

**Тимченко Сергій Ігорович**

Аспірант кафедри управління проектами,

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

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

## КОНЦЕПЦІЯ ЦИФРОВІЗАЦІЇ ДОРОЖНЬО-ІНФРАСТРУКТУРНИХ ПРОЄКТІВ В УКРАЇНІ: ВИКОРИСТАННЯ ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ УПРАВЛІННЯ

***Анотація.** Стрімка урбанізація і зростання населення міст спричиняють серйозні виклики для транспортної інфраструктури, зокрема перевантаження доріг, затори та зниження безпеки руху, що негативно впливає на якість життя й економічний розвиток регіонів. В Україні ситуація ускладнюється наслідками воєнних дій, які призвели до руйнування значної частини дорожньої інфраструктури. Традиційні підходи до управління дорожньо-інфраструктурними проєктами, засновані на паперовій документації та розрізненних даних, вже не відповідають сучасним викликам. Вирішення цієї проблеми лежить у площині цифровізації дорожньо-інфраструктурних проєктів із використанням геоінформаційних технологій (ГІС). Метою цього дослідження є розроблення концептуальної моделі цифровізації дорожньо-інфраструктурних проєктів з використанням ГІС, адаптованої до українського контексту, та формування практичних рекомендацій для її впровадження. У ході дослідження передбачається проведення аналізу літератури та документації для систематизації наявних знань та виявлення кращих практик у сфері цифровізації дорожньо-інфраструктурних проєктів і використання ГІС. Планується зібрати та проаналізувати геопросторові дані досліджуваного регіону, сформувавши базу даних про дорожню інфраструктуру, що включатиме інформацію про геометрію доріг, стан покриття, інтенсивність руху та інші ключові параметри. На основі отриманих даних буде розроблено концептуальну модель цифровізації, яка враховуватиме специфіку української дорожньої галузі і включатиме ключові компоненти, етапи та процеси цифрової трансформації. Також передбачається сформулювати практичні рекомендації щодо впровадження розробленої моделі на національному і регіональному рівнях, охоплюючи організаційні, технологічні та нормативно-правові аспекти. Очікується, що результати дослідження підтвердять значний потенціал використання геоінформаційних технологій для підвищення ефективності управління дорожньою інфраструктурою в Україні. Розроблена концептуальна модель і практичні рекомендації можуть стати основою для оптимізації процесів планування, проєктування, будівництва та експлуатації доріг, зниження витрат, покращення якості доріг та підвищення безпеки дорожнього руху. Подальші дослідження можуть бути спрямовані на розширення географії дослідження, інтеграцію ГІС з іншими цифровими технологіями, розробку спеціалізованого програмного забезпечення й оцінку економічних та соціальних ефектів цифровізації дорожньої інфраструктури.*

**Ключові слова:** цифровізація; геоінформаційні системи; дорожньо-інфраструктурні проєкти; управління дорожньою інфраструктурою; просторові дані; концептуальна модель; транспортна інфраструктура

### Вступ

Стрімка урбанізація і зростання населення міст створюють значні виклики для транспортної інфраструктури. Перевантаження доріг, затори та зниження безпеки руху негативно впливають на якість життя мешканців та економічний розвиток регіонів. За даними Світового банку щорічні економічні втрати від заторів у містах можуть сягати 2–4% ВВП [1]. В Україні ситуація ускладнюється наслідками воєнних дій, які призвели до руйнування

значної частини дорожньої інфраструктури. За оцінками Укравтодору понад 30% доріг державного значення потребують капітального ремонту або реконструкції [2].

У цих умовах ефективне управління дорожньо-інфраструктурними проєктами стає критично важливим для забезпечення сталого розвитку транспортної системи. Однак традиційні підходи, що базуються на паперовій документації та розрізненних даних, вже не відповідають викликам сучасності. Вони не дають змоги оперативно приймати рішення,

оптимізувати ресурси та забезпечувати комплексний підхід до планування й управління інфраструктурою.

Вирішення цієї проблеми лежить у площині цифровізації дорожньо-інфраструктурних проєктів із використанням геоінформаційних технологій (ГІС). ГІС уможливають інтегрувати й аналізувати просторові дані про дорожню мережу, стан покриття, інтенсивність руху, аварійність тощо. Це відкриває нові можливості для оптимізації процесів планування, проєктування, будівництва та експлуатації доріг.

Дослідження у різних країнах світу підтверджують ефективність використання ГІС для управління дорожньою інфраструктурою. Наприклад, використання ГІС при плануванні технічного обслуговування допомагає зберегти ресурси (енергію, воду, матеріали) та забезпечити правильне використання людського капіталу [3]. Також використання ГІС вирішує проблему обміну даними та візуального відображення, а також надає ефективні рішення для організації і управління даними доріг, пропонує підтримку даних для проведення обслуговування дорожнього покриття [4].

Попри очевидні переваги, в Україні використання ГІС у дорожній галузі все ще перебуває на початковому етапі. Бракує комплексних досліджень, які б враховували специфіку вітчизняного контексту і пропонували адаптовані моделі та методи цифровізації. Саме тому метою цього дослідження є розроблення концептуальної моделі цифровізації дорожньо-інфраструктурних проєктів з використанням ГІС, адаптованої до українських реалій, а також формування практичних рекомендацій щодо її впровадження. Дослідження спрямоване на підвищення ефективності управління дорожньою інфраструктурою, оптимізацію витрат та покращення надання послуг у сфері дорожньо-інфраструктурних проєктів в умовах післявоєнного відновлення країни.

### **Проблеми та виклики цифровізації дорожньо-інфраструктурних проєктів в Україні**

Процес цифровізації дорожньо-інфраструктурних проєктів в Україні стикається з низкою викликів, які потребують комплексного підходу для їх подолання. Основні проблеми включають:

1. Багато даних про дорожню інфраструктуру збираються в різних форматах, таких як паперові звіти, електронні таблиці, геопросторові дані з різних систем ГІС та інші джерела, які часто не стандартизовані. Це спричиняє значні труднощі з інтеграцією цих даних у єдину систему, оскільки вони можуть мати різні формати зберігання, різні точності, а також суперечливу чи застарілу

інформацію. Наприклад, дані про стан дорожнього покриття можуть бути доступні лише у вигляді періодичних звітів, тоді як інформація про інтенсивність руху – у вигляді автоматично зібраних показників із транспортних сенсорів, але без географічної прив'язки.

Крім того, відсутність регулярного оновлення інформації призводить до того, що дані швидко застарівають і стають непридатними для прийняття оперативних рішень. Наприклад, зруйновані або пошкоджені під час війни ділянки доріг можуть не відображатися в наявних базах даних, що створює ризик для планування відновлювальних робіт або оптимізації транспортних потоків.

Така розрізненість і невідповідність даних значно ускладнює застосування геоінформаційних систем, які вимагають інтегрованих, точних та актуальних даних для проведення аналізу, створення моделей дорожньої мережі та прогнозування. У результаті це уповільнює процеси цифровізації, знижує ефективність управління дорожньою інфраструктурою та унеможливає використання передових інструментів, таких як автоматизоване планування ремонтів чи прогнозування заторів [5].

2. Недостатнє фінансування є однією з ключових перешкод для цифровізації дорожньо-інфраструктурних проєктів. Багато регіонів України стикаються з обмеженими бюджетами, які часто спрямовуються на критичні потреби, такі як аварійний ремонт доріг або підтримка базової інфраструктури, залишаючи мало ресурсів для інвестицій у цифрові технології. Це призводить до зношення технічних засобів, таких як обладнання для збору геопросторових даних, сервери для зберігання великих обсягів інформації або засоби моніторингу дорожнього стану. У багатьох випадках організації вимушені працювати із застарілим обладнанням, яке не здатне обробляти сучасні обсяги даних чи підтримувати інтеграцію з іншими системами.

Окрім апаратних проблем, ще гострішим є питання відсутності спеціалізованого програмного забезпечення, яке б уможливило ефективно обробляти, аналізувати та використовувати геоінформаційні дані. Більшість доступних рішень є імпортованими, що не лише збільшує їх вартість, але й створює труднощі з адаптацією до специфіки української дорожньої інфраструктури та нормативно-правових вимог. Ліцензування сучасного програмного забезпечення часто є занадто дорогим для місцевих органів влади, тоді як безкоштовні чи базові версії не забезпечують достатньої функціональності.

Важливо також зазначити, що недостатнє фінансування негативно впливає на можливість навчання і розвитку персоналу, який має працювати із сучасними цифровими інструментами.

Навіть якщо організація отримує доступ до нових технологій, відсутність кваліфікованих фахівців, здатних ефективно використовувати їх, значно знижує результативність таких впроваджень. Більше того, багато працівників не мають базових знань з роботи з ГІС або іншими цифровими системами, що потребує проведення регулярних навчань і тренінгів. Через нестачу коштів такі заходи часто відкладаються або проводяться частково, що створює додатковий бар'єр для ефективної цифровізації.

Отже, сукупність фінансових обмежень, застарілих технічних засобів і недостатньої підготовки персоналу створює замкнене коло, де відсутність інвестицій у цифровізацію не дозволяє підвищити ефективність управління дорожньою інфраструктурою, що, своєю чергою, призводить до подальших витрат і затримок [6].

3. У багатьох регіональних органах влади та дорожніх компаніях спостерігається значний дефіцит фахівців, які володіють необхідними навичками для роботи із цифровими технологіями, зокрема з геоінформаційними системами (ГІС). Брак таких фахівців обумовлений кількома факторами: низьким рівнем підготовки кадрів у цій сфері, обмеженим доступом до спеціалізованої освіти, а також відсутністю стимулів для залучення висококваліфікованих спеціалістів до роботи в регіональних органах влади або державних установах.

Це створює низку проблем. По-перше, відсутність відповідної експертизи унеможливорює належну інтеграцію новітніх технологій у процеси управління дорожньою інфраструктурою. Наприклад, навіть якщо регіональна влада отримує доступ до сучасних програмних чи апаратних рішень, відсутність кваліфікованих працівників для їх впровадження й обслуговування зводить нанівець потенційні переваги. Як результат, нові технології залишаються невикористаними або застосовуються лише частково.

По-друге, неефективне використання технологій через брак знань та досвіду призводить до затримок у прийнятті рішень, помилок у плануванні й управлінні інфраструктурними проектами. Наприклад, неправильна інтерпретація геопросторових даних може спричинити нерациональне використання ресурсів або навіть додаткові витрати на усунення наслідків помилок.

По-третє, відсутність фахівців із цифровізації унеможливорює створення стратегічного бачення розвитку інфраструктури з використанням цифрових інструментів. Це стосується як довгострокового планування інвестицій, так і оперативного реагування на виклики, такі як відновлення доріг

після воєнних дій або оптимізація транспортних потоків у великих містах.

Крім того, низький рівень цифрової компетенції серед персоналу гальмує процес автоматизації рутинних завдань. Наприклад, аналіз стану доріг, який міг би бути автоматизований за допомогою ГІС, часто виконується вручну, що потребує значно більше часу і призводить до суб'єктивних помилок.

Розв'язання цієї проблеми потребує впровадження комплексного підходу до підготовки кадрів. Зокрема, необхідно розробляти освітні програми з акцентом на використання цифрових інструментів у сфері управління інфраструктурою, організовувати регулярні тренінги для працівників регіональних органів влади, а також створювати партнерства між державними установами, університетами та приватними компаніями для обміну досвідом і кращими практиками. Без цих заходів впровадження новітніх технологій залишатиметься фрагментарним, а їх ефективність – низькою [7].

4. Чинні нормативно-правові документи не завжди враховують сучасні можливості цифрових технологій, що значно ускладнює їх інтеграцію в державні інфраструктурні проекти. Багато з цих документів базуються на застарілих підходах до управління даними та планування, які були розроблені ще до широкого впровадження цифровізації. Це створює низку серйозних проблем на всіх етапах проектного циклу, від збирання даних і розроблення технічної документації до реалізації й моніторингу проектів.

Одна з основних проблем полягає у відсутності чітких стандартів щодо збирання, опрацювання та інтеграції геопросторових даних. Наприклад, різні організації та установи використовують власні формати даних і системи координат, що унеможливорює їх зведення в єдину базу. Це не тільки ускладнює аналіз, але й збільшує ризик дублювання даних або втрати важливої інформації. У той же час багато наявних нормативних актів не передбачають використання автоматизованих систем для збирання даних, таких як дрони чи сенсори, що є стандартною практикою в інших країнах.

Крім того, проблема ускладнюється відсутністю нормативів для обміну даними між різними відомствами й організаціями. Багато установ працюють у закритих системах, які не мають можливості взаємодіяти з іншими платформами. Це створює інформаційні бар'єри, які уповільнюють прийняття рішень і обмежують використання інтегрованих підходів до управління дорожньою інфраструктурою. Наприклад, відсутність механізмів обміну даними між дорожніми службами, містобудівними організаціями й екологічними

відомствами може призводити до конфліктів у плануванні та недоцільного використання ресурсів.

Ще одним значним викликом є відсутність правової бази для впровадження передових інструментів аналізу даних, таких як машинне навчання чи штучний інтелект. Сучасні цифрові рішення дають змогу не лише зберігати дані, але й аналізувати їх для виявлення закономірностей, прогнозування й оптимізації процесів. Однак в Україні їх використання в державних проєктах часто стикається з юридичними перепонами, адже відповідні технології не прописані в чинних нормативних документах.

Також недостатньо уваги приділяється питанням захисту даних і кібербезпеки. Нормативно-правова база не завжди відповідає викликам, пов'язаним із зростанням кіберзагроз, особливо в умовах воєнного стану. Це ставить під ризик не лише функціонування цифрових систем, але й безпеку критично важливої інформації про дорожню інфраструктуру.

Для подолання цих проблем необхідно розробити нові нормативно-правові акти або оновити чинні з урахуванням можливостей цифрових технологій. Це включає створення стандартів для збирання й опрацювання даних, впровадження механізмів обміну інформацією між відомствами, а також забезпечення юридичного визнання новітніх технологій, таких як ГІС, штучний інтелект і автоматизовані системи моніторингу. Лише тоді цифровізація стане ефективним інструментом для розвитку дорожньої інфраструктури [8].

5. Зростаючі кіберзагрози створюють серйозні виклики для захисту геопросторових даних, які використовуються у сфері управління дорожньою інфраструктурою. Геопросторові дані включають важливу інформацію про стан доріг, розташування мостів, тунелів, транспортних вузлів і логістичних маршрутів. У контексті воєнного стану така інформація набуває особливої чутливості, оскільки її компрометація або знищення може призвести до значних ризиків для національної безпеки та економічної стабільності.

Однією з головних проблем є відсутність належного рівня кіберзахисту для баз даних, які зберігають геопросторову інформацію. Часто ці дані розташовуються на застарілих серверах або в системах, які не мають належного шифрування чи багаторівневого доступу. Це робить їх вразливими до кібератак, таких як несанкціонований доступ, викрадення інформації, атаки програм-вимагачів (ransomware) або навіть повне знищення даних. Зокрема, під час воєнних дій зловмисники можуть використовувати ці дані для планування атак на транспортну інфраструктуру, що має критичне

значення для мобільності військових та гуманітарних вантажів.

Іншою важливою загрозою є можливість внесення дезінформації до систем геоінформаційного моніторингу. Наприклад, зловмисники можуть навмисно змінювати дані про стан доріг або їхню пропускну спроможність, що може ввести в оману органи управління транспортом або створити хаос у логістичних операціях. У воєнних умовах такі дії можуть мати катастрофічні наслідки, зокрема для евакуаційних операцій або транспортування ресурсів.

Крім того, використання хмарних сервісів для зберігання та обробки геопросторових даних, хоча і надає значні переваги в доступності та масштабованості, створює нові ризики. Хмарні платформи можуть бути атаковані через уразливості в їхній інфраструктурі або через слабкість у процесах аутентифікації доступу до даних. У поєднанні з відсутністю чітких протоколів кіберзахисту це збільшує ризик втрати даних або їх несанкціонованого поширення.

Для захисту геопросторових даних необхідно впроваджувати комплексні механізми безпеки. Це включає нижченаведене.

*Шифрування даних.* Забезпечення шифрування як для даних, що зберігаються, так і для тих, що передаються, з використанням сучасних алгоритмів.

*Багаторівневий доступ.* Впровадження систем аутентифікації, таких як багатofакторна аутентифікація (MFA), для обмеження доступу до чутливих даних лише для авторизованих користувачів.

*Моніторинг і виявлення загроз.* Використання інструментів для моніторингу активності в системах зберігання даних і швидкого виявлення підозрілих дій.

*Резервне копіювання.* Регулярне створення резервних копій геопросторових даних зберігання їх у захищених місцях, відокремлених від основних систем.

*Навчання персоналу.* Підготовка працівників до розпізнавання кіберзагроз, зокрема фішингових атак, та дотримання протоколів безпеки.

*Нормативно-правове регулювання.* Розроблення і впровадження стандартів кібербезпеки для організацій, що працюють з геопросторовими даними, з урахуванням міжнародного досвіду.

У сучасних умовах кіберзахист геопросторових даних стає не лише питанням технічного забезпечення, але й ключовим елементом стратегії національної безпеки. Інвестиції в цю сферу уможливають не лише знизити ризики, але й забезпечити довгострокову стійкість дорожньо-інфраструктурних проєктів [9].

6. Руйнування інфраструктури через воєнні дії створює масштабні труднощі, які вимагають швидких і комплексних підходів до відновлення дорожньої мережі. Однією з основних проблем є критична потреба в оперативному прийнятті рішень на основі точного аналізу даних про стан доріг, масштаби пошкоджень, пріоритети для відновлення та доступність транспортних коридорів. Відсутність базових даних або руйнування наявних систем моніторингу ускладнюють цей процес, значно сповільнюючи реалізацію відновлювальних робіт.

Через воєнні дії багато наявних інформаційних систем і баз даних були частково або повністю знищені. Це стосується як цифрових, так і фізичних архівів, у яких зберігалася інформація про дорожню мережу, включаючи геопросторові карти, звіти про стан інфраструктури, транспортні потоки та плани будівництва. У багатьох випадках дорожні служби та регіональні адміністрації залишилися без актуальних і точних даних, що робить процес відновлення значно складнішим.

Крім втрати даних, руйнування дорожніх систем моніторингу, таких як датчики трафіку, камери спостереження та автоматизовані платформи, створює додаткові перешкоди. Без цих систем неможливо зібрати актуальну інформацію про інтенсивність руху, аварійність або стан окремих ділянок доріг. Це призводить до необхідності витратити значні ресурси на ручний збір інформації, що значно уповільнює процес прийняття рішень і збільшує ризик неточностей.

Також виклики посилюються через нестачу координації між різними відомствами, які відповідають за відновлення інфраструктури. Відсутність єдиного підходу до збирання, опрацювання та аналізу даних призводить до дублювання зусиль, конфліктів у пріоритетах та нерационального використання ресурсів. Наприклад, у деяких випадках відновлення вторинних доріг починається до того, як будуть відремонтовані ключові транспортні коридори, що має стратегічне значення для евакуації чи доставки гуманітарної допомоги.

Окрім того, масштаб руйнувань і динамічність ситуації в умовах воєнних дій створюють додатковий тиск на дорожні служби. Інфраструктура, яка тільки-но відновлена, може бути знову пошкоджена або зруйнована, що вимагає повторного планування робіт. За таких умов використання традиційних підходів до управління проектами стає неефективним, оскільки вони не забезпечують необхідної гнучкості для швидкого реагування на зміни.

Розв'язання цих проблем вимагає впровадження сучасних цифрових інструментів і технологій, які допоможуть зменшити вплив відсутності базових

даних і прискорити процес відновлення. Зокрема, геоінформаційні системи можуть бути використані для створення інтерактивних карт пошкоджень, пріоритезації відновлювальних робіт і моніторингу процесу в реальному часі. Використання супутникових даних та дронів може допомогти швидко зібрати інформацію про стан доріг у важкодоступних регіонах, зокрема на територіях, що перебувають під постійними обстрілами.

Також важливим є створення централізованих баз даних і платформ, які б об'єднували інформацію від різних відомств і надавали доступ до неї уніфікованому колу користувачів. Такі платформи мають забезпечувати можливість обміну даними між дорожніми службами, військовими, гуманітарними організаціями та міжнародними донорами, які можуть надавати фінансову та технічну допомогу.

Отже, для ефективного подолання наслідків руйнування інфраструктури необхідно застосовувати інтегрований підхід, який поєднує сучасні технології, міжвідомчу координацію та швидкий доступ до даних. Це дасть змогу забезпечити не лише відновлення доріг, але й створення більш стійкої транспортної системи, яка зможе краще реагувати на можливі виклики у майбутньому [10].

## Мета дослідження

Стаття має на меті представлення концептуальної методології цифровізації дорожньо-інфраструктурних проектів із використанням геоінформаційних технологій, адаптованої до українського контексту, а також формування практичних рекомендацій для її впровадження.

## Наукова новизна дослідження

Наукова новизна дослідження полягає у впровадженні інноваційного підходу до цифровізації дорожньої інфраструктури України з використанням ГІС, що враховує специфіку вітчизняного контексту і створює умови для сталого розвитку транспортної системи.

## Теоретичне підґрунтя

Цифровізація та геоінформаційні технології є ключовими концепціями, що лежать в основі сучасних підходів до управління дорожньою інфраструктурою. Цифровізація передбачає використання цифрових технологій для оптимізації та автоматизації процесів, підвищення ефективності та прийняття обґрунтованих рішень [11]. У контексті дорожньо-інфраструктурних проектів цифровізація передбачає створення гнучких автоматизованих систем управління масивами інформації, що дає змогу всім учасникам процесів будівництва, відновлення та експлуатаційного утримання

дорожньої мережі України планувати та прогнозувати перспективи і ризики своєї роботи, а також обмінюватися досвідом та інформацією [12].

Геоінформаційні технології є невід'ємною складовою цифровізації інфраструктури. ГІС допомагають збирати, зберігати, аналізувати та візуалізувати просторові дані, пов'язані з дорожньою мережею. Це включає інформацію про геометрію доріг, стан покриття, інтенсивність руху, аварійність, об'єкти інфраструктури тощо. Шляхом інтеграції різнорідних даних ГІС дають змогу створювати комплексні моделі дорожньої мережі та підтримувати прийняття рішень на всіх етапах життєвого циклу інфраструктурних проєктів.

Наявні дослідження підкреслюють значний потенціал ГІС для підвищення ефективності управління дорожньою інфраструктурою. Наприклад Pramen P. Shrestha [13] як інструмент управління технічним обслуговуванням на основі ГІС допомагає прийняти надійне та точне рішення щодо обслуговування й управління дорогами, враховуючи такі фактори, як кількість трафіку, стан тротуарів, витрати на технічне обслуговування та доступні альтернативні дороги. Naila Sharmeen [14] описує розробку моделі на основі ГІС для оптимізації розподілу транспортних потоків та пропускної здатності.

Однак, незважаючи на очевидні переваги, впровадження ГІС у практику управління дорожньо-інфраструктурними проєктами стикається з низкою викликів. По-перше, це необхідність інтеграції розрізнених даних з різних джерел та форматів [15]. По-друге, це потреба в розвитку компетенцій персоналу та зміні організаційної культури. По-третє, це вимоги до забезпечення безпеки даних, особливо в умовах зростаючих кіберзагроз [16].

Попри значну кількість досліджень у сфері цифровізації інфраструктури, їх результати не завжди можуть бути безпосередньо застосовані в українському контексті. Специфіка вітчизняної системи управління дорожнім господарством, рівень технологічного розвитку та нормативно-правова база створюють унікальні умови, які потребують адаптації наявних підходів і розробки нових моделей та методів. Саме цю прогалину і покликано заповнити дане дослідження.

### **Концептуальна методологія цифровізації дорожньо-інфраструктурних проєктів в Україні**

Цифровізація дорожньо-інфраструктурних проєктів є важливим етапом трансформації управління транспортною інфраструктурою України. Для досягнення поставленої мети було розроблено системний підхід, який базується на використанні низки взаємопов'язаних методів.

– **Аналіз літератури та документації.** На початковому етапі буде проведено ґрунтовний аналіз наукових публікацій, нормативно-правових документів, а також технічних звітів, що стосуються цифровізації дорожньо-інфраструктурних проєктів та використання геоінформаційних систем (ГІС). Цей аналіз уможливить систематизувати наявні знання, виявити кращі міжнародні практики, а також ідентифікувати прогалини в дослідженнях, які можуть стати об'єктом подальшого вивчення.

– **Збір та аналіз геопросторових даних з використанням ГІС.** Для створення цифрової бази даних буде зібрано геопросторову інформацію про дорожню інфраструктуру вибраного регіону. Ця база включатиме такі параметри, як геометрія доріг, стан покриття, інтенсивність руху, кількість транспортних засобів, аварійність, а також стан інфраструктурних об'єктів (мости, тунелі тощо). Використання ГІС допоможе не лише візуалізувати дані, а й виявити закономірності, визначити проблемні ділянки та оцінити пріоритетність заходів щодо відновлення чи модернізації.

– **Розробка концептуальної моделі цифровізації.** На основі аналізу зібраних даних буде створено концептуальну модель цифровізації дорожньо-інфраструктурних проєктів, адаптовану до українських умов. Модель включатиме ключові компоненти, такі як інтеграція геопросторових даних, розробка цифрових карт, автоматизація управлінських процесів, впровадження механізмів моніторингу та оцінки ефективності. Вона також описуватиме основні етапи цифровізації, зокрема збирання даних, їх обробку, створення інформаційних платформ, а також впровадження цифрових інструментів на етапах планування, проєктування, будівництва та експлуатації.

– **Формування практичних рекомендацій.** У завершальній фазі дослідження буде розроблено набір практичних рекомендацій щодо впровадження концептуальної моделі на національному та регіональному рівнях. Рекомендації охоплюватимуть організаційні (створення центрів моніторингу, підготовка персоналу), технологічні (вибір програмного забезпечення, методів інтеграції даних), а також нормативно-правові аспекти (адаптація чинної законодавчої бази для сприяння цифровізації).

Запропонована методологія уможливить всебічно дослідити проблему цифровізації дорожньо-інфраструктурних проєктів та сформувані підґрунтя для її вирішення. Зокрема, очікується:

- створення комплексної бази даних про дорожню інфраструктуру досліджуваного регіону;
- розробка адаптованої моделі цифровізації з урахуванням специфіки українського контексту;

– підготовка рекомендацій для державних установ, регіональних органів влади та приватних організацій, що працюють у дорожній галузі.

Результати цього дослідження матимуть як теоретичне, так і прикладне значення. З одного боку, вони сприятимуть збагаченню теоретичних знань у сфері цифровізації інфраструктурних проєктів, зокрема з використанням ГІС. З іншого боку, вони стануть практичною основою для реалізації цифрових інструментів, здатних значно підвищити ефективність управління дорожньою інфраструктурою в Україні в умовах післявоєнного відновлення та сталого розвитку транспортної системи.

### Очівані результати

Дослідження цифровізації дорожньо-інфраструктурних проєктів з використанням геоінформаційних технологій має на меті досягти кількох важливих результатів.

*Розуміння поточного стану.* Детальне вивчення, як ГІС та інші цифрові інструменти зараз використовуються в управлінні дорожньою інфраструктурою. Це допоможе зрозуміти, що працює добре, а що потребує покращення.

*База даних про дороги.* Збір та аналіз даних про дороги в одному з регіонів України, включаючи інформацію про стан доріг, інтенсивність руху тощо. Створена база даних стане цінним ресурсом для планування та управління дорожньою мережею.

*Модель для цифровізації.* Розробка моделі, яка показує, як можна ефективно впровадити цифрові технології в управління дорожньою інфраструктурою в Україні. Модель враховуватиме специфічні умови та потреби країни.

*Рекомендації для практиків.* На основі дослідження буде підготовлено набір практичних рекомендацій для організацій, які займаються дорожньою інфраструктурою. Ці рекомендації допоможуть ефективно використовувати ГІС та інші цифрові інструменти у своїй роботі.

*Покращення управління дорогами.* Очікується, що результати дослідження допоможуть покращити планування, будівництво та обслуговування доріг, що може призвести до економії коштів, кращої якості доріг та меншої кількості ремонтів.

*Внесок у сталий розвиток.* Використання ГІС допомагає краще враховувати екологічні та соціальні фактори при плануванні дорожньої інфраструктури. Це допоможе зменшити негативний вплив на довкілля та покращити безпеку на дорогах.

Очікується, що результати дослідження будуть корисними для багатьох людей – від науковців до практиків та управлінців. Для цього необхідна тісна співпраця з партнерами з дорожньої галузі та ефективне поширення здобутих результатів.

### Подяка

Методологія управління проєктами модернізації організації дорожнього руху воєнної та повоєнної відбудови територіальних громад (№ 4 ДБ-2023), номер державної реєстрації 0123U101943, фінансується за рахунок державного бюджету України. Керівник роботи, д-р. техн. наук, проф., зав. кафедри управління проєктами Київського національного університету будівництва і архітектури С. Д. Бушуєв.

### Висновки та перспективи подальших досліджень

Цифровізація дорожньо-інфраструктурних проєктів з використанням геоінформаційних технологій є перспективним напрямом, який може значно підвищити ефективність управління дорожньою мережею та сприяти сталому розвитку транспортної системи України. Дослідження спрямоване на вивчення поточного стану використання ГІС у дорожній галузі, розроблення концептуальної моделі цифровізації та формування практичних рекомендацій для впровадження цифрових інструментів.

Очікувані результати дослідження включають:

1. Систематизацію знань про кращі практики використання ГІС в управлінні дорожньою інфраструктурою.
2. Формування бази геопросторових даних про дорожню мережу досліджуваного регіону.
3. Розроблення концептуальної моделі цифровізації, адаптованої до українського контексту.
4. Набір практичних рекомендацій щодо імплементації цифрових інструментів у процеси планування, проєктування, будівництва та експлуатації доріг.

Впровадження результатів дослідження може привести до підвищення ефективності управління дорожньою інфраструктурою, зниження витрат, покращення якості доріг та підвищення безпеки дорожнього руху. Використання ГІС також допоможе краще враховувати екологічні та соціальні фактори, сприяючи сталому розвитку транспортної системи.

Це дослідження є лише першим кроком на шляху до повноцінної цифровізації дорожньої галузі України. Майбутні дослідження можуть зосередитись на таких аспектах:

1. **Розширення географії.** Масштабування дослідження на інші регіони України, щоб отримати більш повну картину стану дорожньої інфраструктури та потенціалу використання ГІС.

**2. Інтеграція з іншими цифровими технологіями.** Вивчення можливостей поєднання ГІС з іншими передовими технологіями, такими як Інтернет речей (IoT), великі дані (Big Data) та штучний інтелект (AI), для створення "розумної" дорожньої інфраструктури.

**3. Розробка спеціалізованого програмного забезпечення.** Створення програмних інструментів та платформ, які полегшать використання ГІС у дорожній галузі та сприятимуть обміну даними між різними організаціями.

**4. Оцінка економічних та соціальних ефектів.** Проведення більш детальних досліджень економічної доцільності та соціальних наслідків цифровізації дорожньої інфраструктури.

**5. Розвиток кадрового потенціалу.** Вивчення потреб у навчанні та підвищенні кваліфікації фахівців дорожньої галузі для ефективного використання ГІС та інших цифрових інструментів.

Реалізація цих напрямів досліджень вимагатиме тісної співпраці між науковцями, практиками, урядовими установами та приватним сектором. Лише спільними зусиллями можна повною мірою розкрити потенціал цифровізації для покращення дорожньої інфраструктури та якості життя громадян України. Дослідження закладає міцну основу для цього шляху, пропонуючи концептуальну модель та практичні рекомендації для початку цифрової трансформації дорожньої галузі. Очікується, що результати стимулюватимуть подальші дискусії, дослідження та практичні ініціативи у цій важливій сфері.

## Список літератури

1. Гераймович Л. Велосипед у місті: економічний ефект. *Mistosite*. URL: <https://mistosite.org.ua/uk/articles/velosyeped-u-misti-ekonomichnyi-efekt> (дата звернення: 24.11.2024).
2. Melnyk V. Features of road industry financing in the context of decentralization. *Market Infrastructure*. 2020. No. 42. URL: <https://doi.org/10.32843/infrastruct42-15> (дата звернення: 24.11.2024).
3. Nautiyal A., Sharma S. Condition Based Maintenance Planning of low volume rural roads using GIS. *Journal of Cleaner Production*. 2021. Vol. 312. P. 127649. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127649> (дата звернення: 24.11.2024).
4. Caixia Yu, Xiao Feng. Research and Development of Road Maintenance Management System Based on WebGIS. *Improving Multimodal Transportation Systems-Information, Safety, and Integration*. ICTIS 2013. URL: <https://doi.org/10.1061/9780784413036.106> (дата звернення: 24.11.2024).
5. Transport Infrastructure Digitalization: Global Practices. 2024. URL: <https://www.wsp.com/en-gl/insights/digitalization-of-road-transport-infrastructure> (дата звернення: 28.11.2024).
6. Xin Liu New Digital Infrastructure, Financial Resource Allocation and High Quality Economic Development in the Internet Era. *Applied Mathematics and Nonlinear Sciences*. 2023. 9(1). URL: [https://www.researchgate.net/publication/374131205\\_New\\_Digital\\_Infrastructure\\_Financial\\_Resource\\_Allocation\\_and\\_High\\_Quality\\_Economic\\_Development\\_in\\_the\\_Internet\\_Era](https://www.researchgate.net/publication/374131205_New_Digital_Infrastructure_Financial_Resource_Allocation_and_High_Quality_Economic_Development_in_the_Internet_Era) (дата звернення: 28.11.2024).
7. Ian Masser Capacity building for spatial data infrastructure development (SDI). 2011. URL: [https://www.researchgate.net/publication/228490116\\_Capacity\\_building\\_for\\_spatial\\_data\\_infrastructure\\_development\\_SDI](https://www.researchgate.net/publication/228490116_Capacity_building_for_spatial_data_infrastructure_development_SDI) (дата звернення: 28.11.2024).
8. International Transport Forum. Digital Transformation in Transport Regulation. 2021. URL: <https://www.itf-oecd.org/> (дата звернення: 28.11.2024).
9. Protecting critical infrastructure from cyber-attacks. URL: <https://www.plainconcepts.com/protecting-critical-infrastructure-cyberattacks/> (дата звернення: 28.11.2024).
10. Ministry of Infrastructure of Ukraine. (2023). Post-War Recovery Strategy for Transport Systems.
11. Tsyupak V., Bodnar A., Romaniuk A. Implementation of digital technologies in enterprise management: opportunities and challenges. *Economic Analysis*. 2024. No. 34(2). P. 465–479. URL: <https://doi.org/10.35774/econa2024.02.465> (дата звернення: 24.11.2024).
12. Дорожня галузь «в цифрі». Мінінфраструктури створює нові цифрові інструменти для якісного управління. Міністерство інфраструктури України. URL: <https://www.mtu.gov.ua/news/32749.html> (дата звернення: 24.11.2024).
13. Shrestha P. P., Pradhananga N. GIS-Based Road Maintenance Management. *International Workshop on Computing in Civil Engineering 2009*, Austin, Texas, United States. *Reston, VA*, 2009. URL: [https://doi.org/10.1061/41052\(346\)47](https://doi.org/10.1061/41052(346)47) (дата звернення: 24.11.2024).
14. Sharmeen S. Development of a GIS-based model for optimum traffic flow distribution a case study on selected major routes of Dhaka City. *Apache Tomcat*. URL: <http://lib.buet.ac.bd:8080/xmlui/handle/123456789/2935> (дата звернення: 24.11.2024).
15. Zhengdong H. Data integration for urban transport planning. *Utrecht : Utrecht University*, 2003. 191 p.
16. Єгелька М. Новий стандарт ISO/IEC 27001:2022 – ключові зміни. *DQS Holding GmbH*. URL: <https://www.dqsglobal.com/uk-ua/navchajtesya/blog/new-iso-27001-2022-key-changes> (дата звернення: 24.11.2024).

Стаття надійшла до редколегії 02.11.2024



**Tymchenko Serhii**

PhD student of project management department,

<https://orcid.org/00009-0009-3331-3189>

Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv

**THE CONCEPT OF DIGITALIZATION OF ROAD INFRASTRUCTURE PROJECTS IN UKRAINE:  
UTILIZING GEOINFORMATION TECHNOLOGIES TO ENHANCE MANAGEMENT EFFICIENCY**

**Abstract.** Rapid urbanization and the growth of urban populations pose serious challenges for transportation infrastructure, including road overload, traffic jams, and decreased traffic safety, which negatively affect the quality of life and economic development of regions. In Ukraine, the situation is further complicated by the consequences of military actions that have led to the destruction of a significant portion of road infrastructure. Traditional approaches to managing road infrastructure projects, based on paper documentation and fragmented data, no longer meet modern challenges. The solution to this problem lies in the digitalization of road infrastructure projects using geographic information systems (GIS). The aim of this study is to develop a conceptual model for the digitalization of road infrastructure projects using GIS, adapted to the Ukrainian context, and to formulate practical recommendations for its implementation. **Expected Research Results.** The study anticipates conducting an analysis of literature and documentation to systematize existing knowledge and identify best practices in the field of digitalization of road infrastructure projects and the use of GIS. It is planned to collect and analyze geospatial data of the studied region, forming a database of road infrastructure that will include information on road geometry, pavement condition, traffic intensity, and other key parameters. Based on the obtained data, a conceptual model of digitalization will be developed, taking into account the specifics of the Ukrainian road sector and including key components, stages, and processes of digital transformation. Practical recommendations for implementing the developed model at the national and regional levels will also be formulated, covering organizational, technological, and regulatory aspects. **Conclusions.** The results of the study are expected to confirm the significant potential of using geoinformation technologies to improve the efficiency of road infrastructure management in Ukraine. The developed conceptual model and practical recommendations can serve as a basis for optimizing the processes of planning, designing, constructing, and operating roads, reducing costs, improving road quality, and enhancing road safety. Further research may focus on expanding the geographical scope of the study, integrating GIS with other digital technologies, developing specialized software, and evaluating the economic and social effects of digitalizing road infrastructure.

**Keywords:** digitalization; geographic information systems (GIS); road infrastructure projects; road infrastructure management; spatial data; conceptual model; transportation infrastructure

**References**

1. Heraimovych, L. (2017). Bicycle in the City: Economic Effect. *Mistosite*. URL: <https://mistosite.org.ua/uk/articles/velosyped-u-misti-ekonomichnyi-efekt>.
2. Melnyk, V. (2020). Features of road industry financing in the context of decentralization. *Market Infrastructure*, 42, 91–96. <https://doi.org/10.32843/infrastruct42-15>.
3. Nautiyal, A. & Sharma, S. (2021). Condition Based Maintenance Planning of low volume rural roads using GIS. *Journal of Cleaner Production*, 312, 127649. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127649>.
4. Yu, C. & Feng, X. (2013). Research and Development of Road Maintenance Management System Based on WebGIS. In *ICTIS 2013: Improving Multimodal Transportation Systems-Information, Safety, and Integration*, pp. 792–801. <https://doi.org/10.1061/9780784413036.106/>
5. Transport Infrastructure Digitalization: Global Practices. (2024). URL: <https://www.wsp.com/en-gb/insights/digitalization-of-road-transport-infrastructure>
6. Liu, X. (2023). *New digital infrastructure, financial resource allocation and high quality economic development in the internet Era*. Applied Mathematics and Nonlinear Sciences.
7. Masser, I. (2007). Capacity building for spatial data infrastructure development (SDI). *Jurnal Alam Bina, Jilid*, 9 (1), 1–20.
8. International Transport Forum (2021). Digital Transformation in Transport Regulation. URL: <https://www.itf-oecd.org/>
9. Protecting critical infrastructure from cyber-attacks. URL: <https://www.plainconcepts.com/protecting-critical-infrastructure-cyberattacks/>
10. Ministry of Infrastructure of Ukraine. (2023). Post-War Recovery Strategy for Transport Systems.

11. Tsyupak, V., Bodnar, A. & Romaniuk, A. (2024). Implementation of digital technologies in enterprise management: opportunities and challenges. *Economic Analysis*, 34(2), 465–479. <https://doi.org/10.35774/econa2024.02.465>.
12. The Road Sector "in Digital". The Ministry of Infrastructure is creating new digital tools for effective management. Ministry of Infrastructure of Ukraine. (2021). URL: <https://www.mtu.gov.ua/news/32749.html>.
13. Shrestha, K. K. & Shrestha, P. P. (2014). A GIS-enabled cost estimation tool for road upgrade and maintenance to assist road asset management systems. In *Construction Research Congress 2014: Construction in a Global Network* (pp. 1239-1248). [https://doi.org/10.1061/41052\(346\)47](https://doi.org/10.1061/41052(346)47).
14. Sharmeen, N. (2014). Development of a GIS-based model for optimum traffic flow distribution a case study on selected major routes of Dhaka City. URL: <http://lib.buet.ac.bd:8080/xmlui/handle/123456789/2935>.
15. Zhengdong, H. (2003). Data integration for urban transport planning. URL: <https://www.dqsglobal.com/uk-ua/navchajtesya/blog/new-iso-27001-2022-key-changes>.
16. Yegelka M. New standard ISO/IEC 27001:2022 key changes. DQS Holding GmbH. URL: <https://www.dqsglobal.com/uk-ua/navchajtesya/blog/new-iso-27001-2022-key-changes> (access date: 24.11.2024).

---

#### Посилання на публікацію

- APA Тимченко, С. (2024). The concept of digitalization of road infrastructure projects in Ukraine: utilizing geoinformation technologies to enhance management efficiency. *Management of Development of Complex Systems*, 60, 95–104, [dx.doi.org/10.32347/2412-9933.2024.60.95-104](https://doi.org/10.32347/2412-9933.2024.60.95-104).
- ДСТУ Тимченко С. І. Концепція цифровізації дорожньо-інфраструктурних проєктів в Україні: використання геоінформаційних технологій для підвищення ефективності управління. *Управління розвитком складних систем*. Київ, 2024. № 60. С. 95 – 104, [dx.doi.org/10.32347/2412-9933.2024.60.95-104](https://doi.org/10.32347/2412-9933.2024.60.95-104).