

**ПІДВИЩЕННЯ ФАХОВОГО РІВНЯ НАУКОВО-ТЕХНІЧНОГО СУПРОВОДУ
ПРОЄКТУВАННЯ ТА БУДІВНИЦТВА АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ**

**INCREASING THE PROFESSIONAL LEVEL OF SCIENTIFIC AND TECHNICAL
SUPPORT FOR DESIGN AND CONSTRUCTION
OF AUTOMOBILE ROADS**



Мундіров Олександр Миколайович, провідний інженер відділу технологій Центру досліджень розвитку та утримання об'єктів інфраструктури, Державне підприємство «Національний інститут розвитку інфраструктури», Київ, Україна, e-mail: [mundirowv@gmail](mailto:mundirowv@gmail.com).

<https://orcid.org/0009-0004-3360-7498>



Райковський Віталій Францевич, кандидат технічних наук, провідний науковий співробітник відділу технологій Центру досліджень розвитку та утримання об'єктів інфраструктури, Державне підприємство «Національний інститут розвитку інфраструктури», Київ, Україна, e-mail: vintikntu@ukr.net

<https://orcid.org/0000-0002-6391-7647>

Анотація. В роботі розглянуто питання щодо підвищення фахового рівня науково-технічного супроводу, насамперед з удосконаленням підходів до проєктування та будівництва автомобільних доріг в сучасних умовах.

Виконано аналіз сучасних методів проєктування, будівництва та впровадження інноваційних технологій. Розглянуто необхідність адаптації галузі вітчизняного будівництва автомобільних доріг до міжнародних стандартів та забезпечення її професійного розвитку. Також розглянуті питання, що пов'язані з екологічними аспектами, застосування цифрових інструментів, та їхній внесок у підвищенні ефективності процесів на етапі проєктування та будівництва автомобільних доріг.

Запропоновано можливі рішення щодо вдосконалення науково-технічного супроводу, який сприятиме підвищенню якості та ефективності виконання робіт у дорожньому будівництві з урахуванням міжнародного досвіду та інтегрування отриманих даних при реалізації науково-технічних рішеннях.

Підвищення фахового рівня науково-технічного супроводу проєктування та будівництва автомобільних доріг шляхом впровадження сучасних технологій, матеріалів і адаптації до вимог міжнародних стандартів значно підвищить професійну компетенцію фахівців дорожньої галузі.

Ключові слова: науково-технічний супровід, автомобільні дороги, проєктування, будівництво, інновації, міжнародні стандарти, BIM-технології, геоінформаційні системи (ГІС), адитивні технології – АМ, екологічний аспект, кадровий потенціал.

Вступ. Розвиток транспортної інфраструктури є одним з основних чинників економічного зростання країни. Автомобільні дороги відіграють важливу роль у забезпеченні пасажирських перевезень, товарообігу, та транспортних зв'язків між регіонами країни. Проте наявна сучасність,

пов'язана з економічними, екологічними та технічними аспектами, потребує удосконалення підходів до проектування та будівництва автомобільних доріг в сучасних умовах. Зростання обсягів автомобільного транспорту, зношеність існуючих автомобільних доріг і необхідність адаптації до кліматичних змін ставлять перед фаховими науковцями у галузі будівництва додаткові завдання.

Важливість цих факторів потребує не лише оновлення технологій у галузі будівництва, але й підвищення рівня кваліфікації фахівців. Впровадження системного підходу, орієнтованого на довгострокові перспективи, забезпечує інтеграцію інновацій, що мають на меті сталий розвиток транспортної інфраструктури. Це включає екологічні аспекти, цифровізацію процесів, впровадження новітніх технологій і матеріалів та їх адаптацію до міжнародних стандартів.

Матеріали та методи. Методологічною основою виступає науковий підхід до питань підвищення фахового рівня науково-технічного супроводу, шляхом використання аналітичного, формально-логічного методів аналізування.

Метою роботи є розгляд проблеми підвищення фахового рівня науково-технічного супроводу проектування та будівництва автомобільних доріг шляхом впровадження сучасних технологій, матеріалів, адаптації до вимог міжнародних стандартів та розвитку професійних компетенцій фахівців.

Виклад основного матеріалу.

Сучасні тенденції в проектуванні автомобільних доріг.

Основними сучасними тенденціями в проектуванні автомобільних доріг є технології Building Information Modeling (BIM), геоінформаційні системи (ГІС) та адитивні технології – АМ.

Однією з ключових сучасних тенденцій є цифровізація процесів проектування. Насамперед використання технології Building Information Modeling (BIM). Це інформаційне моделювання будівельних об'єктів та процес створення і змінення інформації про будівельні об'єкти. BIM модель використовується для сумісної роботи та постійно оновлюється на основних етапах життєвого циклу дорожніх об'єктів під час проектування. Використання BIM, це забезпечує більш точне планування проектних рішень, мінімізацію помилок і ефективне управління наявними ресурсами [1].

Концепція BIM дозволяє віртуально створювати об'єкти до його фактичного будівництва. Дана технологія унеможливує невизначеність, вирішує багато питань ще на етапі проектування та моделювання, здійснює аналіз потенційних загроз. Моделювання конструкцію дорожнього одягу з урахуванням геологічних, гідрологічних і кліматичних умов у системі BIM, що значно підвищує якість на кінцевого продукту.

Окрім важливим напрямом модернізації дорожньої галузі є впровадження геоінформаційних систем (ГІС) – сучасної комп'ютерної технології, що дозволяє поєднати модельне зображення території (електронне відображення карт, схем, космо-, аерозображень земної поверхні) з інформацією табличного типу (різноманітні статистичні дані, економічні показники тощо) [2]. ГІС – це комп'ютерна система, що забезпечує можливість використання, збереження, редагування, аналізування та відображення географічних даних. Системи ГІС розрізняють за предметною областю інформаційного моделювання, наприклад: міські, муніципальні та природоохоронні.

Система ГІС дозволяє інтегрувати різні види даних у єдину платформу, що забезпечує швидкий доступ до наступної інформації: топографії місцевості, геологічні умови, існуючу інфраструктуру тощо. Дана технологія також сприяє ефективному управлінню процесом будівництва та належного експлуатаційного утримання автомобільних доріг.

Наразі суттєво швидко розвивається використання технології 3D-друку (адитивні технології-АМ) для створення елементів дорожньої інфраструктури [3].

АМ, це одна із форм технологій адитивного виробництва, де тривимірний об'єкт створюється шляхом накладання послідовних шарів матеріалу за даними цифрової моделі. Друк здійснюється спеціальним пристроєм - 3D-принтером, який забезпечує створення фізичного об'єкта шляхом послідовного накладання інформації різних шарів на основі віртуальної 3D-моделі.

АМ-технології найбільш динамічно розвиваюча галузь матеріального виробництва, яка дає можливість отримувати нові властивості виробів, економити час та матеріали при їх виготовленні. Ця технологія дозволяє зменшити витрати на виробництво, прискорити процес будівництва та мінімізувати вплив на навколишнє довкілля.

Інноваційні технології та матеріали для будівництва автомобільних доріг.

Технології модульного будівництва автомобільних доріг – це інноваційна технологія, яка передбачає використання готових блоків або панелей, які легко транспортуються, швидко встановлюються та замінюються у разі потреби. Ця технологія є сучасним рішенням для забезпечення ефективності, довговічності та екологічності дорожньої інфраструктури. Основними принципами технології є використання цементобетонних і полімерних панелей або армованих панелей для підвищення міцності.

Застосування даної технології передбачається насамперед у випадках будівництва тимчасових доріг (доступ до будівельних майданчиків), тимчасових об'їздів, доріг з високим навантаженням (порти, склади, промислові зони), для пошкоджених ділянок існуючих автомобільних доріг (до завершення повного ремонту), велосипедних доріжок, пішохідних зон та місць для парковок.

Технологія модульного будівництва дозволяє суттєво скоротити час монтажу автомобільної дороги порівняно з традиційними методами. Є можливість багаторазового використання модулів, що знижує довгострокові витрати на будівництво та обслуговування. Зменшується обсяг матеріалів, які потребують транспортування та утилізації. Для виробництва модулів у якості сировини використовують перероблені матеріали. Модулі додатково можуть бути обладнані сенсорами, які відстежують: стан дорожнього покриття, температурні коливання протягом доби / року чи величини навантаження від транспортних засобів. Модульне будівництво автомобільних доріг має широкий потенціал для впровадження у сферах, де ключовими є швидкість виконання робіт, екологічність та адаптивність до змінних умов.

Система Prefabricated Modular Pavement (PMP) (з англ. "Збірно-розбірне модульне покриття") є інноваційним підходом при ремонті та будівництві автомобільних доріг. Ця технологія використовується для скорочення часу на виконання ремонтних робіт, підвищує якість робіт та мінімізацію негативного впливу від транспортного потоку на його елементи. PMP - складається з попередньо виготовлених модулів дорожнього покриття, які можуть бути швидко доставлені на місце виконання робіт та встановлені з мінімальними затратами часу. Основними матеріалами для виготовлення модулів є цементобетон (найчастіше застосовується попередньо напружений цементобетон який забезпечує міцності та довговічності), асфальтобетонні панелі (можуть використовуватись у менш навантажених зонах), композиційні матеріали (суміші полімерів – забезпечують гнучкість конструкцій). Використання модульних конструкцій PMP доцільно насамперед для швидкого ремонту автомобільних доріг, де кожна година простою значно впливає на економіку, безпеку транспортного потоку, на мостах та естакадах для швидкого відновлення дорожнього полотна (на обмежених ділянках) та у аеропортах на злітно-посадкових смугах, де затримки у русі не допустимі [4].

Впровадження електрифікованих доріг, які здатні заряджати електромобілі під час руху, є ще одним перспективним напрямом досліджень та впроваджень. Такі проекти вже реалізуються у деяких країнах, демонструють значний потенціал для зменшення залежності від традиційних джерел енергії та сприяють розвитку електромобільності.

Розумні дороги – це інноваційна технологія, що включає в себе використання сучасних інформаційних та комунікаційних технологій для поліпшення функціональності, безпеки та ефективності дорожньої інфраструктури [5]. Розумні дороги інтегрують інтелектуальні системи, датчики, мережі зв'язку та автоматизацію, що створює умови для безпеки учасників дорожнього руху, та забезпечує та стійким до змін кліматичних умов. Розумні дороги часто використовують інтеграцію з транспортними системами ITS (Intelligent Transport Systems) для збору і аналізу даних про потік транспорту, затори, погодні умови, що дозволяє в реальному часі керувати дорожнім рухом та реагувати на зміни ситуації (динамічні дорожні знаки, які змінюються в залежності від умов та

інтерфейси для водіїв, що надають їм інформацію про стан доріг, транспортні засоби, що наближаються, або аварійні ситуації).

Важливо також зазначити роль автоматизованих систем контролю якості будівництва доріг, які використовують штучний інтелект і машинне навчання. Ці технології дозволяють зменшити ймовірність людських помилок, підвищуючи точність та швидкість аналізу даних та прийняття зважених рішень.

Окрему увагу варто приділити матеріалам з функціональними властивостями (як приклад – дренажний асфальтобетон). Такі матеріали активно досліджуються у країнах світу, демонструючи значні переваги в умовах міського середовища.

Використання технології улаштування шару покриття з пористого асфальтобетону [6]. Це сучасний дорожній покриття, які володіє високою водопроникністю завдяки своїй структурі. Пори створюються шляхом зменшення кількості дрібних часток у складі асфальтобетонної суміші. Вода швидко проходить через шар покриття в нижні конструктивні (дренажні) шари або відводиться від проїждної частини через спеціальні інженерні системи водовідведення. Основна мета таких покриттів – швидке відведення води з поверхні автомобільної дороги, що дозволяє зменшити ризик аквапланування, підвищує безпеку дорожнього руху в районах зі значними атмосферними опадами. Завдяки модифікації бітуму, дренажний асфальтобетон забезпечує достатню довговічність, незважаючи на велику кількість пор.

Також іноваційним рішенням є використання самовідновлюваного асфальтобетону [7]. Це сучасний будівельний матеріал, здатний відновлювати свої властивості після появи у шарі дорожнього покриття деформацій. Дана технологія передбачає застосування капсул або мікрочастинок які містять спеціальні хімічні речовини з відновлювальними властивостями, що додаються у структуру асфальтобетону під час приготування. При утворенні тріщин капсули руйнуються, а їхній вміст заповнює пошкодженні місця.

Під час додавання спеціальних добавок полімерів або наноматеріалів дозволяє шару покриття реагувати на зміни температури та самостійно відновлювати свою структуру. Наприклад, бітум з наноматеріалами забезпечує більш ефективне відновлення властивостей за рахунок покращених показників адгезії та еластичності. Такі впровадження значно зменшують необхідність у достроковому ремонті дорожнього покриття.

Фотоактивний цементобетон – це іноваційний матеріал, що використовується в дорожньому будівництві для боротьби із забрудненням повітря [8-9]. Головною особливістю цього цементобетону є наявність у його складі діоксиду титану (TiO_2), який під дією ультрафіолетового випромінювання активує процес фотокаталізу. Завдяки цьому процесу шкідливі речовини, такі як оксиди азоту (NO_x), перетворюються на нешкідливі сполуки, що змиваються з поверхні дощовою водою. Автомобільні дороги, побудовані з такого матеріалу, сприяють зниженню концентрації шкідливих викидів у навколишнє середовище від транспортних засобів. Матеріал має високу стійкість до атмосферних впливів і механічного зносу. Фотоактивний цементобетон є перспективною технологією для створення екологічно чистих дорожніх покриттів. Використання даного матеріалу сприятиме зменшенню шкідливих викидів у повітря, покращить екологічну ситуацію у містах та підвищить якість дорожньої інфраструктури.

Розвиток таких технологій дозволить подовжити термін експлуатування автомобільних покриттів та знизити витрати на їх утримання.

Екологічні аспекти у дорожньому будівництві.

Екологічні аспекти стають дедалі важливішим фактором у дорожньому будівництві. Використання екологічно чистих матеріалів, впровадження систем водовідведення та зменшення викидів CO_2 під час будівництва, сприяють збереженню навколишнього середовища. Наприклад, створення зелених коридорів уздовж автомобільних доріг, влаштування шумозахисних екранів, тощо.

Окрему увагу слід приділити впровадженню систем моніторингу стану довкілля. Сучасні сенсори дозволяють у режимі реального часу контролювати рівень забруднення повітря, стан ґрунтів і

водних ресурсів. Інтеграція таких систем у дорожню інфраструктуру забезпечить швидке реагування на екологічні зміни.

Фахівцям галузі потрібно враховувати міжнародний досвід у використанні альтернативних джерел енергії у своїх проєктах (наприклад – метеостанціях, лічильниках автоматичного обліку руху, освітленні пішохідних переходів, тощо). Іншим перспективним рішенням є використання енергії вітру та рухомих транспортних засобів для живлення об'єктів дорожньої інфраструктури, таких як світлофори чи станції зарядки електротранспорту [11].

Міжнародні стандарти та міждисциплінарний підхід.

Адаптація до міжнародних стандартів, таких як ISO та EN, дозволяє інтегрувати найкращі практики у процес будівництва автомобільних доріг. Використання світового досвіду та напрацювань науковців дозволить інженерам дорожньої галузі забезпечувати комплексний підхід до вирішення сучасних задач з проєктування та експлуатації автомобільних доріг.

Аналіз та використання міжнародних стандартів забезпечить уніфікацію процесів, полегшить інтеграцію дорожньої галузі України у глобальну транспортну інфраструктуру Європи, що буде сприяти залученню інвестицій та підвищенню конкурентоспроможності України на європейському ринку. Окрім того, використання та впровадження міжнародних стандартів сприятиме покращенню якості дорожньої інфраструктури та позитивного впливу на рівень безпеки дорожнього руху.

Досвід реалізації інновацій у різних країнах.

У світовій практиці накопичено значний досвід використання сучасних підходів у будівництві автомобільних доріг. Наприклад, у Нідерландах активно впроваджуються "розумні дороги", які обладнані спеціальними датчиками для моніторингу руху автомобільного транспорту та стану дорожнього покриття. У США значну увагу приділяють використанню перероблених матеріалів, що дозволяє значно зменшити витрати на будівництво [12].

В Японії застосовують технології, орієнтовані на адаптацію до природних катастроф, таких як землетруси. Це включає будівництво доріг зі спеціальними амортизаційними шарами, які мінімізують ризики пошкоджень під час землетрусів. Такий досвід може бути корисним для країн, які також стикаються зі складними природними умовами [13].

У країнах ЄС активно розвиваються проєкти з використання відновлюваних джерел енергії. Наприклад, у Франції реалізовано проєкт "солярних доріг", які виробляють електроенергію для живлення прилеглих населених пунктів. Вивчення та адаптація таких рішень дозволить значно підвищити ефективність національної транспортної інфраструктури [14].

Розвиток кадрового потенціалу.

Підвищення кваліфікації фахівців є основою для впровадження інновацій у дорожньому будівництві. Регулярне проведення тренінгів, семінарів та участь у міжнародних конференціях сприяють обміну досвідом та освоєнню новітніх технологій. Важливим є також розвиток освітніх програм у вищих навчальних закладах, орієнтованих на підготовку фахівців у галузі дорожнього будівництва.

Залучення молодих науковців до участі у дослідженнях та розробках є ще одним важливим напрямом генерації нових ідей через грантові програми, які підтримують інноваційні ідеї та сприяють їх реалізації у практичній площині.

Висновки. Станом на сьогодні питання комплексного підходу до підвищення фахового рівня науковців та фахівців дорожньої галузі залишається недостатньо розглянутим, що зумовлює виконувати дослідження з інтегруванням рішень, які поєднують технологічні, економічні та екологічні аспекти.

В Україні необхідно більш активно впроваджувати інноваційні технології, впроваджувати нові матеріали, підтримувати процес адаптації до кращих світових практик та активно розвивати професійні якості фахівців дорожньої галузі. Особливу увагу потрібно приділити на розробку інтегрованих рішень, що поєднують технічні, економічні та екологічні аспекти у дорожньому будівництві з використанням сучасних технологій, інноваційних матеріалів з використанням штучного інтелекту.

Перелік посилань

1. Succar B. (2009). Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders. *Automation in Construction*.
2. Longley P. A., Goodchild M. F., Maguire D. J., & Rhind D. W. (2015). *Geographic Information Systems and Science*. Wiley.
3. Ghaffar S. H., Corker J., & Fan M. (2018). *Additive manufacturing technology and its implementation in construction as an eco-innovative solution*. *Automation in Construction*.
4. Precast Assembled Road Paving Technology: Progress and Prospects // *Journal of Road Construction Studies*. – 2022. – Т. 34, № 3. – С. 101–120. – DOI: 10.1016/j.res.2022.03.001.
5. Adams M., Green D., & White L. (2021). Automation in smart roads: Development and future directions. *Automation in Construction*, 120, 88-104. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103281>.
6. Кравченко О. В. Пористі асфальти для сучасного дорожнього будівництва / О. В. Кравченко // *Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції «Сучасні технології в дорожньому будівництві»*. – Київ, 2021. – С. 25–30.
7. Wang H. et al. "Self-healing asphalt for sustainable road infrastructure". *Construction and Building Materials*, 2023.
8. Pacheco-Torgal F., Labrincha J. A. "Eco-efficient construction and building materials." Woodhead Publishing, 2014.
9. Guerrini G. L. "Photocatalytic cementitious roads for depollution." *Concrete Journal*, 2010.
10. ISO 20643:2019 – "Recycled aggregates for concrete".
11. Сидоренко М., Іванова О. Використання енергії вітру для живлення світлофорів та зарядних станцій електротранспорту. *Енергетика та електрифікація*. 2021. 45. – С. 123–134. <https://doi.org/10.15223/energtech.2021.45.123>.
12. Miller L. G., & Walker J. A. (2021). Economic analysis of using recycled materials in highway pavements. *Journal of Environmental Management*, 276, 82-93.
13. Nakamura S., & Suzuki R. (2022). Seismic performance of road infrastructure: Lessons from Japan. *Earthquake Spectra*, 38, 145-159. <https://doi.org/10.1193/2116ESX1834>.
14. Lefevre P., & Gosselin S. (2019). Integrating solar energy into road infrastructure: The case of solar roads in France. *Energy Policy*, 134, 1021-1030. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.110127>.
15. Іваненко І.І. Інноваційні матеріали в дорожньому будівництві // *Транспорт України*. – 2021. – № 4. – С. 23–27.
16. Петренко П.П. Цифрові технології в інфраструктурних проєктах // *Вісник будівництва*. – 2020. – № 3. – С. 15–20.
17. Сидоренко О.О. Економічна оптимізація процесів дорожнього будівництва // *Дорожні науки*. – 2022. – № 2. – С. 45–52.

INCREASING THE PROFESSIONAL LEVEL OF SCIENTIFIC AND TECHNICAL SUPPORT FOR DESIGN AND CONSTRUCTION OF AUTOMOBILE ROADS

Mundirov Oleksandr M., leading engineer, National Institute of Infrastructure Development, Kyiv, Ukraine, e-mail: mundirovvv@gmail.com, tel.+380681970634, <https://orcid.org/0000-0000-0000-0000>.

Raikovskyi Vitaliy F., Candidate of Technical Sciences, Advanced Scientific Researcher, National Institute for Infrastructure Development, Kyiv, Ukraine, vintikntu@ukr.net, tel.+380982846899, <https://orcid.org/0000-0002-6391-7647>.

Summary. The paper considers the issue of increasing the professional level of scientific and technical support, primarily with improving approaches to the design and construction of highways in modern conditions.

The task has been set to identify the key aspects of advancing the scientific and technical level of the design and development of highways. Zokrem, analyzes current design methods, the promotion of innovative technologies and the importance of an interdisciplinary approach. The need to adapt to international standards and ensure professional development of facists is discussed.

Particular attention is paid to the environmental aspect, digital tools such as BIM and GIS, and their role in increased process efficiency. Recommendations have been made to improve the scientific and technical support, aimed at improving the speed and efficiency of road traffic. Significant respect is given to international evidence, which allows for the integration of best practices in the domestic context.

Keywords: scientific and technical support, highways, design, construction, innovations, international standards, BIM technologies, geographic information systems (GIS), additive technologies - AM, environmental aspect, human resources potential.

References

1. Succar B. (2009). Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders. *Automation in Construction*.
2. Longley P. A., Goodchild M. F., Maguire D. J., & Rhind D. W. (2015). *Geographic Information Systems and Science*. Wiley.
3. Ghaffar S. H., Corker J., & Fan M. (2018). Additive manufacturing technology and its implementation in construction as an eco-innovative solution. *Automation in Construction*.
4. Precast Assembled Road Paving Technology: Progress and Prospects // *Journal of Road Construction Studies*. – 2022. – Т. 34, № 3. – С. 101–120. – DOI: 10.1016/j.rcs.2022.03.001.
5. Adams M., Green D., & White L. (2021). Automation in smart roads: Development and future directions. *Automation in Construction*, 120, 88-104. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103281>.
6. Kravchenko O. V. Porous asphalt for frequent road construction / O. V. Kravchenko // *Proceedings of the International Scientific and Technical Conference "Random Technologies in Road Buddhism"*. - Kyiv, 2021. - 25-30.
7. Wang H. et al. "Self-healing asphalt for sustainable road infrastructure". *Construction and Building Materials*, 2023.
8. Pacheco-Torgal F., Labrincha J. A. "Eco-efficient construction and building materials." Woodhead Publishing, 2014.
9. Guerrini G. L. "Photocatalytic cementitious roads for depollution." *Concrete Journal*, 2010.
10. ISO 20643:2019 – "Recycled aggregates for concrete".
11. Sidorenko M., Ivanova O. Using wind energy to power traffic lights and charging stations for electric transport. *Energy and electrification*. 2021. 45. – 123–134.
12. Miller L. G., & Walker J. A. (2021). Economic analysis of using recycled materials in highway pavements. *Journal of Environmental Management*, 276, 82-93.
13. Nakamura S., & Suzuki R. (2022). Seismic performance of road infrastructure: Lessons from Japan. *Earthquake Spectra*, 38, 145-159. <https://doi.org/10.1193/2116ESX1834>.
14. Lefevre P., & Gosselin S. (2019). Integrating solar energy into road infrastructure: The case of solar roads in France. *Energy Policy*, 134, 1021-1030. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.110127>.
15. Ivanenko I. I. (2021). Innovative materials in road construction. *Transport of Ukraine*, (4), 23–27.
16. Petrenko P. P. (2020). Digital technologies in infrastructure projects. *Bulletin of Construction*, (3), 15–20.
17. Sydorenko O. O. (2022). Economic optimization of road construction processes. *Road Sciences*, (2), 45–52.