

А. П. Лелеченко,
д. держ. упр., професор, професор кафедри публічного управління та адміністрування,
Державний університет "Київський авіаційний інститут"

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0850-3724>

М. І. Шаров,
аспірант кафедри публічного управління та адміністрування,
Державний університет "Київський авіаційний інститут"

ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0000-5443-8153>

DOI: 10.32702/2306-6814.2026.1.257

ІНСТИТУЦІЙНО-УПРАВЛІНСЬКІ МЕХАНІЗМИ МОДЕРНІЗАЦІЇ ТРАНСПОРТНОЇ SMART-ІНФРАСТРУКТУРИ МЕГАПОЛІСУ

A. Lelechenko,
Doctor of Science in Public Administration, Professor,
Professor of the Department of Public Management and Administration, The State University "Kyiv Aviation Institute"
M. Sharov,
Postgraduate student of the Department of Public Management and Administration, State University "Kyiv Aviation Institute"

INSTITUTIONAL AND MANAGERIAL MECHANISMS FOR THE MODERNIZATION OF TRANSPORT SMART INFRASTRUCTURE OF THE METROPOLIS

У статті обґрунтовано інституційно-управлінські механізми модернізації транспортної SMART-інфраструктури мегаполісу, що передбачають комплексне поєднання технологічної інтеграції, управління даними, організаційної координації, фінансового та комунікативного забезпечення. Проаналізовано сучасні підходи до впровадження Інтернету речей (IoT), великих даних (Big Data), штучного інтелекту (AI) та інших цифрових технологій у міську транспортну систему, а також окреслено їхню роль у підвищенні ефективності, безпеки та екологічності міської мобільності. Особливу увагу приділено концепції Mobility as a Service (MaaS) та практичним прикладам її реалізації у розвинених європейських містах, зокрема платформи Whim у Гельсінкі та UbiGo у Стокгольмі, які демонструють потенціал інтеграції різних видів транспорту та цифрових сервісів для формування стійкої та адаптивної транспортної екосистеми. Ефективність вказаних платформ визначено через структуровану взаємодію з операторами, гнучкими фінансовими механізмами, підтримкою місцевої влади та наявністю стабільної інфраструктури відкритих транспортних даних. Виявлено ключові фактори успішної модернізації, серед яких технологічна сумісність та інтероперабельність систем, відкритість даних, ефективне управління потоками інформації, організаційна взаємодія муніципалітетів і транспортних операторів, а також використання фінансово-інвестиційних моделей, зокрема публічно-приватного партнерства та концесій. На основі аналізу зарубіжного та українського досвіду окреслено перспективи розвитку транспортної SMART-інфраструктури, визначено виклики та бар'єри її впроваджен-

ня. Обґрунтовано основні механізми модернізації транспортної SMART-інфраструктури мегаполісу: нормативно-правовий, організаційно-інституційний, фінансово-інвестиційний, технологічно-процедурний, механізми управління даними та механізми участі й комунікації користувачів. Доведено, що вони забезпечують синтез правового регулювання, координації органів публічної влади та операторів, фінансового забезпечення, технологічної інтеграції, відкритості й аналітики даних, а також активної взаємодії з користувачами для підвищення ефективності та стійкої мобільності міського середовища.

The article substantiates the institutional and managerial mechanisms for modernizing the SMART transport infrastructure of a metropolis, which involve an integrated combination of technological integration, data management, organizational coordination, financial support, and communication strategies. It analyzes contemporary approaches to implementing the Internet of Things (IoT), Big Data, Artificial Intelligence (AI), and other digital technologies within urban transport systems, highlighting their role in enhancing the efficiency, safety, and sustainability of urban mobility. Particular attention is given to the concept of Mobility as a Service (MaaS) and practical examples of its implementation in developed European cities, including the Whim platform in Helsinki and UbiGo in Stockholm, which demonstrate the potential for integrating various modes of transport and digital services to create a resilient and adaptive transport ecosystem. The effectiveness of these platforms is determined by structured interaction with operators, flexible financial mechanisms, local government support, and the presence of a stable open transport data infrastructure. Key factors for successful modernization were identified, including technological compatibility and system interoperability, data openness, efficient information flow management, organizational coordination between municipalities and transport operators, and the use of financial and investment models, particularly public-private partnerships and concessions. Based on an analysis of both international and Ukrainian experience, the study outlines prospects for the development of SMART transport infrastructure, identifies challenges and barriers to its implementation, and substantiates the main mechanisms for modernization: regulatory, organizational-institutional, financial-investment, technological-procedural, data management, and user participation and communication mechanisms. It is demonstrated that these mechanisms ensure the integration of legal regulation, coordination between public authorities and operators, financial support, technological integration, data openness and analytics, as well as active user engagement, thereby enhancing efficiency and sustainable urban mobility.

Ключові слова: SMART-транспортна інфраструктура, міська мобільність, інституційно-управлінські механізми, Mobility as a Service (MaaS), Інтернет речей (IoT), Великі дані (Big Data), штучний інтелект (AI), транспортна система, мегаполіс, сталий розвиток, кібербезпека, цифровізація міських систем, енергоефективність, якість послуг, стан доріг, інтенсивність руху, забруднення довкілля, адаптивне транспортне управління, ефективний мультимодальний сервіс, громадський транспорт, таксі, каршеринг, райдшеринг, транспортні потоки, публічно-приватне партнерство, міська екосистема, органи публічної влади, data governance, партисипативні платформи, мобільні додатки, сервіси, муніципальні інвестиційні програми.

Keywords: SMART transport infrastructure, urban mobility, institutional and managerial mechanisms, Mobility as a Service (MaaS), Internet of Things (IoT), Big Data, Artificial Intelligence (AI), transport system, megalopolis, sustainable development, cybersecurity, digitalization of urban systems, energy efficiency, quality of services, road conditions, traffic intensity, environmental pollution, adaptive transport management, effective multimodal service, public transport, taxi, car sharing, ridesharing, transport flows, public-private partnership, urban ecosystem, public authorities, data governance, participatory platforms, mobile applications, services, municipal investment programs.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ У ЗАГАЛЬНОМУ ВИГЛЯДІ ТА ЇЇ ЗВ'ЯЗОК ІЗ ВАЖЛИВИМИ НАУКОВИМИ ЧИ ПРАКТИЧНИМИ ЗАВДАННЯМИ

У сучасних мегаполісах транспортна інфраструктура відіграє вагомий роль у забезпеченні ефективної мо-

більності населення та стійкого розвитку міського середовища. Зростання урбанізації, ускладнення транспортних потоків, а також підвищені вимоги до екологічної безпеки стимулюють пошук інноваційних рішень у сфері управління міським транспортом. У цьому контексті концепція транспортної SMART-інфраструктури

набуває ознак центрального елементу міських стратегій модернізації, оскільки інтегрує сучасні технології для оптимізації потоків транспорту, прогнозування пасажиропотоків та підвищення загальної ефективності транспортної системи. Попри очевидні переваги SMART-технологій, їхнє впровадження у міській транспортній інфраструктурі стикається з численними інституційними, регуляторними та фінансовими бар'єрами. До основних викликів належать: недостатня нормативно-правова база для інтеграції інтелектуальних систем управління транспортом; відсутність уніфікованих стандартів взаємодії технологічних рішень; обмеженість професійних кадрів, здатних впроваджувати та обслуговувати складні SMART-системи; невизначеність фінансових моделей розвитку та високі інвестиційні ризики при застосуванні інноваційних рішень. Ці проблеми не лише сповільнюють процес цифровізації міської транспортної інфраструктури, а й знижують її інтеграційний потенціал у рамках єдиної системи мобільності мегаполісу. Вказане свідчить про потребу системного підходу до модернізації міського транспорту з використанням SMART-технологій.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Сучасні дослідження транспортної SMART-інфраструктури мегаполісу зосереджені на двох основних напрямках. Перший стосується розробки технологічних основ. А. Сінгх Лодхі та співавтори (2023) [2] досліджують сенсорні мережі та комунікаційні платформи для інтелектуальних транспортних систем; С.Пайва, М.Ахад (2021) [3] підкреслюють роль IoT, Big Data та AI у формуванні адаптивної мобільності; Х.Нгуєн та колеги (2022) [4] аналізують застосування аналітики великих даних для оптимізації маршрутів і прогнозування потоків; Н.Мартинович і Є.Сандулов (2025) [5] розглядають інтеграцію AI у громадський транспорт України та бар'єри впровадження. Другий напрям стосується розробки та впровадження концепції Mobility as a Service (MaaS). Ю.Паляниця, В.Дунець та співавт. (2025) [7] аналізують інтеграцію різних видів транспорту в єдині цифрові сервіси; практичні приклади Whim у Гельсінки [8; 9; 10] і UbiGo у Стокгольмі [11; 12] демонструють ефективність таких платформ і важливість узгодження технологічних та організаційних механізмів. Отже, сучасні дослідження підтверджують, що ефективна модернізація транспортної SMART-інфраструктури мегаполісу вимагає комплексного поєднання технологічної інтеграції, управління даними та узгодженої організаційної координації для забезпечення високої ефективності та стійкої міської мобільності. Вказане засвідчує потребу у подальших дослідженнях та розробках, спрямованих на оптимізацію інтеграції цифрових технологій, вдосконалення систем управління даними та формування ефективних інституційно-управлінських механізмів модернізації транспортної SMART-інфраструктури великих міст.

ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

Формулювання цілей статті (постановка завдання) — обґрунтувати інституційно-управлінські механізми модернізації транспортної SMART-інфраструктури мегаполісу з урахуванням технологічної інтеграції, управлі-

ння даними та організаційної координації для підвищення ефективності та сталої міської мобільності.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ ДОСЛІДЖЕННЯ

Модернізація інституційно-управлінських механізмів транспортної інфраструктури мегаполісу неможлива без чіткого розуміння технологічного підґрунтя. У межах цього дослідження транспортна SMART-інфраструктура розглядається як комплекс платформ і рішень, що використовують сучасні інформаційно-комунікаційні технології (ІКТ), зокрема інтернет речей (IoT), великі та просторові дані (Big Data), штучний інтелект (AI) для забезпечення ефективності, безпеки, екологічності та зручності міського транспорту. Такий підхід відповідає загальній парадигмі "розумного міста" (Smart City), де транспорт є одним із ключових стовпів мобільності та інтеграції міських систем управління.

Транспортна SMART-інфраструктура передбачає комплексну взаємодію технологій, сервісів, інтерфейсів користувача, даних та аналітики, що дозволяє будувати адаптивні, масштабовані та стійкі транспортні системи. Аналітична доповідь Центру Разумкова (2021) "Smart-інфраструктура у сталому розвитку міст: світовий досвід та перспективи України" комплексно аналізує сучасні тенденції цифровізації міських систем, характеристики smart-інфраструктури, її функції, потенційні переваги, такі як підвищення енергоефективності та якості послуг, а також виклики впровадження, включаючи законодавчі, інституційні та фінансові бар'єри; документ узагальнює світовий досвід розбудови smart-інфраструктури, стан в Україні та пропонує принципи політики її розвитку, що обґрунтовує необхідність системного підходу для сталого урбаністичного зростання [1].

Основним компонентом транспортної SMART-інфраструктури є IoT та сенсорні системи, зокрема камери, які забезпечують збір даних у реальному часі про транспортні потоки, стан доріг, інтенсивність руху пішоходів і забруднення довкілля. Дослідження А.Лодхі та співавторів (2023) щодо еволюції інтелектуальних транспортних систем, технологій збору даних, комунікацій, управління базами даних [2] підкреслює, що комбінація інфраструктурних і транспортних сенсорів формує основу для моніторингу трафіку, прогнозування навантажень, вирішення проблем заторів, забруднення та аварійності, демонструючи переваги інтелектуальних транспортних систем у підвищенні ефективності та безпеки.

Використання великомасштабних IoT-сенсорних мереж є особливо важливим, оскільки саме якісні та достовірні дані становлять основу для оптимізації транспортних потоків і прогнозування пасажиропотоків. Це переконливо обґрунтовують С.Пайва та М.Ахад (2021) у праці "Технології, що сприяють розумній міській мобільності: останні тенденції, можливості та виклики" [3], де автори комплексно аналізують функціонування IoT, Big Data та AI як базових технологій (enabling technologies), що забезпечують розвиток розумної мобільності (smart mobility), висвітлюють актуальні тенденції (скорочення заторів, зменшення екологічного навантаження), потенційні можливості (автономні транспортні системи) та

основні виклики (захист приватності, інфраструктурні обмеження), доводячи необхідність інтеграції цих рішень для формування адаптивного транспортного управління та ефективних мультимодальних сервісів.

Дані з сенсорів, будучи великими, гетерогенними, просторово та часово пов'язаними, обробляються за допомогою великих даних (Big Data), геоінформаційних систем (GIS), просторового аналізу та статистики для формування карт руху, прогнозування потоків і виявлення заторів. Х.Нгуєн та співавтори (2022) у роботі "Застосування аналітики великих даних в управлінні дорожнім рухом в інтелектуальних транспортних системах" [4] демонструють застосування Big Data аналітики в інтелектуальних транспортних системах для прийняття обґрунтованих рішень, підвищення ефективності та безпеки, аналізуючи глобальні приклади інтеграції з IoT і AI для прогнозування заторів, оптимізації маршрутів і зменшення аварійності. Вчені наголошують на ролі державної політики та правового регулювання для масштабування систем, що обґрунтовує перехід до публічно-приватних моделей.

Н. Мартинович та Є. Сандулов (2025) у статті "Проблеми та перспективи інтеграції штучного інтелекту у громадський транспорт в Україні: аналітичний контекст" [5] здійснюють комплексний аналіз можливостей застосування технологій штучного інтелекту в системі громадського транспорту України, акцентуючи увагу на тому, що потенціал AI для оптимізації маршрутних схем, підвищення точності прогнозування пасажиропотоку та впровадження адаптивних моделей управління рухом прямо залежить від зрілості національної інституційної та технологічної інфраструктури. Науковці окреслюють системні бар'єри, як-то нормативно-правові прогалини, нестачу кваліфікованих кадрів, фрагментарність даних та обмежені фінансові ресурси громадських операторів, що суттєво гальмують інтеграцію інтелектуальних рішень. Автори наголошують, що ефективне впровадження AI в український громадський транспорт можливе лише за умови формування комплексної державної політики, яка поєднає оновлення правового регулювання, інвестиції в цифрову інфраструктуру, розвиток кадрового потенціалу та запровадження стандартів відкритих даних, підкреслюючи, що успішна модернізація можлива лише в умовах інтегрованого підходу, який синхронізує технологічні, управлінські та фінансові рішення.

Одним із основних напрямів розвитку інтелектуальних транспортних систем у мегаполісах є впровадження концепції Mobility as a Service (MaaS) [6], що передбачає інтеграцію різних видів транспорту в єдиний цифровий сервіс планування, бронювання та оплати поїздок. MaaS — це концепція інтегрованої мобільності, яка передбачає об'єднання різних видів транспорту (громадський транспорт, таксі, каршеринг, райдшеринг, прокат велосипедів/самокатів тощо) в єдину цифрову платформу, що дозволяє планувати маршрути, бронювати та оплачувати поїздки "в єдиному вікні". Основними характеристиками MaaS є:

- єдина точка доступу (мобільний застосунок або онлайн-платформа замінює окремі сервіси);
- інтегроване планування маршруту (система пропонує оптимальні комбінації видів транспорту);

— єдина система оплати (оплата всіх етапів поїздки в межах одного додатка);

— персоналізація (налаштування під потреби користувача (час, бюджет, швидкість, екологічність);

— фокус на сервісі (основним стає доступ до пересування, а не володіння автомобілем) [6].

У сучасних дослідженнях MaaS розглядається як інструмент, здатний суттєво зменшити рівень автомобілезалежності, оптимізувати транспортні потоки та забезпечити підвищення ефективності міської мобільності за рахунок переорієнтації громадян від приватного транспорту до комбінованих та спільних моделей пересування. Ю.Паляниця, В.Дунець та співавт. (2025) підкреслюють, що успішне впровадження MaaS потребує інтеграції з IoT, Big Data та AI, а також належного інтерфейсу користувача та відкритих даних [7].

Практичним підтвердженням життєздатності цієї концепції стали перші комплексні проєкти MaaS, реалізовані в країнах Північної Європи, зокрема Whim (Гельсінкі, Фінляндія) та UbiGo (Гетеборг / Стокгольм, Швеція). Їхній досвід дозволяє оцінити як інноваційний потенціал MaaS, так і обмеження, пов'язані з інституційними, ринковими та організаційними чинниками впровадження.

Платформа Whim, створена компанією MaaS Global, стала першим у світі комерційним сервісом MaaS, що запрацював у Гельсінкі в 2016-2017 роках. Система об'єднала в одному інтерфейсі громадський транспорт, таксі, оренду авто, каршеринг та мікромобільність, забезпечивши користувачам можливість планування маршруту, бронювання поїздок і здійснення оплати через єдиний цифровий канал. За даними досліджень, у Whim використовувалася багаторівнева тарифна політика, що включала модель Pay-as-you-go (оплата за використання), підписку Whim Urban та преміальний пакет Whim Unlimited, який надавав необмежений доступ до більшості транспортних сервісів міста [8; 9].

Така гібридна модель дозволяла користувачам індивідуалізувати власні мобільні практики, водночас створюючи передумови для поступової відмови від приватного авто. Попри позитивну динаміку впровадження та значну кількість користувачів (понад 70 тис. у 2018 р.), у 2024 р. MaaS Global зіштовхнулася з фінансовими труднощами і оголосила про банкрутство. Це свідчить про те, що навіть технологічно інноваційні рішення потребують стійкої бізнес-моделі, розвинених партнерських відносин з транспортними операторами та підтримки з боку місцевої влади [10].

Інший важливий приклад ранньої реалізації MaaS — шведська платформа UbiGo, пілотний проєкт якої стартував у Гетеборзі у 2013 році. На відміну від Whim, UbiGo орієнтувалася насамперед на домогосподарства і реалізовувала модель мобільності на основі підписки, що забезпечувало користувачам доступ до громадського транспорту, каршерингу, оренди авто, таксі та сервісів мікромобільності без необхідності окремої взаємодії з кожним оператором. Система дозволяла гнучко змінювати пакети в залежності від сезонних та побутових потреб користувачів, що створювало більш адаптивні моделі мобільності порівняно з традиційними транспортними схемами [11]. Учасники пілоту демонстрували зниження залежності від приватного автомобіля та го-

товність переходити на комбіновані види транспорту, що підтверджує ефективність MaaS як інструменту формування сталої мобільності [12]. Саме UbiGo разом із Whim створили перші реальні цифрові екосистеми мобільності, в яких інтеграція транспортних сервісів супроводжувалась формуванням нового типу поведінки користувачів.

Порівняння досвіду цих двох платформ засвідчує, що основними чинниками ефективності MaaS є:

- чітко структурована модель взаємодії між транспортними операторами та платформою;
- гнучкі та зрозумілі фінансові механізми для користувачів;
- підтримка органів публічної влади на місцевому рівні у частині нормативного регулювання, тарифної політики та інтеграції даних;
- наявність стабільної інфраструктури відкритих транспортних даних.

При цьому, хоча концепція MaaS має значний потенціал для розвитку сталої мобільності, її реалізація потребує комплексного інституційного супроводу, технологічної готовності, а також узгодження бізнес-інтересів різних учасників ринку. Досвід Whim демонструє високі технологічні можливості, але й водночас вразливість комерційної моделі у випадку недостатнього ринкового масштабу чи невдалих партнерських домовленостей. UbiGo, у свою чергу, показує, що пілотні проекти з відносно невеликим охопленням можуть мати стійкий соціальний ефект і сприяти довгостроковим змінам у транспортній поведінці населення.

Отже, аналіз наведених прикладів підтверджує, що MaaS є перспективним напрямом розвитку інтелектуальних транспортних систем мегаполісу, здатним забезпечити інтеграцію цифрових сервісів, підвищення ефективності міської мобільності та зменшення навантаження на транспортну інфраструктуру. Водночас успішність таких платформ залежить від узгодженості інституційних механізмів, стратегічного бачення органів публічної влади на місцевому рівні та здатності ринку забезпечувати сталі партнерські моделі. У контексті модернізації транспортної SMART-інфраструктури українських міст досвід Whim і UbiGo може слугувати методичною основою для розроблення власних MaaS-рішень, орієнтованих на інтеграцію різних видів транспорту, розвиток цифрових сервісів та формування нових моделей мобільності населення.

Модернізація транспортної SMART-інфраструктури мегаполісів, зокрема інтеграція систем IoT-моніторингу, цифрових платформ керування мобільністю, елементів штучного інтелекту, а також розвиток MaaS-сервісів потребує значних довгострокових капіталовкладень, які далеко не завжди можуть бути забезпечені лише з місцевих або державних бюджетів. У таких умовах застосування інвестиційних моделей публічно-приватного партнерства, зокрема концесій, виступає не лише фінансово доцільним, але й стратегічно обґрунтованим механізмом для формування стійкої та технологічно зрілої транспортної інфраструктури.

Новий Закон України "Про публічно-приватне партнерство" 2025 року [13] формалізує та оновлює правові засади публічно-приватного партнерства в Україні, створюючи доволі гнучку та чітку нормативну рамку для за-

лучення приватних інвестицій у суспільно значущі проекти. Це відкриває законодавчо закріплені можливості для великих інфраструктурних проектів, які важко реалізувати виключно за рахунок бюджетних коштів. Саме такі проекти, як транспортні SMART-інфраструктурні системи, потребують значних інвестицій, довготривалого фінансування, сучасної технологічної бази та професійного управління.

Публічно-приватне партнерство дозволяє оптимізувати розподіл ризиків між державою та приватним сектором. Впровадження елементів SMART-мобільності передбачає технологічні, операційні та інституційні ризики, пов'язані зі швидкою зміною технологій, необхідністю забезпечення кібербезпеки, непередбачуваністю пасажиропотоків та можливими перебоями в роботі цифрових платформ. Закон формально визначає механізми публічно-приватного партнерства, правила укладення договорів, розподілу ризиків і взаємних обов'язків між публічним і приватним партнерами. Це означає, що проекти модернізації мають надійну правову основу для реалізації. Приватний сектор має кращу спроможність до управління технологічними ризиками та володіє необхідними технічними компетенціями, держава може взяти на себе інституційні та регуляторні ризики, забезпечуючи стабільність та прозорість привил.

Крім того, застосування концесійних форм господарювання створює передумови для залучення довгострокових інвестицій, оскільки механізм концесії забезпечує приватному партнеру прогнозований інвестиційний горизонт та гарантує можливість повернення вкладених ресурсів шляхом експлуатації відповідної інфраструктури або отримання плати за надані послуги. Такий підхід набуває особливої значущості у випадках реалізації проектів, де економічний ефект виявляється не одномоментно, а формується поступово, як, наприклад, у процесі цифрової модернізації транспортних систем, що передбачає тривалі етапи розгортання, апробації та стабілізації функціонування.

Участь приватного сектору виступає каталізатором технологічного оновлення, що має критичне значення для розвитку транспортної SMART-інфраструктури. Інноваційні компанії володіють доступом до передових технологічних рішень, нагромадженням міжнародним досвідом реалізації аналогічних проектів та організаційною гнучкістю у впровадженні нових цифрових стандартів. Залучення приватного партнера мінімізує ризики технологічної застарілості та забезпечує адаптивність інфраструктури до майбутніх інновацій. Застосування таких моделей одночасно підвищує фінансову стійкість мегаполісу, дозволяючи уникнути одноразового надмірного бюджетного навантаження та формуючи багатоканальну систему фінансування.

Модернізація транспортної SMART-інфраструктури мегаполісу потребує комплексного застосування інституційно-управлінських механізмів, які поєднують правове регулювання, організаційну координацію, фінансування, технологічну інтеграцію, управління даними та взаємодію з користувачами. Нормативно-правовий механізм забезпечує стабільність і передбачуваність впровадження SMART-технологій через законодавчі акти, технічні стандарти та регуляції, включно з правилами

доступу до даних. Наприклад, Закон України "Про публічно-приватне партнерство" створює правову основу для залучення приватних інвестицій у проекти модернізації транспортної інфраструктури, дозволяючи інтегрувати цифрові рішення без ризику невідповідності нормативним вимогам [13]. Технологічні стандарти та регламенти забезпечують сумісність різних систем, підвищують безпеку та сприяють інтеграції інтелектуальних платформ у єдину міську екосистему [1].

Організаційно-інституційний механізм функціонування транспортної інфраструктури передбачає узгоджену взаємодію між органами публічної влади, муніципалітетами, транспортними операторами та спеціалізованими дата-хабами. Ключову роль у цьому процесі відіграють координаційні центри, інтегровані командні платформи та муніципальні департаменти транспорту, які забезпечують ефективне управління потоками інформації. Така інформаційна інтеграція є критично важливою для реалізації адаптивного контролю транспортних систем та впровадження MaaS-платформ, що підтверджується практикою Whim у Гельсінкі та UbiGo у Стокгольмі [8; 11]. Введення зазначеного механізму створює умови для своєчасного прийняття управлінських рішень, врахування актуальних даних про пасажиропотоки та оперативного реагування на зміну умов руху [7].

Фінансово-інвестиційний механізм є ресурсним елементом забезпечення сталого розвитку транспортної SMART-інфраструктури мегаполісу. Використання моделей публічно-приватного партнерства, концесій, муніципальних інвестиційних програм та залучення приватних операторів дозволяє оптимізувати фінансові ризики, забезпечити довготривале фінансування та стимулювати інновації. Досвід Whim демонструє, що лише поєднання технологічної готовності з гнучкими бізнес-моделями та підтримкою муніципалітетів забезпечує життєздатність платформи [9; 10]. ППП і концесії дозволяють державі та місту зменшити одноразові капіталовкладення, делегуючи технологічні та операційні ризики приватним партнерам, одночасно зберігаючи контроль за інфраструктурою та регуляторні функції органів публічної влади [13].

Технологічно-процедурний механізм охоплює стандарти інтеграції, вимоги до інтероперабельності систем, кібербезпеку та протоколи обміну даними між підсистемами. Такий підхід забезпечує безперебійність роботи інтелектуальних транспортних мереж, надійність обробки даних IoT-сенсорів та ефективність алгоритмів штучного інтелекту, що використовуються для прогнозування пасажиропотоків та оптимізації світлофорного регулювання [2; 3; 5].

Механізми управління даними включають політики відкритих даних, стандарти data governance, угоди про обмін даними та аналітичні платформи. Відкритість та доступність даних критично важливі для прогнозування, аналітики та формування мультимодальних сервісів, включаючи MaaS. Відкрита взаємодія між різними учасниками екосистеми сприяє інтеграції систем Big Data, AI та IoT у єдину аналітичну платформу, що підвищує ефективність управління транспортними потоками [4; 6; 7].

Механізми участі та комунікації забезпечують інтегративність і врахування поведінкових моделей користувачів. Використання партисипативних платформ, мобільних додатків та сервісів MaaS дозволяє адаптувати

транспортні сервіси під індивідуальні потреби населення, підвищувати задоволеність користувачів і стимулювати зміни у транспортній поведінці, зокрема зменшення залежності від приватного автомобіля, що підтверджує досвід UbiGo [6; 12].

Таким чином, комплексне поєднання інституційно-управлінських механізмів забезпечує ефективну модернізацію транспортної SMART-інфраструктури мегаполісу, інтегруючи технологічні, фінансові, нормативні та соціальні аспекти в єдину систему управління мобільністю.

ВИСНОВКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ РОЗВІДОК У ДАНОМУ НАПРЯМІ

Модернізація транспортної SMART-інфраструктури мегаполісів потребує комплексного та інтегрованого застосування нормативно-правових, організаційно-інституційних, фінансово-інвестиційних та технологічно-процедурних механізмів, доповнених системами управління даними та платформами взаємодії з користувачами. Законодавче закріплення інструментів публічно-приватного партнерства, концесійних угод та муніципальних інвестиційних програм формує передумови для залучення приватного капіталу та технологій, мінімізації інвестиційних ризиків та забезпечення довготривалого фінансування, при цьому держава гарантує стабільність регуляторної середовища та інтеграцію проектів у міські транспортні системи.

Використання інтернету мов (IoT), технологій Big Data, штучного інтелекту та аналітичних платформ створює можливості для оптимізації транспортних потоків, прогнозування пасажиропотоків, підвищення ефективності та безпеки мереж. Водночас технологічні стандарти та протоколи забезпечують інтероперабельність систем та кіберзахист критичної інфраструктури.

Соціальна складова модернізації транспортної SMART-інфраструктури мегаполісів реалізується через партисипативні механізми, мобільні додатки та сервіси MaaS, що сприяють формуванню нових моделей мобільної поведінки користувачів, підвищенню рівня їхньої задоволеності та довіри до транспортної системи.

Подальші дослідження мають бути зосереджені на нормативному та фінансовому забезпеченні впровадження SMART-технологій, інтеграції цифрових платформ у міські транспортні системи, а також на оцінці їхнього соціального та екологічного впливу. Це створює концептуальну основу для формування стійкої, ефективної та інтегрованої моделі мобільності у транспортній SMART-інфраструктурі великих міст.

Література:

1. Smart-інфраструктура у сталому розвитку міст: світовий досвід та перспективи України. Центр Разумкова, 2021. URL: <https://razumkov.org.ua/uploads/other/2021-SMART-%D0%A1YT-I-SITE.pdf>
2. Arjun Singh Lodhi, Anuj Jaiswal, Shashikant Nishant Sharma. An Investigation into the Recent Developments in Intelligent Transport System. Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol.14, 2023. URL: <https://easts.info/on-line/proceedings/vol.14/pdf/PP3808.pdf>

3. Sara Paiva, Mohd Abdul Ahad. Enabling Technologies for Urban Smart Mobility: Recent Trends, Opportunities and Challenges. National Center for Biotechnology. 2021. URL: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8003137/>

4. Hoang Phuong Nguyen etc. Applications of Big Data Analytics in Traffic Management in Intelligent Transportation Systems. International Journal on Informatics Visualization. 2022. Vol 6, No 1-2. URL: <https://joiv.org/index.php/joiv/article/view/882>

5. Мартинович Н. О., Сандулов Є. Г. Проблеми та перспективи інтеграції штучного інтелекту у громадський транспорт в Україні: аналітичний контекст. Бізнесінформ. 2025. № 9. URL: https://www.business-inform.net/export_pdf/business-inform-2025-9_0-pages-229_238.pdf

6. MAAS: для сталого та ефективного транспорту в містах. Серія навчально-практичних публікацій щодо успішних практик. 2024. Випуск №26. URL: <https://enefcities.org.ua/upload/files/Publications/Urban%20Mobility/MaaS.pdf>

7. Ю.Паляниця, В.Дунець та ін. Розвиток концепції smart systems та Mobility as a service: тенденції останнього десятиліття. Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. 2025. URL: https://www.researchgate.net/publication/390852852_ROZVITOK_KONCEPCII_SMART_SYSTEMS_TAMOBILITY_AS_A_SERVICE_TENDENCIIOSTANNOGO_DESATILITTADEVELOPMENT_OF_THE_CONCEPT_OF_SMART_SYSTEMS_AND_MOBILITY_AS_A_SERVICE_TRENDS_OF_THE_LAST_DECADE

8. Whim: one subscription for all your transport needs. URL: <https://www.transdev.com/en/solutions/whim-maas/>

9. Whim MaaS Platform. Helsinki Metro Area, Finland. 2016. URL: <https://www.ccam-tac.org/wp-content/uploads/2022/12/Helsinki-Project.pdf>

10. MaaS Global declares bankruptcy. 2024. URL: <https://www.ccam-tac.org/news/maas-global-declares-bankruptcy/>

11. UbiGo, a mobility-as-a-service application in Gothenburg, Sweden improved attitudes towards multi-modal options. URL: <https://www.itskrs.its.dot.gov/2017-b01197>

12. Evaluation of UbiGo Stockholm. 2020. URL: https://civitas.eu/sites/default/files/eccentric_m3.5_evaluation_of_ubigo_stockholm.pdf

13. Про публічно-приватне партнерство: закон України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/4510-20#Text>

References:

1. Razumkov Centre (2021), "Smart infrastructure in sustainable urban development: global experience and prospects for Ukraine", Available at: <https://razumkov.org.ua/uploads/other/2021-SMART-%D0%A1YTISITE.pdf> (Accessed 15 Dec 2025).

2. Lodhi, A.S., Jaiswal, A. and Sharma, S.N. (2023), "An Investigation into the Recent Developments in Intelligent Transport System", Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol. 14, Available

at: <https://easts.info/on-line/proceedings/vol.14/pdf/PP3808.pdf> (Accessed 15 Dec 2025).

3. Paiva, S. and Abdul Ahad, M. (2021), "Enabling Technologies for Urban Smart Mobility: Recent Trends, Opportunities and Challenges", National Center for Biotechnology, Available at: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8003137/> (Accessed 15 Dec 2025).

4. Nguyen, H.P. et al. (2022), "Applications of Big Data Analytics in Traffic Management in Intelligent Transportation Systems", International Journal on Informatics Visualization, Vol. 6, No. 1—2, Available at: <https://joiv.org/index.php/joiv/article/view/882> (Accessed 15 Dec 2025).

5. Martynovych, N.O. and Sandulov, E.H. (2025), "Problems and Prospects of Artificial Intelligence Integration into Public Transport in Ukraine: Analytical Context", BusinessInform, vol. 9, pp. 229—238, Available at: https://www.business-inform.net/export_pdf/business-inform-2025-9_0-pages-229_238.pdf (Accessed 15 Dec 2025).

6. ENEF Cities (2024), "MAAS: For Sustainable and Efficient Urban Transport", Series of Educational and Practical Publications on Best Practices, Issue 26, Available at: <https://enefcities.org.ua/upload/files/Publications/Urban%20Mobility/MaaS.pdf> (Accessed 15 Dec 2025).

7. Palyanytsia, Y., Dunets, V. et al. (2025), "Development of Smart Systems and Mobility as a Service: Trends of the Last Decade", Visnyk of Khmelnytskyi National University. Technical Sciences, Available at: https://www.researchgate.net/publication/390852852_ROZVITOK_KONCEPCII_SMART_SYSTEMS_TAMOBILITY_AS_A_SERVICE_TENDENCIIOSTANNOGO_DESATILITTADEVELOPMENT_OF_THE_CONCEPT_OF_SMART_SYSTEMS_AND_MOBILITY_AS_A_SERVICE_TRENDS_OF_THE_LAST_DECADE (Accessed 15 Dec 2025).

8. Transdev (2025), "Whim: One Subscription for All Your Transport Needs", Available at: <https://www.transdev.com/en/solutions/whim-maas/> (Accessed 15 Dec 2025).

9. CCAM-TAC (2016), "Whim MaaS Platform. Helsinki Metro Area, Finland", Available at: <https://www.ccam-tac.org/wp-content/uploads/2022/12/Helsinki-Project.pdf> (Accessed 15 Dec 2025).

10. CCAM-TAC (2024), "MaaS Global Declares Bankruptcy", Available at: <https://www.ccam-tac.org/news/maas-global-declares-bankruptcy/> (Accessed 15 Dec 2025).

11. ITS KRS (2017), "UbiGo, a Mobility-as-a-Service Application in Gothenburg, Sweden Improved Attitudes Towards Multi-Modal Options", Available at: <https://www.itskrs.its.dot.gov/2017-b01197> (Accessed 15 Dec 2025).

12. CIVITAS (2020), "Evaluation of UbiGo Stockholm", Available at: https://civitas.eu/sites/default/files/eccentric_m3.5_evaluation_of_ubigo_stockholm.pdf (Accessed 15 Dec 2025).

13. Verkhovna Rada of Ukraine (2020), "On Public-Private Partnership: Law of Ukraine", Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/4510-20#Text> (Accessed 15 Dec 2025).

Стаття надійшла до редакції 22.12.2025 р.