамічні корективи: дані GPS у реальному часі дозволили виявляти аномалії (наприклад, ДТП) і переналаштовувати моделі протягом 5–10 хв. Прогнозування заторів: використання машинного навчання (метод Random Forest) з точністю 85 % передбачало виникнення заторів за 30–60 хв. до їх формування.

3. Порівняльний аналіз стратегій управління.

Стратегія 1: Часткове перекриття смуг + інформування водіїв: зменшення затримок на 25 % за рахунок розподілу трафіку між основним і альтернативними маршрутами. Ризик: перевантаження другорядних доріг у години пік.

Стратегія 2: Нічне будівництво з повним перекриттям: скорочення часу будівництва на 30 %, але збільшення вартості робіт на 20% через оплату нічних змін.

Стратегія 3: Адаптивні світлофори: динамічне регулювання тривалості сигналів знизило затори на 18 %, проте вимагало встановлення додаткової сенсорної інфраструктури.

4. *Кількісні показники ефективності.* Середня швидкість руху: без будівництва: 45 км/год.; при односмуговому перекритті: 37 км/год.; при багатосмуговому перекритті: 28 км/год. Час очікування на перехрестях: стандартні умови: 2–3 хв.; умови будівництва: 6–8 хв. Економічні втрати: збільшення витрат палива: 15–20 % через простої; втрати часу водіїв: 500–700 год./добу для міста з населенням 1 млн.

5. *Обмеження дослідження.* Модель КА: не враховує психологічні фактори водіїв (наприклад, агресивне водіння). TRANSIMS: потребує калібрування під конкретні міста через різницю в інфраструктурі. Мобільне зондування: обмежена точність у районах зі слабким покриттям GPS.

Висновки. Модель КА є надійним і масштабованим інструментом для моделювання перебоїв у міському русі, спричинених дорожнім будівництвом. Завдяки моделюванню планувальники можуть заздалегідь розробити оптимізовані плани управління дорожнім рухом. Інтеграція даних з таких платформ, як TRANSIMS і мобільних систем зондування в реальному часі, відкриває потенціал для більш точних і адаптивних рішень з управління дорожнім рухом. Майбутні дослідження можуть вивчити інтеграцію цих джерел даних у модель КА, разом з адаптивним управлінням сигналами і методами управління об'їздами, для подальшого підвищення точності моделювання і планування міської мобільності.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Balashova Yu. B., Balashov A. O. AI-driven optimization for traffic safety : predicting and preventing collisions at road intersections using machine learning. *Modern Engineering and Innovative Technologies : International periodic scientific journal*. ISSN 2567-5273. Iss. № 37, part 2. February 2025. Karlsruhe, Germany. Pp. 91–99. DOI: 10.30890/2567-5273.2025-37-02-040. URL: <https://www.moderntechno.de/index.php/meit/issue/view/meit37-02>

2. Shi J., Hu Y., Li S., Li Z., Zhang X., Mao C. Simulation and analysis of road construction traffic flow in urban road networks. *Advances in Mechanical Engineering*. 2015. Vol. 7 (11). Pp. 1–6. URL: <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/1687814015618176>

3. Verge. 2001, January. Los Alamos National Laboratory's TRANSIMS project. *Wired*. URL: <https://www.wired.com/2001/01/verge-7>