

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**Київський національний університет імені Тараса Шевченка**  
**Географічний факультет**  
**Кафедра геодезії та картографії**

На правах рукопису УДК: 528.4

**ГЕОДЕЗИЧНІ ВИШУКУВАННЯ ДЛЯ БУДІВНИЦТВА**  
**АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ**

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)  
Галузь знань 19 – «Архітектура та будівництво»  
Спеціальність 193 – «Геодезія та землеустрій»  
Освітня програма «Геодезія та землеустрій»

Кваліфікаційна робота  
студента 4 курсу  
освітнього рівня бакалавр  
*Кузнєцова Максима Романовича*

Науковий керівник:  
*Гончаренко Олександр Степанович*  
*Кандидат технічних наук, доцент*

КИЇВ – 2024

## РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна бакалаврська робота на тему «Геодезичні вишукування для будівництва автомобільних доріг» містить 49 сторінок, 11 рисунків, 25 використаних літературних джерел.

У роботі проведено аналіз нормативно-правової документації, учбової літератури, вітчизняних та зарубіжних статей з питань проведення геодезичних вишукувань автомобільних доріг. Описані сучасні методи досліджень. Розглянута структура робіт, що виконуються традиційним методом. У практичній частині роботи мобільною системою лазерного сканування отримана «хмара» точок. На її основі у програмних продуктах Autodesk InfraWorks та Autodesk AutoCAD Civil 3D побудована цифрова модель автомобільної дороги.

Ключові слова: *автомобільна дорога, інженерно-геодезичні вишукування, об'єкт інфраструктури, скануюча система, «хмара» точок.*

## ЗМІСТ

|   |    |
|---|----|
| ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ   | 4  |
| ВСТУП   | 5  |
| РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ СКЛАДУ І ЗМІСТУ<br>ГЕОДЕЗИЧНИХ РОБІТ В ДОРОЖНЬОМУ БУДІВНИЦТВІ           | 7  |
| 1.1. Інженерно-геодезичні роботи при трасуванні лінійних споруд                                       | 7  |
| 1.2. Нормативно-правові вимоги до забезпечення якості виконання<br>дорожніх робіт при будівництві     | 12 |
| 1.3. Сучасні методи збору та обробки геопросторових даних   | 16 |
| 1.4. Зарубіжні виробники обладнання та програмних продуктів   | 21 |
| РОЗДІЛ 2. ВИШУКУВАЛЬНІ РОБОТИ ДЛЯ БУДІВНИЦТВА<br>АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ                                  | 24 |
| 2.1. Програма інженерно-геодезичних вишукувань інфраструктури<br>шляхів сполучення                    | 24 |
| 2.2. Проведення робіт традиційним методом   | 25 |
| 2.3. Склад окремих видів робіт при геодезичних вишукуваннях доріг                                     | 28 |
| 2.4. Геодезичне обладнання  | 31 |
| РОЗДІЛ 3. СТВОРЕННЯ ЦИФРОВОЇ МОДЕЛІ ТРАСИ   | 33 |
| 3.1. Характеристика території об'єкту дослідження   | 33 |
| 3.2. Методика проведення зйомки траси   | 34 |
| 3.3. Побудова моделі траси у програмних продуктах Autodesk InfraWorks<br>та Autodesk AutoCAD Civil 3D | 36 |
| ВИСНОВКИ  | 40 |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ  | 41 |
| ДОДАТКИ   | 44 |

## ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

AI (Artificial Intelligence) – штучний інтелект.

AR (Augmented Reality) – доповнена реальність.

BIM (Building information modelling) – інформаційна модель об'єкта.

DT (Digital Twin) – цифровий двійник.

GNSS (Global Navigation Satellite System) – Супутникова система навігації.

IoT (Internet of Things) – Інтернет речей.

LiDaR (Light Detection and Ranging) – технологія дистанційного зондування лазерними променями.

VR (Virtual Reality) – віртуальна реальність.

## ВСТУП

Геодезичні вишукування являють собою невід’ємну частину будь-якого будівництва. Для відновлення інфраструктури країни край необхідно буде мати ґрунтовну основу для його здійснення. Сучасні геодезичні вишукування повинні стати цією основою.

Актуальність удосконалення вишукувань зростає з огляду на масштаби майбутнього будівництва, необхідність приведення у відповідність міжнародним стандартам, підвищення вимог до безпеки руху, зростання вартості землі, а також постійне удосконалення геодезичних методів та приладів. Це дасть можливість точніше врахувати всю специфіку рельєфу, геологічних умов, удосконалити маршрут траси, збільшити довговічність та стійкість до навантажень, скоротити об’єм земляних робіт, матеріали, ризики.

Метою кваліфікаційної роботи є обґрунтування необхідності застосування сучасних методів, приладів, програмного забезпечення для геодезичних вишукувань у сфері дорожнього будівництва.

Завданням роботи є:

- вивчення та аналіз нормативно-правової документації та зарубіжного досвіду по темі роботи;
- опис існуючих застосовуваних та передових новітніх методів вишукувань;
- огляд геодезичних приладів, що застосовуються при вишукувальних роботах;
- розробка проекту, тестового моделювання автомобільної дороги з використанням сучасного програмного забезпечення.

Об’єктом дослідження є будівництво автомобільних доріг.

Предметом дослідження є геодезичні вишукування, що проводяться до початку будівництва об’єкта інфраструктури, а саме автомобільної дороги.

У роботі використані емпіричні методи порівняння і опису, а також теоретичний метод аналізу. Описані та порівняні роботи з вишукувань

традиційними вітчизняними методами та роботи, які проводяться передовими зарубіжними фахівцями у цій сфері. Проведено аналіз сучасних методів зйомки, зазначені їх переваги та недоліки. Проведене практичне дослідження з використанням сучасних систем та програмних продуктів.

Робота містить три розділи, 11 рисунків, 1 таблицю. Використано 25 джерел. Викладена на 49 сторінках.

## **РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ СКЛАДУ І ЗМІСТУ ГЕОДЕЗИЧНИХ РОБІТ В ДОРОЖНЬОМУ БУДІВНИЦТВІ**

### **1.1. Інженерно-геодезичні роботи при трасуванні лінійних споруд**

Докторами технічних наук, професорами Кузьмінім В. І. та Білятинсь-ким О. А. у книзі «Інженерна геодезія у дорожньому будівництві» [1] викладені основи проведення геодезичних робіт для будівництва доріг традиційними методами, а також зазначено, що стрімко йде розвиток методик та удосконалення обладнання для виконання цих робіт. Тому сучасному фахівцю край необхідно бути обізнаним у цьому. Окремий розділ присвячений вишукуванню траси автодороги. Дається алгоритм побудови траси у камеральних умовах, розрахунок геометрії пунктів поворотів, описується трасування на місцевості, розмітка початкового напрямку траси, методи контролю лінійних напрямків дороги, розрахунок положень пікетів. Надано приклади документального оформлення результатів вишукувань. Автори зазначають, що підручник побудовано таким чином, щоб дати можливість читачу полегшити самостійне вивчення матеріалу. І на мою думку, навчальний посібник написано дуже зрозумілою мовою.

У навчальному посібнику «Інженерні вишукування» [2] автори Ратушняк Г.С., Панкевич О. Д. та Лялюк О. Г. дають склад та опис програми геодезичних вишукувань. Основна увага акцентована на описі традиційних способів зйомки для побудови планів місцевості, зазначені особливості трасування лінійних споруд. У додатках наведений перелік даних, що повинен містити звіт про інженерно-геодезичні вишукування. Також приділена увага спеціалізованим вишукуванням. Їх автори називають «умовно вишукувальними роботами». До них належать кадастрові роботи, роботи з інвентаризації земель, контроль стану об'єкта. Наведені вимоги до оформлення звітів цих робіт.

Автори посібника «Геодезичне забезпечення будівництва» [3] геодезичні вишукування поділяють на попередні та остаточні. Попередні виконуються у камеральних умовах на основі наявних матеріалів, а остаточні – на місцевості. Надається опис розмічення пікетажу, нівелювання, заповнення та обробка

журналів пікетажу та нівелювання, розрахунок горизонтальних та вертикальних кривих поворотів, створення поздовжнього та поперечного профілів за результатами створених журналів. Наведені деякі прийоми визначення відстаней та висот при складних умовах вимірювань.

Кандидат технічних наук Бачишин Б. Д. у посібнику «Інженерна геодезія» [4] у розділі, що присвячений вишукуванням, детально розглядає етапи робіт, їх склад та порядок проведення. Автор поділяє роботи в залежності від стадії проектування: вишукування для техніко-економічного обґрунтування, для проекту, для робочого проекту. Особлива увага приділена розміченню різних елементів дороги безпосередньо перед будівництвом: відновлення осі траси, винесення в натуру земляного полотна, верхнього покриття, віражів, перетину доріг. Детально описані функціональні можливості сучасних приладів для проведення вишукувальних робіт (тахеометрів, приймачів, лазерних сканерів, нівелірів, рівнів, віддалемірів, навігаторів розмічення, георадарів), методи та прийоми роботи з ними для різних завдань.

У посібнику «Інженерні вишукування у транспортному будівництві» [5] кандидат технічних наук Хом'як А. Я. описала технічні вишукування, одними з яких є інженерно-геодезичні. Розглядаються роботи, які повинні бути проведені до будівництва нової споруди, при реконструкції існуючої. Акцент зроблено на дослідженні доріг, мостів та транспортних розв'язок. Зазначено методи проведення та оформлення результатів вишукувань автомобільних доріг. Автор працює викладачем у навчальному закладі вищої освіти. У основу книги покладено лекційний матеріал, тому підручник чітко та зрозуміло розкриває зміст порушеної теми.

Автори статті «Сучасні геодезичні прилади, які використовують під час будівництва, реконструкції та ремонтних робіт автомобільних доріг» [6] розглядають прилади, що побудовані на основі нових технологій, які роблять геодезичний супровід інженерних об'єктів та споруд більш точним, швидким та зручним. Наведено принципи роботи та сферу застосування таких груп приладів: геодезичне GPS-обладнання, системи лазерного сканування, цифрові нівеліри та

теодоліти та інші. Для забезпечення високого техніко-економічного ефекту потрібне використання сучасних приладів поряд з традиційними, тому що у кожного з них є як переваги, так і недоліки.

Подібні дослідження наведені і у статті «Сучасні геодезичні прилади, їх значення і роль у геодезичних вимірюваннях» [7]. Також у статті розглядається застосування безпілотних літальних апаратів у проведенні геодезичної зйомки. Встановлено, що сучасні супутникові технології в поєднанні з комп'ютеризацією стали реальною альтернативою традиційним методам геодезичних вимірювань.

Стаття «Особливості складу і змісту геодезичних робіт в дорожньому будівництві» [8] аналізує законодавчу та нормативну документацію стосовно проведення геодезичних вишукувань для будівництва автомобільних доріг, дає перелік всіх основних і підготовчих робіт, що необхідно провести згідно Державним стандартам України.

У статті «Стратегія землеустрою та геодезичних вишукувань під час проектування та будівництва автомобільних доріг і залізниць» [9] зазначено, що головним чинником, який впливає на якість будівельних робіт, є точність і прорахованість геодезичних вишукувань та визначення на їх основі оптимальної траєкторії прокладання траси. Обґрунтовано простоту та зручність способу проєкцій з числовими позначками для проектування доріг та водовідвідних споруд. Доведено, що водовідвідні споруди, які є невід'ємною складовою автошляхів, необхідно будувати на ділянках доріг, де можливе перезволоження дорожнього полотна поверхневими водами, а саме, в межах виїмок, зустрічних ухилів та віражів.

Теоретичні й практичні аспекти будівництва та реконструкції автомобільних доріг розглянуто у статті «Інновації при будівництві автомобільних доріг в контексті раціонального використання земель автомобільного транспорту» [10]. У роботі описані методи планування і використанні ділянок під будівництво автомобільних доріг, механізм надання земель для резервування під їх будівництво та реконструкцію, а також механізм, що упорядкує економічні, організаційні, правові правила та норми землекористування у сфері автомобільного транспорту.

У статті «Computational Methods of Acquisition and Processing of 3D Point Cloud Data for Construction Applications» [11] подано огляд сучасних методів отримання та обробки даних тривимірної хмари точок для будівельних додатків. Розглядаються та порівнюються різні підходи до отримання даних тривимірної хмари точок, включаючи тривимірне лазерне сканування, фотограмметрію, відеограмметрію, камеру RGB-D та стереокамеру. Встановлено, що лазерне сканування має значні переваги перед іншими підходами, але обладнання для сканування є найдорожчим з усіх інших методів, що перешкоджає широкому його застосуванню. Крім того, розглядаються методи обробки даних тривимірної хмари точок згідно з чотирма загальними процедурами обробки: очищення, реєстрації, сегментації даних та розпізнавання об'єктів. Для кожної процедури обробки різні методи та алгоритми обробки порівнюються та докладно обговорюються, що дає корисне керівництво з використання даних хмари точок у будівельній галузі.

У статті «Effective Use of Geospatial Tools in Highway Construction» [12] досліджено використання геопросторових технологій для широкого спектру застосувань у будівництві та обслуговуванні автомобільних доріг. Розглянуто ряд інструментів та запропоновано рекомендації щодо їх вибору. Наведені робочі процеси та стратегії проведення аналізу вигод і витрат, а також надано аналіз майбутніх напрямків цих технологій у проектах автомобільних доріг та програмах надання послуг. Було розглянуто кілька тематичних досліджень з використанням цих технологій, задокументовано їх переваги та обмеження. Зокрема, у дослідженні оцінювалася рентабельність інвестицій, що пов'язана з використанням цих технологій.

Автори статті «Relationship between digital twin and building information modeling: a systematic review and future directions» [13] досконало проаналізували 54 опубліковані наукові праці, які стосуються взаємозв'язку BIM (Building information modelling) та DT (Digital Twin). Вони вважають що не всі фахівці правильно розуміють цю тему та не можуть повноцінно використовувати всі переваги, які може надати сумісне використання цих систем. Було виявлено

чотири види взаємозв'язку: коли BIM є підмножиною DT, коли DT є підмножиною BIM, коли BIM і є DT, коли жодного зв'язку між BIM та DT немає. Всі дослідження цих систем у будівельних проектах спрямовані на вдосконалення в п'яти сферах: планування, проектування, будівництво, експлуатація та технічне обслуговування та виведення з експлуатації. В останній час з'явилося ще кілька напрямків використання BIM та DT, таких як розробка способів геоприв'язки для інфраструктурних проектів та створення 3D-візуалізації за допомогою кольорових схем.

Проаналізувавши великий обсяг документів та публікацій, автори статті «Systematic Review of the Digital Transformation of the Building Construction Industry» [14] виокремили дванадцять основних технологій, методів та чинників, які впливають на цифрову трансформацію галузі будівництва:

- дрони (забезпечують швидкість, маневреність, роботу по заданій програмі, безпеку персоналу, можливість застосування різнопланового навісного обладнання);
- цифрові близнюки (покращують безпеку на етапі підготовки, полегшують співпрацю між фахівцями, надають моніторинг у реальному часі, імітують робочі сценарії);
- Інтернет речей (можливість контролювати параметри об'єктів, безпеку та продуктивність працівників, визначати небезпечні зони, оптимізувати будівельні процеси, покращувати управління запасами, зменшувати кількість відходів);
- 3D-друк (виготовлення складних форм конструкцій шляхом накладання шарів матеріалів, що скорочує час будівництва, відходи, витрати на матеріали та висококваліфіковану робочу силу);
- робототехніка (застосовується на етапі будівництва, а також для перевірки та вибору матеріалів);
- інформаційні моделі об'єктів (покращення співпраці команди спеціалістів та продуктивності проектування, будівництва та експлуатації об'єктів);

- штучний інтелект (покращує підбір підрядників на етапі тендерного процесу, аналізує дані про матеріали та їх властивості, ідентифікує та аналізує закономірності, щоб покращити процес прийняття рішень, використовується в управлінні об'єктами, прогнозуванні потреб в обслуговуванні);
- блокчейн – розподілена ланцюжком база даних (управління будівельними контрактами, витратами проекту, покращення співпраці команди, підвищення прозорості і довіри до проекту, управління ланцюгами поставок);
- ГІС (великомасштабне управління та оптимізація простору, адміністрування об'єктів);
- доповнена реальність/віртуальне середовище (підвищення ефективності і продуктивності планування, проектування та будівництва за допомогою моделювання та візуалізації);
- кібербезпека (виявлення ризиків, загроз, вразливих елементів організацій та процесів);
- лазерне сканування (створення 3D-представлення об'єкту, виявлення зіткнення різних інженерних систем, контроль якості будівництва, фіксація щоденних змін на будівельному майданчику).

Цій огляд допоможе дослідникам і практикам у будівельній галузі зрозуміти глобальну картину впровадження цифрових технологій і місце будівельної галузі в процесі цифрової трансформації.

## **1.2. Нормативно-правові вимоги до забезпечення якості виконання дорожніх робіт при будівництві**

Закон України «Про топографо-геодезичну і картографічну діяльність» [15] є важливим інструментом для забезпечення потреб держави і громадян у геопросторовій інформації. Закон визначає правові основи топографо-геодезичної і картографічної діяльності, гарантуючи єдину систему координат і висот на території України, встановлює порядок створення, ведення та використання

Державного геодезичного фонду, що забезпечує доступ до геопросторових даних для різних потреб, визначає відповідальність за порушення законодавства та сприяє розвитку геоінформаційних систем та інновацій у цій сфері.

На мою думку, Закон має і недоліки. Він не відповідає сучасним потребам та викликам, потребує оновлення з урахуванням розвитку технологій (БПЛА, ГІС-технології, штучний інтелект). Недостатньо чітко регулює питання доступу до геопросторових даних, що може призводити до монополізації ринку, немає відкритості та прозорості. Також немає чіткої системи контролю за якістю топографо-геодезичних і картографічних робіт. Недостатньо враховує міжнародні стандарти та рекомендації. Незважаючи на все це, Закон є надважливим документом, який регулює цю сферу.

Стаття 22 Закону України «Про дорожній рух» [16] зобов'язує при проектуванні доріг виконувати всі заходи, які необхідні для дотримання правил безпеки, охорони довкілля, а також приділити увагу проектуванню засобів безпеки для людей з особливими потребами. Неможливе скорочення витрат на заходи з безпеки. Проекти доріг повинні проходити оцінку та схвалення у державних органах для виявлення та усунення моментів, що суперечать нормативно-законодавчим вимогам.

У першій частині ДБН В.2.3-4:2015 [17], що регламентує проектування автомобільних доріг, зазначено, що дороги повинні бути спроектовані з урахуванням всіх вимог до організації безпеки дорожнього руху, забезпечення видимості, охорони навколишнього середовища. Наведено параметри поперечного профілю доріг в залежності від їх категорії, а також вимоги до проектування плану та поздовжнього профілю доріг. Особлива увага приділена формуванню насипів (основи) та споруд дорожнього водовідведення.

ДБН В.1.3-2:2010 [18] встановлює загальні правила проектування, виконання та приймання геодезичних робіт, які виконуються під час будівництва, реконструкції, технічного переоснащення об'єктів будь-якого призначення, визначає точність геометричних параметрів об'єктів будівництва, необхідну для забезпечення їх відповідності проектній документації, встановлює вимоги до

геодезичної основи, геодезичних мереж, зйомок, винесення проектів у натуру, геодезичного моніторингу та інших геодезичних робіт. Визначає порядок виконання геодезичних робіт, їх склади та обсяги, а також методи та засоби вимірювань, встановлює вимоги до кваліфікації фахівців, які виконують геодезичні роботи, визначає порядок приймання геодезичних робіт.

У другому розділі ДБН А.2.1-1:2008 [19] викладені основні положення та вимоги до проведення інженерно-геодезичних вишукувань для будівництва. Визначена мета, етапи, склад вишукувань, загальні технічні вимоги. Наведені критерії якості кінцевої продукції. У додатках наведена форма та склад технічного завдання на виконання інженерно-геодезичних вишукувань, склад і зміст науково-технічного звіту. Цей документ є важливим для забезпечення якості та безпеки будівництва, охорони навколишнього середовища та раціонального використання природних ресурсів.

ДСТУ 9154:2021 [20] визначає чіткі правила виконання інженерно-геодезичних робіт на будівництві доріг загального користування в Україні, встановлює склад, зміст, технологію здійснення вишукувань і розробки проектної документації. Описує загальні вимоги до процедур та методів виконання геодезичних робіт, включаючи точність вимірювань, узгодженість даних, контроль якості. Дається опис методів та приладів, які можуть бути використані для проведення геодезичних робіт на дорожніх об'єктах, таких як теодоліти, нівеліри, GPS-приймачі, лазерні вимірювальні пристрої. Зазначені вимоги до попередньої підготовки території, маркування точок, підготовки приладів та іншого обладнання. Наведені інструкції щодо проведення різних типів геодезичних вимірювань, включаючи вимірювання горизонтальних та вертикальних кутів, відстаней, висот, а також вимоги до підготовки звітів та документації щодо виконаних геодезичних робіт, включаючи звіти про вимірювання, карти, плани та архівні матеріали. Надані вказівки щодо забезпечення безпеки та охорони здоров'я під час виконання геодезичних робіт на дорожніх об'єктах. Настанова допомагає забезпечити якість, точність та безпеку виконання геодезичних робіт у дорожньому будівництві.

У документі МВ 218-05416892-431:2005 «Методичні вказівки з інженерно-геодезичних робіт при вишукуванні автомобільних доріг» [21] розписана програма робіт, які треба провести, та наведені документи, які треба додати до програми. Зазначаються періоди, в які повинні бути виконані вишукування. Надані вказівки щодо проведення робіт традиційним методом та методом з використанням електронного тахеометра. Зазначені відмінності вишукувань залежно від стадії проектування (чи то техніко-економічне обґрунтування, чи проект, чи робочий проект). Надані зразки бланків журналів теодолітних ходів, вимірювання кутів, пікетажний, нівелювання ходу, нівелювання поперечників, тахеометричної зйомки, а також приклади їх заповнення. Наведено орієнтовний зміст технічного звіту про виконані роботи.

СОУ 45.2-00018112-028:2008 [22] установлює вимоги до забезпечення потрібної якості виконання дорожніх робіт. Документ встановлює вимоги до організації робіт, щоб забезпечити якість, включаючи проведення контролю, підготовку та навчання персоналу. В стандарті містяться вимоги до якості матеріалів, технологій будівництва, виконання робіт, а також критерії приймання та контролю якості готових споруд. Наведені вимоги до підготовки документації, звітів та архівування даних щодо забезпечення якості робіт та матеріалів. Є чітке визначення відповідальності за якість робіт та виробів між замовником, проектною організацією та іншими зацікавленими сторонами. Впроваджуються новітні технології та інновації для покращення якості та ефективності будівництва, ремонту та експлуатації доріг та мостів. Наголошується на проведенні регулярного моніторингу та технічного обслуговування автомобільних доріг та мостових споруд для виявлення потенційних проблем та вчасного їх вирішення.

ДБН А.2.2-3:2014 [23] наводять орієнтовний склад проектної документації, а також склад необхідних основних даних і техніко-економічних показників для різних стадій проекту при створенні об'єктів виробничого призначення, житлових і громадських будівель та лінійних об'єктів інженерно-транспортної

інфраструктури. Оговорюється, що точний склад документації затверджує замовник після узгодження з проектувальником.

ДБН Б.2.2-12:2019 [24] є важливим документом, який регламентує процес планування та забудови територій в Україні. Вони містить чіткі вимоги, які спрямовані на створення сприятливих умов для життя людей, раціональне використання природних ресурсів та збереження довкілля. У документі зазначені вимоги до структури, планування та благоустрою населених пунктів, територій, функціональних зон; інженерного забезпечення транспорту, водопостачання, водовідведення, енергопостачання, зв'язку. ДБН ґрунтуються на принципах сталого розвитку, універсального дизайну та доступності. Застосовується на всіх стадіях планування та забудови, постійно оновлюється та доповнюється новими вимогами.

«Настанова з виконання вимірювань, розрахунків та контроль точності геометричних параметрів» [25] встановлює правила та методи виконання вимірювань, розрахунку та контролю точності геометричних параметрів у будівництві. Точність геометричних параметрів визначається допустимими відхиленнями від проектних розмірів; методи вимірювань приймаються залежно від виду геометричного параметра, його розмірів та необхідної точності; вимірювальні прилади повинні відповідати вимогам стандартизації та метрології, а умови проведення вимірювань забезпечувати необхідну точність. Зазначається, що контроль точності необхідно проводити на всіх стадіях будівництва.

### **1.3. Сучасні методи збору та обробки геопросторових даних**

#### **1.3.1. Хмарні технології**

«Хмара» точок — це геопросторова інформація, яка зберігається у вигляді набору точок, кожна з яких має три просторові координати: широту, довготу та висоту. Зазвичай їх фіксують за допомогою техніки повітряного лазерного сканування LiDaR, так зване лідарне знімання.

«Хмари» точок можна використовувати для створення цифрових моделей рельєфу. Кожен імпульс світла, який випускає система, може повернутися кілька

разів. Тобто частина імпульсу відбивається від рослинності, а частина проходить крізь її та відбивається від поверхні землі, або проходить в проміжки між структурами, щоб виявити кілька шарів об'єктів в одному місці. Це змушує лазерний сигнал повертатися кілька разів. Після обробки отриманої інформації результати можна класифікувати щоб знайти різні рівні об'єктів у ландшафті. Це дає можливість створити модель поверхні землі без рослинності.

«Хмари» точок та зроблені на їх основі моделі можуть використовуватися для допомоги будівельним проектам, надаючи інформацію, аналіз, можливість створювати симуляції. Моделі голої землі є важливими на етапі планування будівельного проекту. Вони дозволяють оцінювати стабільність землі шляхом видалення природних і штучних надземних структур, ризику зсувів і затоплення, аналізуючи градієнти схилів.

Також «хмари» точок використовують як основу для векторизації об'єктів, для BIM-проектів, для точного підрахунку об'ємів та ваги матеріалів.

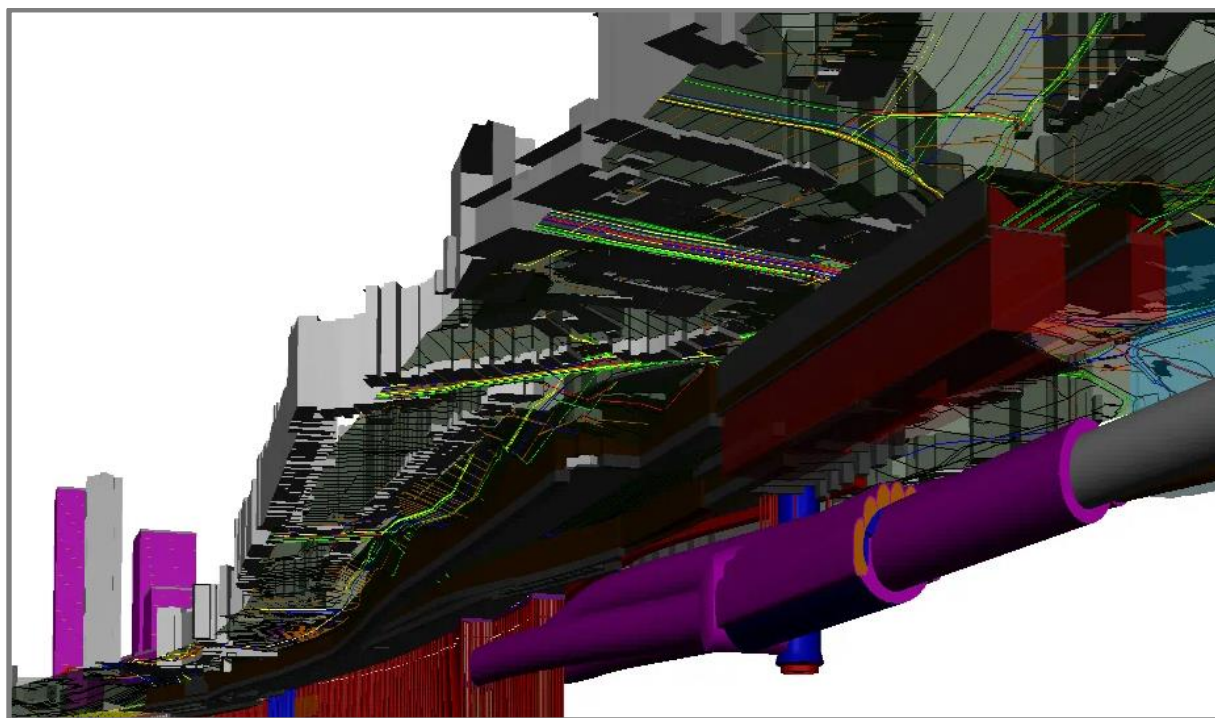
### 1.3.2. Інструменти моделювання систем

Для роботи з цифровими моделями об'єктів використовують такі потужні системи, як Digital Twin (DT) – цифровий двійник, та Building information modelling (BIM) – інформаційна модель об'єкту.

Цифровий двійник представляє собою модель фізично існуючої системи, що оснащена датчиками для передачі інформації у реальному часі на свою цифрову копію. DT не має впливу на свій аналог, а використовується для тестування, обробки гіпотез, створення симуляції, аналізів та прогнозів майбутніх труднощів, розуміння можливостей системи. У цифровому двійнику є три види даних: дані, що описують існуючі аналогічні системи (минуле), дані, які збирає система в реальному часі (теперішнє) та змодельовані самою системою на основі штучного інтелекту дані (майбутнє).

DT інфраструктури – дуже перспективна річ. Вони з високою точністю відтворюють реальні системи, мають точну геоприв'язку. Дуже важлива комунікація різних інфраструктурних двійників, наприклад DT автомобільних

доріг та DT комунікацій. На *рис. 1* зображений цифровий двійник міста, що включає у себе підсистеми інших цифрових двійників.



**Рис. 1. Підсистеми цифрових двійників доріг, комунікацій, будівель у системі цифрового двійника міста (з сайту [www.intertraffic.com](http://www.intertraffic.com))**

Інформаційна модель об'єкту – це стаціонарна модель. Найчастіше об'єкту, який вона описує, ще не існує. В багатьох випадках вона і потрібна для планування, проектування, виявлення колізій та їх усунення на етапі проектування об'єктів та систем. Ця технологія дозволяє побачити як виглядатиме майбутній об'єкт. При проектуванні моделі допомагають знайти потрібний баланс у системі «обсяг-вартість-час». Будують BIM на основі архітектурних та інженерних креслень, топографічних зйомок, результатів 3D-сканування.

DT та BIM можуть використовуватися разом. У цифровому двійнику може бути підсистема з BIM, а у BIM – підсистема DT. Може бути ситуація, коли BIM і є DT, а також коли вони являють собою цілком незалежні одна від одної системи. Порівняння цих систем представлено у *табл. 1*.

**Таблиця 1. Ключові відмінності цифрового двійника та інформаційної моделі об'єкту**

| Аспект                   | DT   | ВІМ   |
|--------------------------|--|---|
| Концепція                | взаємодія людей з середовищем  | візуалізація  |
| Етапи проекту            | експлуатація, обслуговування   | проектування, будівництво, виведення з експлуатації   |
| Синхронізація з об'єктом | у реальному часі   | немає   |
| Цінність                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>- отримання даних та знань про проект для прийняття кращих рішень;</li> <li>- прогнозування, тестування поведінки об'єктів та процесів;</li> <li>- перевірка гіпотез;</li> <li>- оцінка ризиків.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- комунікація зацікавлених сторін;</li> <li>- моделювання;</li> <li>- зниження витрат на проект за рахунок виправлення помилок і колізій на етапі проектування.</li> </ul> |

### 1.3.3. Безпілотні літальні апарати

Безпілотні літальні апарати (БПЛА) стали популярними інструментами у геодезичних вишукуваннях. Їх використання може значно покращити ефективність та точність геодезичних робіт, а також заощадити час та кошти.

Завдяки заздалегідь заданим траєкторіям польоту та вдосконаленому корисному навантаженню безпілотні літальні апарати можна використовувати для створення 2D- та 3D-ортомозаїчних карт, «хмар» точок, 3D-моделей, теплових карт та мультиспектральних карт. На *рис. 2* зафіксований момент сканування поверхні майбутньої дороги.

Переваги використання БПЛА у геодезичних вишукуваннях:

- швидко збирають дані з великих територій, що робить їх ідеальними для великих проектів;
- можливість досягти віддалених або небезпечних районів, які складно або небезпечно досліджувати традиційними методами;



**Рис. 2. Сканування БПЛА поверхні майбутньої дороги (з сайту [enterprise.dji.com](http://enterprise.dji.com))**

- зниження ризиків для геодезистів, оскільки немає потреби працювати у небезпечних місцях;
- заощадження часу та коштів в порівнянні з традиційними методами геодезичних вишукувань;

В залежності від встановленого на БПЛА обладнання, вони допомагають здійснити:

- аерофотозйомку – збирають високоякісні аерофотознімки, які використовуються для створення ортофотопланів та 3D-моделей місцевості;
- лідарне сканування – збирають дані про відстань до об'єктів з високою точністю, яка потрібна для створення 3D-моделей місцевості з високою роздільною здатністю;
- відеозйомку – збирають відеозаписи місцевості, які можуть бути використані для візуальної оцінки маршруту та виявлення потенційних проблем;

- інфрачервону зйомку – збирають дані про теплову емісію об'єктів для виявлення підземних комунікацій та проблем з ґрунтом.

Використання БПЛА у геодезичних вишукуваннях для проектування автомобільних доріг може значно покращити якість та ефективність проектування, а також заощадити час та кошти.

Недоліки: деякі точки даних неможливо отримати зверху, наприклад, області під густою рослинністю.

#### **1.4. Зарубіжні виробники обладнання та програмних продуктів**

Зарубіжний досвід у геодезичних вишукуваннях для будівництва автомобільних доріг є дуже важливим для вдосконалення та впровадження новітніх технологій у цій сфері на території нашої країни. Вишукування для будівництва доріг включає різноманітні методи та технології, спрямовані на збір і аналіз даних про місцевість, рельєф, геометрію та інші параметри, необхідні для ефективного проектування та будівництва дорожнього покриття.

Існує багато фірм у світі, які спеціалізуються на геодезичних вишукуваннях для будівництва автомобільних доріг та інфраструктури. Провідна роль у розробці сучасних методів та технологій геодезичних досліджень належить таки країнам, як США, Японія та Швейцарія. Вони займаються випуском обладнання та програмного забезпечення.

Trimble Navigation (США) широко відома своїми продуктами і послугами у галузі геодезії та геопросторових технологій. Вони надають інструменти для супутникового позиціонування, лазерного зондування та геодезичних вимірювань.

Topcon Positioning Systems (Японія) виробляє широкий спектр геодезичного обладнання та програмного забезпечення для вимірювань, мапування та проектування автомобільних доріг.

Hexagon Geosystems (Швейцарія) поєднує в собі різні бренди, такі як Leica Geosystems, що спеціалізуються на різних аспектах геодезії та геопросторових технологій, включаючи автомобільні дороги та транспортну інфраструктуру.

Bentley Systems (США) випускає програмне забезпечення для проектування та управління інфраструктурними проектами, включаючи автомобільні дороги. Вони надають інструменти для моделювання, аналізу та оптимізації транспортних систем.

Ці компанії надають:

- широкий спектр геодезичного обладнання, такий як теодоліти, нівеліри, GPS приймачі, тахеометри та лазерні дальноміри, призначені для точного вимірювання та картографування;
- LIDAR системи для збору високоточних тривимірних даних про рельєф, місцевість та об'єкти на землі;
- передові супутникові системи позиціонування (GNSS) та GPS технології для точного визначення місцезнаходження в реальному часі;
- програмне забезпечення та рішення для збору, обробки та аналізу геодезичних даних, включаючи геоінформаційні системи для візуалізації та аналізу географічних даних;
- програмне забезпечення для проектування, управління та аналізу геодезичних та інженерних проектів, включаючи BIM (Building Information Modeling) технології;
- інтегровані рішення для будівництва доріг, мостів, тунелів та інфраструктурних об'єктів, включаючи системи контролю та моніторингу;
- автоматизовані системи керування для будівельних машин та транспортних засобів, такі як GPS-системи контролю для екскаваторів, бульдозерів та інших машин;
- впроваджує хмарні технології та мобільні додатки, які дозволяють інженерам та архітекторам працювати над проектами з будь-якого місця та пристрою.

Далі наведено кілька найбільш відомих продуктів Bentley Systems, що застосовуються у інженерії автомобільних доріг. OpenRoads – пакет програм для проектування та моделювання транспортних мереж, включаючи дороги, мости та

інші елементи інфраструктури. MicroStation – CAD-програмне забезпечення, яке використовується для створення та редагування тривимірних та двовимірних графічних моделей. ContextCapture – програмне забезпечення для створення точних 3D-моделей територій з фотографій та лазерного сканування. STAAD.Pro – програмне забезпечення для аналізу та дизайну структур, включаючи будівлі, мости та інші інженерні споруди.

Від якості проведення геодезично-вишукувальних робіт багато в чому залежить якість та безпека експлуатації доріг. Нормативно-правова документація пред'являє високі вимоги до точності та надійності геодезичних вимірів. Сучасні методи збору та обробки геопросторових даних дозволяють значно підвищити їх ефективність. На світовому ринку представлений широкий спектр обладнання та програмних продуктів для геодезичних робіт, що дає можливість вибрати оптимальні рішення для конкретних завдань.

## РОЗДІЛ 2. ВИШУКУВАЛЬНІ РОБОТИ ДЛЯ БУДІВНИЦТВА АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ

### 2.1. Програма інженерно-геодезичних вишукувань інфраструктури шляхів сполучення

Результатом геодезично-вишукувальних робіт для будівництва автомобільних доріг є отримання вичерпних даних та матеріалів для розробки документації на всіх стадіях проектування (від техніко-економічного обґрунтування до робочої документації). Склад технічного звіту, який повинен бути отриманий по завершенні вишукувальних робіт, наведений у додатку А.

Програма, за якою необхідно здійснювати роботи, складається до початку всіх видів робіт і є обов'язковою для застосування організаціями, які виконують проектування доріг. Вона наведена у Методичних вказівках МВ 218-05416892-431:2005 [21]: «До складу програми вишукувань включаються:

- загальні відомості: найменування об'єкту вишукувань, стадія проектування, адміністративна приналежність району вишукувань;
- ціль і завдання вишукувань, склад і обсяги польових і камеральних робіт;
- форма і обсяг звітних матеріалів;
- дані для обґрунтування видів, обсягів і методів виконання робіт, призначення об'єкта проектування та його основні технічні параметри;
- технологічна послідовність виконання вишукувань;
- відомості про прийняту систему координат і систему висот;
- коротка фізико-географічна характеристика району вишукувань, аналіз наявних фондових матеріалів і виконаних раніше вишукувань, ступінь їх придатності для використання;
- обґрунтування обсягів, методів виконання кожного виду робіт;
- дані по забезпеченню вишукувань: необхідна кількість геодезичних приладів, спорядження, забезпеченість транспортом;
- термін виконання вишукувань;
- вимоги по техніці безпеки при виконанні вишукувань».

У Методичних вказівках [21] також розписаний порядок проведення робіт: «Інженерно-геодезичні вишукування виконуються в 3 періоди: підготовчий, польовий і камеральний.

В підготовчий період виконується:

- збір, аналіз і узагальнення наявних картографічних, геодезичних і інших матеріалів на район вишукувань;
- проектні проробки, необхідні для вибору конкурентоздатних варіантів траси, або проектних рішень для польових вишукувань і обстежень;
- роботи по організації польових вишукувань (участь разом із замовником у підготовці завдання на проектування, складання програми інженерно-геодезичних вишукувань, визначення і погодження із замовником цін на виконання робіт, формування і оснащення польових підрозділів тощо).

В період польових робіт виконується:

- комплекс топографо-геодезичних робіт і обстежень, передбачених програмою вишукувань;
- необхідний обсяг камеральних робіт для забезпечення контролю якості, повноти і точності робіт;
- необхідні погодження.

В камеральний період виконується:

- остаточна обробка польових матеріалів;
- оформлення всіх картографічних і текстових матеріалів,
- складання технічних звітів,
- здача матеріалів вишукування».

Необхідно проводити контролювання якості робіт та якості вихідних матеріалів, дотримуватися вимог безпеки праці.

## **2.2. Проведення робіт традиційним методом**

При вишукуваннях традиційним методом, згідно Методичним вказівкам [21], проводяться такі роботи:

«Підготовчий період.

1. Замовлення і отримання топографічних карт різних масштабів і планів землекористувань на район вишукування, а також матеріалів топографо-геодезичних вишукувань минулих років.
2. Збір і вивчення фондкових матеріалів, що характеризують особливості природних умов району вишукувань.
3. Камеральне трасування варіантів по топографічних картах і інших матеріалах.
4. Оцінка, порівняння і вибір траси, що підлягають польовому обстеженню на конкурентоздатних варіантах.
5. Складання програми робіт і договірної документації.
6. Оформлення дозволів на проведення вишукувальних робіт.
7. Розроблення завдань і одержання договірної документації від субпідрядних організацій.
8. Організаційні роботи і матеріально-технічне забезпечення польового періоду.

#### Польовий період.

1. У польовий період виконуються рекогносцировочні роботи на основі раніше підготовлених конкурентоздатних варіантів з використанням аерофотоматеріалів або карт масштабу 1 : 25000 - 1 : 50000 з перевіркою умов можливості їх практичного виконання з оформленням і отриманням замовником від юридичних і фізичних осіб, чий інтереси зачіпаються проектними рішеннями ТЕО, відповідних офіційних технічних умов і вимог. При достатній повноті картографічного матеріалу і виконаних узгодженнях - початкові дані для розроблення ТЕО приймаються на основі цих матеріалів з доробкою і уточненням в польових умовах окремих деталей.
2. За відсутності або недостатності таких матеріалів, а також на еталонних ділянках, проводяться інженерно-геодезичні вишукування шляхом виконання на місцевості інструментальних робіт.
3. Склад інструментальних робіт:

- прокладання теодолітного (тахеометричного) ходу;
- розбивка пікетажів;
- прокладання нівелірного ходу,
- зйомка поперечних профілів;
- тахеометрична зйомка <...>

Камеральний період.

В цьому періоді виконується остаточна перевірка і обробка польових журналів геодезичних вимірювань.

1. Виконавець кутомірних робіт складає:

- відомість кутів повороту, прямих і кривих;
- відомість координат точок теодолітного ходу;
- відомість і схеми закріплення трас теодолітних (тахеометричних) ходів;
- відомість координат кутів.

2. Пікетажист складає:

- відомість комунікацій, які перетинаються та перевлаштовуються;
- відомість погоджень;
- відомість вирубки придорожніх насаджень;
- відомість перехрещень і примикань автомобільних доріг і залізниць;
- відомість закріплення траси;
- відомість існуючих штучних споруд.

3. Виконавець нівелірних робіт складає :

- відомості перевищення і висот точок нівелірного ходу;
- відомість реперів;
- відомість понижених місць;
- «чорні» профілі основного і конкурентоздатних варіантів;
- «чорні» поперечні профілі».

Проведення робіт з прокладання ходів, розбивці пікетажу, нівелювання, тахеометричній зйомці детально описане у [21], де також наведені зразки бланків журналів внесення цих вимірювань і приклади їх заповнення. Зразки бланків відомостей наведені у додатку Б.

Також проводяться прив'язки рівнів води, виробок, виміри перетинів з комунікаціями.

### **2.3. Склад окремих видів робіт при геодезичних вишукуваннях доріг**

При вишукуванні автомобільних доріг можуть бути проведені і інші роботи. Їх склад оговорується між замовником і виконавцем та закріплюється документально.

2.3.1. Геодезичний нагляд за небезпечними природними явищами, моніторинг їхнього розвитку

Проведення цих робіт дозволяє виявити ділянки, схильні до ризиків. Зсуви, підтоплення, карстові явища, сейсмічна активність та інші небезпечні природні явища можуть суттєво вплинути на стійкість та безпеку експлуатації автомобільних доріг. Геодезичні дослідження допомагають виявити такі ділянки на стадії проектування та вжити заходів щодо їх обходу або посилення дорожнього полотна. Можна оптимізувати трасування дороги, обминаючи ділянки з високим ризиком виникнення небезпечних природних явищ. Це дозволяє знизити витрати на будівництво та експлуатацію дороги, а також підвищити її безпеку. Залежно від виявлених ризиків, розробляються заходи щодо захисту дороги від руйнування. Це можуть бути підпірні стінки, дренажні системи, протизсувні споруди, інші інженерно-технічні рішення. Геодезичний моніторинг дозволяє виявити деформації дорожнього полотна, тріщини, зсуви та інші проблеми, які можуть виникнути в результаті впливу небезпечних природних явищ. Вчасне виявлення та усунення таких проблем дозволяє запобігти серйозним аваріям та знизити витрати на ремонт дороги.

Геодезичний нагляд край важливий при будівництві доріг у гірській, болотистій місцевості, в сейсмоактивному районі.

2.3.2. Складання та оновлення інженерно-топографічних планів наземних підземних та надземних інженерних комунікацій та споруд перед будівництвом автомобільних доріг

Інженерно-топографічний план (ІТП) для будівництва автомобільних доріг окрім загальної топографічної основи та спеціальних даних, містить також інформацію про підземні та надземні інженерні комунікації.

До підземних інженерних комунікацій належать водопроводи, каналізація, газопроводи, кабелі електромереж та інші комунікації, які прокладені під землею. На ІТП вказується їх трасування, глибина залягання, діаметри труб, матеріали виготовлення та інші дані, необхідні для проектування та будівництва дороги. До надземних інженерних комунікацій належать лінії електропередач, повітряні кабелі зв'язку, освітлення та інші комунікації, які розміщені над землею. На ІТП вказується їх трасування, висота розташування, матеріали виготовлення та інші дані. Під час експлуатації комунікацій можуть бути внесені зміни, які не були відображені на раніше складеному ІТП.

Оновлення плану дозволяє отримати актуальну інформацію про розташування комунікацій та уникнути пошкоджень їх під час будівництва дороги, а також оцінити вплив будівництва на існуючі інженерні комунікації, щоб можна було вжити заходи для їх перенесення або захисту. Це гарантує їх безпечну та безаварійну експлуатацію.

2.3.3. Складання цифрової моделі місцевості для будівництва автомобільних доріг

Візуалізація рельєфу дозволяє інженерам краще уявити собі місцевість, проаналізувати нахили, улоговини, виступи та інші характеристики рельєфу, що важливо для трасування дороги та розрахунку обсягів земляних робіт. Є можливість змодельовати вплив будівництва дороги на навколишнє середовище (зміна русла річок, ерозія ґрунту). ЦММ дозволяє здійснювати контроль за ходом будівництва та порівняння фактичного рельєфу з проектним.

2.3.4. Отримання «хмари» точок як результату сканування місцевості

«Хмара» точок з високою роздільною здатністю може забезпечити точність до декількох сантиметрів, що важливо для проектування. Вона може відображати всі деталі рельєфу місцевості, включаючи дрібні нерівності, перепади висот та рослинність. Використовується для проектування траси дороги, розрахунку

обсягів земляних робіт, аналізу геологічних умов та моделювання впливу будівництва на навколишнє середовище.

2.3.5. Узгодження характеристик та правильності нанесення інженерних комунікацій на інженерно-топографічні плани (ІТП) перед початком будівництва

ІТП узгоджується з власниками інженерних комунікацій, а також з відповідними органами державної влади. Затверджений ІТП стає офіційним документом, який використовується для проектування та будівництва дороги. Важливо, щоб узгодження проводилося на ранніх етапах проектування дороги. Це дозволяє виявляти та вирішувати проблеми, пов'язані з інженерними комунікаціями, ще до початку будівництва. Узгодження характеристик та правильності нанесення інженерних комунікацій на ІТП є юридичною вимогою в багатьох країнах. Це гарантує, що будівництво автомобільних доріг ведеться з урахуванням усіх існуючих інженерних комунікацій, що мінімізує ризики пошкодження, аварій та інших проблем.

2.3.6. Геодезичне забезпечення інших видів робіт та вишукувань

Геодезисти визначають координати та висотні позначки:

- геологічних свердловин, що дозволяє точно їх позиціонувати на плані для інтерпретації геологічних даних та створення геологічного розрізу місцевості;
- точок, де проводяться геофізичні дослідження, такі як сейсмічні, електромагнітні або дослідження методом електроопору для візуалізації результатів геофізичних досліджень на карті та ув'язки їх з іншими даними про місцевість;
- гідрометеорологічних постів, де проводяться вимірювання рівня води, швидкості течії, атмосферних опадів та інших гідрометеорологічних параметрів, що дозволяє узагальнити гідрометеорологічні дані та використовувати їх для оцінки ризиків паводків, ерозії ґрунту та інших природних явищ.

## 2.4. Геодезичне обладнання

Склад і вимоги до геодезичного обладнання та приладів для проведення вишукувальних робіт зазначені у ДСТУ 9154 [20]: «Геодезичне обладнання та прилади, що застосовують під час виконання геодезичних робіт, мають проходити перевірку на наявність похибок на всіх стадіях виконання робіт.

Геодезичне обладнання та прилади, що застосовують під час виконання геодезичних робіт, мають забезпечити високоякісне виконання вимірів усіх величин та забезпечити точність вимірювань відповідно до технічного завдання замовника <...>.

Лінійні вимірювання виконують нитяними, оптичними, лазерними віддалемірами, світловіддалемірами, радіодалекомірами, електронними тахеометрами, ГНСС-приймачами, а також сталевими стрічками і рулетками, мірними дротами тощо <...>.

Кутові вимірювання виконують оптичними та електронними теодолітами, тахеометрами, вибір яких визначають необхідною точністю кутових вимірювань, надійністю і зручністю виконання робіт <...>.

Висотне обґрунтування виконують оптичними, електронними та лазерними нівелірами або рівнями, оптичними та електронними теодолітами, тахеометрами та ГНСС-приймачами різних конструкцій та модифікацій відповідної точності <...>.

Вимірювання рівня виконують оптичними, електронними, лазерними нівелірами або рівнями.

Зйомку «хмари точок» виконують сканувальними тахеометрами та лазерними сканерами.

Для зменшення впливу інструментальних похибок і погодних умов на результати вимірювань та забезпечення точності геодезичних вимірювань <...> рекомендовано:

- не працювати на нестійкій основі і за сильного поривчастого вітру;
- користуватися парасолькою, щоб унеможливити вплив нерівномірного

- користуватися парасолькою, щоб унеможливити вплив нерівномірного нагрівання зорової труби і основи, на якій встановлено прилад;
- встановлювати прилад так, щоб візирний промінь проходив від землі на відстані понад 1,0 м і не менше ніж 2,0 м від нагрітих поверхонь;
- високоточне вимірювання відстаней понад 100 м через водойми та річки виконувати у темну пору доби для уникнення рефракції».

Вимоги до повірок обладнання зазначені у МВ 218-05416892-431:2005 [21]: «В період проведення польових робіт виконуються щоденні і періодичні повірки нівелірів і теодолітів. Щоденні повірки нівелірів включають повірку рівнів, автоматичних компенсаторів, періодичні – повірку сітки ниток. Щоденні повірки теодолітів – повірка циліндричного і кругового рівнів, визначення місця нуля, визначення колімаційної помилки, періодичні повірки теодолітів – повірка сіток, поправка дальноміра».

Для виконання геодезичних робіт слід використовувати сертифіковане обладнання та програмне забезпечення, сучасні технології та методи вишукувальних робіт, що дозволяють отримувати максимально повну та точну інформацію про ділянку будівництва. Дотримання цих вимог дозволить забезпечити високу якість вишукувальних робіт та закласти основу для успішного проектування та будівництва автомобільної дороги.

## РОЗДІЛ 3. СТВОРЕННЯ ЦИФРОВОЇ МОДЕЛІ ТРАСИ

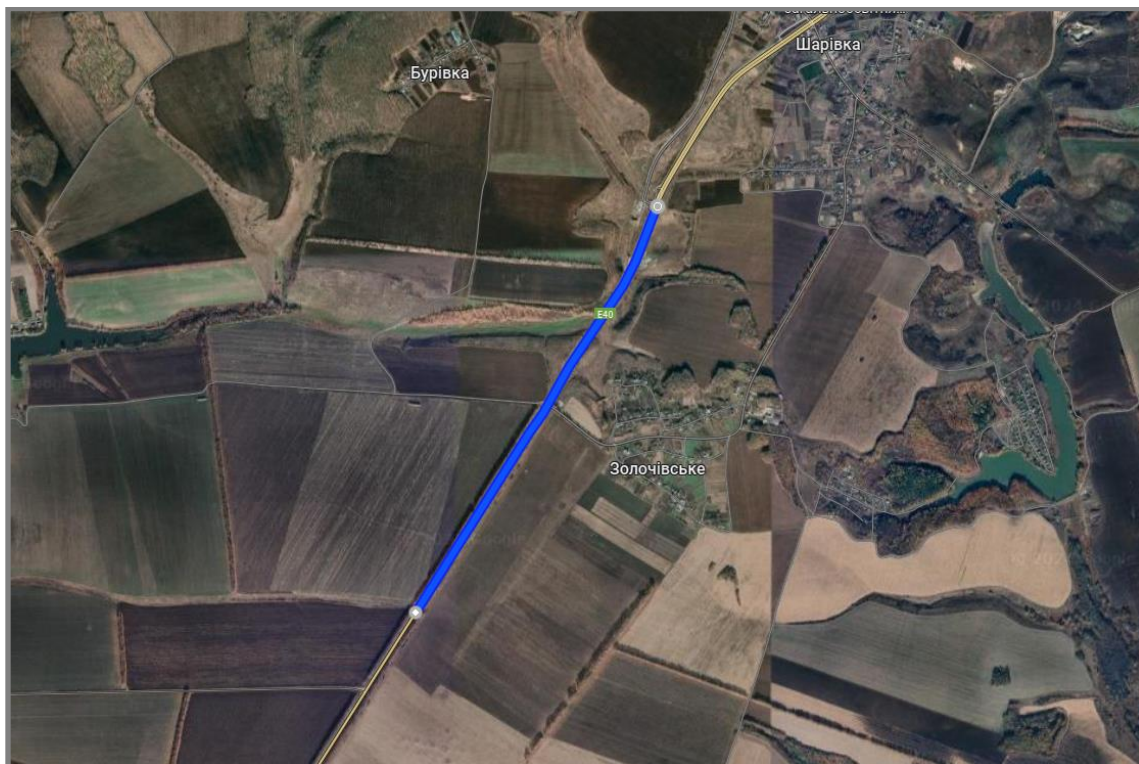
### 3.1. Характеристика території об'єкту дослідження

Траса E40 належить до єдиної Європейської транспортної системи та є самою протяжною автомагістраллю Європи довжиною 8 500 км. Початок дороги бере у французькому портовому місті Кале, проходить крізь Францію, Бельгію, Німеччину, Польщу, Україну, росію, Казахстан, Узбекистан, Туркменістан, Киргизстан, завершується у казахському місті Ріддер. На території нашої країни довжина траси складає 1 452 км. Розташування траси E40 представлено на *рис. 3*.



**Рис. 3. Місцезнаходження автомагістралі E40 (з сайту [uk.wikipedia.org](http://uk.wikipedia.org))**

У проекті розглядається частина цієї траси довжиною 2,45 км, що проходить по Харківській області між містом Валки та селищем Шарівка. Координати початку ділянки траси: 49°53'28" пн.ш. 35°44'25" сх.д. Координати кінця ділянки траси: 49°54'34" пн.ш. 35°45'25" сх.д. Розміщення ділянки траси представлено на *рис. 4*.



**Рис. 4. Розташування досліджуваної ділянки траси у Харківській області  
(скрін-шот з сайту [google.com/maps](https://www.google.com/maps))**

Рельєф місцевості – розчленована ярами і балками лесова височина, що має сильну ураженість несприятливими природними процесами. Найінтенсивнішими з цих процесів є зсуви, просідання лесових порід, площинна та яружна ерозія. Ділянка, по якій проходить траса має незначний перепад висот. Ґрунти – темно-сірі опідзолені на лесових породах з доброю родючістю. Рослинність – сільськогосподарські угіддя на місці лучних степів та остепнених луків. З початку до середини траси з обох боків йде лісозахисна смуга. Дорога має одне примикання та одне перехрестя з другорядними дорогами.

### **3.2. Методика проведення зйомки траси**

Зйомка проведена сучасним обладнанням. Мобільна скануюча система Leica Pegasus: Two (рис. 5) робить 1 млн. точок за секунду. Вона була закріплена на автомобілі, який проїхав по ділянці траси довжиною 2,45 км у прямому та зворотному напрямку. Отриману «хмару» точок за допомогою програмного

продукту Leica Pegasus: Manager було проаналізовано та експортовано у зручні для роботи формати. Вихідні дані: файли «хмари» точок у форматі .LAS та .RCP (рис. 6), файли з даними зйомки у форматі .CSV (читаються у Excel), координати кілометрових стовбців у форматі .TXT.

Також система зробила 600 панорамних знімків 360° у форматі .JPG (рис. 7). Зображення откалібровані по «хмарі» точок.



**Рис. 5. Мобільна скануюча система Leica Pegasus:Two (з сайту [ngc.com.ua](http://ngc.com.ua))**



**Рис. 6. Фрагмент «хмари» точок, отриманий при зйомці скануючою системою**



**Рис. 7. Панорамний знімок кінцевої точки ділянки дороги з мітками біля узбіччя зроблений скануючою системою Leica Pegasus: Two**

### **3.3. Побудова моделі траси у програмних продуктах Autodesk InfraWorks та Autodesk AutoCAD Civil 3D**

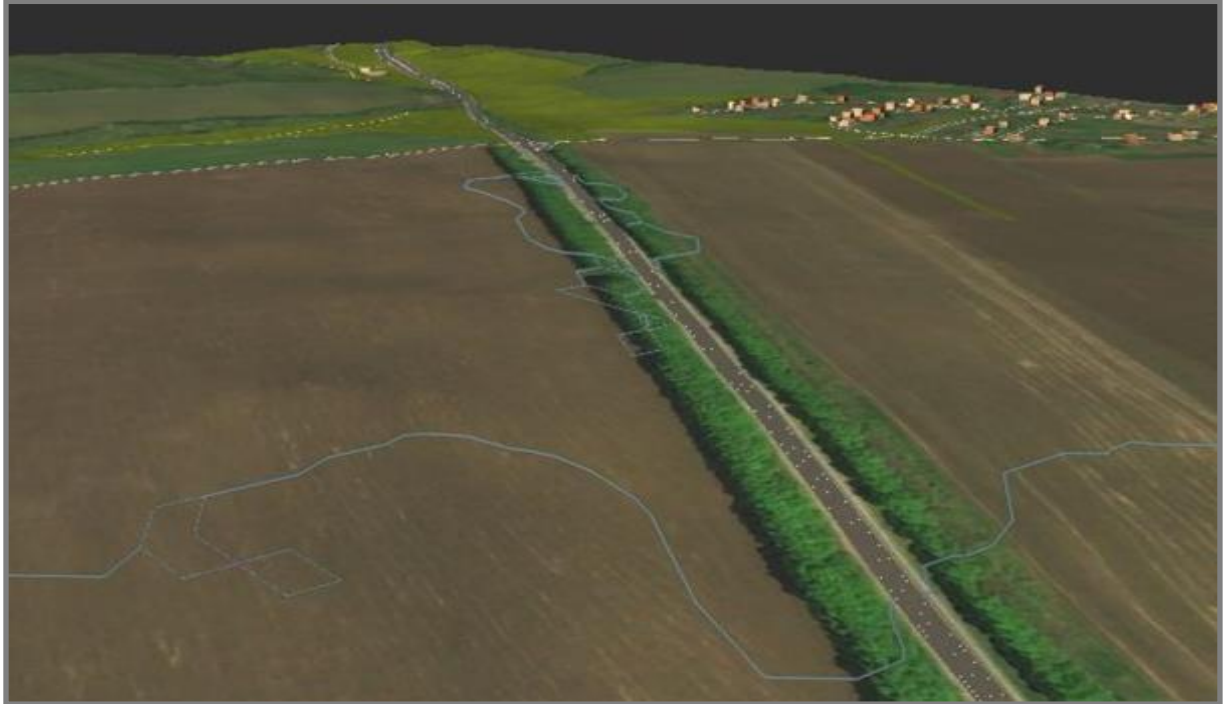
Отримані скануючою системою дані оброблялися у програмних продуктах Autodesk InfraWorks та Autodesk AutoCAD Civil 3D.

Autodesk InfraWorks – програмне забезпечення, що використовується для 3D-моделювання, фотореалістичної візуалізації та різних видів аналізу місць забудови та об’єктів інфраструктури.

Autodesk AutoCAD Civil 3D – програмне забезпечення для детального проектування та моделювання об’єктів інфраструктури, проведення різних видів аналізу, створення проектної документації.

У обох програмах є можливість працювати з багатьма різними форматами даних, а також і свої проекти зберігати у інших форматах. Є можливість створення моделей з рухомими елементами.

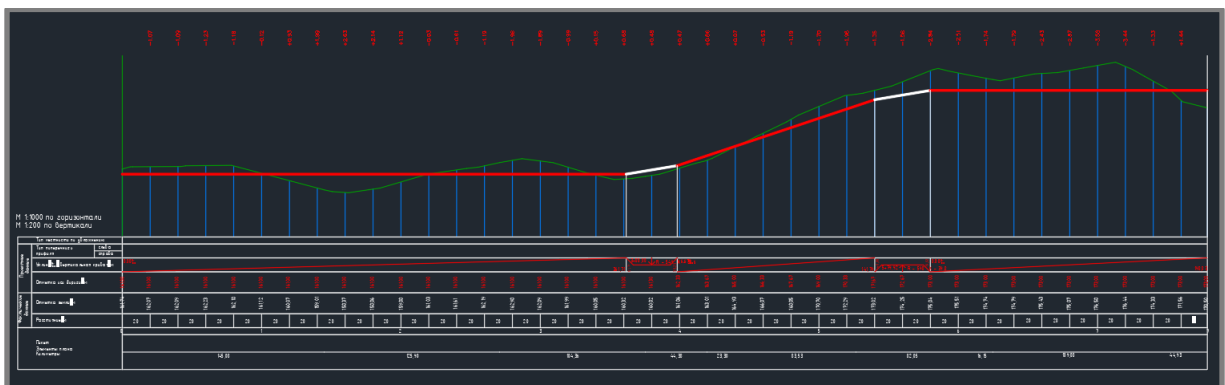
У Autodesk InfraWorks по хмарі точок та по супутниковим знімкам високої роздільної здатності була створена детальна 3D-модель місцевості. На *рис. 8* представлений фрагмент цієї моделі.



**Рис. 8. 3D-модель місцевості (Autodesk InfraWorks)**

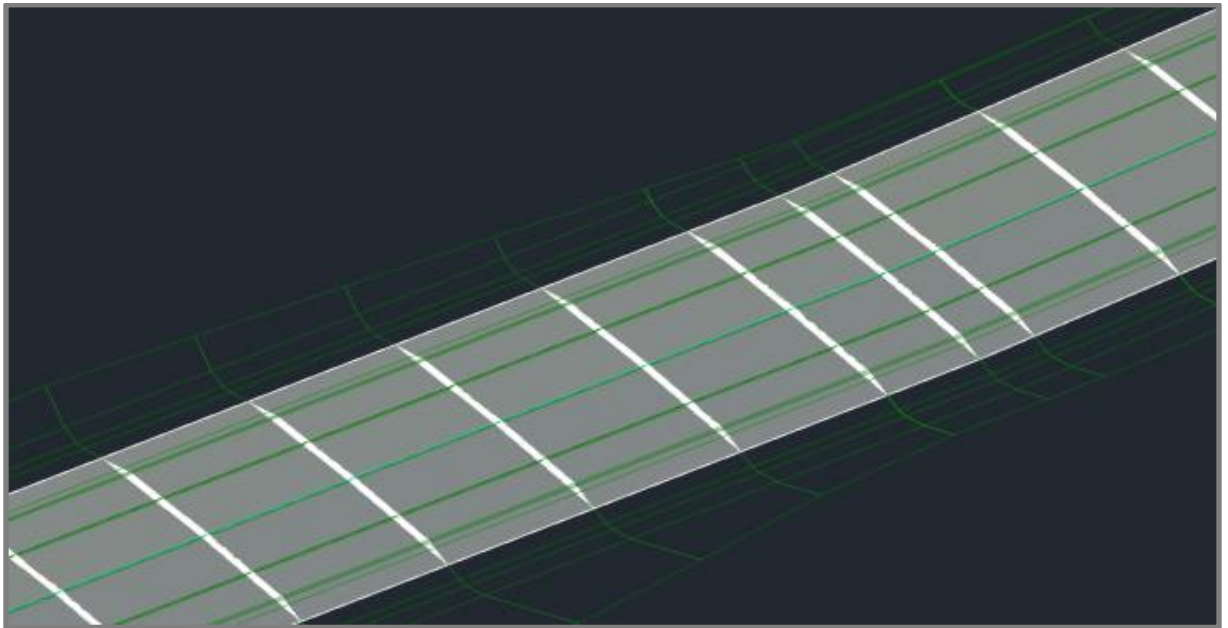
Так як програмний продукт Autodesk InfraWorks призначений для концептуального проектування, отримана модель була перенесена до Autodesk AutoCAD Civil 3D.

У Civil 3D будується траса дороги, поздовжній (рис. 9) та поперечний профілі.



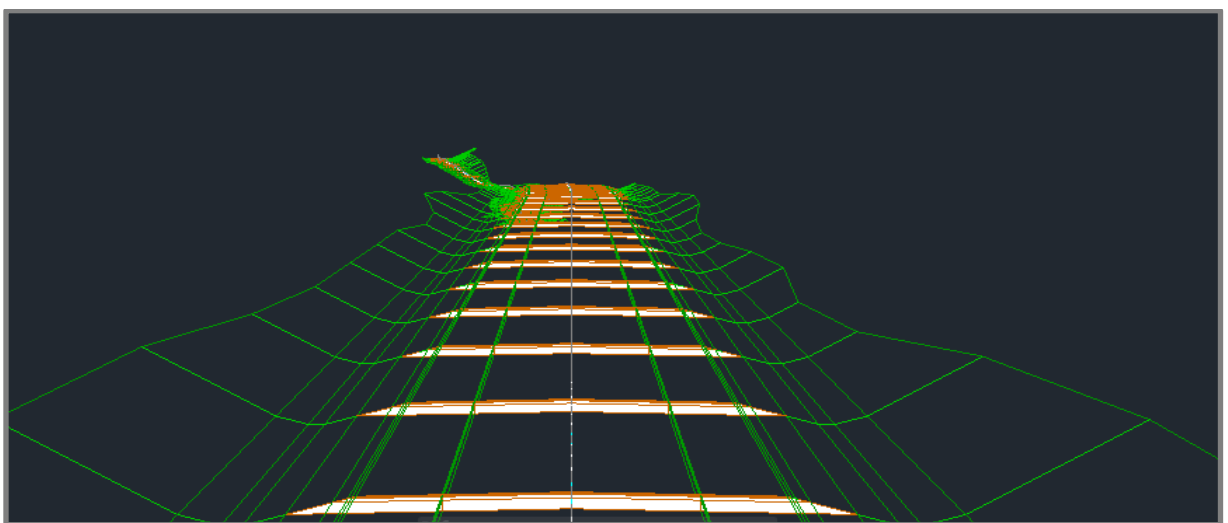
**Рис. 9. Поздовжній профіль траси (Autodesk AutoCAD Civil 3D)**

На основі цього генерується коридор траси (рис.10).



**Рис. 10. Фрагмент коридору траси (Autodesk AutoCAD Civil 3D)**

Коридор – це тривимірна модель дороги. Вздовж всієї траси програма сама буде вихід на рельєф. Розраховує об'єм земляних робіт (вказує де потрібно зробити насип, а де виїмку ґрунту) та об'єм матеріалу кожного з шарів покриття. Є можливість зробити аналізи видимості, стоку дощових вод, транспортних потоків. Є режим проїзду по трасі (рис. 11) з різною швидкістю для оцінки зручності її геометрії.



**Рис. 11. Стоп-кадр режиму проїзду по трасі**

У програмі гарна система генерації робочої документації. Можна оформити креслення за потрібними стандартами по наявним шаблонам чи створити власний шаблон, сформувавши специфікації, відомості обсягів робіт, які будуть змінюватися автоматично при внесенні змін у геометрію траси.

Вихідний матеріал можна знову завантажити у Autodesk InfraWorks для подальшої обробки та створення фотореалістичних 3D-моделей (динамічна вода, хмари, тінь від сонця), анімацій та презентацій, проведення різних видів аналізів.

Підсумовуючи враження від роботи над створенням цифрової моделі траси, можна зазначити, що лазерне сканування є ефективним та швидким методом збору даних для створення 3D-моделей доріг, а програмні продукти автоматизованого проектування є потужними засобами для обробки цих даних та для створення на основі цього готового проекту.

## ВИСНОВКИ

Вишукуванням потрібне удосконалення за рахунок застосування методів на основі сучасних засобів та технологій. Лазерні сканери та безпілотні літальні апарати надають перевагу у швидкості, маневреності, безпеці, зниженні кількості задіяного людського ресурсу. Інструменти моделювання систем та засоби автоматизованого проектування забезпечують наочність, точність, тісну комунікацію виконавців, можливість виявлення помилок на етапі проектування, відпрацювання безлічі варіантів проекту та вибір з них найкращого.

У даній роботі було проведено:

- аналіз літератури та статей за темою роботи; розібрана нормативно-правова документація, що регламентує проведення робіт по вишукуванню автомобільних доріг;
- опис методів, що зараз застосовуються на практиці та зазначені у нормативній документації, згідно якої треба проводити геодезичні вишукувальні роботи; опис технологій, якими користуються провідні закордонні фахівці у цій сфері;
- опис вимог до складу та якості геодезичних приладів, що застосовуються при вишукувальних роботах;
- конструювання автомобільної дороги у програмних продуктах по проектуванню та візуалізації компанії Autodesk на основі отриманої сканувальною системою компанії Leica «хмари» точок.

Процес удосконалення існуючих та поява нових технологій, методів, програмних продуктів неперервний. Вже зараз є спроби використання у будівельній галузі проектів з віртуальною та доповненою реальностями, Інтернетом речей. Тому любе удосконалення робіт не можна вважати остаточним.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Кузьмін В. І., Білятинський О. А. Інженерна геодезія в дорожньому будівництві : навч. посіб. Київ : Вища шк., 2006. 278 с.
2. Ратушняк Г. С., Панкевич О. Д., Лялюк О. Г. Інженерні вишукування : навч. посіб. Вінниця : ВНТУ, 2009. 150 с.
3. Геодезичне забезпечення будівництва. Частина 1 : навч. посіб. / Г. С. Ратушняк та ін.. Вінниця : ВНТУ, 2014. 98 с.
4. Бачишин Б. Д. Інженерна геодезія : навч. посіб. Рівне: НУВГП, 2020. 196 с.
5. Хом'як А. Я. Інженерні вишукування у транспортному будівництві : навч. посіб. Київ : Знання, 2007. 348 с.
6. Арсеньєва Н. О., Фоменко Г. Р. Сучасні геодезичні прилади, які використовують під час будівництва, реконструкції та ремонтних робіт автомобільних доріг. *Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія «Технічні науки»*. 2021. Т. 32 (71), ч. 2, № 2. С. 248-253. URL: <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.2-2/39> (дата звернення: 17.02.2024).
7. Анисенко О. В., Платонова К. А. Сучасні геодезичні прилади, їх значення і роль у геодезичних вимірюваннях. *Інвестиції: практика та досвід*. 2019. № 4. С. 80-83. DOI: 10.32702/2306-6814.2019.4.80 (дата звернення 18.01. 2024).
8. Дорожко Є. В., Янкін О. Є. Особливості складу і змісту геодезичних робіт в дорожньому будівництві. *Комунальне господарство міст*. 2022. Т 4, вип. 171. С. 82-86. DOI: 10.33042/2522-1809-2022-4-171-82-86 (дата звернення 17.02.2024).
9. Пшінько О. М., Радкевич А. В., Громова О. В., Краснюк А. В., Щербак А. С., Бочарова Н. П. Стратегія землеустрою та геодезичних вишукувань під час проектування та будівництва автомобільних доріг і залізниць. *Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика*. 2019. № 16. С. 75-81.
10. Іщенко Н. Ф., Скрипник Л. Р., Стецюк М. П. Інновації при будівництві автомобільних доріг в контексті раціонального використання земель автомобільного транспорту. *Сталий розвиток авіаційної інфраструктури*

- України : колективна монографія. С. 317-341. DOI 10.36059/978-966-397-312-8-13.
11. Qian Wang, Yi Tan, Zhongya Mei. Computational Methods of Acquisition and Processing of 3D Point Cloud Data for Construction Applications. *Computational Methods in Engineering*. April 2020. DOI: 10.1007/s11831-019-09320-4 (date of access: 21.02.2024).
  12. Mallela J., Mitchell A., Gustafson J. Effective Use of Geospatial Tools in Highway Construction. URL: [https://www.researchgate.net/publication/344659704\\_Effective\\_Use\\_of\\_Geospatial\\_Tools\\_in\\_Highway\\_Construction](https://www.researchgate.net/publication/344659704_Effective_Use_of_Geospatial_Tools_in_Highway_Construction) (date of access: 26.11.2023).
  13. Radzi A. R., Azmi N. F., Kamaruzzaman S. N., Rahman R. A., Papadonikolaki E. Relationship between digital twin and building information modeling: a systematic review and future directions. *Construction Innovation*. 2024. Vol. 24, no 3. P. 811-829. URL: <https://doi.org/10.1108/CI-07-2022-0183> (date of access: 21.02.2024).
  14. Naji K. K., Gunduz M., Alhenzab F. H., Al-Hababi H., Al-Qahtani A. H. A Systematic Review of the Digital Transformation of the Building Construction Industry. *IEEE Access*. 2024. Vol. 12. P. 31461-31487. URL: [https://www.researchgate.net/publication/378213260\\_A\\_Systematic\\_Review\\_of\\_the\\_Digital\\_Transformation\\_of\\_the\\_Building\\_Construction\\_Industry](https://www.researchgate.net/publication/378213260_A_Systematic_Review_of_the_Digital_Transformation_of_the_Building_Construction_Industry) (date of access: 17.04.2024).
  15. Про топографо-геодезичну і картографічну діяльність : Закон України від 26.01.1999 р. №353-XIV. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/353-14> (дата звернення 05.11.2023).
  16. Про дорожній рух : Закон України від 30.06.1993 р. №3353-XII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3353-12> (дата звернення 05.11.2023).
  17. ДБН В.2.3-4:2015 Автомобільні дороги. Частина І. Проектування. Частина ІІ. Будівництво. На зміну ДБН В.2.3-4-2007; чинний від 2016-04-01. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2015. 104 с.
  18. ДБН В.1.3-2:2010 Система забезпечення точності геометричних параметрів у будівництві. Геодезичні роботи у будівництві. Чинний від 2010-21-01. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонбуд України, 2018. 66 с.

19. ДБН А.2.1-1-2008 Інженерні вишукування для будівництва. Чинний від 2008-05-02. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонбуд України, 2008. 71 с.
20. ДСТУ 9154:2021 Настанова з виконання геодезичних робіт у дорожньому будівництві. Чинний від 2022-09-01. Вид. офіц. Київ : УкрНДНЦ, 2022. 35 с.
21. МВ 218-05416892-431:2005. Методичні вказівки з інженерно-геодезичних робіт при вишукуванні автомобільних доріг. Вид.офіц. Київ : Укрдпіпродор, 2005. 39 с.
22. СОУ 45.2-00018112-028:2008 Забезпечення якості при будівництві, ремонті та експлуатаційному утриманні автомобільних доріг та мостових споруд. Чинний від 2008-05-01. Вид. офіц. Київ : УкрНДНЦ, 2008. 33 с.
23. ДБН А.2.2-3:2014 Склад та зміст проектної документації на будівництво. Чинний від 2014-10-01. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонбуд України, 2022. 33 с.
24. ДБН Б.2.2-12:2019 Планування та забудова територій. Чинний від 2019-10-01. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонбуд України, 2019. 177 с.
25. ДСТУ-Н Б В.1.3-1:2009 Настанова з виконання вимірювань, розрахунків та контроль точності геометричних параметрів. Чинний від 2010-10-01. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонбуд України, 2010. 71 с.

## ДОДАТКИ

### Додаток А

#### Склад технічного звіту

##### Склад технічного звіту про виконання інженерно-геодезичних вишукувань

###### 1 Склад записки пояснення:

###### 1.1 Загальні дані:

- найменування об'єкту (для доріг вказується найменування маршруту, кілометрове або пікетажне значення);
- розміщення об'єкту (область, район);
- стадія і види проектних робіт (ТЕО, проект, робочий проект, робочі креслення);
- дані про відсутність або наявність на об'єкті раніше виконаних матеріалів топографо-геодезичних робіт (і яких саме) і можливість їх подальшого використання і на яких умовах.

###### 1.2 Дані, що підтверджують юридично-правове обґрунтування топографо-геодезичних робіт, виконаних на об'єкті:

- Номер, дата, і терміни дії цієї ліцензії на право виробництва топографо-геодезичних робіт;
- Номер, дата і найменування обласного управління будівництва і архітектури, яке видало дозвіл на виробництво інженерно-геодезичних робіт або дозвіл Української державної інспекції геонагляду;
- Перелік інструментів, використаних при виконанні інженерно-геодезичних вишукувань, їх заводські номери і номери щорічних державних перевірок (для рейок, землерийних стрічок і рулеток, відповідні довідки про проведення щорічних компарірувань).

###### 1.3 Дата виконання робіт:

початок \_\_\_\_\_

закінчення \_\_\_\_\_

###### 1.4 Перелік і обсяг виконаних на об'єкті топографо-геодезичних робіт:

- теодолітні (тахеометричні) ходи:
  - а) по трасі дороги і її варіантам;
  - б) плановому обґрунтуванню зйомок, прив'язкам іт.і;
- теж по нівелірних ходах;
- тахеометричні зйомки М 1:5000; 1:2000; 1:1000; 1:500 і їх коректування, кв. км;
- зйомка поперечних профілів.

###### 1.5 Неув'язки по ходах:

- кутова неув'язка теодолітних (тахеометричних) ходів (по всіх ходах):

а) допустимі;

б) фактичні.

- Лінійна неув'язка (по всіх ходах):

а) допустимі;

б) фактичні.

- Висотна неув'язка (по всіх ходах):

а) допустимі;

б) фактичні.

1.6 Системи, використані при вишукуваннях:

- координат,

- висот.

1.7 Планове і висотне закріплення, використане при вишукуваннях:

- геодезичні пункти державної геодезичної мережі і їх адреси, шт.;

- репери і марки державної геодезичної мережі і їх відмітки і адреси, шт;

- репери "земляні", їх відмітки.

2 Документи, що прикладаються до звіту:

2.1 Кутомірні журнали теодолітних (тахеометричних) ходів, шт.

2.2 Пікетажні журнали пікетажних ходів, шт.

2.3 Нівелірні журнали нівелірних ходів, шт.

2.4 Журнали нівеляції поперечників, шт.

2.5 Журнали тахеометричних зйомок, шт.

2.6 Відомість обчислення координат точок теодолітного ходу.

2.7 Відомість кутів повороту прямих і кривих траси.

2.8 Схеми геодезичних ходів, зокрема, планового і висотного обґрунтування зйомок.

2.9 Відомість закріплення траси.

2.10 Відомість перевищення і висот точок нівелірного ходу.

2.11 Відомість реперів.

2.12 Відомість перетинаємих та перевлаштовуємих комунікацій.

2.13 Відомість вирубки природних насаджень.

2.14 Відомість пересічень і примикань автомобільних доріг.

2.15 Відомість погоджень.

2.16 Відомість понижених місць.

2.17 Відомість існуючих штучних споруд.

2.18 Креслення зйомок.

2.19 Різні креслення, акти і т.п.]

Склав \_\_\_\_\_  
(посада) (підпис) (П.І.Б.) (дата)

## Додаток Б

## Зразки бланків відомостей

## Відомість комунікацій які перетинаються та перевлаштовуються

Автомобільна дорога \_\_\_\_\_

| Місцезнаходження |      | Найменування | Власник | Марка,<br>тип | Намічувані<br>заходи | Ескіз | Примітка |
|------------------|------|--------------|---------|---------------|----------------------|-------|----------|
| Пікет            | Плюс |              |         |               |                      |       |          |
| 1                | 2    | 3            | 4       | 5             | 6                    | 7     | 8        |
|                  |      |              |         |               |                      |       |          |
|                  |      |              |         |               |                      |       |          |
|                  |      |              |         |               |                      |       |          |
|                  |      |              |         |               |                      |       |          |

Склав \_\_\_\_\_

Перевірив \_\_\_\_\_

## Відомість узгоджень

Автомобільна дорога \_\_\_\_\_

| №<br>п/<br>п | Найменування<br>організації з<br>якою<br>проведено<br>погодження | Дата<br>погодження | Стислий<br>зміст<br>погодження | Посада,<br>ініціали і<br>прізвище<br>того, хто<br>підписав | Найменування<br>документу на<br>якому<br>знаходиться<br>погодження |
|--------------|--|--------------------|--------------------------------|--|--|
|              |  |                    |                                |  |  |

Склав \_\_\_\_\_

Перевірив \_\_\_\_\_



### Відомість закріплення траси

Автомобільна дорога \_\_\_\_\_

| № закріп. знаку | Місцеположення |       |      | Опис закріплюючого знаку | Ескіз знаку | Примітка |
|-----------------|----------------|-------|------|--------------------------|-------------|----------|
|                 | Проектний км   | Пікет | Плюс |                          |             |          |
|                 |                |       |      |                          |             |          |
|                 |                |       |      |                          |             |          |
|                 |                |       |      |                          |             |          |

Склав \_\_\_\_\_

Перевірив \_\_\_\_\_

### Відомість існуючих штучних споруд

Автомобільна дорога \_\_\_\_\_

| № п/п | місцезнаходження |       |      | Назва водотоку | Існуючі споруди         |               |                    |             | Примітка |                  |
|-------|------------------|-------|------|----------------|-------------------------|---------------|--------------------|-------------|----------|------------------|
|       | км               | пікет | плюс |                | Матеріал та вид споруди | мости         |                    | труби       |          |                  |
|       |                  |       |      |                |                         | Отвір в світу | Довжина по настилу | Отвір труби |          | Довжина по лотку |
| 1     | 2                | 3     | 4    | 5              | 6                       | 7             | 8                  | 9           | 10       | 11               |
|       |                  |       |      |                |                         |               |                    |             |          |                  |
|       |                  |       |      |                |                         |               |                    |             |          |                  |
|       |                  |       |      |                |                         |               |                    |             |          |                  |

Склав \_\_\_\_\_

Перевірив \_\_\_\_\_

### Відомість реперів

Автомобільна дорога \_\_\_\_\_

| №<br>п.п. | Проектний<br>км | Пікет,<br>плюс | №<br>репера | Відмітка<br>репера, м | Відстань репера від осі<br>лінії в м по ходу<br>кілометражу |          | Рід репера (марка, пень,<br>вкопаний стовп, цоколь<br>будівлі та інше) В деяких<br>випадках ескіз репера |
|-----------|-----------------|----------------|-------------|-----------------------|---|----------|--|
|           |                 |                |             |                       | ліворуч   | праворуч |  |
|           |                 |                |             |                       |   |          |  |
|           |                 |                |             |                       |   |          |  |
|           |                 |                |             |                       |   |          |  |
|           |                 |                |             |                       |   |          |  |

Склав \_\_\_\_\_

Перевірив \_\_\_\_\_

### Відомість понижених місць

Автомобільна дорога \_\_\_\_\_

| №<br>п/п | Місцезнаходження |      | Найменування<br>водотоку | Наявність скидів,<br>місцевих чашок | Заходи щодо<br>водовідводу |
|----------|------------------|------|--------------------------|-------------------------------------|----------------------------|
|          | пікет            | плюс |                          |                                     |                            |
|          |                  |      |                          |                                     |                            |
|          |                  |      |                          |                                     |                            |
|          |                  |      |                          |                                     |                            |
|          |                  |      |                          |                                     |                            |

Склав \_\_\_\_\_

Перевірив \_\_\_\_\_