

<https://doi.org/10.31891/2307-5732-2025-359-109>
УДК 004.9

ПОСТРЕЛКО ЄВГЕНІЙ

Київський державний торговельно-економічний університет
<https://orcid.org/0000-0001-9730-450X>
e-mail: y.postrelko@knute.edu.ua

ЦИФРОВА ТРАНСФОРМАЦІЯ МІСЬКИХ ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ: КЛАСИФІКАЦІЯ ПІДХОДІВ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ ДЛЯ УКРАЇНИ

У статті досліджуються сучасні підходи до цифрової трансформації міських транспортних систем з акцентом на їх класифікацію, приклади впровадження в Україні та за кордоном, а також розробку адаптивної моделі для українських міст. На основі аналізу інфраструктурних, організаційних і цифрових рішень, автор формує рекомендації щодо поетапного впровадження систем управління транспортними потоками з використанням відкритих даних, API та інструментів візуалізації. Стаття також пропонує критерії для оцінки ефективності таких рішень та підкреслює роль муніципалітетів, IT-сектору і громадськості у формуванні сталої міської мобільності.

Ключові слова: веб-система, моніторинг громадського транспорту, міський транспорт, мобільність як сервіс, міська мобільність

POSTRELKO YEVHENII

State University of Trade and Economics

DIGITAL TRANSFORMATION OF URBAN TRANSPORT SYSTEMS: CLASSIFICATION OF APPROACHES AND RECOMMENDATIONS FOR UKRAINE

This article explores modern approaches to the digital transformation of urban transport systems, emphasizing their classification, implementation examples in Ukraine and abroad, and the development of an adaptive model tailored for Ukrainian cities. Against the backdrop of growing urbanization and increased pressure on transport infrastructure, traditional management methods often prove ineffective. In response, many cities are adopting innovative strategies that integrate infrastructure upgrades, organizational reforms, and digital technologies. The article presents a three-part classification of urban mobility approaches: infrastructural solutions (such as lane prioritization and automated traffic control), organizational strategies (including schedule optimization and multimodal integration), and digital tools (such as real-time monitoring and visualization platforms). This framework provides a foundation for systematic comparison and evaluation of various transport policies and interventions. Using case studies from Lviv, Kyiv, Vinnytsia, Dnipro, as well as international examples like Helsinki and Barcelona, the article highlights key factors that determine the success or limitations of these implementations. It outlines a scalable, stepwise model for Ukrainian cities, including a basic level focused on data transparency, a mid-level involving service optimization, and an advanced level enabling predictive analytics and adaptive transport management. Additionally, the article proposes practical criteria for evaluating the effectiveness of implemented systems and emphasizes the importance of collaboration among local governments, IT companies, and research institutions. The study offers an evidence-based roadmap for urban policymakers aiming to modernize transport systems in a sustainable, resource-aware manner.

Keywords: web system, public transport monitoring, urban transport, mobility as a service, urban mobility

Стаття надійшла до редакції / Received 22.10.2025

Прийнята до друку / Accepted 15.11.2025

Постановка проблеми

Міські транспортні системи в Україні стикаються з численними викликами, зумовленими швидкою урбанізацією, зростанням мобільності населення та обмеженими ресурсами на оновлення інфраструктури. Відсутність сучасних цифрових інструментів управління громадським транспортом призводить до неефективного використання маршрутів, нерівномірного навантаження, заторів і низького рівня задоволеності пасажирів. Попри існування відкритих даних та ініціатив із цифровізації, досі бракує узагальнених підходів до їх практичного використання для покращення мобільності. Крім того, відсутня єдина класифікація цифрових транспортних рішень і системна методологія адаптації міжнародного досвіду до українського контексту. Це створює потребу у формуванні уніфікованої моделі впровадження інноваційних систем міської мобільності, яка б враховувала технічні, організаційні та соціальні особливості українських міст.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

У вітчизняній науковій спільноті активно обговорюється напрям цифровізації транспортної інфраструктури як ключового елементу стратегічного розвитку. Зокрема, аналіз останніх досліджень свідчить, що цифрові технології (IoT, Big Data, блокчейн, AI) розглядаються як рушійна сила оптимізації логістики, підвищення швидкості реагування, а також поліпшення управління вантажними й пасажирськими потоками [1].

В Україні цифровізація транспортного сектору, згідно з цими ж авторами, сприяє економічному та просторовому розвитку, інтеграції інфраструктурних елементів та впровадженню інновацій, що відповідає викликам шостого технологічного укладу. У міжнародному контексті дослідження Jurczak [2] показує, що цифрова трансформація суттєво змінює функціонування систем громадського транспорту: завдяки впровадженню цифрових платформ зростає ефективність, надійність і адаптивність транспортних послуг.

Крім того, доповідь Міжнародного союзу громадського транспорту [3] підкреслює, що цифрові рішення сприяють розвитку smart-послуг не лише в частині технічного обслуговування, а й у покращенні досвіду користувача. Таким чином, сучасна література підтверджує, що цифрова трансформація є багатокomпонентним процесом, який потребує міждисциплінарного підходу й адаптації до національного контексту.

Формулювання цілей статті

Метою статті є формулювання адаптивної моделі цифрової трансформації міського транспорту для українських міст на основі аналізу сучасних підходів, класифікації рішень та порівняння прикладів впровадження в Україні та за кордоном.

Виклад основного матеріалу

Урбанізація та зростання чисельності населення у містах України створюють підвищене навантаження на транспортну інфраструктуру. Водночас громадський транспорт, попри свою важливу соціальну роль, часто демонструє низький рівень ефективності через застарілі системи управління. Не співвідпорядкованість розкладу реальним умовам, застаріла техніка диспетчеризації, ручні звіти та відсутність сучасних інтерфейсів унеможливають швидку реакцію на зміну трафіку, спричиняють неузгодженість розкладів, зростання витрат на обслуговування та втрачені можливості для цифрової трансформації (наприклад, електронного квитка чи мобільних додатків). Внаслідок цього виникають затори, нерівномірний розподіл навантаження та зниження якості обслуговування пасажирів.

У відповідь на ці виклики міста Європи та України розробляють і впроваджують сучасні рішення у сфері міської мобільності: від реорганізації маршрутних сіток до використання цифрових платформ для моніторингу руху транспорту. Однак, попри наявність великої кількості локальних ініціатив, відсутня загальноприйнята класифікація цих підходів, а також системне порівняння їх ефективності у різних урбаністичних контекстах.

Метою даної статті є класифікація існуючих підходів до оптимізації міських транспортних систем, аналіз успішних прикладів впровадження як в Україні, так і за кордоном, а також формулювання узагальнених рекомендацій, релевантних для міст України. Це дозволяє визначити не лише ефективні, а й реалістичні сценарії розвитку міського транспорту у вітчизняних умовах.

Сучасні підходи до вдосконалення міських транспортних систем формуються на перетині урбаністики, транспортної логістики та цифрових технологій. Ці підходи зазвичай групуються у три основні категорії: інфраструктурні рішення, організаційно-управлінські стратегії та цифрові сервіси моніторингу і аналізу. Така класифікація дозволяє системно підходити до аналізу міських ініціатив і оцінки ефективності впроваджених рішень [4].

Перший напрям передбачає фізичні зміни у міському просторі — зокрема, впровадження виділених смуг для громадського транспорту, інтелектуальних світлофорів, розширення велосипедної інфраструктури, встановлення автоматизованих паркувальних систем. Такі заходи значно впливають на організацію мобільності, однак потребують значних фінансових ресурсів і тривалого періоду реалізації. Bonette і dos Reis [4] наголошують, що ефективність інфраструктурних рішень безпосередньо залежить від рівня цифрової зрілості міста та синергії з іншими інструментами.

Другий напрям — це організаційно-управлінські рішення, спрямовані на підвищення ефективності існуючої транспортної системи. Йдеться про реорганізацію маршрутних мереж, оптимізацію графіків руху, розвиток міжмодальних пересадкових вузлів та впровадження концепції Mobility-as-a-Service (MaaS). Такі підходи дають змогу підвищити адаптивність транспортної мережі до реальних потреб мешканців, не змінюючи кардинально інфраструктуру. Дослідження [5] показують, що поєднання MaaS із інструментами динамічного управління попитом забезпечує стаке скорочення використання приватного автотранспорту у містах.

Нарешті, третій напрям передбачає впровадження цифрових сервісів для моніторингу, прогнозування та аналізу транспортних потоків. Йдеться про використання GPS-систем, API-інтеграції з міськими службами, панелей візуалізації заторів, а також інструментів штучного інтелекту для виявлення аномалій у русі. Саме цей напрям сьогодні демонструє найвищу динаміку розвитку та все частіше розглядається як основа для розумної мобільності (smart mobility) — підходу, що поєднує технологічну інфраструктуру, відкриті дані та алгоритмічну аналітику для прийняття управлінських рішень [5,6].

У контексті сучасних урбаністичних викликів зростає потреба у впровадженні інноваційних рішень для оптимізації транспортної інфраструктури міст. Це особливо актуально для України, де високий рівень урбанізації та нерівномірна якість транспортного обслуговування створюють передумови для заторів, неефективного використання інфраструктури та зниження мобільності населення. Досвід українських та європейських міст свідчить про різноманітність підходів до вдосконалення міського транспорту, що охоплюють як інфраструктурні, так і цифрові та управлінські стратегії.

Серед українських міст одним із прикладів системного впровадження стало місто Львів, яке реалізує Сталій міський мобільний план (SUMP) [7]. Він передбачає не лише розвиток велосипедної та пішохідної інфраструктури, а й модернізацію рухомого складу та інтеграцію розумного транспорту. Зокрема, у Львові вже функціонує понад 120 км велодоріжок, оновлено громадський транспорт, введено виділені смуги для руху автобусів і трамваїв [8]. У Києві діє цифрова платформа "Kyiv Digital" (рис. 1), яка об'єднує функції оплати проїзду, паркування та сповіщення, зокрема про надзвичайні події. Вона стала ключовим елементом цифровізації транспортної інфраструктури столиці [9]. У Вінниці розроблено концепцію реконструкції центральної транспортної магістралі з урахуванням пішохідного трафіку, історичного контексту та багатомодальної інтеграції [10]. В місті також використовуються інструменти моделювання для прогнозування ефекту змін у дорожній інфраструктурі [11]. Дніпро, своєю чергою, створив цифрову транспортну модель, яка дозволяє моделювати сценарії руху транспорту, виходячи з даних попиту та пропозиції, а також враховує статистику маршрутів, обсягів перевезень і пропускну здатність вулиць [12].

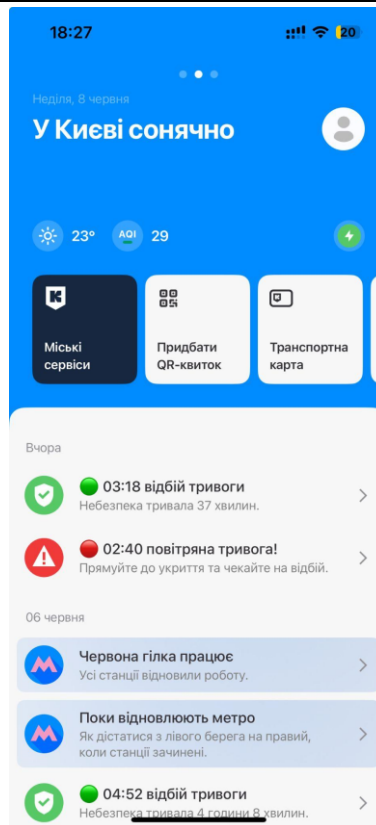


Рис.1. Інтерфейс Kyiv Digital

Міжнародний досвід також заслуговує на увагу завдяки більш тривалому періоду впровадження цифрових транспортних рішень. Зокрема, Гельсінкі став піонером у застосуванні концепції Mobility-as-a-Service (MaaS), реалізувавши додаток Whim, який об'єднує різні типи мобільності — громадський транспорт, таксі, каршеринг та велопрокат — в єдину платформу з централізованим плануванням і оплатою [13]. Такий підхід значно підвищує гнучкість транспортної системи та спрощує користування нею. У Барселоні одним із головних інструментів цифровізації стало впровадження T-mobilitat — смарт-картки для безконтактної оплати проїзду, яка інтегрується в ширшу цифрову екосистему міського транспорту. Додатково, проект MetroCharge дозволяє використовувати енергію, що генерується під час гальмування поїздів метро, для зарядки електромобілів, демонструючи приклад сталого енергоспоживання в транспорті [14].

Таким чином, ці приклади свідчать про різноманітність стратегій: від інфраструктурних змін до інноваційної інтеграції цифрових сервісів. Український досвід демонструє значний поступ у напрямі модернізації транспортної інфраструктури, тоді як європейські приклади вказують на потенціал масштабування та інтеграції нових технологій на рівні міста.

Інфраструктурні рішення, такі як впровадження виділених смуг для громадського транспорту, інтелектуальних світлофорів та велосипедної інфраструктури, демонструють високу ефективність у містах з розвинутою транспортною мережею та фінансовими ресурсами.

Порівняльний аналіз показує, що для українських міст найбільш релевантними є організаційно-управлінські та цифрові підходи, які не потребують значних інвестицій в інфраструктуру, але дозволяють суттєво підвищити ефективність транспортної системи. Інфраструктурні рішення можуть бути впроваджені поступово, у міру наявності ресурсів. Важливо також враховувати локальний контекст, зокрема рівень цифрової зрілості міста, наявність відкритих даних та готовність населення до використання нових технологій.

Впровадження сучасних транспортних рішень у містах України відбувається в умовах низки об'єктивних обмежень та можливостей, які формують контекст для розробки адаптованих стратегій модернізації.

По-перше, фінансові та інфраструктурні ресурси більшості українських муніципалітетів є обмеженими. На відміну від багатьох європейських міст, де цифрова трансформація транспорту активно підтримується державними або наднаціональними інвестиціями — як, наприклад, €7 млрд, спрямовані ЄС на проекти в галузі стійкого, безпечного та "розумного" транспорту в рамках Connecting Europe Facility [15] — українські міста часто покладаються на грантові програми, співпрацю з ІТ-бізнесом і підтримку міжнародних організацій. Наприклад, Світовий банк виділив \$50 млн гранту для відновлення транспортної інфраструктури України з метою забезпечення гуманітарних та логістичних потреб [16]. Це вимагає заходів, що дають змогу поступового впровадження систем без надмірного фінансового навантаження.

По-друге, в Україні вже сформовано інфраструктуру відкритих даних, що створює сприятливе середовище для цифрових сервісів. Зокрема, у Львові, Києві, Вінниці та Дніпрі функціонують портали

чвідкритих даних, які публікують інформацію про рух транспорту, маршрути, зупинки, часи прибуття тощо [17-20].

Третім чинником є відносно низький рівень цифрової зрілості у багатьох містах, особливо в середніх та малих громадах. Це ускладнює інтеграцію складних систем на базі штучного інтелекту або прогнозного моделювання, водночас відкриває можливості для простіших рішень — таких як дашборди, системи моніторингу у реальному часі або інтегровані мобільні застосунки.

Нарешті, суспільний запит на прозорість та ефективність у сфері міського транспорту зростає. В умовах військового стану та економічної нестабільності громади дедалі більше очікують на рішення, що підвищують якість обслуговування без зростання витрат. Це створює потенціал для широкого залучення громадськості до процесу впровадження, що також відповідає європейським підходам до цифрового врядування.

З урахуванням цих передумов, вибір моделі для України має базуватись на критеріях поступовості, відкритості та низького порогу впровадження.

Запропонована модель цифрової трансформації міського транспорту передбачає поетапне впровадження, адаптоване до різного рівня ресурсної та технічної спроможності українських міст. Такий підхід дозволяє поступово розширювати функціональність системи, починаючи з базових рішень і рухаючись до більш складних аналітичних інструментів. Структурно модель поділена на три рівні: базовий, середній і розширений.

На базовому рівні передбачена цифровізація та візуалізація. На цьому етапі головна мета — зробити наявні транспортні дані публічними та придатними до використання. Це включає:

- публікацію відкритих даних у форматах, сумісних з міжнародними стандартами (наприклад, GTFS);
- створення базових API для надання інформації про рух транспорту, зупинки, маршрути;
- розробку інтерактивних дашбордів для візуалізації руху транспорту в реальному часі (на основі Leaflet або аналогічних інструментів);
- забезпечення юридичного супроводу — наприклад, відкритих ліцензій на використання даних.

Такий рівень уже реалізується в окремих містах України, зокрема у Львові та Вінниці [17, 19].

Середній рівень включає в себе інтеграцію та оптимізацію. На цьому етапі відбувається глибша інтеграція даних і впровадження концепції Mobility-as-a-Service (MaaS). Основні компоненти:

- розробка мобільних застосунків для пасажирів з функцією планування маршрутів;
- динамічна оптимізація графіків руху на основі аналізу історичних та поточних даних;
- інтегрованість між видами транспорту (наприклад, спільна карта для муніципального транспорту, маршруток та електротранспорту);
- панель управління для міської адміністрації з інструментами аналізу попиту.

Цей рівень уже частково апробовано у Вінниці та Барселоні — останній демонструє ефективну інтеграцію даних з приватних та публічних джерел у єдину платформу. Зокрема, як зазначають дослідники, «Sentilo збирає дані з понад 1 800 сенсорів, щоденно обробляючи понад 1,3 млн записів від різноманітних джерел» [21] чи як вказує звіт ЄС, платформа забезпечує «централізоване управління і розповсюдження даних із гетерогенних систем» [22].

Найбільш технологічно просунутий рівень передбачає використання методів машинного навчання та штучного інтелекту для:

- прогнозування заторів та попиту на маршрутах у різний час доби;
- виявлення аномалій (наприклад, затримок, раптової зміни маршруту);
- довгострокового планування транспортної політики на основі зібраних статистичних даних.

Розширений рівень є амбітним, однак поступове його впровадження можливе на базі відкритих міських даних, сучасних API та хмарних сервісів. Прикладом є ініціативи Гельсінкі щодо прогнозування транспортного попиту на основі Big Data та моделювання сценаріїв поведінки пасажирів [23].

Для ефективної реалізації рекомендованої моделі цифрової трансформації міського транспорту в Україні доцільно розпочати з пілотного проекту в одному з міст, яке вже має розвинену цифрову інфраструктуру та доступ до відкритих транспортних даних. Львів і Вінниця є найбільш придатними кандидатами, оскільки обидва міста мають функціональні портали відкритих даних [17, 19], досвід участі в міжнародних урбаністичних ініціативах та високий рівень громадської активності.

Реалізація моделі повинна ґрунтуватися на тристоронньому партнерстві між муніципальною владою, IT-сектором та академічними установами. Міська адміністрація забезпечує політичну підтримку, доступ до транспортної інфраструктури та сприяння у правовому супроводі. IT-компанії відповідають за розробку технічних рішень — API, мобільних застосунків, систем аналітики. Університети беруть участь у дослідженні транспортних даних, побудові моделей, сценарному аналізі та підготовці кадрів.

Інтеграція з наявними порталами відкритих даних, такими як Lviv Open Data Portal [17] чи Vinnytsia Transport [19], дає змогу розпочати впровадження з мінімальними витратами на базову інфраструктуру. Крім того, реалізація повинна передбачати механізми зворотного зв'язку з мешканцями — через опитування, публічні обговорення або цифрові інструменти електронної демократії. Це не лише підвищує якість продукту, а й забезпечує громадську підтримку проекту.

Пропонується поетапний сценарій реалізації цифрової системи в пілотному місті. Цей процес можна розбити на 4 великих етапи, які мають виконуватись поступово та по мірі можливостей.

Етап 1: Підготовка інфраструктури.

- Аналіз доступних API та відкритих датасетів (GPS-позиції, маршрути, розклади);
- Формування робочої групи з представників міськради, IT-компаній та університетів;
- Юридична експертиза обмежень щодо обробки персональних даних;
- Налаштування хмарної інфраструктури (Azure або AWS) для пілотного розгортання.

Етап 2: Побудова MVP (мінімально достатній продукт).

- Розробка базової мікросервісної архітектури для збору та візуалізації даних;
- Створення веб-дешборду з мапою руху транспорту в реальному часі;
- Відкрита публікація API-документації, проведення хакатону для стимулювання інновацій.

Етап 3: Розширення функціоналу.

- Додавання аналітичних модулів: затори, запізнення, класифікація навантаження;
- Інтеграція з мобільними застосунками та механізмами зворотного зв'язку;
- Тестування адаптивного управління: автоматичне коригування графіків.

Етап 4: Оцінка та масштабування

- Проведення незалежного аудиту результатів та ефективності;
- Формалізація методології впровадження з орієнтацією на масштабованість;
- Пошук джерел фінансування для масштабування: державно-приватне партнерство, гранти, міжнародна технічна допомога.

Таким чином, реалізація рекомендованої моделі може здійснюватися поступово, із забезпеченням контролю якості, участі користувачів і технологічної гнучкості. Це створює передумови для її подальшого масштабування на національному рівні.

Для об'єктивної оцінки функціональності та корисності запропонованої цифрової системи управління транспортом необхідно враховувати як технічні показники, так і її вплив на реальну мобільність мешканців. Крім того, важливо врахувати зміну поведінки користувачів — і все це вимірюється через низку ретельно підібраних метрик.

По-перше, технічна ефективність визначає, чи система працює стабільно й швидко. До ключових індикаторів належать середній час оновлення GPS-даних у режимі реального часу, показник uptime — процент часу безперебійного функціонування, а також швидкість відповіді API (кількість запитів за секунду та середній час відповіді). Наприклад, Федеральне управління транспорту США (FTA) рекомендує моніторити не лише затримки GPS-відповідей, а й їх сталість у різні години доби [24]. Успішність цього технічного рівня залежить як від якості даних, так і від стабільності сервісів. Деякі сучасні дослідження вказують, що не лише час оновлення, а й його латентність можуть впливати на сприйняття користувачем довіри до системи [25]. Метрики та приклади їх цільового значення наведені в Таблиці 1.

Таблиця 1

Метрики та приклади цільового значення

Показник	Приклад цільового значення
Середній час обробки GPS	< 5 с
Uptime	> 99,5 %
Продуктивність API	> 500 запитів/с, < 200 мс
Об'єм бази даних	> 1 млн записів/день

По-друге, транспортна ефективність відображає зміни в роботі самої мобільності. Це включає скорочення середнього відхилення графіків, зменшення часу в дорозі, зменшення коефіцієнту нерівномірного навантаження маршрутів. Наприклад, системи на базі GPS у містах як Вроцлав використовували просторово-часові профілі, щоб визначати закономірності затримок та кластеризацією маршрути з високою й низькою ефективністю [26].

По-третє, соціальна ефективність враховує взаємодію з громадянами: можливість онлайн-скарг, рівень користування системою (кількість сеансів в мобільному застосунку чи вебдешборді) та результати опитувань щодо задоволеності пасажирів. Наприклад, опитування в Саудівській Аравії показали, що хоча користувачі визнають важливість smart-мобільності, реальне задоволення послугами було змішаним — це потребує детальних досліджень впливу інновацій на поведінку людей [27].

Щоб комплексно оцінити вплив платформи, доцільно застосовувати методології до/після впровадження. Наприклад:

- Пряме порівняння ключових метрик до періоду запуску та через 6–12 місяців.
- A/B тестування: окремі маршрути або райони підключати по черзі, щоби порівнювати стан «із системою» та «без системи».
- Регресійний аналіз для вивчення залежностей між цифровими інтервенціями та змінами параметрів руху, як це рекомендують останні світові дослідження [28].

Висновки

Запропонована модель цифрової трансформації міських транспортних систем для України є поетапною, адаптивною та масштабованою. Вона передбачає поступове впровадження — від базових елементів цифровізації до повноцінної аналітичної системи управління транспортом. Аналіз міжнародних і локальних прикладів підтверджує релевантність такого підходу для українських умов. Запропоновані технічні рішення та сценарії реалізації враховують обмеження ресурсів, наявність відкритих даних і політичні реалії. Для оцінки ефективності пропонується багаторівнева система метрик, що охоплює технічну, транспортну та соціальну складову. Результати можуть слугувати основою для подальших досліджень і розробки політик сталого міського транспорту.

Перспективи подальших досліджень

Перспективи подальших досліджень полягають у практичній апробації запропонованої моделі в умовах конкретного українського міста, а також у розробці прототипів цифрових інструментів для збору, обробки та візуалізації транспортних даних. Окрему увагу варто приділити питанням кібербезпеки, захисту персональних даних та залучення громадськості до процесу прийняття рішень. У подальшому дослідження можуть бути зосереджені на інтеграції з іншими міськими сервісами, аналізі поведінки пасажирів і прогнозуванні транспортного попиту на основі алгоритмів штучного інтелекту.

Література

1. Гайкова, О., Загорянський, В., & Леонтович, О. (2023). Цифровізація транспортної інфраструктури в контексті шостого технологічного укладу. *Збірник наукових праць НАДУ*, 1(52), 81–88. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10987658>
2. Jurczak, A. (2023). The Impact of Digital Transformation on Urban Public Transport. *Information Systems in Management*, 12(2), 109–117. <https://doi.org/10.2478/isman-2023-0011>
3. UITP. (2024). *Digitalisation of Public Transport Systems: Global Outlook 2024*. International Association of Public Transport. <https://www.uitp.org/publications/digitalisation-outlook-2024/>
4. Bonette, D. F. S., & dos Reis, T. C. D. (2021). Composição, concentração e classificação do transporte urbano. *Proceedings of the XXIX Encontro Nacional de Engenharia de Produção*. <https://scispace.com/papers/composicao-concentracao-e-classificacao-do-transporte-urbano-1csi3xr6le>
5. Butler, W., Webber, M., & Knupfer, S. (2020). Smart urban mobility innovations: A comprehensive review and assessment. *Transportation Research*, Elsevier. <https://scispace.com/papers/smart-urban-mobility-innovations-a-comprehensive-review-and-hen88gcqc1>
6. Gulc, A., & Budna, K. (2024). Classification of Smart and Sustainable Urban Mobility Solutions. *Sustainability*, 16(4), Article 1234. <https://scispace.com/papers/classification-of-smart-and-sustainable-urban-mobility-x6687oiqn4>
7. Rupprecht Consult. (2019). *Sustainable Urban Mobility Plan for Lviv: Strategic document approved by Lviv City Council in 2020* (MobiliseYourCity/TUMI case study). Rupprecht Consult. Retrieved from <https://transformative-mobility.org/lviv-sustainable-urban-mobility-plan-sump/>
8. Transformative Urban Mobility Initiative. (2023). *Lviv – From Streets for Cars to Streets for All*. https://www.transformative-mobility.org/wp-content/uploads/2023/03/Lviv-Case-Study_12-21-ITDP-TUMI-OIG2n1.pdf
9. Smart Cities World. (2023). *Kyiv.Digital: a digital umbrella for the city*. <https://www.smartcitiesworld.net/citizen-engagement/kyivdigital-a-digital-umbrella-for-the-city>
10. Spatial Development Agency (Vinnitsia). (2025). *Концепція покращення якостей вулиці Соборної: розвиток пішохідного простору та інтеграція громадського транспорту*. Вінницька міська рада.
11. Spatial Development Agency. (2025). *Completion of the concept for Soborna Street*. https://www.linkedin.com/posts/spatial-development-agency_2025-will-be-a-key-year-for-the-project-activity-7282788129223168001-UPcY
12. ProMobility. (2019). *Dnipro transport model*. <https://pro-mobility.org/en/nashi-proektu/dnipro-transport-model/>
13. Pirelli. (2024). *How Helsinki is setting the pace in urban transport*. <https://www.pirelli.com/global/en-ww/life/sustainability/mobility/how-helsinki-is-setting-the-pace-in-urban-transport-52463/>
14. AP News. (2024). *Barcelona subway recycles energy from braking into power to charge electric cars*. <https://apnews.com/article/69cf7212fa8d5e3e4d45d62a2f97c6dd>
15. European Commission. (2024, July 17). *EU invests record €7 billion in sustainable, safe and smart transport infrastructure*. Directorate-General for Mobility and Transport. Retrieved from https://transport.ec.europa.eu/news-events/news/eu-invests-record-eu7-billion-sustainable-safe-and-smart-transport-infrastructure-2024-07-17_en
16. World Bank. (2023, February 10). *World Bank approves initial \$50 million grant to help repair transport infrastructure in Ukraine*. Retrieved from <https://www.worldbank.org/en/news/press-release/2023/02/10/world-bank-approves-50-million-grant-to-help-repair-transport-infrastructure-in-ukraine>
17. Lviv Open Data Portal. (2024). *Портал відкритих даних Львова*. <https://opendata.city-adm.lviv.ua/>
18. Kyiv City Open Data Portal. (2024). *Відкриті дані міста Києва*. <https://data.kyivcity.gov.ua/>
19. Vinnitsia Transport. (2024). *Муніципальний транспорт Вінниці*. <https://transport.vmr.gov.ua/>

20. Державне агентство з питань електронного урядування України. (2024). *Рух громадського транспорту Дніпра*. <https://data.gov.ua/en/dataset/real-transport-dnipro>
21. Amir Sinaeepourfard, J. G. Almiñana, X. Masip-Bruin, & F. Casaus. (2016). *Estimating Smart City Sensors Data Generation: Case of Barcelona*. In *Proceedings of the International Conference on Smart Cities* (pp. 123–130).
22. European Commission. (2014). *Sentilo Case Study – Interoperable Europe*. EC.
23. Federal Transit Administration. (2018). *Mobility Performance Metrics for Integrated Mobility and Beyond* (FTA Report No. 0152). USDOT.
24. International Transport Forum. (2021). *Big Data for Travel Demand Modelling* (ITF Roundtable Report). OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/08378837-en>
25. Wang, Z., Hamed, M., & Young, S. (2018). A methodology for calculating the latency of GPS-probe data. *ArXiv*.
26. Szymański, P., Żołnieruk, M., Oleszczyk, P., Gisterek, I., & Kajdanowicz, T. (2017). Spatio-temporal profiling of public transport delays based on large scale vehicle positioning data from GPS in Wrocław. *ArXiv*.
27. Alotaibi, A., Almasoudi, A., & Alqurashi, A. (2025). Investigation of the impact of smart mobility solutions on urban transportation efficiency in Saudi Arabian cities. *Journal of Umm Al-Qura University for Engineering and Architecture*, 16(379–394). <https://doi.org/10.1007/s43995-025-00114-3>
28. Mo, B., Ma, Z., Koutsopoulos, H., & Zhao, J. (2020). Capacity-Constrained Network Performance Model for Urban Rail Systems Performance Monitoring Using Smart Card Data. *Transportation Research Record*.

References

1. Haikova, O., Zahoryanskyi, V., & Leontovych, O. (2023). Digitalization of transport infrastructure in the context of the sixth technological paradigm. *Collection of Scientific Papers of the National Academy for Public Administration*, 1(52), 81–88. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10987658>
2. Jurczak, A. (2023). The impact of digital transformation on urban public transport. *Information Systems in Management*, 12(2), 109–117. <https://doi.org/10.2478/isman-2023-0011>
3. UITP. (2024). *Digitalisation of Public Transport Systems: Global Outlook 2024*. International Association of Public Transport. <https://www.uitp.org/publications/digitalisation-outlook-2024/>
4. Bonette, D. F. S., & dos Reis, T. C. D. (2021). Composition, concentration, and classification of urban transport. In *Proceedings of the XXIX National Meeting of Production Engineering*. <https://scispace.com/papers/composicao-concentracao-e-classificacao-do-transporte-urbano-1csi3xr6le>
5. Butler, W., Webber, M., & Knupfer, S. (2020). Smart urban mobility innovations: A comprehensive review and assessment. *Transportation Research*. Elsevier. <https://scispace.com/papers/smart-urban-mobility-innovations-a-comprehensive-review-and-hen88gcqcl>
6. Gulc, A., & Budna, K. (2024). Classification of smart and sustainable urban mobility solutions. *Sustainability*, 16(4), Article 1234. <https://scispace.com/papers/classification-of-smart-and-sustainable-urban-mobility-x6687oiqn4>
7. Rupprecht Consult. (2019). *Sustainable Urban Mobility Plan for Lviv: Strategic document approved by Lviv City Council in 2020* [MobiliseYourCity/TUMI case study]. Rupprecht Consult. <https://transformative-mobility.org/lviv-sustainable-urban-mobility-plan-sump/>
8. Transformative Urban Mobility Initiative. (2023). *Lviv – From Streets for Cars to Streets for All*. https://www.transformative-mobility.org/wp-content/uploads/2023/03/Lviv-Case-Study_12-21-ITDP-TUMI-O1G2n1.pdf
9. Smart Cities World. (2023). *Kyiv.Digital: A Digital Umbrella for the City*. <https://www.smartcitiesworld.net/citizen-engagement/kyivdigital-a-digital-umbrella-for-the-city>
10. Spatial Development Agency (Vinnytsia). (2025). *Concept for Improvement of Soborna Street: Development of pedestrian space and integration of public transport*. Vinnytsia City Council.
11. Spatial Development Agency. (2025). *Completion of the Concept for Soborna Street*. https://www.linkedin.com/posts/spatial-development-agency_2025-will-be-a-key-year-for-the-project-activity-7282788129223168001-UPcY
12. ProMobility. (2019). *Dnipro Transport Model*. <https://pro-mobility.org/en/nashi-proektu/dnipro-transport-model/>
13. Pirelli. (2024). *How Helsinki is Setting the Pace in Urban Transport*. <https://www.pirelli.com/global/en-ww/life/sustainability/mobility/how-helsinki-is-setting-the-pace-in-urban-transport-52463/>
14. AP News. (2024). *Barcelona subway recycles energy from braking into power to charge electric cars*. <https://apnews.com/article/69cf7212fa8d5e3e4d45d62a2f97c6dd>
15. European Commission. (2024, July 17). *EU invests record €7 billion in sustainable, safe and smart transport infrastructure*. Directorate-General for Mobility and Transport. https://transport.ec.europa.eu/news-events/news/eu-invests-record-eu7-billion-sustainable-safe-and-smart-transport-infrastructure-2024-07-17_en
16. World Bank. (2023, February 10). *World Bank approves initial \$50 million grant to help repair transport infrastructure in Ukraine*. <https://www.worldbank.org/en/news/press-release/2023/02/10/world-bank-approves-50-million-grant-to-help-repair-transport-infrastructure-in-ukraine>
17. Lviv Open Data Portal. (2024). *Lviv Open Data Portal*. <https://opendata.city-adm.lviv.ua/>
18. Kyiv City Open Data Portal. (2024). *Kyiv City Open Data Portal*. <https://data.kyivcity.gov.ua/>
19. Vinnytsia Transport. (2024). *Municipal Transport of Vinnytsia*. <https://transport.vmr.gov.ua/>
20. State Agency for E-Government of Ukraine. (2024). *Public Transport Movement in Dnipro*. <https://data.gov.ua/en/dataset/real-transport-dnipro>
21. Sinaeepourfard, A., Almiñana, J. G., Masip-Bruin, X., & Casaus, F. (2016). Estimating smart city sensors data generation: Case of Barcelona. In *Proceedings of the International Conference on Smart Cities* (pp. 123–130).
22. European Commission. (2014). *Sentilo Case Study – Interoperable Europe*.
23. U.S. Department of Transportation, Federal Transit Administration. (2018). *Mobility Performance Metrics for Integrated Mobility and Beyond* (FTA Report No. 0152).
24. International Transport Forum. (2021). *Big Data for Travel Demand Modelling* (ITF Roundtable Report). OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/08378837-en>
25. Wang, Z., Hamed, M., & Young, S. (2018). A methodology for calculating the latency of GPS-probe data. *arXiv*.
26. Szymański, P., Żołnieruk, M., Oleszczyk, P., Gisterek, I., & Kajdanowicz, T. (2017). Spatio-temporal profiling of public transport delays based on large-scale vehicle positioning data from GPS in Wrocław. *arXiv*.
27. Alotaibi, A., Almasoudi, A., & Alqurashi, A. (2025). Investigation of the impact of smart mobility solutions on urban transportation efficiency in Saudi Arabian cities. *Journal of Umm Al-Qura University for Engineering and Architecture*, 16, 379–394. <https://doi.org/10.1007/s43995-025-00114-3>
28. Mo, B., Ma, Z., Koutsopoulos, H., & Zhao, J. (2020). Capacity-Constrained Network Performance Model for Urban Rail Systems Performance Monitoring Using Smart Card Data. *Transportation Research Record*.