

DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2025-71-154>

УДК 658.5:625.7:004.6

# ГЕОІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ В УПРАВЛІННІ ДОРОЖНЬОЮ ІНФРАСТРУКТУРОЮ: ВИКЛИКИ ТА РІШЕННЯ ДЛЯ УКРАЇНИ

## GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS IN ROAD INFRASTRUCTURE MANAGEMENT: CHALLENGES AND SOLUTIONS FOR UKRAINE

Тимченко Сергій Ігорович

аспірант,

Київський національний університет будівництва і архітектури

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-3331-3189>

Tymchenko Serhii

Kyiv National University of Construction and Architecture

У статті розглянуто роль геоінформаційних систем у підвищенні ефективності управління дорожньо-інфраструктурними проектами в Україні в умовах воєнного стану. Актуальність дослідження зумовлена потребами цифровізації дорожнього сектору для подолання сучасних викликів. Проведено аналіз поточного стану впровадження ГІС в Україні та вивчення міжнародного досвіду, а також виділено основні бар'єри: недостатнє фінансування, дефіцит фахівців, фрагментованість даних і застаріле законодавство. Запропоновано рекомендації, серед яких створення єдиної платформи геопросторових даних, підготовка кадрів через спеціалізовані освітні програми, залучення відкритих програмних рішень і міжнародних грантів, а також удосконалення нормативної бази. Результати мають практичну цінність для планування, моніторингу й оптимізації інфраструктурних проектів, сприяючи швидкому відновленню доріг і підвищенню їхньої стійкості до сучасних загроз.

**Ключові слова:** цифровізація, геоінформаційні системи (ГІС), дорожньо-інфраструктурні проекти, цифрові технології, управління проектами.

This article investigates the role of Geographic Information Systems (GIS) in improving the efficiency of road infrastructure project management in Ukraine amidst wartime conditions, where ongoing conflict severely disrupts infrastructure stability and functionality. The study evaluates the current state of digitalization in Ukraine's road sector, identifying major challenges, such as financial constraints, a shortage of skilled personnel, and persistent data fragmentation. It reviews international best practices in GIS application, drawing on examples from the USA, the EU, and Sweden, and assesses their adaptability to Ukraine's unique context, characterized by the war and urgent infrastructure recovery needs. The methodology encompasses a comprehensive literature review of national and global studies, a comparative analysis of Ukraine's digital initiatives like the Digital Road project, and detailed case studies of successful GIS integration abroad. The findings indicate that while GIS offers substantial potential for optimizing project management, its adoption in Ukraine is hindered by insufficient funding, technical limitations, and a lack of trained specialists. The absence of a unified digital strategy further complicates these challenges. To overcome these barriers, the article proposes methodological recommendations: establishing a centralized platform for geospatial coordination, enhancing workforce training through specialized educational programs, optimizing funding via open-source software and international grants, and updating legislation to align with global standards. These measures aim to enhance transparency, reduce operational costs, and accelerate infrastructure restoration processes. The practical significance of this research lies in its applicability to Ukraine's post-war reconstruction efforts. Implementing the proposed recommendations could enable Ukrainian authorities to streamline decision-making, prioritize repair works effectively, and bolster the resilience of road networks, contributing to sustainable development and economic recovery in the long term.

**Keywords:** digitalization, geographic information systems (GIS), road infrastructure projects, digital technologies, project management.

**Постановка проблеми.** Цифровізація управління дорожньо-інфраструктурними проєктами є ключовою умовою їхньої ефективності в сучасних умовах. Традиційні методи вже не забезпечують необхідного рівня управління, тоді як цифрові рішення, зокрема ГІС, BIM, IoT і Big Data, відкривають можливості для інтеграції геопросторових даних із технічними та управлінськими показниками. Їх впровадження сприяє підвищенню точності прогнозування, скороченню термінів виконання робіт та оптимізації ресурсів, що є важливим чинником у проєктному управлінні.

В Україні потреба цифровізації дорожніх проєктів загострюється через воєнний стан, що вимагає оперативного відновлення інфраструктури. Використання ГІС сприяє моніторингу стану доріг, оптимізації маршрутів і прогнозуванню зношення покриття, що є критично важливим для планування відновлювальних робіт. Крім того, інтеграція цифрових технологій у процеси управління забезпечує підвищення прозорості та обґрунтованості прийняття рішень, що особливо актуально для реалізації масштабних інфраструктурних проєктів у кризових умовах. Однак впровадження цифрових технологій стикається з викликами: відсутністю єдиної стратегії, фрагментарністю ініціатив, обмеженням фінансуванням, браком кваліфікованих кадрів і застарілими методами управління.

З огляду на це постає необхідність комплексного дослідження сучасного стану цифровізації дорожньо-інфраструктурних проєктів в Україні та розробки методологічних підходів до інтеграції ГІС у процеси управління. Запропоновані рішення можуть сприяти підвищенню ефективності управління, покращенню планування та прискоренню процесу відновлення дорожньої інфраструктури країни, що своєю чергою сприятиме загальному соціально-економічному розвитку та забезпеченню стійкості транспортної мережі.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Сучасні дослідження підкреслюють важливість цифрових технологій у підвищенні ефективності управління інфраструктурними проєктами. Особлива увага приділяється ГІС, BIM, IoT і Big Data як інструментам, що сприяють інтеграції просторових даних і оптимізації процесів прийняття рішень.

Ложачевська та Марціпака [1] відзначають, що використання цифрових моделей інфраструктурних об'єктів покращує координацію між учасниками проєкту. Pavard та ін. [2] наго-

лошують, що традиційні методи управління не враховують довгострокові аспекти утримання інфраструктури, що робить необхідною інтеграцію ГІС у процеси моніторингу. Christou та ін. [3] демонструють, що поєднання ГІС і BIM дозволяє здійснювати аналіз стану дорожньої мережі в реальному часі.

Однак більшість досліджень базуються на досвіді розвинених країн, де цифрова інфраструктура є значно розвиненішою. У США активно використовуються системи "розумних доріг" на основі IoT, у Китаї застосовується Digital Twin [4] для прогнозування стану інфраструктури, а в ЄС розроблено стандарти обміну геопросторовими даними в межах проєкту INSPIRE. Водночас особливості впровадження цих технологій в Україні, де існують фінансові, технічні та кадрові обмеження, досліджені недостатньо.

Українські науковці, як-от Тімінський та ін. [5], вказують на проблеми інтеграції застарілих управлінських систем із новими цифровими інструментами, що ускладнює процес синхронізації даних. Відсутність єдиних стандартів і низький рівень підготовки спеціалістів також гальмують цифровізацію дорожньої інфраструктури в Україні.

Таким чином, аналіз літератури підтверджує значний потенціал ГІС у цифровізації дорожніх проєктів. Однак для ефективного впровадження цих технологій необхідно адаптувати методології управління, створити стандартизовану систему обміну даними та розвивати кадровий потенціал, що й становить предмет подальших досліджень.

**Формулювання цілей статті (постановка завдання).** Метою статті є дослідження ролі геоінформаційних систем (ГІС) у підвищенні ефективності управління дорожньо-інфраструктурними проєктами в Україні в умовах воєнного стану. ГІС як інструмент цифровізації сприяють інтеграції геопросторових даних із управлінськими процесами для оптимізації планування, моніторингу та контролю проєктів, однак їх впровадження стикається з викликами, що вимагають аналізу та практичних рекомендацій

Для досягнення поставленої мети визначено такі завдання:

1. Проаналізувати сучасний стан цифровізації дорожньої інфраструктури в Україні та основні перешкоди для впровадження ГІС

2. Вивчити міжнародний досвід використання ГІС у проєктному менеджменті та можливості його адаптації до українських реалій

3. Запропонувати рекомендації для інтеграції ГІС в управління дорожніми проєктами для підвищення ефективності рішень

Виконання цих завдань дозволить оцінити рівень цифровізації та запропонувати рішення для оптимізації управління дорожніми проєктами, сприяючи відновленню інфраструктури.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Сучасний стан цифровізації дорожньо-інфраструктурних проєктів в Україні. Цифровізація дорожньо-інфраструктурних проєктів в Україні стала ключовим напрямом модернізації транспортного сектору, що відповідає глобальним тенденціям інтеграції інформаційних технологій у повсякденне управління. У світі, де швидкість доступу до актуальних даних, гнучкість адаптації до змін і точність прогнозування визначають ефективність, традиційні методи управління дорожньою інфраструктурою вже не відповідають сучасним вимогам. В Україні цифрові технології, такі як ГІС, Digital Twin, IoT, Big Data, ШІ, автоматизовані системи управління, а також дрони та супутникові знімки, відіграють дедалі важливішу роль. Особливо це актуально в умовах воєнного стану, коли необхідність оперативного відновлення інфраструктури та оптимізації ресурсів виходить на перший план.

На національному рівні одним із найвизначніших проєктів є Digital Road, який реалізується Державним підприємством «Галузевий центр цифровізації та кібербезпеки» (ГЦЦК) [6]. Ця система має на меті створення єдиної електронної бази даних про стан автомобільних доріг України. Вона включає паспортизацію доріг за єдиною формою, систематизацію інформації про їх технічний стан, геопросторові характеристики, а також дані про інтенсивність руху [6]. Завдяки Digital Road управлінці отримують доступ до актуальної інформації в реальному часі, що дозволяє оперативно реагувати на аварійні ситуації, планувати ремонтні роботи з урахуванням пріоритетів і оптимізувати бюджетні витрати. Наприклад, система дає змогу визначити, які ділянки доріг потребують негайного втручання, а які можуть бути відремонтовані пізніше, що особливо важливо в умовах обмеженого фінансування. Крім того, проєкт сприяє підвищенню прозорості в управлінні дорожньою галуззю, зменшуючи корупційні ризики, пов'язані з непрозорим розподілом ресурсів.

Міністерство інфраструктури України також працює над створенням цифрового дублікату дорожньої інфраструктури [7]. Цей

амбітний проєкт передбачає розробку цифрових моделей доріг, які стануть основою для моделювання сценаріїв відновлення, прогнозування ризиків (наприклад, повеней чи зсувів) і планування транспортних потоків. Такі цифрові двійники вже використовуються в країнах із розвинутою інфраструктурою, і їх впровадження в Україні може значно підвищити ефективність управління.

На регіональному рівні також з'являються ініціативи, які демонструють потенціал цифрових технологій. Проєкт «Digital Cherkasy» у Черкаській області є прикладом комплексного підходу до цифрової трансформації [8]. У рамках проєкту місцева влада співпрацює з бізнесом і міжнародними донорами, щоб створити цифрову екосистему, яка полегшує управління регіональними ресурсами. Наприклад, у Черкасах уже розроблено цифрові карти місцевих доріг, які допомагають оптимізувати маршрути громадського транспорту та планувати ремонтні роботи.

У Дніпропетровській області реалізується проєкт із впровадження інтелектуальних транспортних систем (ITS) [9]. Ці системи дозволяють моніторити транспортні потоки, виявляти затори та оптимізувати рух громадського транспорту. У Львові також активно застосовуються цифрові рішення, зокрема для створення інтерактивних карт інфраструктури міста, доступних для громадян онлайн [10]. Однак ці ініціативи часто залишаються ізольованими, без належної інтеграції в загальнонаціональну систему, що знижує їхній загальний ефект.

Міжнародний досвід може стати джерелом натхнення для України. У США, наприклад, широко застосовуються системи "розумних доріг" на основі IoT [11]. Датчики, встановлені на дорожньому покритті, відстежують його стан і передають дані в реальному часі, дозволяючи оперативно усувати проблеми. Також у США платформа Esri ArcGIS використовується для аналізу транспортних потоків, прогнозування навантажень і планування ремонтів. Ініціатива Federal Highway Administration (FHWA) [12] інтегрує BIM із ГІС, що сприяє зниженню витрат і покращенню координації між учасниками проєктів. У Європейському Союзі проєкт INSPIRE [13] встановлює стандарти обміну геопросторовими даними, підвищуючи ефективність багатонаціональних ініціатив. Наприклад, Crossrail у Великій Британії використав BIM для оптимізації будівництва транспортних вузлів, демонструючи переваги інтеграції цифрових моделей [14].

В Південній Кореї система Urban Traffic Brain (Unick), розроблена ETRI, оптимізує сигнали світлофорів у реальному часі, скорочуючи час у дорозі на 15%, що в свою чергу зменшує викиди CO<sub>2</sub> [15]. Ці приклади ілюструють, як ГІС у поєднанні з іншими технологіями підвищують ефективність управління дорожньою інфраструктурою.

Міжнародний досвід пропонує низку уроків для України. По-перше, інтеграція ГІС із іншими технологіями, як у США чи Китаї, може підвищити точність моніторингу та зменшити витрати на утримання інфраструктури. Для України це особливо актуально в контексті відновлення доріг після війни, де оперативність і економія ресурсів є пріоритетами. По-друге, стандартизація обміну даними, як у рамках INSPIRE, могла б допомогти подолати фрагментацію інформації, що є однією з ключових проблем в Україні [16]. По-третє, використання ГІС для управління транспортними потоками, як у Південній Кореї, могло б оптимізувати логістику гуманітарних перевезень під час кризових ситуацій.

Вплив воєнного стану: нові виклики та пріоритети. Воєнний стан кардинально змінив підходи до цифровізації дорожньої інфраструктури. Якщо до 2022 року основна увага приділялася довгостроковому розвитку та модернізації, то нині акцент змістився на оперативне відновлення пошкоджених доріг і мостів. Геоінформаційні системи стали незамінним інструментом у цьому процесі. Наприклад, за допомогою ГІС створюються цифрові карти пошкоджень, які базуються на даних із супутників і дронів [17]. Ці карти використовуються для оцінки масштабів руйнувань, планування реконструкції та координації логістики гуманітарної допомоги.

Проте війна принесла й низку викликів. Фінансування проєктів цифровізації скоротилося через перерозподіл ресурсів на оборону та негайні потреби. Відсутність єдиної стратегії та координації між державними органами, місцевою владою та приватним сектором ускладнює впровадження нових технологій. До того ж, безпекові ризики, такі як обстріли чи окупація територій, обмежують доступ до інфраструктури для її цифрового документування.

Виклики впровадження ГІС в Україні. Впровадження ГІС у дорожньо-інфраструктурні проєкти в Україні стикається з численними структурними бар'єрами, що гальмують цифрову трансформацію:

1. Фінансові обмеження Дослідження одноставно відзначають хронічний брак

фінансування у дорожньому секторі. Наприклад, науковці констатують, що головною проблемою дорожньої галузі є саме нестача фінансових ресурсів [18]. Більшість проєктів залежать від міжнародних грантів через нестабільність державного фінансування. Сучасне обладнання, програмне забезпечення (наприклад, ArcGIS) та супровідні системи потребують значних інвестицій, що ускладнює їх впровадження в умовах бюджетних обмежень [19]. Висока вартість ліцензійного ПЗ і модернізації апаратного забезпечення додатково посилює проблему.

2. Розрізненість даних є ще одним суттєвим бар'єром. Відсутність єдиної централізованої платформи для обробки геопросторових даних ускладнює інтеграцію інформації між різними структурами. Фрагментація систем призводить до невідповідності форматів і стандартів, що перешкоджає комплексному аналізу та прийняттю обґрунтованих рішень [16]. Технічні обмеження, такі як недостатня інфраструктура для збору даних і низька швидкість інтернету в окремих регіонах, також знижують ефективність ГІС.

3. Кадровий дефіцит суттєво впливає на процес цифровізації. Нестача спеціалістів із навичками роботи з ГІС, BIM, IoT, Big Data та ШІ уповільнює впровадження технологій. Багато організацій не готові адаптувати свої процеси до нових стандартів, що спричиняє опір змінам серед персоналу та стейкхолдерів [20]. Відсутність системних програм підготовки лише погіршує ситуацію.

4. Нормативно-правові перешкоди також відіграють ключову роль. В Україні бракує єдиної регуляторної бази для впровадження цифрових інструментів у дорожніх проєктах. Чинне законодавство не відповідає міжнародним стандартам, що ускладнює інтеграцію передового досвіду та використання сучасних технологій [21]. Питання кібербезпеки, зокрема захист даних ГІС від атак, залишаються недостатньо врегульованими, що підвищує вразливість систем [1].

Перспективи та рекомендації. Цифровізація відкриває нові можливості для України: від підвищення ефективності управління до залучення інвестицій у транспортний сектор. Однак для реалізації цього потенціалу необхідно подолати наявні бар'єри. Серед ключових рекомендацій – розробка єдиної національної стратегії цифровізації, яка б об'єднала зусилля держави, регіонів і приватного сектору. Важливим є також залучення міжнародних грантів і технічної допомоги,



наприклад, від ЄС чи Світового банку, для фінансування проєктів. Підготовка кваліфікованих кадрів через спеціалізовані програми в університетах і оновлення законодавства для стимулювання інновацій також мають стати пріоритетами.

Методологічні рекомендації для інтеграції ГІС у процеси управління. Інтеграція геоінформаційних систем (ГІС) у процеси управління дорожньо-інфраструктурними проєктами в Україні потребує системного підходу для подолання фінансових, технічних, кадрових і нормативно-правових викликів, виявлених у попередніх розділах. На основі аналізу сучасного стану цифровізації, перешкод та міжнародного досвіду пропонуються методологічні рекомендації, які сприятимуть ефективному впровадженню ГІС. Ці рекомендації спрямовані на підвищення прозорості, оптимізацію ресурсів і прискорення відновлення транспортної інфраструктури в умовах воєнного та повоєнного періодів:

1. Створення єдиної платформи для геопросторових даних. Першим кроком є розробка централізованої платформи для збору, обробки та аналізу геопросторових даних. Фрагментація інформації між різними структурами, як-от місцевими адміністраціями та державними органами, ускладнює управління дорожньою інфраструктурою [16]. Єдина платформа, подібна до європейської системи INSPIRE, могла б інтегрувати дані про стан доріг, транспортні потоки та екологічні фактори, забезпечуючи доступ для всіх учасників проєктів. Наприклад, проєкт Digital Road уже частково виконує цю функцію, але потребує розширення для повноцінного охоплення всіх регіонів [6]. Такий підхід зменшить дублювання даних і підвищить оперативність прийняття рішень.

2. Розвиток кадрового потенціалу. Дефіцит кваліфікованих спеціалістів є суттєвою перешкодою для впровадження ГІС. Для його подолання необхідно створити спеціалізовані освітні програми та тренінги. Університети та професійні асоціації могли б розробити курси, орієнтовані на інженерів і управлінців дорожньої галузі, за прикладом програм у США, де підготовка фахівців із ГІС є частиною інфраструктурної політики. Додатково рекомендується впроваджувати онлайн-курси та сертифікацію для підвищення доступності навчання, що дозволить швидше підготувати кадри для роботи з цифровими технологіями.

3. Оптимізація фінансування. Фінансові обмеження, які ускладнюють закупівлю

обладнання та програмного забезпечення, можна подолати через оптимізацію витрат і залучення зовнішнього фінансування. Використання відкритого програмного забезпечення, такого як QGIS, замість дорогих ліцензійних продуктів (наприклад, ArcGIS) значно знизить витрати без втрати функціональності. Міжнародний досвід показує, що гранти від таких організацій, як Європейський банк реконструкції та розвитку (ЄБРР), можуть стати джерелом фінансування цифрових проєктів [22]. Рекомендується також розробити державні програми співфінансування, які б стимулювали приватний сектор інвестувати у цифровізацію дорожньої інфраструктури.

4. Оновлення законодавства. Нормативно-правові перешкоди, такі як відсутність єдиних стандартів для ГІС і недостатнє регулювання кібербезпеки, потребують оновлення законодавчої бази [21]. Гармонізація українського законодавства з міжнародними стандартами, зокрема з директивою INSPIRE Європейського Союзу, сприятиме інтеграції передового досвіду та підвищенню сумісності систем. Важливим кроком є розробка протоколів захисту даних, зібраних через ГІС, для запобігання кібератакам, що особливо актуально в умовах воєнного стану [1]. Це підвищить безпеку транспортної мережі та довіру до цифрових рішень.

5. Інтеграція з іншими технологіями. Для максимізації ефективності ГІС необхідно інтегрувати їх із сучасними технологіями, такими як BIM, IoT і ШІ та іншими. Міжнародний досвід, зокрема проєкт Crossrail у Великій Британії [14], показує, що поєднання ГІС із BIM дозволяє створювати тривимірні моделі доріг для точного планування та моніторингу. Використання IoT, як у системі "розумних доріг" у США, забезпечує збір даних у реальному часі, а ШІ може прогнозувати знос інфраструктури. В Україні це могло б прискорити оцінку пошкоджень і оптимізувати логістику відновлення.

**Висновки.** Проведене дослідження засвідчило, що цифровізація дорожньо-інфраструктурних проєктів в Україні має значний потенціал для підвищення ефективності управління, оптимізації ресурсів і прискорення відновлення транспортної мережі, особливо в умовах воєнного стану. Геоінформаційні системи (ГІС) є ключовим інструментом для інтеграції геопросторових даних у процеси планування, моніторингу та контролю, однак їхнє впровадження стикається з низкою перешкод. Аналіз сучасного стану цифровізації в Україні

показав, що, попри позитивні зрушення, такі як проєкт Digital Road та регіональні ініціативи на кшталт «Digital Cherkasy», процес залишається фрагментарним через відсутність єдиної стратегії та недостатню координацію між учасниками.

Основними викликами для впровадження ГІС є фінансові обмеження, технічні бар'єри, кадровий дефіцит і нормативно-правові перешкоди. Висока вартість програмного забезпечення, як-от ArcGIS, та залежність від міжнародних грантів ускладнюють доступ до технологій, тоді як фрагментація даних і брак фахівців уповільнюють їх використання. Відсутність єдиної законодавчої бази додатково гальмує прогрес. Ці проблеми підкреслюють необхідність комплексного підходу до цифрової трансформації.

Міжнародний досвід демонструє, що поєднання ГІС з іншими технологіями може зна-

чно покращити управління інфраструктурою. Для України це відкриває можливості адаптації простіших рішень, таких як моніторинг за допомогою дронів, до складніших систем у майбутньому.

Запропоновані методологічні рекомендації мають практичну цінність для подолання наявних бар'єрів. Їх реалізація сприятиме підвищенню прозорості, зменшенню витрат і прискоренню відновлення доріг, що є особливо актуальним у повоєнний період. Подальші перспективи дослідження включають розробку детальних планів цифровізації на національному рівні, дослідження впливу ГІС на економічну ефективність проєктів і вдосконалення кібербезпеки для захисту інфраструктурних даних. Таким чином, ГІС можуть стати основою для сталого розвитку транспортної системи України за умови системного підходу та співпраці з міжнародними партнерами.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

1. Ложачевська О. М., Марціпака В. М. Інноваційний розвиток транспортного комплексу в умовах цифрової трансформації. *Проблеми сучасних трансформацій*. Серія: економіка та управління. 2023. № 10. DOI: 10.54929/2786-5738-2023-10-04-10.
2. Pavard A., Dony A., Bordin P. Road modelling for infrastructure management – the efficient use of geographic information systems. *Journal of Information Technology in Construction*. 2023. Т. 28. С. 438–457. DOI: 10.36680/j.itcon.2023.022.
3. Design and development of a GIS-based platform using open source components for monitoring, maintenance and management of road network: the case study of Cyprus / G. Christou et al. *The international archives of the photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences*. 2021. XLVI-4/W2-2021. P. 37–42. DOI: 10.5194/isprs-archives-xxvi-4-w2-2021-37-2021.
4. Hightopo. Digital Twin Hong Kong-Zhuhai-Macao Bridge: Integrated Management Information System for Greater Bay Area. SegmentFault. URL: <https://segmentfault.com/a/1190000041379952/en> (дата звернення: 11.01.2025).
5. Тімінський О., Войтенко О., Райчук І. Аналіз моделей і методів діджиталізації бізнес-процесів. *Управління розвитком складних систем*. 2021. № 46. С. 38–47. DOI: 10.32347/2412-9933.2021.46.38-47.
6. У Мінінфраструктури презентували цифрові інструменти для управління дорожньою галуззю. Укрінформ. URL: <https://www.ukrinform.ua/rubric-economy/3229372-u-mininfrastrukturi-prezentovali-cifrovi-instrumenti-dla-upravlinna-doroznou-galuzzu.html> (дата звернення: 20.12.2024).
7. Дорожня галузь «в цифрі». Мінінфраструктури створює нові цифрові інструменти для якісного управління. Міністерство інфраструктури України. URL: <https://mtu.gov.ua/news/32749.html> (дата звернення: 23.01.2025).
8. Потенціал цифрової трансформації у громадах України. VoxUkraine. URL: <https://voxukraine.org/potentsial-tsyfrovoyi-transformatsiyi-u-gromadah-ukrayiny> (дата звернення: 10.01.2025).
9. Дані про місто в транспортній моделі. Дніпро. ПроМобільність. URL: <https://pro-mobility.org/doslidzhennya/dani-pro-misto-v-transportnij-modeli-d/> (дата звернення: 23.01.2025).
10. Геопортал Міста Львова. Вся геопросторова інформація міста Львів на одній карті. Львівська міська рада. URL: <https://map.city-adm.lviv.ua/> (дата звернення: 23.01.2025).
11. Smart Mobility Framework | Caltrans. California Department of Transportation | Caltrans. URL: <https://dot.ca.gov/programs/transportation-planning/division-of-transportation-planning/complete-streets/smart-mobility-framework> (дата звернення: 18.01.2025).
12. Building Information Modeling (BIM) for Infrastructure. Federal Highway Administration. URL: <https://www.fhwa.dot.gov/infrastructure/bim/> (дата звернення: 14.01.2025).

13. Implement. INSPIRE Knowledge Base. URL: [https://knowledge-base.inspire.ec.europa.eu/overview/implement\\_en](https://knowledge-base.inspire.ec.europa.eu/overview/implement_en) (дата звернення: 19.01.2025).
14. May I., Taylor M., Irwin D. Crossrail: A Case Study in BIM. ETH Zürich. URL: [https://ethz.ch/content/dam/ethz/special-interest/baug/igt/tunneling-dam/kolloquien/2016/May\\_Crossrail\\_BIM\\_Implementierung\\_ohne\\_Risiko.pdf](https://ethz.ch/content/dam/ethz/special-interest/baug/igt/tunneling-dam/kolloquien/2016/May_Crossrail_BIM_Implementierung_ohne_Risiko.pdf) (дата звернення: 22.01.2025).
15. AI optimizes traffic signals, reduces congestion on South Korean roads. CHOSUNBIZ. URL: [https://biz.chosun.com/en/en-science/2025/01/27/2\\_NREOUXE5H3BOHTFUK7XMQ3RE/](https://biz.chosun.com/en/en-science/2025/01/27/2_NREOUXE5H3BOHTFUK7XMQ3RE/) (дата звернення: 18.01.2025).
16. Цифрова адженда України. URL: <https://uccs.org.ua/uploads/files/58e78ee3c3922.pdf> (дата звернення: 03.01.2025).
17. Цифрова екосистема для підзвітного управління відновленням. DREAM. URL: <https://dream.gov.ua/ua> (дата звернення: 19.01.2025).
18. Khomenko I. O., Kontseva V. V., Bezuglyi A. O. Current state and features of financing of the road sector. *SCIENTIFIC BULLETIN OF POLISSIA*. 2017. Vol. 1, no. 4(12). P. 201–205. DOI: 10.25140/2410-9576-2017-1-4(12)-201-205.
19. Марінов Є. А. Інноваційні технології у транспортній логістиці: економічний потенціал і виклики впровадження. *Академічні візії*. 2024. № 30. URL: <https://academy-vision.org/index.php/av/article/view/1367> (дата звернення: 23.01.2025).
20. Результати поточного моніторингу проекту «Інституційна підтримка в рамках архітектури підтримки реформ в Україні – Команди підтримки реформ». «Фонд підтримки реформ в Україні». URL: [https://fsr.org.ua/sites/default/files/reports/2024-11/pivrichnyu\\_monitoryng\\_proektu\\_2019\\_rst\\_1.pdf](https://fsr.org.ua/sites/default/files/reports/2024-11/pivrichnyu_monitoryng_proektu_2019_rst_1.pdf) (дата звернення: 18.01.2025).
21. Марченко В. Поняття та правове забезпечення цифрової трансформації в Україні. *Юридичний науковий електронний журнал*. 2019. Vol. 6. P. 279–282. DOI: 10.32782/2524-0374/2019-6/66.
22. The EBRD will help Ukraine with the digitization of geological information. UBN. URL: <https://ubn.news/the-ebrd-will-help-ukraine-with-the-digitization-of-geological-information/> (дата звернення: 18.01.2025).

## REFERENCES:

1. Lozachevska O. M., Martsipaka V. M. (2023) Innovatsiinyi rozvytok transportnoho kompleksu v umovakh tsyvrovoi transformatsii [Innovative development of the transport complex in the conditions of digital transformation]. *Problemy suchasnykh transformatsii*. Seriya: ekonomika ta upravlinnia [Problems of modern transformations. Series: economics and management], vol. 10, pp. 04–10.
2. Pavard A., Dony A., Bordin P. (2023) Road modelling for infrastructure management – the efficient use of geographic information systems. *Journal of Information Technology in Construction*, vol. 28, pp. 438–457.
3. Christou G. et al. (2021) Design and development of a GIS-based platform using open source components for monitoring, maintenance and management of road network: the case study of Cyprus. *The international archives of the photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences*, vol. XLVI-4/W2-2021, pp. 37–42. DOI: 10.5194/isprs-archives-xlvi-4-w2-2021-37-2021.
4. Hightopo (n.d.) Digital Twin Hong Kong-Zhuhai-Macao Bridge: Integrated Management Information System for Greater Bay Area. SegmentFault. Available at: <https://segmentfault.com/a/1190000041379952/en> (accessed January 11, 2025).
5. Timinskyi O., Voitenko O., Raichuk I. (2021) Analiz modelei i metodiv didzhytalizatsii biznes-protsesiv [Analysis of models and methods of digitization of business processes]. *Upravlinnia rozvytkom skladnykh system* [Management of complex systems development], vol. 46, pp. 38–47.
6. U Mininfrastruktury prezentuvaly tsyvrovi instrumenty dlia upravlinnia dorozhnoiu haluzziu [The Ministry of Infrastructure presented digital tools for road sector management]. Ukrinform. Available at: <https://www.ukrinform.ua/rubric-economy/3229372-u-mininfrastrukturi-prezentuvali-cifrovi-instrumenti-dla-upravlinna-doroznou-galuzzu.html> (accessed December 20, 2024).
7. Dorozhnia haluz «v tsyfri». Mininfrastruktury stvoriuie novi tsyvrovi instrumenty dlia yakisnoho upravlinnia [Road sector "in digits". The Ministry of Infrastructure creates new digital tools for quality management]. Ministerstvo infrastruktury Ukrainy [Ministry of Infrastructure of Ukraine]. Available at: <https://mtu.gov.ua/news/32749.html> (accessed January 23, 2025).
8. Potentsial tsyvrovoi transformatsii u hromadakh Ukrainy [Potential of digital transformation in Ukrainian communities]. VoxUkraine. Available at: <https://voxukraine.org/potentsial-tsyvrovoyi-transformatsiyi-u-gromadah-ukrainy> (accessed January 10, 2025).

9. Dani pro misto v transportnii modeli. Dnipro [City data in the transport model. Dnipro]. ProMobilnist [Pro-Mobility]. Available at: <https://pro-mobility.org/doslidzhennya/dani-pro-misto-v-transportnij-modeli-d/> (accessed January 23, 2025).
10. Heoportala Mista Lvova. Vsia heoprostorova informatsiia mista Lviv na odnii karti [Geoportal of Lviv City. All geospatial information of Lviv on one map]. Lvivska miska rada [Lviv City Council]. Available at: <https://map.city-adm.lviv.ua/> (accessed January 23, 2025).
11. Smart Mobility Framework | Caltrans. California Department of Transportation | Caltrans. Available at: <https://dot.ca.gov/programs/transportation-planning/division-of-transportation-planning/complete-streets/smart-mobility-framework> (accessed January 18, 2025).
12. Building Information Modeling (BIM) for Infrastructure. Federal Highway Administration. Available at: <https://www.fhwa.dot.gov/infrastructure/bim/> (accessed January 14, 2025).
13. Implement. INSPIRE Knowledge Base. Available at: [https://knowledge-base.inspire.ec.europa.eu/overview/implement\\_en](https://knowledge-base.inspire.ec.europa.eu/overview/implement_en) (accessed January 19, 2025).
14. May I., Taylor M., Irwin D. (n.d.) Crossrail: A Case Study in BIM. ETH Zürich. Available at: [https://ethz.ch/content/dam/ethz/special-interest/baug/igt/tunneling-dam/kolloquien/2016/May\\_Crossrail\\_BIM\\_Implementierung\\_ohne\\_Risiko.pdf](https://ethz.ch/content/dam/ethz/special-interest/baug/igt/tunneling-dam/kolloquien/2016/May_Crossrail_BIM_Implementierung_ohne_Risiko.pdf) (accessed January 22, 2025).
15. AI optimizes traffic signals, reduces congestion on South Korean roads. CHOSUNBIZ. Available at: <https://biz.chosun.com/en/en-science/2025/01/27/2/NREOUXE5H3BOHTFUK7XMQ3RE/> (accessed January 18, 2025).
16. Tsyfrova adzhenda Ukrainy [Digital agenda of Ukraine]. Available at: <https://ucci.org.ua/uploads/files/58e78ee3c3922.pdf> (accessed January 3, 2025).
17. Tsyfrova ekosystema dlia pidzvitnoho upravlinnia vidnovlenniam [Digital ecosystem for accountable recovery management]. DREAM. Available at: <https://dream.gov.ua/ua> (accessed January 19, 2025).
18. Khomenko I. O., Kontseva V. V., Bezuhlyi A. O. (2017) Current state and features of financing of the road sector. *SCIENTIFIC BULLETIN OF POLISSIA*, vol. 1, no. 4(12), pp. 201–205.
19. Marinov Ye. A. (2024) Innovatsiini tekhnolohii u transportnii lohistytsi: ekonomichniy potentsial i vyklyky vprovadzhennia [Innovative technologies in transport logistics: economic potential and implementation challenges]. *Akademichni vizii [Academic visions]*, vol. 30. Available at: <https://academy-vision.org/index.php/av/article/view/1367> (accessed January 23, 2025).
20. Rezultaty potochnoho monitorynhu proektu «Instytutsiina pidtrymka v ramkakh arkhitektury pidtrymky reform v Ukraini – Komandy pidtrymky reform» [Results of the current monitoring of the project "Institutional support within the architecture of reform support in Ukraine – Reform Support Teams"]. «Fond pidtrymky reform v Ukraini» ["Foundation for Support of Reforms in Ukraine"]. Available at: [https://fsr.org.ua/sites/default/files/reports/2024-11/pivrichnyy\\_monitoryng\\_proektu\\_2019\\_rst\\_1.pdf](https://fsr.org.ua/sites/default/files/reports/2024-11/pivrichnyy_monitoryng_proektu_2019_rst_1.pdf) (accessed January 18, 2025).
21. Marchenko V. (2019) Poniattia ta pravove zabezpechennia tsyfrovoy transformatsii v Ukraini [Concept and legal support of digital transformation in Ukraine]. *Yurydychnyi naukovyi elektronnyi zhurnal [Legal scientific electronic journal]*, vol. 6, pp. 279–282.
22. The EBRD will help Ukraine with the digitization of geological information. UBN. Available at: <https://ubn.news/the-ebrd-will-help-ukraine-with-the-digitization-of-geological-information/> (accessed January 18, 2025).