

ВИКОРИСТАННЯ ГІС У ІНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧНИХ ВИШУКУВАННЯХ ПРИ ПРОЕКТУВАННІ ДОРІГ

Вінницький національний технічний університет

У статті досліджено сучасні підходи до використання геоінформаційних систем (ГІС) у процесі інженерно-геодезичних та геологічних вишукувань при проектуванні автомобільних доріг. Розглянуто комплекс завдань, що постають на етапі передпроектних досліджень: збір і структурування топографо-геодезичних даних, аналіз рельєфу, геологічної будови, гідрології та екологічних обмежень. Показано, що традиційні методи, зокрема тахеометрія, нівелювання та буріння, хоча й забезпечують високу точність, мають суттєві недоліки – тривалість польових робіт, високу вартість і обмежену інтеграцію з цифровими моделями.

Проаналізовано міжнародний досвід застосування новітніх технологій: використання GNSS, UAV, LiDAR, дистанційного зондування (RS), методології GSI3D для побудови тривимірних геологічних моделей. Визначено, що ГІС виступає центральним інструментом для інтеграції різномірних даних у єдину просторово-атрибутивну базу. Розглянуто приклади багатокритеріальної оптимізації трасування, зокрема поєднання ГІС із генетичними алгоритмами (Jha et al., 2004) та інтеграцію BIM і ГІС (Zhao et al., 2019). Окрему увагу приділено моделюванню геометричного дизайну в умовах складного рельєфу (Zhang et al., 2021).

Український контекст представлений розробкою державної геоінформаційної системи автомобільних доріг (ГІСДА), дослідженнями НДІД, працями Фоменка (2019) та Ратушняка (2009), де акцентовано на проблемах стандартизації даних та інтеграції інженерних вишукувань у цифрове середовище. Визначено ключові переваги впровадження ГІС: зменшення часу збору даних, підвищення точності вимірів, економія коштів за рахунок скорочення переробок, можливість сценарного аналізу та прозора взаємодія зі стейкхолдерами через веб-ГІС.

Таким чином, ГІС розглядається як інноваційний інструмент оптимізації інженерно-геодезичних та геологічних вишукувань, що формує нову методологічну основу для дорожнього проектування в Україні, наближаючи його до міжнародних стандартів.

Ключові слова: геоінформаційні системи, дорожнє будівництво, інженерні вишукування, трасування, LiDAR, BIM, оптимізація.

Вступ

Проектування автомобільних доріг – це складний багатофакторний процес, в якому на ранніх етапах виконуються інженерно-геодезичні та геологічні вишукування. Вони включають збирання топографо-геодезичних даних, аналіз рельєфу, ґрунтів, гідрології, геологічної структури, наявності небезпечних ділянок (схили, підтоплення, обвалення) тощо. Традиційно ці роботи здійснюються за допомогою польових методів – тахеометрії, нівелювання, буріння, польових спостережень та проб ґрунтів. Проте із розвитком технологій, особливо геоінформаційних систем (ГІС), дистанційного зондування (RS), дронів, LiDAR та математичних моделей, виникають нові підходи, які дозволяють підвищити ефективність, точність та швидкість вишукувань і трасування.

Метою цього огляду є окреслити сучасні підходи до інженерно-геодезичних і геологічних вишукувань із використанням ГІС, з прикладами з міжнародної та української літератури, а також виокремити варіанти, як ГІС може оптимізувати ці процеси.

Основна частина. Сучасні міжнародні підходи

Однією з ключових ліній розвитку є заміна або доповнення традиційних геодезичних інструментів – таких як нівелір (waterpass), теодоліти – сучасними методами із застосуванням GNSS-приладів, тотальних станцій, фотограмметрії, лазерного сканування і дронів. Наприклад, робота Надзіра й Ірфансі (2024) аналізує ефективність застосування електронного теодоліта та нівеліра для визначення об'ємів земляних робіт у дорожньому будівництві в Індонезії [1]. Автори показують, що хоча точність електронного теодоліта дещо нижча, він забезпечує значну економію часу та коштів.

Звіт «Effective Use of Geospatial Tools in Highway Construction» (Mallela et al., 2018) розглядає застосування геопросторових технологій у США, зокрема UAS, LiDAR, GNSS та аерофотознімання. Автори підкреслюють важливість інтеграції даних із різних джерел для підвищення точності й зменшення витрат [2].

Геологічні дослідження доповнюють геодезичні, адже стан ґрунтів, рівень ґрунтових вод, стратиграфія та геологічні особливості значно впливають на проектування дорожнього одягу та інженерних споруд. Важливим є моделювання ґрунтів і підземних структур у 3D. Методика GSI3D дозволяє поєднувати цифрові моделі поверхні, геологічні карти та дані свердловин для побудови тривимірних зрізів і моделей підповерхні [3].

Ще один важливий напрям – пошук оптимальної траси дороги з урахуванням довжини, нахилів, земляних робіт, екологічних обмежень і вартості. Для цього застосовуються ГІС разом з алгоритмами оптимізації. Jha et al. (2004) запропонували модель, у якій ГІС використовується як база даних та середовище просторового аналізу, а генетичний алгоритм допомагає знаходити оптимальний маршрут [4]. Подібний підхід демонструють Zhao et al. (2019), які інтегрували ГІС і ВІМ для трасування, що дозволило поєднувати просторові характеристики місцевості з інженерними параметрами дорожніх елементів [5].

ГІС також застосовуються для оцінки геометричного дизайну доріг, особливо в складному рельєфі. Zhang et al. (2021) розробили ГІС-базовану модель для оцінки якості геометрії гірських трас, що дозволяє автоматично виявляти небезпечні ділянки за параметрами кривизни, ухилів і видимості [6].

Таким чином, сучасні підходи включають:

- багатопланову базу даних (рельєф, геологія, гідрологія, інфраструктура);
- 3D моделювання рельєфу й підповерхневих структур (LiDAR, фотограмметрія, GSI3D) [3];
- багатокритеріальну оптимізацію трасування з використанням алгоритмів АНР, генетичних і еволюційних методів [4; 5];
- використання RS, UAV та LiDAR для збору актуальних даних [7];
- оцінку геометрії та безпеки на ранніх стадіях проєктування [6];
- візуалізацію та підтримку прийняття рішень завдяки веб-ГІС і інтерактивним картам [8].

При цьому існують певні обмеження і перешкоди:

- якість вихідних даних: нерівномірність, застарілість, прогалини у вимірюваннях;
- вартість обладнання: дрони, LiDAR-сканери, точні GNSS-системи потребують значних інвестицій;
- інтеоперабельність: недостатня сумісність між CAD, BIM та GIS через різні формати й системи координат;
- компетенція кадрів: потреба у спеціалістах з геоінформаційних технологій;

час на обробку й верифікацію великих обсягів даних.

Таблиця 1

Приклади застосування ГІС у дорожньому будівництві (на основі [1; 2; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10])

Країна / організація	Технологія	Результат / ефект
Індонезія (Nadzir & Irfansyah, 2024)	Електронний теодоліт + нівелір	Зменшення часу вимірів, економія коштів
США (FHWA, 2018)	LiDAR, UAS, GNSS	Скорочення термінів геодезії на 40 %, витрат – на 25 %
США (Jha et al., 2004)	GIS + генетичні алгоритми	Оптимізація траси з урахуванням вартості земляних робіт
Австралія (Zhao et al., 2019)	Інтеграція BIM + GIS	Єдиний простір для аналізу інженерних і геопросторових даних
Китай (Zhang et al., 2021)	GIS-модель оцінки геометрії	Підвищення безпеки гірських трас
Україна (ГІСДА, 2021)	Держгеоінформаційна система	Єдина база про дороги для управління та ремонту

Український контекст

В Україні важливим напрямом є створення уніфікованої державної бази даних (ГІСДА), яка охоплює топографічні, геодезичні, геологічні та екологічні шари з регулярним оновленням [9]. Це забезпечує консолідацію даних із різних джерел і дає можливість приймати обґрунтовані рішення.

Науково-дослідний інститут НДІД акцентує на формуванні бази метаданих ГІС «Автомобільна дорога», що поєднує моніторинг і кадастровий облік дорожньої мережі [10]. У працях Фоменка (2019) наголошується на проблемах структурування даних для дорожніх ГІС і вибору оптимальних

моделей збереження інформації [11]. Монографія Ратушняк (2009) «Інженерні вишукування» закладає методологічні основи геодезичних і геологічних робіт, підкреслюючи необхідність їх стандартизації для інтеграції в електронні системи [12].

Важливим завданням є також розробка прикладних програмних рішень і шаблонів, що дозволяють автоматизувати обробку польових даних, побудову цифрових моделей місцевості й виконання просторового аналізу. Не менш значущим стає розвиток веб-ГІС порталів, які забезпечують візуалізацію даних та участь громадськості у прийнятті рішень, наприклад порталу «ГІС автомобільних доріг» [9].

Методологія використання ГІС у інженерно-геодезичних та геологічних вишукуваннях

Використання геоінформаційних систем у дорожньому будівництві сьогодні розглядається як один із ключових факторів підвищення ефективності та якості інженерних вишукувань. Методологія застосування ГІС полягає у створенні єдиної інтегрованої бази просторових і атрибутивних даних, що охоплює весь спектр інформації, необхідної для прийняття рішень на етапах від попереднього обґрунтування до детального проектування та експлуатації дороги. Класичні підходи передбачають виконання окремих етапів вишукувань без комплексної цифрової інтеграції: геодезисти створювали топографічні карти, геологи – колонки свердловин та карти інженерно-геологічного районування, екологи – окремі схеми обмежень. Це призводило до фрагментарності даних, що ускладнювало ухвалення оптимальних рішень. ГІС дозволяє створити середовище, де всі ці дані зберігаються у структурованій формі, а просторові аналітичні інструменти забезпечують їх поєднання, візуалізацію й аналіз.

Перший етап методології – збір вихідних даних (табл. 2). Для дорожнього проектування це, в першу чергу, цифрові моделі рельєфу (ЦМР/DEM), отримані з аерофотознімання, LiDAR-зйомки чи супутникових даних високої роздільності. Також використовуються матеріали топографічних карт масштабів 1:10 000 – 1:25 000, державні кадастрові карти, ортофотоплани, гідрографічні схеми. Інженерно-геологічні дані включають результати буріння свердловин, геофізичних досліджень, лабораторних випробувань ґрунтів, карти стратиграфії та геологічної будови. Додатково залучаються дані дистанційного зондування Землі (RS): космічні знімки середньої (Sentinel) та високої (WorldView, Pleiades) роздільності, а також UAV-зйомка з дронів.

Таблиця 2

**Основні групи даних, що інтегруються у ГІС
для дорожнього проектування (на основі [2; 3; 7; 12])**

Група даних	Джерело отримання	Приклади інструментів/технологій	Використання у проектуванні
Рельєф та топографія	LiDAR, UAV, GNSS, топокарти	GNSS-приймачі, дрони, фотограмметрія	ЦМР, аналіз ухилів, трасування
Геологія та ґрунти	Буріння, GSI3D, геофізика	Георадар, геологічні карти, моделі GSI3D	Несуча здатність, дренаж, земляне полотно
Гідрографія	Аерофотозйомка, карти, RS	DEM + алгоритми водозбору	Планування мостів, водопропускних споруд
Екологічні обмеження	Держгеокадастр, супутникові знімки	GIS-зонування, буферизація	Мінімізація впливу на ліси, заповідники
Соціальна інфраструктура	OpenStreetMap, кадастр	QGIS, ArcGIS Online	Оминає населені пункти, інфраструктуру

Другий етап – **структурування та стандартизація даних**. Оскільки дані надходять із різних

джерел, важливим завданням є приведення їх до єдиної системи координат, формату та проекції. Використання різних форматів (DWG, DXF, Shapefile, GeoTIFF, LAS, IFC) потребує проміжних перетворень. На цьому етапі розробляється концептуальна модель бази даних: які шари будуть включені, які атрибути описують об'єкти, як реалізовано зв'язки між ними. Приклад: шар «Рельєф» містить значення висот і похідні характеристики (нахил, експозиція схилів, кривизна поверхні); шар «Геологія» описує типи ґрунтів, глибину залягання, показники несучої здатності; шар «Гідрографія» містить інформацію про річки, озера, заболочені території, межі підтоплення; шар «Соціальна інфраструктура» описує межі населених пунктів, землі сільськогосподарського користування, об'єкти культурної спадщини.

Третій етап – **інтеграція даних у ГІС та попередня аналітика**. На цьому рівні виконуються перші просторові аналізи: створення карт ухилів, експозицій, зон видимості, буферних зон навколо інфраструктури, визначення водозборів і напрямків стоку. Геологічні дані інтерполюються методами IDW, крігінгу або сплайнів для створення поверхонь фізико-механічних властивостей ґрунтів. Поєднання цих даних дозволяє створити інтегровану модель території, яка наочно демонструє взаємозв'язки факторів.

Четвертий етап – **застосування багатокритеріального аналізу**. Використовуються методи аналітичної ієрархії (АНР), вагового накладання шарів (Weighted Overlay), еволюційні алгоритми (генетичні, мурашині, рої частинок). Усі вони дозволяють обґрунтовано вибирати території з найкращими параметрами для трасування.

П'ятий етап – **моделювання альтернативних варіантів траси**. ГІС дозволяє автоматично генерувати кілька варіантів ліній трасування, кожен із яких відповідає певній комбінації критеріїв. Для кожного варіанта розраховуються довжина, обсяг земляних робіт, вартість будівництва, екологічні втрати. Це дозволяє приймати рішення не лише на основі інженерних параметрів, а й комплексного підходу.

Шостий етап – візуалізація та підтримка прийняття рішень. У результаті формується набір карт, профілів і тривимірних моделей, які дозволяють інженерам, проектантам і замовникам наочно оцінити альтернативи. Сучасні веб-ГІС платформи (ArcGIS Online, QGIS Cloud, GeoServer) дозволяють публікувати інтерактивні карти, до яких мають доступ усі стейкхолдери. Це робить процес прозорим, а рішення більш обґрунтованими.

Використання ГІС у дорожньому будівництві підтверджується численними прикладами як міжнародної, так і української практики.

У США впроваджено програму «Every Day Counts» Федерального управління автомобільних доріг, у межах якої активно застосовуються безпілотні системи, LiDAR і ГІС для збору даних. Це дозволило скоротити тривалість виконання геодезичних робіт у середньому на 40 %, а також зменшити витрати на 25 % [2].

У Китаї застосовуються інтегровані BIM–GIS системи при будівництві швидкісних автомагістралей. Вони дозволяють створювати цифрові двійники доріг, що містять не лише геометрію та матеріали конструкцій, а й просторове оточення. Це забезпечує більш ефективне управління будівництвом і подальшою експлуатацією [5].

В Україні впроваджується державна геоінформаційна система автомобільних доріг (ГІСДА), яка акумулює дані про траси, конструкції, технічний стан та ремонти [9]. Паралельно НДІД розробляє базу метаданих «Автомобільна дорога», яка стане основою для кадастру й моніторингу. Це дозволить вперше в історії України створити єдиний інформаційний простір дорожнього господарства [10].

Практичні кейси також показують ефективність застосування UAV для зйомки трас у гірських районах Карпат. Дрони дозволяють створювати детальні ортофотоплани та цифрові моделі рельєфу з точністю до 5–10 см, що неможливо забезпечити лише традиційними методами. Це особливо важливо для оцінки зсувонебезпечних ділянок і планування протизсувних заходів.

Ще один приклад – використання LiDAR-сканування для реконструкції мостів і шляхопроводів. Лазерні дані дозволяють створювати детальні 3D-моделі конструкцій, оцінювати деформації та планувати ремонт.

У перспективі планується створення «цифрового двійника дорожньої мережі України», що інтегрує ГІС, BIM і IoT. Це дасть змогу здійснювати моніторинг у режимі реального часу, прогнозувати потреби у ремонті, аналізувати транспортні потоки й оптимізувати управління інфраструктурою.

Таким чином, практичні приклади доводять, що застосування ГІС у дорожньому будівництві не лише є технологічною інновацією, а й має значний економічний та соціальний ефект.

Оптимізація трасування та пошук оптимальних рішень

Оптимальне трасування автомобільних доріг – завдання, яке поєднує економічні, екологічні, соціальні та технічні чинники. Використання ГІС у цьому процесі дає змогу системно враховувати десятки критеріїв одночасно й обирати рішення, що відповідає сучасним принципам сталого розвитку (рис 1.).

Перший крок – визначення критеріїв оптимізації. У дорожньому будівництві виділяють чотири основні групи критеріїв:

Техніко-геодезичні: довжина траси, середній та максимальний ухили, радіуси кривих, обсяг земляних робіт.

Геологічні та гідрологічні: стійкість ґрунтів, рівень ґрунтових вод, ризик зсувів, кількість перетинів із річками та болотами.

Екологічні: площа лісових та заповідних територій, землі сільськогосподарського призначення, біорізноманіття.

Соціально-економічні: відстань до населених пунктів, вартість будівництва, потреба у винесенні інженерних комунікацій.

Далі здійснюється вагове нормування. Для цього використовується метод аналітичної ієрархії (АНР), коли експерти порівнюють критерії попарно й визначають відносну важливість кожного. Результатом є вагова матриця, яка застосовується до нормалізованих даних. Наприклад, довжина траси може мати вагу 0,2, ухил – 0,15, обсяг земляних робіт – 0,15, вартість – 0,2, екологічні обмеження – 0,1, соціальні фактори – 0,1.

Наступний етап – генерація альтернативних варіантів траси. Використовуються алгоритми пошуку шляху на графах (Dijkstra, A*), методи динамічного програмування, генетичні алгоритми. У випадку генетичних алгоритмів варіанти траси кодуються як хромосоми, після чого виконуються кросингвер і мутації, що поступово наближають рішення до оптимального.

Кожен варіант траси оцінюється за інтегральним показником:

$$Q = \sum(w_i \times X_i), \quad (1)$$

де X_i – нормалізоване значення критерію, w_i – вага.

Окремим напрямом є використання ГІС для перевірки геометричного дизайну. На основі цифрових моделей рельєфу можна автоматично аналізувати радіуси кривих, ухили та видимість. Це дозволяє на ранніх стадіях виявляти потенційно небезпечні ділянки.

Важливо, що оптимізація трасування з використанням ГІС не лише скорочує витрати та час на проєктування, а й дозволяє інтегрувати екологічні та соціальні фактори, що відповідає принципам сталого розвитку.

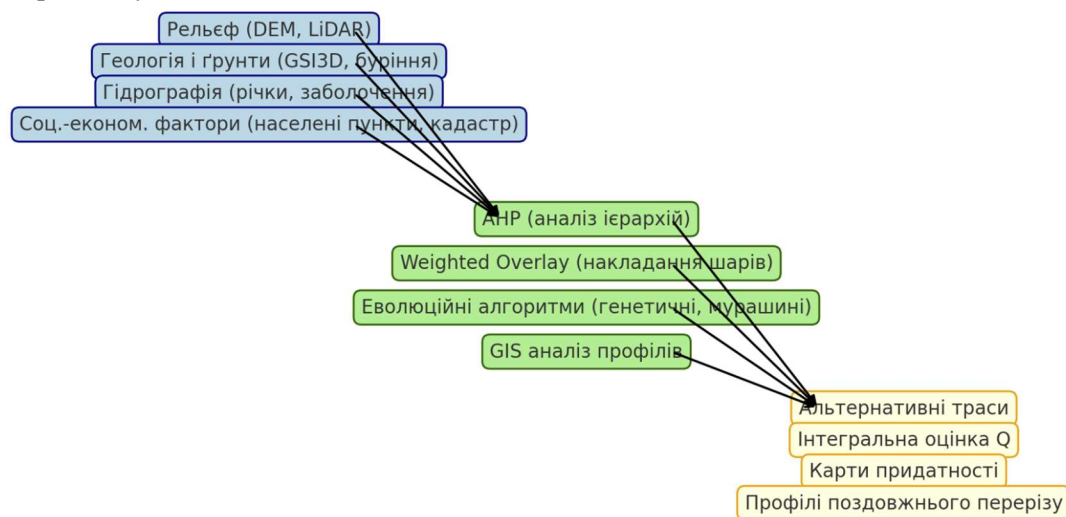


Рисунок 1– Оптимізація трасування автомобільної дороги в ГІС

Висновки

У ході дослідження встановлено, що геоінформаційні системи є ключовим інструментом оптимізації процесу інженерно-геодезичних та геологічних вишукувань при проєктуванні автомобільних доріг. ГІС забезпечує інтеграцію різномірних просторових і атрибутивних даних у єдину базу, що дозволяє виконувати багатокритеріальний аналіз і знаходити оптимальні варіанти трасування.

Світовий досвід (США, Китай, Австралія) підтверджує, що впровадження UAV, LiDAR, RS і BIM–GIS інтеграції скорочує терміни польових робіт на 30–40 %, зменшує витрати на 20–25 % та підвищує точність вимірів. В Україні відбувається поступове впровадження ГІСДА, що закладає основу для цифрової трансформації дорожнього господарства. Разом із цим залишаються проблеми: недостатня стандартизація форматів даних, висока вартість обладнання та потреба у кваліфікованих кадрах.

Наукова новизна дослідження полягає у комплексному розгляді застосування ГІС саме на етапі інженерно-геодезичних і геологічних вишукувань, інтеграції геодезичних та геологічних даних у єдине цифрове середовище та адаптації міжнародного досвіду до українських умов.

Практичне значення полягає у можливості використання запропонованої методології для створення цифрових двійників доріг, оптимізації процесу трасування, підвищення ефективності планування та управління дорожньою мережею.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Nadzir Z. A., Irfansyah M. Using Geodetic Methods in Road Construction Planning: To What Extent Will it be Effective? // *ResearchGate*. 2024. URL: https://www.researchgate.net/publication/386006259_Using_Geodetic_Methods_in_Road_Construction_Planning_to_What_Extent_Will_it_be_Effective
2. Mallela J., et al. Effective Use of Geospatial Tools in Highway Construction. *Federal Highway Administration*. Washington, DC, 2018. URL: <https://rosap.nhtl.bts.gov/view/dot/50531>
3. Kessler H., Mathers S., Sobisch H. GSI3D – the software and methodology for 3D geological surveying. *British Geological Survey*, 2009. URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/GSI3D>
4. Jha M., McCall C., Schonfeld P. A highway alignment optimization model using geographic information system and genetic algorithm. *Transportation Research Part C*. 2004. Vol. 12, No. 5. P. 263–280. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trc.2004.03.002>
5. Zhao J., et al. Highway Alignment Optimization: An Integrated BIM and GIS Approach. *Bond University Research Portal*. 2019. URL: https://research.bond.edu.au/files/31617115/Highway_Alignment_Optimization_An_Integrated_BIM_and_GIS_Approach.pdf
6. Zhang Y., et al. Formulating a GIS-based geometric design quality assessment model for mountain highways. *Accident Analysis & Prevention*. 2021. Vol. 152. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aap.2021.105986>
7. Dhakal S., et al. Application of remote sensing and GIS in road engineering: A review. *Journal of Mining and Environment*. 2023. Vol. 14(1). P. 1–14. URL: https://jme.shahroodut.ac.ir/article_2709.html
8. France-Mensah J., et al. GIS-based visualization of integrated highway maintenance and construction planning: Fort Worth, Texas. *Visualization in Engineering*. 2017. Vol. 5(1). URL: <https://viejournal.springeropen.com/articles/10.1186/s40327-017-0046-1>

REFERENCE

9. Nadzir Z. A., Irfansyah M. Using Geodetic Methods in Road Construction Planning: To What Extent Will it be Effective? // *ResearchGate*. 2024. URL: https://www.researchgate.net/publication/386006259_Using_Geodetic_Methods_in_Road_Construction_Planning_to_What_Extent_Will_it_be_Effective
10. Mallela J., et al. Effective Use of Geospatial Tools in Highway Construction. *Federal Highway Administration*. Washington, DC, 2018. URL: <https://rosap.nhtl.bts.gov/view/dot/50531>
11. Kessler H., Mathers S., Sobisch H. GSI3D – the software and methodology for 3D geological surveying. *British Geological Survey*, 2009. URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/GSI3D>
12. Jha M., McCall C., Schonfeld P. A highway alignment optimization model using geographic information system and genetic algorithm. *Transportation Research Part C*. 2004. Vol. 12, No. 5. P. 263–280. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trc.2004.03.002>
13. Zhao J., et al. Highway Alignment Optimization: An Integrated BIM and GIS Approach. *Bond University Research Portal*. 2019. URL: https://research.bond.edu.au/files/31617115/Highway_Alignment_Optimization_An_Integrated_BIM_and_GIS_Approach.pdf
14. Zhang Y., et al. Formulating a GIS-based geometric design quality assessment model for mountain highways. *Accident Analysis & Prevention*. 2021. Vol. 152. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aap.2021.105986>
15. Dhakal S., et al. Application of remote sensing and GIS in road engineering: A review. *Journal of Mining and Environment*. 2023. Vol. 14(1). P. 1–14. URL: https://jme.shahroodut.ac.ir/article_2709.html
16. France-Mensah J., et al. GIS-based visualization of integrated highway maintenance and construction planning: Fort Worth, Texas. *Visualization in Engineering*. 2017. Vol. 5(1). URL: <https://viejournal.springeropen.com/articles/10.1186/s40327-017-0046-1>

Бондар Альона Василівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, email: bondarav@vntu.edu.ua, ORCID 0000-0002-8098-1181

Максименко Марина Аркадійвна – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, email: maksymenko@vntu.edu.ua, ORCID 0000-0003-1345-8144098-1181

A. Bondar
M. Maksymenko

USAGE OF GIS IN ENGINEERING AND GEODETIC SURVEYS FOR ROAD DESIGN

Vinnitsia National Technical University

The article examines modern approaches to the use of Geographic Information Systems (GIS) in engineering and geological surveys for highway design. The research addresses the key tasks of the pre-design stage: collection and structuring of topographic and geodetic data, analysis of relief, geological structure, hydrology, and environmental constraints. It is shown that traditional methods, including tacheometry, leveling, and drilling, while ensuring high accuracy, have significant limitations such as long fieldwork duration, high costs, and poor integration with digital models.

International experience in applying advanced technologies is analyzed, including the use of GNSS, UAV, LiDAR, remote sensing (RS), and the GSI3D methodology for building three-dimensional geological models. GIS is identified as the central tool for integrating heterogeneous datasets into a unified spatial-attribute database. Examples of multi-criteria alignment optimization are reviewed, particularly the integration of GIS with genetic algorithms (Jha et al., 2004) and BIM–GIS approaches (Zhao et al., 2019). Special attention is paid to GIS-based assessment of geometric design in mountainous terrain (Zhang et al., 2021).

The Ukrainian context is represented by the development of the State Road GIS (GISDA), research by the Road Research Institute (NIDI), as well as works by Fomenko (2019) and Ratushniak (2009), which emphasize the challenges of data standardization and integration of engineering surveys into digital environments. The main advantages of GIS implementation are identified: reduction of data collection time, higher accuracy of measurements, cost savings due to fewer redesigns, scenario-based analysis, and stakeholder involvement via web-GIS platforms.

Therefore, GIS is considered as an innovative tool for optimizing engineering and geological surveys, providing a new methodological framework for highway design in Ukraine and aligning national practices with international standards.

Keywords: Geographic Information Systems, highway engineering, engineering surveys, alignment optimization, LiDAR, BIM, multi-criteria analysis.

Bondar Alena – PhD, associate professor of department of construction, urban planning and architecture Vinnitsia National Technical University, Vinnitsia, email: bondarav@vntu.edu.ua, ORCID 0000-0002-8098-1181

Maksymenko Maryna – PhD, senior lecturer of department of construction, urban planning and architecture Vinnitsia National Technical University, Vinnitsia, email: maksymenko@vntu.edu.ua, ORCID 0000-0003-1345-8144098-1181