

МУЛЬТИМОДАЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ОПТИМІЗАЦІЇ МІСЬКОГО
ДОРОЖНЬОГО ТРАФІКУ ДЛЯ ПЕРСОНАЛОЄМКИХ МАСШТАБНИХ ПОДІЙ
ВІЙСЬКОВОГО ЧАСУ

MULTIMODAL SIMULATION OF URBAN OPTIMIZATION ROAD TRAFFIC FOR
PERSONNEL-INTENSIVE LARGE-SCALE EVENTS WAR TIME



Кузьмінець Микола Петрович, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри комп'ютерної, інженерної графіки та дизайну, Національний транспортний університет, Київ, Україна, e-mail: kuzminetsmp@ukr.net, тел. +380983600812, Україна, 01103, м. Київ, вул. М. Бойчука, 40 А.

<https://orcid.org/0000-0002-9636-919X>



Дубовенко Юрій Іванович, кандидат технічних наук, доцент кафедри комп'ютерної, інженерної графіки та дизайну, Національний транспортний університет, Київ, Україна, e-mail: yuriyuy@gmail.com, тел. +380665979384, Україна, 01103, м. Київ, вул. М. Бойчука, 40 А.

<https://orcid.org/0000-0002-8128-5989>

Анотація. В нинішніх умовах важливим питанням є моделювання оптимізації міського дорожнього трафіку для персоналоємких масштабних подій військового часу. Геоінформаційні технології, які поєднують *візуалізацію* та інтелектуальний аналіз просторово розподілених даних, все ширше застосовуються при плануванні, реконструкції і *моніторингу* стану дорожнього господарства.

Зважаючи на зазначені вище передумови, ми вважаємо за доцільне дослідити на основі світового досвіду кращі альтернативи для оптимізації способів управління інтенсивністю дорожнього руху на замкнутій компактній території із заздалегідь визначеними маршрутами основного трафіку в місті. При цьому, беручи до уваги *циклічність* руху транспортних засобів у звичайних умовах та можливість його регулювання за допомогою автоматизованої *диспетчеризації* мережі світлофорів (“зеленої хвилі”), ми звужуємо задачу. Тому будемо аналізувати лише аномально високі прояви трафіку, які виникають, як правило, лише під час виникнення *екстремальних* для міської інфраструктури подій за участі великих мас людей. До таких мегаподій належать проведення релігійних, культурних та спортивних заходів глобального рівня, громадські заворушення та деякі інші заходи, які різко порушують усталену практику користування загальнодоступною дорожньою мережею. Відзначимо, що нерідко подібні заходи призводять до штучного обмеження *пропускної спроможності* цієї мережі з тих чи інших мотивів, яке слід враховувати в подальшому аналізі можливих *сценаріїв*. Відтак, метою роботи є визначення базових чинників для *оптимізації* руху транспорту з метою розподілу великих мас людей по заданих *локаціях* та розробка відповідного алгоритму для енерго- і часоощадного керування трафіком.

Ключові слова. Проектування пасажиропотоків, управління трафіком, транспортне планування, транспортний попит, сценарії дорожнього руху, пропускна спроможність маршрутів, колективна вигода

Постановка проблеми

Геоінформаційні технології, які поєднують *візуалізацію* та інтелектуальний аналіз просторово розподілених даних, все ширше застосовуються при плануванні, реконструкції і *моніторингу* стану дорожнього господарства. Але останні дослідження НТУ із застосуванням цих технологій зосереджені

здебільшого на засобах створення цифрових моделей рельєфу [1], моніторингу *деформацій* [2], особливостях цифрового *картування* [3–6]. Але ці технології рідко використовують для планування та управління майбутнім *трафіком* на збудованій дорожній інфраструктурі, а його інтенсивність прямо впливає на довговічність та якість експлуатації дорожньої мережі. Одним із нечисленних винятків у цьому плані є дослідження [7] про *колективну вигоду* від керування дорожнім рухом під час мегаподій. А тим часом, лишається поза увагою можливість оптимізації *техногенного* навантаження за допомогою геоінформаційних технологій і баз відкритих даних, і, зокрема, інтенсивності дорожнього трафіку в умовах квазістаціонарного руху на обмеженій території мегаполіса чи міської агломерації. А в процесі відновлення дорожнього господарства після нашої перемоги у російсько-українській війні, що триває, є виклик оптимального використання обмежених матеріальних ресурсів для відновлення дорожньої мережі і досягнення максимальних показників її тривалої експлуатації.

Виклад основного матеріалу

Інтелектуальне управління трафіком завдяки з відображенням руху в реальному часі на навігаційних сервісах відоме вже давно [8], і має як незаперечні переваги, так і відомі недоліки. Однією із вад є те, що реагування на порушення *стаціонарності* руху відбувається постфактум, що не дозволяє завчасно оптимізувати рух та запобігти його збоєм. Іншою вадою є те, що інформаційні технології можуть інформувати учасників руху про альтернативи найкоротших шляхів до місць призначення, але не мають стимулів для управління інформацією заради отримання *колективної вигоди*.

Щоб оцінити колективну вигоду, потрібні оцінки трафіку з електронних маршрутних сервісів типу Google Maps і алгоритм зниження числа транспортних засобів з маршрутів. Зменшення кількості транспортних засобів вимагає складної персональної тактики – вибір певними водіями *альтернативних маршрутів*, зсув часу відправлення, зміна видів транспорту. Під час *мегаподій* транспортні незручності у великих містах є аномальними і тимчасовими; це створює передумови для готовності учасників руху до виконання колективних порад для суспільного блага в межах міста, отриманих із аналізу великих даних.

У роботі [7] вивчено вплив збільшення трафіку на стійкість транспортних мереж міста Ріо-де-Жанейро у контексті Олімпійських ігор 2016 року. Автори інтегрували на карті міста потоки транспорту, дані локації дзвінків із мобільних телефонів (замовлення транспортних послуг), дані локацій про початок руху (з сервісу бронювання готелів Airbnb) і транзиту у пункти призначення (з розкладу спортивних подій, локацій спортивних об'єктів та очікувану аудиторію на матчах – за кількістю проданих квитків). Вони оцінили вплив події на поїздки пасажирів за різними сценаріями вибору маршруту в ранкові і вечірні години пік. Алгоритм простий: зібрати дані про поїздки, які найбільше впливають на основні затори і переорієнтувати ці поїздки із автотранспорту на *транзит*. Можна заощадити колективний час в дорозі (порівняно з рухом звичним маршрутом, стратегія звички) за рахунок 2 стратегій: *егоїзму* (власний вибір коротшого шляху альтернативним маршрутом під час заходу); *зміни виду транспорту* (частина людей з перевантажених районів пересідає з автомобіля на *громадський транспорт*).

Технічні інновації, соціально-демографічні зрушення і політики впливають на кількість часу на щоденне пересування на роботу, а відтак і на економіку міст, використання енергії, забруднення повітря, зростання міст. А масштабні заходи збільшують навантаження на інфраструктуру і несуть загрозу успіху заходу, якщо планування неякісне. Транспортне планування оптимізує поїздки на авто, переводить людей на соціально ефективні види транспорту (ходьба, велосипедний, громадський транспорт), оптимізує управління дорожніми мережами (швидкісні автобуси і суспільні веломережі, плата за затори, зміна типу транспорту тощо).

Міський транспорт не пристосований до спільного користування: вулиці є спільним ресурсом, де їх користувачі діють незалежно, за власним інтересом, проти *спільного блага* всіх користувачів, виснажуючи цей ресурс колективними діями. Та містяни схильні до колективної вигоди під час глобальних заходів з великими масами людей. Дорожній трафік під час заходів забезпечує безперешкодне пересування учасників попри перешкоди для місцевого населення.

Щоб оцінити вплив на життя збільшеного трафіку на міста, слід оцінити зрослий попит на транспортні послуги під час масштабних заходів і запропонувати управління попитом для пом'якшення заторів на дорогах. Це актуально для Києва, який є одним з перевантажених міст світу відповідно до звіту TomTom про глобальні затори на дорогах [9], як наслідок дисбалансу попиту на транспорт та

пропозиції дорожньої мережі. А для Києва можливості зменшення заторів шляхом будівництва більшої кількості доріг та транзитної інфраструктури вичерпані.

За даними TomTom, у 2021 році пасажирів в Києві витрачали 94% додаткового часу в години пік. Аномальні події (у т.ч. евакуація внаслідок бойових дій) посилюють затримку в поїздках місцевого населення, адже зростає попит і скорочується пропозиція.

Можна оцінити вплив таких аномалій трафіку шляхом оцінки попиту на поїздки людей і транспортних засобів серед місцевого населення, використовуючи дані локації дзвінків мобільних телефонів (CDR) від місцевих операторів мобільного зв'язку. Час у дорозі пасажирів оцінено в ранкові і вечірні години пік і порівняно з картами Google у цей час. Під час аномалій трафіку можна прогнозувати потоки туристів, використовуючи дані про розклад мегазаходу, локації атракцій і готелів (через дані бронювання в Airbnb), відняти попит на таксі туристів із загального попиту в кожну годину. Попит на таксі і місцевий транспорт можна розділити на дорожню мережу за 3 сценаріями маршрутів: звичка, егоїзм, альтруїзм. Далі слід оцінити час у дорозі для туристів і приріст часу у дорозі для місцевих пасажирів за цими сценаріями в години пік. Зменшити затори протягом короткого часу можна за рахунок керованої зміни *виду транспорту* – пересісти з автомобіля на метро і автобуси. Для цього слід визначити *пари* відправлення-призначення, які вносять найбільший внесок у час у дорозі і вигоду від вилучення одного транспортного засобу з цієї пари. Оцінити ефективність стратегії управління попитом можна у порівнянні з еталонною програмою, яка зменшує ту ж кількість транспорту, розподілену *випадково*.

Попит на поїздки: середньогодинний попит на поїздки дає CDR з мобільних телефонів (час і локація кожного телефонного дзвінка / SMS). У системі оцінки попиту на подорожі місця перебування кожного користувача розпізнаються як дім, робота, інше, тому можна розбити поїздки кожної особи на 3 випадки: дім-робота, дім-інше та дім-додому. Об'єднання поїздок, отриманих на основі даних CDR та перепису населення, генерує матрицю пунктів відправлення і призначення (ПВП) з різними цілями поїздок у ранкові й вечірні години пік у робочі дні. Дані включають локацію користувача, позначку часу, рівень і тривалість заторів, середню швидкість і довжину затору. Довжина черги на дорозі пов'язана з попитом на транспорт у цей час (за даними мобільних телефонів). Можна розширити 24-годинний попит, оцінений за допомогою CDR, на 5 робочих днів згідно різної середньої довжини черги в різні робочі дні.

Попит на перевезення: Для побудови матриці ПВП вводимо нові пункти відправлення і призначення і потоки між ними (потік від місць проживання глядачів до місць видовищ), розташування атракцій, об'єктів нерухомості і готелів, громадського транспорту (локація атракцій поблизу зупинок громадського транспорту робить його зручним вибором). Попит на поїздки людей дорівнює сумі місцевого попиту до початку події та під час неї (кількості людей, які їдуть до локації зі свого місця проживання в той час). Кількість глядачів, які прибувають на кожний об'єкт, оцінюється по годинно на основі розкладу подій і місткості об'єктів. Модель трафіку глядачів з готелів до місць видовищ така: 30% глядачів виїжджають за 1 годину до початку; 40% глядачів – за 2 години до початку; решта – за 3 години до початку; частина глядачів є місцевими, вважаємо їх туристами. Щоб оцінити проходження всіх глядачів за годину, розподіляємо їх по готелях (об'єктах Airbnb) відповідно до їх місткості.

Додатковий попит на транспорт оцінимо через *спосіб пересування* туристів щогодини, ділячи їх між громадським транспортом і таксі на 4 категорії: пішки + метро/пасажирський транспорт; велосипед + метро/пасажирський транспорт; таксі; автобус – залежно від відстані до станцій громадського транспорту, часу у дорозі, кількості пересадок на інший транспорт. Громадський транспорт стає привабливим, якщо початкові і/або кінцеві точки руху – поруч з його зупинками. Попит на транспорт = місцевий попит на транспорт + таксі для туристів. Фіксуємо час ранкового і вечірнього піку та відсоток населення, яке подорожує у години пік.

Час в дорозі: Маршрути і час у дорозі оцінюють шляхом розподілу місцевого попиту на дорожню мережу в моделі рівноваги користувача (жоден водій не може сам скоротити час у дорозі, змінивши маршрут). Час у дорозі на ланках залежить від відношення обсягу і пропускної спроможності: $t_e(v_e) = f_s [1 + \alpha(v_e/C_e)^\beta] \cdot t_e^f$, де $t_e(v_e)$ – середній час у дорозі на ланці e ; t_e^f – час у дорозі вільного потоку на цій ланці; f_s – масштабний коефіцієнт, ≥ 1 . Коефіцієнти калібровані з даних камер спостереження, $f_s = 1.15$, $\alpha = 0.18$, $\beta = 5$. Час у дорозі для найбільших пар приміських маршрутів має відповідати карті Google за ту ж годину.

Мегаподія порушує маршрути пасажирів, хто користується звичайними маршрутами, переважаними через поїздки на ігри та зменшену пропускну спроможність (деякі смуги будуть виділені для учасників, а туристи і місцеві не можуть користуватися ними), її слід врахувати в розрахунках. Дослідження 3 різних варіантів поведінки: *звичка*: всі пасажирів ідуть звичними маршрутами, навіть якщо вони переважані; *егоїзм*: пасажирів обізнані і кожен обирає маршрут з найкоротшим часом у дорозі; *альтруїзм*: пасажирів обирають маршрути, що відповідають кращому сценарію загального часу в дорозі (маршрут кожного пасажирів вимагає системної оптимізації). За цими 3 сценаріями стан дорожнього руху на дорогах є різним.

Щоб оцінити вплив різних стратегій маршрутизації, визначаємо час у дорозі для туристів і місцевих жителів за 3 ідеальними сценаріями протягом ранкової та вечірньої години пік. Сценарій звички гірший, ніж егоїзм і альтруїзм (місцеві не поступаються дорогою туристам, страждаючи від більших заторів і маючи коротший шлях). Сценарії егоїзму і альтруїзму дозволяють обирати маршрут з урахуванням власної вигоди чи вигоди інших. Щоб оцінити вплив мегаподії на місцевих пасажирів, рахуємо середній відсоток росту часу в дорозі пасажирів для пари транспортних засобів: $I = \sum(t_1 - t_2) \cdot f_c / \sum t_2 \cdot f_c \cdot 100\%$, де; f_c – кількість пасажирів; t_1, t_2 – час у дорозі на маршруті до та під час події.

І може бути від'ємним (егоїзм і альтруїзм дозволяє деяким пасажирів знайти коротший шлях, ніж раніше). Альтруїстичний сценарій вигідний більшості пасажирів: частина людей жертвує довшим часом подорожі через об'їзд менш популярних маршрутів, економія часу на поїздку є більшою.

На практиці частина людей змінює маршрут у бік скорочення часу в дорозі, інша частина зберігає звичні маршрути. Для оцінки проміжного стану вводимо параметр егоїзму $\Lambda = 0 \div 1$ – частку егоїстичних мандрівників (0 – звички, 1 – егоїзм). Пасажирів в кожній парі транспорту прагнуть найкоротшого часу в дорозі з відсотком Λ , їх маршрути повинні бути перепризначені, інші слідує звичними маршрутами.

Звичний потік $v_e^h - (1 - \Lambda)$, де v_e^h – об'єм ланки за звичного сценарію; егоїстичний потік $v_e^s -$ егоїстичний попит: $V(C_e) = (v_e^h(1 - \Lambda) + v_e^s) / C_e$.

Для кожної поїздки загальний час у дорозі має 2 частини: $(1 - \Lambda) - f - t^h$ і $\Lambda - f - t^s$, де t^h – час у дорозі за сценарієм звички, t^s – найкоротший час у дорозі за егоїстичним параметром Λ .

Приріст спадає з ростом Λ : вплив події спадає, якщо більше пасажирів шукають кращий маршрут.

Транспортне планування для зменшення кількості транспорту не залежить від місця відправлення і призначення пасажирів, зменшує число авто на 10% ради переваг часу в дорозі на 2%. За затримкою поїздок пасажирів за егоїстичним сценарієм можна вивчити просторовий вплив мегаподії на пасажирів з місць їх проживання і роботи (усереднити ріст поїздок пасажирів до зон відправлення і призначення) і візуалізувати час у дорозі до і під час події. Якщо оцінити час у дорозі за різними сценаріями, це спонукає усвідомити колективні вигоди, що генеруються стратегією *управління попитом* на транспортні послуги.

Зміна виду транспорту. Стратегія управління попитом на транспорт передбачає скорочення *критичних* поїздок, які дають максимальний внесок в загальний час поїздки. Слід оцінити, скільки часу заощадить колектив пасажирів, якщо вилучити один транспорт.

Якщо дорожня мережа – орієнтований ациклічний граф $G(N; E)$, де N – множина вершин, E – множина орієнтованих ребер, і кожному відрізьку дороги e відповідає інтенсивність руху v_e і час у дорозі t_e , то для сегменту дороги оцінимо *економію* часу в дорозі інших учасників руху при вилученні одного транспортного засобу. Гранична вартість ребра – похідна загального часу в дорозі над поточним обсягом руху: $MC_e = \frac{\partial(v_e t_e)}{\partial v_e} = t_e(v_e) + f_s \alpha \beta (v_e / C_e)^\beta t_e^f$, де граничний час руху $t_e(v_e) = f_s [1 + \alpha (v_e / C_e)^\beta] \cdot t_e^f$. Граничні витрати MC_e мають 2 доданки: t_e – час у дорозі 1 транспортного засобу, і зекономлений час у дорозі іншими транспортними засобами на ланці.

Маршрут руху кожного рейсу є множиною ребер на шляху. Гранична вартість шляху для пари – сума MC_e для ребер, пройдених на шляху: $MC_p = \sum \delta_{ep} MC_e$, де δ_{ep} – дельта-функція, = 1, якщо ребро e проходить шлях p , і 0 в іншому випадку. Більше MC_p – більше колективного часу, зекономленого в дорозі.

Зменшимо попит пар з вищим рейтингом: поїздки, які починаються і закінчуються поблизу станцій громадського транспорту, і люди можуть пересісти на громадський транспорт. Окреслимо максимальну відстань від *центроїда* зони до найближчої станції – 1 км, 2 км, 3 км. Відбираємо поїздки на певній відстані до ближчої станції метро або трамваю. Рахуємо MC_p кожної поїздки і зменшуємо попит на 60% від поїздки, що займають перше місце в рейтингу. Визначаємо кількість поїздки з найвищим рейтингом. Перерозподіляємо решту попиту на дорожню мережу і перевіряємо скорочення колективного часу в дорозі. Скорочення відсотка часу колективного руху – 10% для стратегії граничних витрат і 2% для еталонного варіанту. Більша відстань означає менший попит, який слід скоротити (забезпечує більше кандидатів, що призводить до вибору пар з більшим внеском у колективну економію часу в дорозі).

Завдяки стратегії скорочено час у дорозі для частини місцевих пасажирів і туристів, особливо довгих поїздки. Стратегія передбачає, що люди, які проживають у дальніх районах, пересідають з автотранспорту на швидкісний трамвай або метро в ранкові години пік, додатковий пасажиропотік отримано з управління попитом у кожному сегменті метро / автобуса. Результати управління попитом у ранковий пік через збільшення пасажиропотоку на лініях метро/трамваю ілюструє рис. 1.

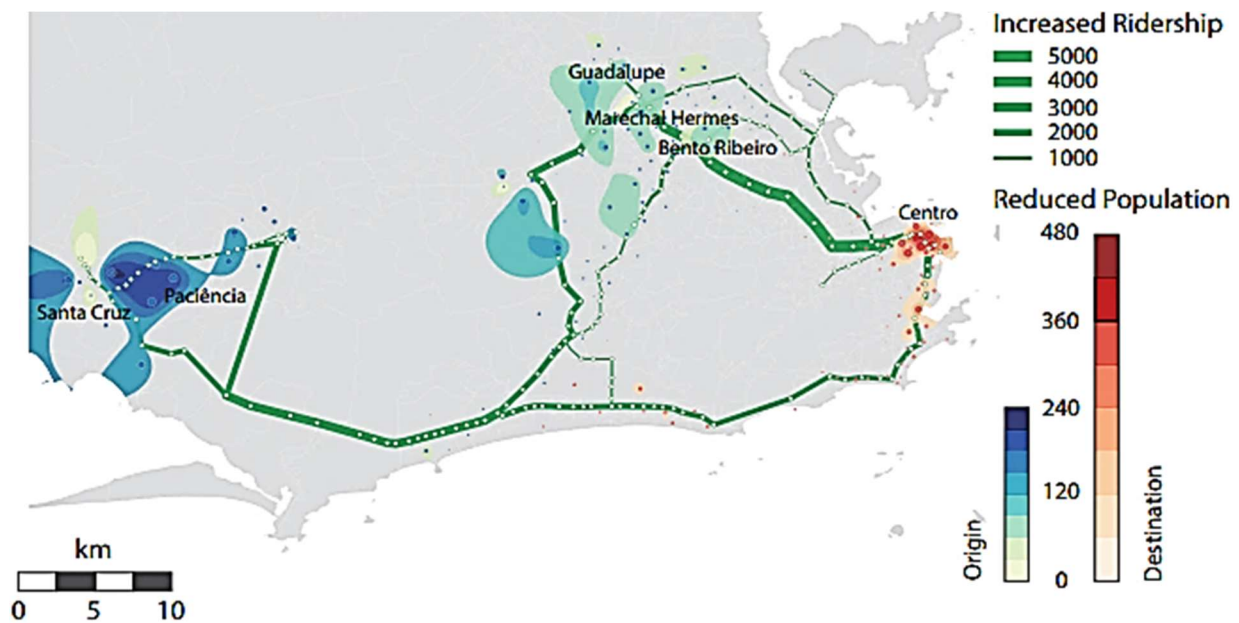


Рисунок 1 – Управління попитом транспорту: ширина ліній – збільшений пасажиропотік (чим глибший колір, тим більш слід пересісти з авто на метро) [7]

Figure 1 – Transport demand management: line width – increased passenger traffic (the deeper the color, the more you should change from car to metro) [7]

Висновки

Узагальнено підхід до оптимізації трафіку в межах 3 км від громадського транспорту у пунктах відправлення і призначення для масштабних міських заходів. Знижки на транзитні поїздки сприяють розвитку пасажирських перевезень до станцій метро, швидкісних автобусів. Збір інформації для зміни виду транспорту (альтернативи збільшенню пропускної спроможності в транспорті) акумулюється в ГІС ArcView. Збір даних про індивідуальний вибір маршруту до і після події дає розуміння змін поведінки під час мегаподій. Управління попитом на транспорт покращує якість життя в місті.

Наплив туристів збільшує попит на перевезення, створення бар'єрів і олімпійських смуг зменшує пропозицію дорожньої мережі. Можна оцінити попит на перевезення людей і транспорт через прогнозування пасажиропотоків і способу пересування за 3 сценаріями (звичним, егоїстичним і альтруїстичним) під час мегаподії. Сценарій звички дає найбільший час у дорозі, егоїстичний сценарій (максимальна вигода від зміни маршруту) – 5% приросту для годин пік, альтруїзм зменшує час колективних поїздки на 5-7% за рахунок маршрутизації – зміни *режиму* руху, а не обмеження руху. Ці заходи не враховують альтернативні способи пересування.

Перелік посилань

1. Дубовенко Ю.І й ін., "Методика використання цифрової моделі рельєфу як основи геодинамічного картування", *Моніторинг небезпечних геологічних процесів та екологічного стану середовища*: VIII Міжнар. наук. конф., Київ, 20-23.09.2007 р.
2. Дубовенко Ю.І й ін., "Гравіметричний моніторинг деформацій геологічного середовища міст", *Моніторинг небезпечних геологічних процесів*: IX Міжнар. наук. конф., 14-17 вересня 2009 р., Київ. 2009.
3. Dubovenko Yu.I et al., "The experience of integrating of GIS techniques in the construction of digital maps of geophysical fields", *16th International conference geoinformatics - Theoretical and applied aspects*. 2017.
4. Dubovenko Yu.I et al., "On the restrictions of the digital geomapping systems during the geophysical anomalies modeling", *Geoinformatics 2016 - XVth International conference on geoinformatics – Theoretical and applied aspects*. 2016.
5. Dubovenko Yu.I et al., "Constraints of optimization of statistical analysis of data of engineering monitoring of transport networks", *Automobile Roads and Road Construction*, 2021, doi: [10.33744/0365-8171-2021-109-157-165](https://doi.org/10.33744/0365-8171-2021-109-157-165).
6. Dubovenko Yu.I et al., "Methodology of digitalization of engineering and cartographic information at the reconstruction of transport communications", *Automobile Roads and Road Construction*, 2021, doi: [10.33744/0365-8171-2021-110-044-050](https://doi.org/10.33744/0365-8171-2021-110-044-050).
7. Yanyan Xu, Marta C. Gonzalez, "Collective benefits in traffic during mega events via the use of information technologies", *Journ. of The Royal Society Interface*, 14(129), 2016, doi: 10.1098/rsif.2016.1041.
8. Богуто, Д.Г., Комаров, В.Ф., Ніколюк, П.К., & Ніколюк, П.П., "Інтелектуальний алгоритм управління міським трафіком транспортних засобів", *Вісник Харківського нац. університету імені В.Н. Каразіна, серія «Математичне моделювання. Інформаційні технології. Автоматизовані системи управління»*, 38(2), с. 4-13. 2018.
9. TomTom, Kyiv in Traffic Index 2021, 2021, <https://www.tomtom.com/traffic-index/kyiv-traffic/>

MULTIMODAL SIMULATION OF URBAN OPTIMIZATION ROAD TRAFFIC FOR
PERSONNEL-INTENSIVE LARGE-SCALE EVENTS WAR TIME

Kuzminets Mykola P., doktor tekhnichnykh nauk, profesor, zaviduvach kafedroyu komp'yuternoyi, inzhenernoyi hrafiky ta dyzaynu, Natsional'nyy transportnyy universytet, Kyiv, Ukrayina, e-mail: kuzminemp@ukr.net, tel. +380983600812, Ukrayina, 01103, m. Kyiv, vul. M. Boychuka, 40 A. <https://orcid.org/0000-0002-9636-919X>

Dubovenko Yuri I., kandydat tekhnichnykh nauk, dotsent kafedry kompiuternoi, inzhenernoi hrafiky ta dyzainu, Natsionalnyi transportnyi universytet, Kyiv, Ukraina, e-mail: yuriiguy@gmail.com, tel. +380665979384, Ukraina, 01103, m. Kyiv, vul. M. Boichuka, 40 A. <https://orcid.org/0000-0002-8128-5989>

Abstract. In the current conditions, an important issue is the modeling of urban optimization road traffic for personnel-intensive large-scale wartime events. Geoinformation technologies, which combine visualization and intellectual analysis of spatially distributed data, are increasingly used in planning, reconstruction and monitoring of the state of road management. Taking into account the above-mentioned prerequisites, we consider it expedient to investigate, on the basis of world experience, the best alternatives for optimizing the methods of traffic intensity management in a closed compact area with predetermined routes of the main traffic in the city. At the same time, taking into account the cyclical nature of the movement of vehicles under normal conditions and the possibility of its regulation with the help of automated dispatching of the network of traffic lights ("green wave"), we will narrow down the task. Therefore, we will analyze only abnormally high manifestations of traffic, which occur, as a rule, only during the occurrence of extreme events for the city infrastructure with the participation of large masses of people. Such mega-events include religious, cultural and sports events of a global level, public riots and some other events that dramatically disrupt the established practice of using the public road network. It should be noted that such measures often lead to an artificial limitation of the bandwidth of this network for one reason or another, which should be taken into account in the further analysis of possible scenarios. Therefore, the aim of the work is to determine the basic factors for the optimization of traffic in order to distribute large masses of people in given locations and to develop a suitable algorithm for energy- and time-saving traffic management.

Keywords. Passenger flow design, traffic management, transport planning, transport demand, traffic scenarios, route capacity, collective benefit

References

1. Dubovenko Yu.I. of science conference, Kyiv, September 20-23, 2007 [in Ukrainian].
2. Dubovenko Yu.I. of science conference, September 14-17, 2009, Kyiv. 2009 year. [in Ukrainian].
3. Dubovenko Yu.I et al., "The experience of integrating of GIS techniques in the construction of digital maps of geophysical fields", 16th International conference geoinformatics - Theoretical and applied aspects. 2017. [in English].
4. Dubovenko Yu.I et al., "On the restrictions of the digital geomapping systems during the geophysical anomalies modeling", Geoinformatics 2016 - XVth International conference on geoinformatics – Theoretical and applied aspects. 2016. [in English].
5. Dubovenko Yu.I et al., "Constraints of optimization of statistical analysis of data of engineering monitoring of transport networks", Automobile Roads and Road Construction, 2021, doi: 10.33744/0365-8171-2021-109-157-165. [in English].
6. Dubovenko Yu.I et al., "Methodology of digitalization of engineering and cartographic information at the reconstruction of transport communications", Automobile Roads and Road Construction, 2021, doi: 10.33744/0365-8171-2021-110-044-050. [in English].
7. Yanyan Xu, Marta C. Gonzalez, "Collective benefits in traffic during mega events via the use of information technologies", Journ. of The Royal Society Interface, 14(129), 2016, doi: 10.1098/rsif.2016.1041. [in English].
8. Boguto, D.G., Komarov, V.F., Nikoliuk, P.K., & Nikoliuk, PP. University named after V.N. Karazina, series "Mathematical modeling. Information Technology. Automated control systems", 38(2), p. 4-13. 2018. [in Ukrainian].
9. TomTom, Kyiv in Traffic Index 2021, 2021, <https://www.tomtom.com/traffic-index/kyiv-traffic/> [in English].