



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Чорноморський національний університет
імені Петра Могили

Кафедра управління земельними ресурсами

ТУРБІН ВЛАДИСЛАВ СЕРГІЙОВИЧ

Інженерно-геодезичні вишукування для проектування автомобільних доріг

на здобуття ступеня вищої освіти бакалавр
галузі знань 19 «Архітектура та будівництво»
спеціальності 193 «Геодезія та землеустрій»
за освітньо-професійною програмою «Геодезія та землеустрій»

Науковий керівник: Перович Л.М.,
д.т.н., професор

Рецензент:
Сандольська О.Є.
ТОВ «Миколаївський земельно-кадастровий інститут»

Миколаїв 2026

ЗМІСТ

ВСТУП.....	3
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ІНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧНИХ ВИШУКУВАНЬ ТРАС АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ	6
1.1. Роль та значення інженерно-геодезичних вишукувань у дорожньому проектуванні	6
1.2. Нормативно-правове та технічне регулювання геодезичних робіт	9
1.3. Сучасний стан та інноваційні технології в трасуванні автомобільних доріг 11	
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ ПРОВЕДЕННЯ ПОЛЬОВИХ ТА КАМЕРАЛЬНИХ РОБІТ ПРИ ЛІНІЙНОМУ ТРАСУВАННІ	15
2.1. Організація та технологія проведення польових вимірювань.....	15
2.2. Камеральне опрацювання геодезичних даних	19
2.3. Контроль якості та побудова технологічної схеми	23
РОЗДІЛ 3. ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ІНЖЕНЕРНО- ГЕОДЕЗИЧНИХ ВИШУКУВАНЬ ДЛЯ ПРОЕКТУВАННЯ АВТОМОБІЛЬНОЇ МАГІСТРАЛІ.....	26
3.1. Характеристика об'єкта вишукувань та вихідні проектні дані	26
3.2. Трасування осі магістралі в плані та розрахунок кругових кривих Ошибка! Закладка не определена.	
3.3. Проектування поздовжнього профілю та обчислення земляних мас.....	31
ВИСНОВКИ.....	34
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	36

ВСТУП

Актуальність дослідження. Розвиток сучасної дорожньо-транспортної інфраструктури є стратегічним пріоритетом для економіки України, що забезпечує логістичну єдність регіонів та інтеграцію держави у міжнародну транспортну систему. Автомобільні дороги виступають однією з ключових ланок матеріального виробництва, від якості та надійності яких безпосередньо залежить продовольча безпека, ефективність торгівлі та швидкість пасажирських перевезень.

В умовах повномасштабної збройної агресії та безпрецедентних руйнувань об'єктів критичної інфраструктури, питання оперативного відновлення транспортних артерій стає питанням національної безпеки. Ефективна військова та гуманітарна логістика сьогодні безпосередньо залежать від пропускну здатності та цілісності дорожньої мережі, що висуває нові вимоги до швидкості, точності та якості її відбудови в умовах воєнного стану та у поствоєнний період.

Важливою складовою сучасного дорожнього будівництва та реконструкції виступає впровадження високоточних технологій на етапі проектування. Надійна експлуатація автомобільних доріг неможлива без детальних інженерно-геодезичних вишукувань, які забезпечують проектну документацію достовірною інформацією про рельєф та ситуацію місцевості. Саме якісне геодезичне забезпечення формує фундамент для прийняття оптимальних проектних рішень, що дозволяє суттєво оптимізувати витрати на стадії будівництва.

На сучасному етапі особливої актуальності набуває дослідження процесів автоматизації та впровадження новітніх методів лінійного трасування. Однією з ключових проблем, що потребує аналізу, є необхідність поєднання традиційних методів вишукувань із сучасними цифровими технологіями в умовах високих вимог до точності. Використання сучасних електронних тахеометрів, супутникових систем та спеціалізованого програмного забезпечення дозволяє оптимізувати складні розрахунки елементів кругових кривих та об'ємів земляних робіт, що безпосередньо впливає на безпеку та тривалість служби дорожнього покриття.

У зв'язку з цим, комплексне дослідження технології проведення інженерно-геодезичних вишукувань для проектування автомобільних магістралей є своєчасним та практично значущим завданням для забезпечення сталого розвитку транспортної мережі країни.

Метою даного науково-практичного дослідження є дослідження теоретико-методологічних засад та практична реалізація процесу інженерно-геодезичних вишукувань для проектування автомобільної магістралі.

Для досягнення поставленої мети у межах цього дослідження необхідно вирішити низку прикладних і теоретичних завдань, що мають як наукову, так і практичну цінність. Зокрема:

- дослідити теоретичні основи інженерно-геодезичних вишукувань трас автомобільних доріг;
- проаналізувати сучасні методи та засоби проведення польових і камеральних робіт при лінійному трасуванні;
- здійснити практичну реалізацію процесу інженерно-геодезичних вишукувань для проектування автомобільної магістралі;
- виконати розрахунок елементів кругових кривих та об'ємів земляних робіт;
- розробити технологічну схему лінійного трасування та побудувати профіль автомобільної траси.

Об'єктом дослідження є процес проведення інженерно-геодезичних вишукувань для проектування лінійних споруд.

Предметом прикладного дослідження є теоретичні засади, практичні підходи та методологічні принципи проведення польових і камеральних робіт при лінійному трасуванні автомобільних доріг.

У процесі виконання дослідження було застосовано низку науково обґрунтованих методів, що дозволили комплексно розкрити тему:

- монографічний метод використано для глибокого вивчення нормативно-правової бази, ДБН та теоретичних засад геодезичного забезпечення будівництва;

- метод системного аналізу дав змогу дослідити логіку та структуру проведення вишукувальних робіт;
- картографо-топографічний метод слугував інструментом для опрацювання результатів кадастрової зйомки та проектування траси;
- графічний метод забезпечив наочність подання результатів через побудову профілів та схем.

Інформаційною основою для реалізації дослідження слугували офіційні дані, чинні законодавчі акти України, постанови Кабінету Міністрів та Верховної Ради України. Значну роль відіграли вимоги ДБН В.2.3 – 4:2015, а також наукові публікації вітчизняних і зарубіжних вчених та результати власних напрацювань.

Особистий внесок бакалавра. Результати, отримані в роботі, належать автору особисто. Мета, завдання та висновки сформульовані автором самостійно на основі проведених розрахунків та аналізу.

Структура та обсяг кваліфікаційної роботи відповідають вимогам до науково-дослідного проекту бакалаврського рівня. Дослідження складається зі вступу, трьох змістовних розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Робота містить аналітичний та графічний матеріал, зокрема розрахункові таблиці елементів кривих та об'ємів земляних робіт, а також схеми технології трасування та профілі траси.

РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ІНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧНИХ ВИШУКУВАНЬ ТРАС АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ

1.1. Роль та значення інженерно-геодезичних вишукувань у дорожньому проектуванні

Інженерно-геодезичні вишукування є фундаментальним складником комплексу інженерних досліджень, що передують розробленню проектної документації на будівництво, реконструкцію чи капітальний ремонт автомобільних доріг. На сучасному етапі розвитку дорожньої галузі якість проектування лінійних споруд безпосередньо залежить від повноти та точності топографо-геодезичних даних, які слугують основою для прийняття технічно обґрунтованих рішень.

Відповідно до нормативних вимог, зокрема ДБН В.2.3 – 4:2015, інженерно-геодезичні вишукування мають забезпечувати вивчення техногенних та природних умов району проектування, отримання матеріалів для оцінки впливу дороги на навколишнє середовище, а також створення цифрових моделей рельєфу (ЦМР). Головною метою цих робіт є створення точного просторового підґрунтя, що дозволяє інженерам-проектувальникам оптимально розташувати трасу на місцевості, враховуючи рельєф, наявну забудову та підземні комунікації.

Процес проведення вишукувань для лінійного трасування характеризується високою складністю та розподіляється на три взаємопов'язані етапи:

Підготовчий етап. На цій стадії здійснюється збір та аналіз архівних картографічних та геодезичних матеріалів на район робіт. Виконується вивчення топографічних карт масштабів 1:10 000 – 1:50 000 для попереднього намічення варіантів траси. Також проводиться аналіз матеріалів вишукувань минулих років, що дозволяє оптимізувати обсяги польових робіт та виявити потенційно складні ділянки. Завершується етап складанням технічного проекту та отриманням дозволів на проведення робіт.

Польовий етап. Це найбільш трудомістка стадія, під час якої виконується комплекс вимірювальних робіт безпосередньо на об'єкті. Ключовими завданнями польового етапу є:

- створення планово-висотної знімальної мережі вздовж осі майбутньої дороги;
- виконання тахеометричної або аерофотозйомки смуги траси;
- закріплення на місцевості кутів повороту траси та головних точок кривих;
- нівелювання по трасі для побудови поздовжнього та поперечних профілів;
- зйомка існуючих інженерних мереж, перетинів з іншими дорогами та штучних споруд (містків, труб).

Камеральний етап. На цій стадії виконується математична обробка результатів польових вимірювань, оцінка точності отриманих даних та побудова топографічних планів і профілів. Основним результатом камеральних робіт є створення цифрової топографічної основи у спеціалізованих програмних комплексах, що дозволяє автоматизувати подальше проектування елементів дороги.

Варто відзначити, що без належно виконаних геодезичних вишукувань неможливо забезпечити високу якість проектних рішень. Помилки у визначенні висотних позначок або координат на етапі вишукувань призводять до некоректного розрахунку об'ємів земляних робіт, що спричиняє значне подорожчання будівництва. Крім того, точні геодезичні дані є запорукою безпеки дорожнього руху, оскільки вони дозволяють витримати нормативні радіуси кривих та ухили проїжджої частини.

З огляду на вищезазначене, інженерно-геодезичні вишукування слід розглядати не просто як збір даних, а як інструмент мінімізації ризиків та оптимізації капітальних вкладень у дорожню інфраструктуру.

Важливим аспектом, що визначає специфіку проведення інженерно-геодезичних вишукувань, є вибір оптимальних методів зйомки та застосовуваних приладів. Цей вибір обумовлюється низкою об'єктивних факторів: категорією майбутньої автомобільної дороги, складністю рельєфу місцевості, щільністю

існуючої забудови, наявністю лісових масивів та водних перешкод, а також густотою мережі існуючих інженерних комунікацій. Для доріг вищих категорій (магістралей), де передбачаються значні швидкості руху та висуваються підвищені вимоги до плавності траси, точність геодезичних вимірювань має бути максимальною. Це вимагає обов'язкового застосування сучасних високоточних електронних тахеометрів, двочастотних GNSS-приймачів та систем лазерного сканування.

Окремої уваги заслуговує інтеграція результатів інженерно-геодезичних вишукувань у загальний життєвий цикл автомобільної дороги. Сучасне проектування все частіше спирається на технології інформаційного моделювання (BIM – Building Information Modeling). У цьому контексті цифрова модель рельєфу (ЦМР), створена за результатами топографічної зйомки, стає базовим елементом комплексної 3D-моделі інфраструктурного об'єкта. Отримана геодезична інформація використовується не лише проектувальниками для розрахунку об'ємів земляних мас чи оптимізації поздовжнього профілю, а й будівельниками для автоматизованого управління дорожньо-будівельною технікою (системи 3D-нівелювання машин і механізмів).

Крім того, якісно закріплена на місцевості планово-висотна геодезична основа, яка створюється на етапі вишукувань, має довгострокове значення. Вона слугує незмінною базою для винесення проекту в натуру, геодезичного супроводу будівельно-монтажних робіт, а в подальшому — для проведення моніторингу деформацій земляного полотна та паспортизації вже збудованої дороги.

Отже, інженерно-геодезичні вишукування є невід'ємною і визначальною складовою процесу створення автомобільної магістралі. Від їхньої якості, повноти та своєчасності залежать техніко-економічні показники проекту, обсяги капіталовкладень, а також довговічність і безпека експлуатації майбутнього транспортного шляху. Належне виконання таких робіт вимагає глибокого розуміння технологічних процесів та суворого дотримання нормативно-правової бази, яка регламентує топографо-геодезичну діяльність у будівництві.

1.2. Нормативно-правове та технічне регулювання геодезичних робіт

Реалізація проектів з будівництва, реконструкції та капітального ремонту автомобільних доріг вимагає суворого дотримання встановлених державою норм і правил. Нормативно-правове та технічне регулювання інженерно-геодезичних вишукувань є запорукою забезпечення якості, точності та безпеки майбутніх транспортних споруд. База, що регламентує цей процес в Україні, має ієрархічну структуру і включає закони України, постанови Кабінету Міністрів України та Верховної Ради України, а також систему державних будівельних норм (ДБН) і національних стандартів (ДСТУ).

Фундаментальним нормативно-правовим актом у цій сфері є Закон України «Про топографо-геодезичну і картографічну діяльність». Цей закон визначає правові та організаційні засади здійснення геодезичних робіт, встановлює вимоги до технічного і технологічного забезпечення виконавців, а також регламентує питання державного обліку та зберігання топографо-геодезичних матеріалів. Відповідно до його положень, під час проектування лінійних споруд обов'язковою умовою є впровадження прогресивних технологій та дотримання вимог чинної нормативно-технічної документації.

Важливу роль також відіграє Закон України «Про регулювання містобудівної діяльності», який визначає загальний порядок розроблення проектної документації, невід'ємною і першочерговою частиною якої є матеріали інженерних вишукувань.

Переходячи від загального законодавства до спеціалізованих технічних норм, слід зазначити, що безпосереднє виконання геодезичних робіт при лінійному трасуванні спирається на базовий документ ДБН А.2.1-1-2014 «Інженерні вишукування для будівництва» та профільний галузевий стандарт — ДБН В.2.3 – 4:2015 «Автомобільні дороги. Частина І. Проектування. Частина ІІ. Будівництво».

Особливої уваги у контексті даного дослідження заслуговує пункт 5.2 ДБН В.2.3 – 4:2015, який безпосередньо регламентує вимоги до інженерних

вишукувань при проектуванні автомобільних доріг. Відповідно до цього пункту, інженерні (зокрема, топографо-геодезичні) вишукування повинні забезпечувати комплексне вивчення природних умов території (рельєфу, наявної забудови, інфраструктури) для прийняття економічно доцільних, екологічно безпечних і технічно обґрунтованих рішень.

Згідно з вимогами ДБН В.2.3 – 4:2015 (п.5.2), матеріали інженерно-геодезичних вишукувань повинні бути достатніми для:

- розробки оптимального плану траси та її поздовжнього профілю з урахуванням нормативних радіусів кривих та ухилів;
- проектування земляного полотна та здійснення точного розрахунку балансу земляних мас;
- визначення точних місць розташування штучних споруд (мостів, шляхопроводів, водопропускних труб);
- проектування перехрещень і примикань доріг в одному та різних рівнях.

Також, нормативні документи наголошують, що результати вишукувань мають передаватися проектувальникам у вигляді цифрових моделей місцевості (ЦММ), що суттєво підвищує точність камеральної обробки даних і дозволяє автоматизувати процес проектування магістралі.

Важливим аспектом технічного регулювання є дотримання єдиної державної системи координат та висот. Згідно з Постановою Кабінету Міністрів України «Про деякі питання загальнодержавної топографо-геодезичної та картографічної діяльності», виконання всіх видів геодезичних робіт на об'єктах дорожнього господарства повинно здійснюватися у Державній геодезичній системі координат УСК-2000. Використання цієї системи забезпечує високу точність визначення координат об'єктів та дозволяє інтегрувати результати вишукувань до Державного земельного кадастру та інших геоінформаційних систем. Висотна основа при проектуванні автомобільних доріг обов'язково прив'язується до Балтійської системи висот 1977 року, що регламентується відповідними нормативними актами у сфері геодезії та картографії.

Окрім державних будівельних норм, важливим інструментом технічного регулювання є національні стандарти. Зокрема, ДСТУ 9154:2021 «Настанова з виконання геодезичних робіт у дорожньому будівництві» деталізує методику створення геодезичної розбивочної основи, встановлює допуски на точність вимірювань та вимоги до повірки приладів. Дотримання цих стандартів у поєднанні з положеннями пункту 5.2 ДБН В.2.3 – 4:2015 дозволяє мінімізувати систематичні та випадкові похибки при лінійному трасуванні.

Також слід зазначити, що нормативна база передбачає обов'язкову сертифікацію фахівців, які здійснюють геодезичну діяльність. Це гарантує, що результати інженерно-геодезичних вишукувань відповідають встановленим критеріям якості та можуть бути використані для розроблення стадій «Проект» або «Робоча документація». Уся технічна документація за результатами вишукувань підлягає обов'язковій перевірці на відповідність вимогам технічного завдання та чинним ДБН, що підтверджується підписами відповідальних осіб та печатками сертифікованих інженерів-геодезистів.

Таким чином, сформована в Україні нормативно-правова та технічна база створює чіткі умови для проведення інженерно-геодезичних вишукувань. Сукупність законів, постанов Кабінету Міністрів та галузевих стандартів, насамперед ДБН В.2.3 – 4:2015, забезпечує єдиний підхід до точності та якості даних, що є критично важливим для успішного проектування та подальшої експлуатації автомобільних доріг. Подальший розвиток нормативного регулювання у цій сфері пов'язаний із глибшою цифровізацією та впровадженням міжнародних стандартів геопросторових даних.

1.3. Сучасний стан та інноваційні технології в трасуванні автомобільних доріг

На сучасному етапі розвитку геодезичної галузі спостерігається стрімкий перехід від традиційних методів вимірювань до високоавтоматизованих цифрових технологій збору та опрацювання просторових даних. Це зумовлено зростаючими вимогами до точності, оперативності та деталізації топографічної інформації, що

є критично важливим для якісного проектування складних інженерних споруд, якими є сучасні автомобільні магістралі.

Одним із базових інструментів сучасного інженера-геодезиста залишаються високоточні електронні тахеометри. Новітні моделі цих приладів інтегрують у собі можливості вимірювання кутів і відстаней з потужними обчислювальними модулями, що дозволяє виконувати розбивку траси та зйомку характерних точок рельєфу з міліметровою точністю. Використання роботизованих тахеометрів суттєво підвищує продуктивність праці в польових умовах, дозволяючи одному фахівцю виконувати весь комплекс вимірювань.

Революційним кроком у дорожньому трасуванні стало впровадження супутникових технологій (GNSS). Особливе місце серед них посідає режим кінематики у реальному часі (RTK – Real Time Kinematic). Метод RTK дозволяє отримувати координати точок з сантиметровою точністю безпосередньо під час зйомки, що радикально прискорює процес створення планово-висотної основи вздовж протяжних лінійних об'єктів. Це усуває необхідність у прямій видимості між пунктами геодезичної мережі, що було обов'язковою умовою при класичних методах трасування.

Надзвичайно перспективним напрямом є технологія лазерного сканування — наземного (TLS) та мобільного (MLS). Системи LiDAR (Light Detection and Ranging) дозволяють отримувати «хмари точок» з надвисокою щільністю, що забезпечує створення максимально деталізованих цифрових моделей рельєфу (ЦМР) та існуючих інженерних споруд. Мобільне лазерне сканування, при якому обладнання встановлюється на рухомий транспортний засіб, дає змогу виконувати суцільну зйомку дорожнього полотна та прилеглої території зі швидкістю руху автомобіля, що є незамінним при реконструкції та капітальному ремонті діючих магістралей.

В умовах повномасштабної збройної агресії проти України роль інноваційних технологій у геодезії набула стратегічного значення. Особливої актуальності набуло застосування безпілотних літальних апаратів (БПЛА) для проведення аерофотозйомки та повітряного лазерного сканування. Використання

дронів дозволяє здійснювати оперативний моніторинг руйнувань дорожньої інфраструктури та проводити вишукування на важкодоступних або небезпечних ділянках без ризику для життя персоналу. Водночас, сучасні вимоги до використання БПЛА в умовах воєнного стану передбачають суворе дотримання протоколів безпеки та отримання відповідних дозволів, що інтегрується у загальний технологічний цикл вишукувальних робіт.

Отримані масиви геопросторових даних від БПЛА та LiDAR-систем слугують основою для формування цифрової підоснови у спеціалізованому програмному забезпеченні. Провідним середовищем для камеральної обробки та подальшого проектування в Україні є програмний комплекс AutoCAD. Завдяки широкому інструментарію та підтримці великих обсягів даних, AutoCAD дозволяє інтегрувати результати сучасних зйомок у єдиний проектний простір, забезпечуючи високу якість графічної документації та точність інженерних розрахунків.

Обробка великих масивів просторових даних, зокрема «хмар точок» від лазерних сканерів та матеріалів аерофотозйомки з БПЛА, вимагає потужних інструментів. У цьому контексті базовий функціонал розширюється за допомогою спеціалізованих інженерних модулів, таких як AutoCAD Civil 3D. Цей програмний комплекс дозволяє не просто будувати креслення, а створювати динамічні цифрові моделі рельєфу (ЦМР). Перевага Civil 3D полягає в тому, що будь-яка зміна вихідних геодезичних даних (наприклад, уточнення координат точки після додаткової зйомки) автоматично призводить до перерахунку всієї моделі: оновлення горизонталей, перебудови поздовжнього та поперечних профілів, а також перерахунку об'ємів земляних мас.

Вершиною сучасного підходу до трасування та проектування автомобільних доріг є перехід до технологій інформаційного моделювання (BIM – Building Information Modeling, або у контексті інфраструктури – CIM, Civil Information Modeling). Завдяки BIM-технологіям інженерно-геодезичні вишукування перестають бути просто набором креслень і координат. Вони формують просторовий та інформаційний фундамент (3D-підоснову), на який

«накладаються» всі інші проектні рішення: дорожній одяг, штучні споруди, інженерні мережі. У такій єдиній цифровій моделі кожен елемент має свої фізичні та геометричні характеристики. Це дозволяє ще на стадії проектування виявляти просторові колізії, оптимізувати лінійне трасування та забезпечувати максимальну точність винесення проекту в натуру будівельною технікою, обладнаною системами 3D-нівелювання.

Отже, інтеграція сучасних геодезичних приладів (електронних тахеометрів, GNSS-роверів, БПЛА, LiDAR) із потужними програмними комплексами автоматизованого проектування (AutoCAD) та BIM-технологіями створює безперервний цифровий цикл. Це гарантує високу точність, швидкість та економічну ефективність інженерно-геодезичних вишукувань, що є критично необхідним для розбудови та відновлення сучасної дорожньої інфраструктури.

РОЗДІЛ 2. МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ ПРОВЕДЕННЯ ПОЛЬОВИХ ТА КАМЕРАЛЬНИХ РОБІТ ПРИ ЛІНІЙНОМУ ТРАСУВАННІ

2.1. Організація та технологія проведення польових вимірювань

Польовий етап інженерно-геодезичних вишукувань є найбільш відповідальною стадією, оскільки саме на цьому етапі формується масив первинних даних, які лягають в основу всього подальшого проектування автомобільної магістралі. Якість польових робіт безпосередньо визначає достовірність цифрової моделі місцевості та точність розрахунків основних параметрів траси.

Процес польових вимірювань розпочинається з рекогносцирування місцевості. Основною метою рекогносцирування є уточнення намічених у підготовчий період варіантів траси безпосередньо на об'єкті, оцінка складності рельєфу, виявлення перешкод, не врахованих на застарілих картографічних матеріалах, а також пошук збережених пунктів державної геодезичної мережі (ДГМ). Під час рекогносцирування фахівці визначають оптимальні місця для встановлення нових геодезичних пунктів, забезпечуючи умови для взаємної видимості між ними та стабільність їх положення протягом усього періоду будівництва.



Рисунок 2.1. Оглядова схема району вишукувань та попередні варіанти трасування осі дороги

Після завершення рекогносцирування приступають до створення планово-висотної знімальної основи. Відповідно до вимог ДБН В.2.3 – 4:2015, знімальна мережа вздовж траси автомобільної дороги повинна мати високу точність та бути надійно прив'язана до державної мережі у системі координат УСК-2000 та Балтійській системі висот. Технологія створення такої основи передбачає прокладання магістральних теодолітних або полігонометричних ходів вздовж осі дороги. Пункти знімальної основи закріплюються тимчасовими або постійними знаками (металевими штирями, бетонними монолітами або дерев'яними стовпчиками з маркуванням), залежно від тривалості робіт та категорії дороги (рис. 2.2).

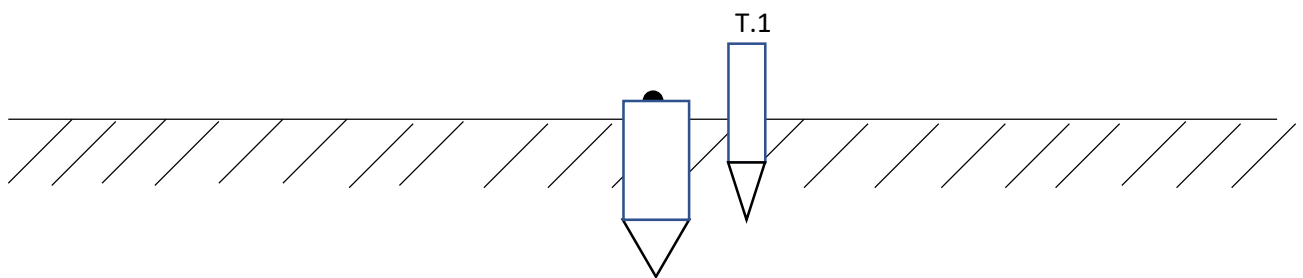


Рисунок 2.2. Схема закріплення тимчасового пункту планово-висотної знімальної основи

Для безпосереднього виконання вимірювань у сучасній дорожній геодезії використовується комбінований підхід, що поєднує роботу з електронними тахеометрами та GNSS-приймачами.

Електронні тахеометри (наприклад, серії Trimble S-series) застосовуються для виконання високоточних кутових та лінійних вимірювань, особливо на ділянках зі щільною забудовою, у лісових масивах або при зйомці штучних споруд, де супутниковий сигнал може бути екранований. Практичне використання тахеометра передбачає його встановлення на пункті з відомими координатами, орієнтування на суміжний пункт та подальшу зйомку пікетів у безвідбивному режимі або за допомогою призми (рис. 2.3).



Рисунок 2.3. Електронний тахеометр на геодезичній станції під час виконання вимірювань на відкритій місцевості

Паралельно з тахеометрією широко застосовуються GNSS-приймачі, що працюють у режимі RTK (Real Time Kinematic). Ця технологія дозволяє отримувати планові координати та висоти точок з сантиметровою точністю в режимі реального часу. Використання GNSS-ровера є надзвичайно ефективним для швидкого зняття великої кількості пікетів на відкритій місцевості, визначення меж смуги відведення та оперативного винесення проекту в натуру. Практична робота з GNSS-обладнанням включає налаштування зв'язку з базовою станцією (через радіомодем або мережу інтернет) та послідовний обхід характерних точок рельєфу (рис. 2.4).



Рисунок 2.4. Робота з GNSS-приймачем у режимі RTK під час зйомки характерних точок траси

Комбіноване використання цих засобів дозволяє забезпечити безперервність та високу точність знімального процесу на всьому протязі лінійного об'єкта, що є критично важливим для подальшої практичної реалізації проекту.

Після закріплення планово-висотної основи наступним критично важливим етапом польових робіт є безпосереднє лінійне трасування та розбивка осі майбутньої автомобільної дороги. Цей процес передбачає перенесення проектної лінії з топографічного плану на місцевість. Основними елементами розбивочних робіт є встановлення кутів повороту траси, винесення головних точок кругових кривих та розбивка пікетажу через кожні 100 метрів.

Особлива увага приділяється детальному вивченню поперечних профілів, особливо на ділянках зі складним рельєфом або при перетині діючих інженерних комунікацій. Для забезпечення високої точності розбивки пікетажу використовується сталева мірна стрічка або, що є більш актуальним для сучасних умов, електронні далекоміри тахеометрів. Кожен пікет закріплюється дерев'яним кілком із відповідним написом, що дозволяє будівельним бригадам чітко ідентифікувати ділянку робіт.

Невід'ємною частиною польового етапу є технічне нівелювання вздовж осі траси. Метою нівелювання є отримання висотних позначок усіх пікетних та плюсових точок (точок перелому рельєфу) для подальшої побудови поздовжнього профілю. Зазвичай використовується метод геометричного нівелювання «з середини» із застосуванням цифрових або оптичних нівелірів. На сучасному етапі, за умови відкритої місцевості та наявності стабільного супутникового сигналу, допускається використання методу тригонометричного нівелювання за допомогою тахеометрів або GNSS-технологій, що суттєво пришвидшує процес зйомки протяжних ділянок.

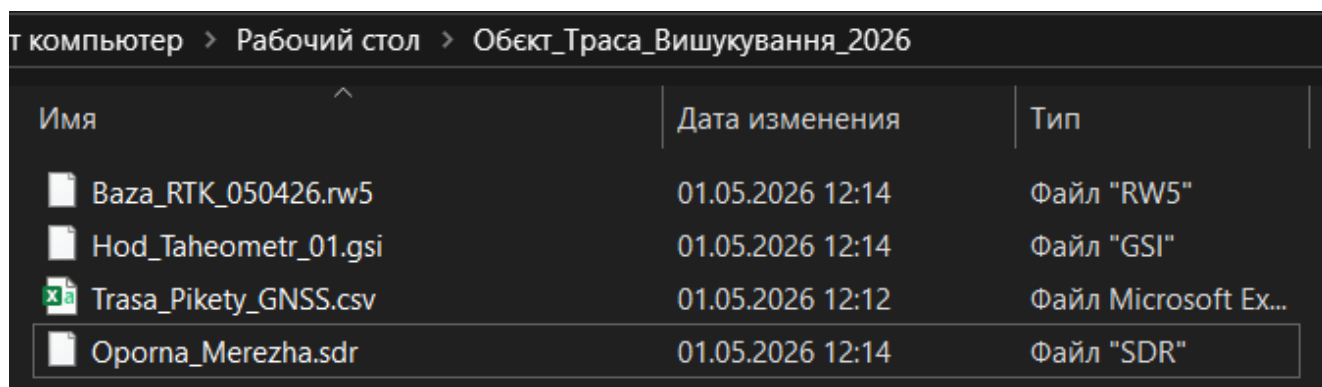
Окрім зйомки самої траси, на польовому етапі виконується детальна інвентаризація та зйомка штучних споруд: водопропускних труб, мостових переходів, шляхопроводів, а також місць перетину з лініями електропередач та підземними трубопроводами. Для кожної такої споруди складається окремий абрис (кроки) із зазначенням основних габаритів та прив'язкою до пікетажу дороги. Уся отримана в полі інформація фіксується у журналах встановленого зразка або безпосередньо у внутрішній пам'яті електронних приладів для подальшого імпорту в камеральні програмні комплекси.

Завершальним етапом польових робіт є контроль виконаних вимірювань та попередня обробка даних «у польових умовах». Це дозволяє вчасно виявити помилки або пропуски у зйомці та усунути їх без повторного виїзду на об'єкт, що є надзвичайно важливим при роботі на віддалених або важкодоступних ділянках.

2.2. Камеральне опрацювання геодезичних даних

Камеральний етап інженерно-геодезичних вишукувань є завершальною та водночас визначальною стадією, на якій здійснюється систематизація, математична обробка та графічна інтерпретація результатів польових вимірювань. Основною метою цього етапу є перетворення «сирих» геодезичних даних у високоточну цифрову основу, необхідну для подальшого проектування автомобільної магістралі в автоматизованих системах.

Процес опрацювання розпочинається з експорту вимірювальної інформації з внутрішньої пам'яті приладів на персональний комп'ютер. Сучасні електронні тахеометри та GNSS-системи забезпечують запис даних у спеціалізованих форматах (наприклад, .GSI, .SDR для тахеометрів або .RINEX, .CSV для супутникових приймачів). Передача файлів здійснюється через інтерфейси USB, Bluetooth або безпосередньо через хмарні сервіси синхронізації даних. На цій стадії критично важливо забезпечити цілісність інформації та збереження метаданих (назв точок, кодів об'єктів, значень висот інструментів (рис. 2.5) .



The image shows a file explorer window with the following content:

Имя	Дата изменения	Тип
Baza_RTK_050426.rw5	01.05.2026 12:14	Файл "RW5"
Hod_Taхеometr_01.gsi	01.05.2026 12:14	Файл "GSI"
Trasa_Pikety_GNSS.csv	01.05.2026 12:12	Файл Microsoft Ex...
Oporna_Merezha.sdr	01.05.2026 12:14	Файл "SDR"

Рисунок 2.5. Масив файлів польових геодезичних вимірювань, підготовлених для експорту в камеральне програмне забезпечення

Після успішного експорту виконується контроль якості та попередня обробка отриманих масивів. Цей етап включає перевірку польових журналів, аналіз геометрії знімальної мережі та математичний розрахунок невязок у полігонометричних ходах або ходах технічного нівелювання. Допустимі значення невязок суворо регламентуються чинними нормативними документами, зокрема

ДБН В.2.3 – 4:2015. У разі виявлення похибок, що перевищують встановлені допуски, результати вимірювань підлягають перегляду або повторному виконанню у польових умовах.

Важливою складовою попередньої обробки є робота з кодами пікетів. Під час зйомки кожна характерна точка (край проїзної частини, брівка кювету, підшва насипу) маркується відповідним цифровим або буквеним кодом. У камеральних умовах ці коди дозволяють автоматизувати процес розпізнавання об'єктів та прискорити побудову топографічного плану.

Технологія імпорту перевірених геопросторових даних у середовище AutoCAD (або Civil 3D) передбачає використання текстових файлів із розділювачами (формат .txt або .csv), де для кожного пікета зазначено його номер, координати (X, Y), відмітку (Z) та опис (код). У програмному комплексі AutoCAD Civil 3D цей процес реалізується через інструмент «Точки за створенням», де задається відповідний формат імпорту (рис. 2.6). Результатом операції є поява у робочому просторі хмари точок (пікетів), які мають реальні геодезичні координати та є основою для майбутньої цифрової моделі рельєфу (рис. 2.7).

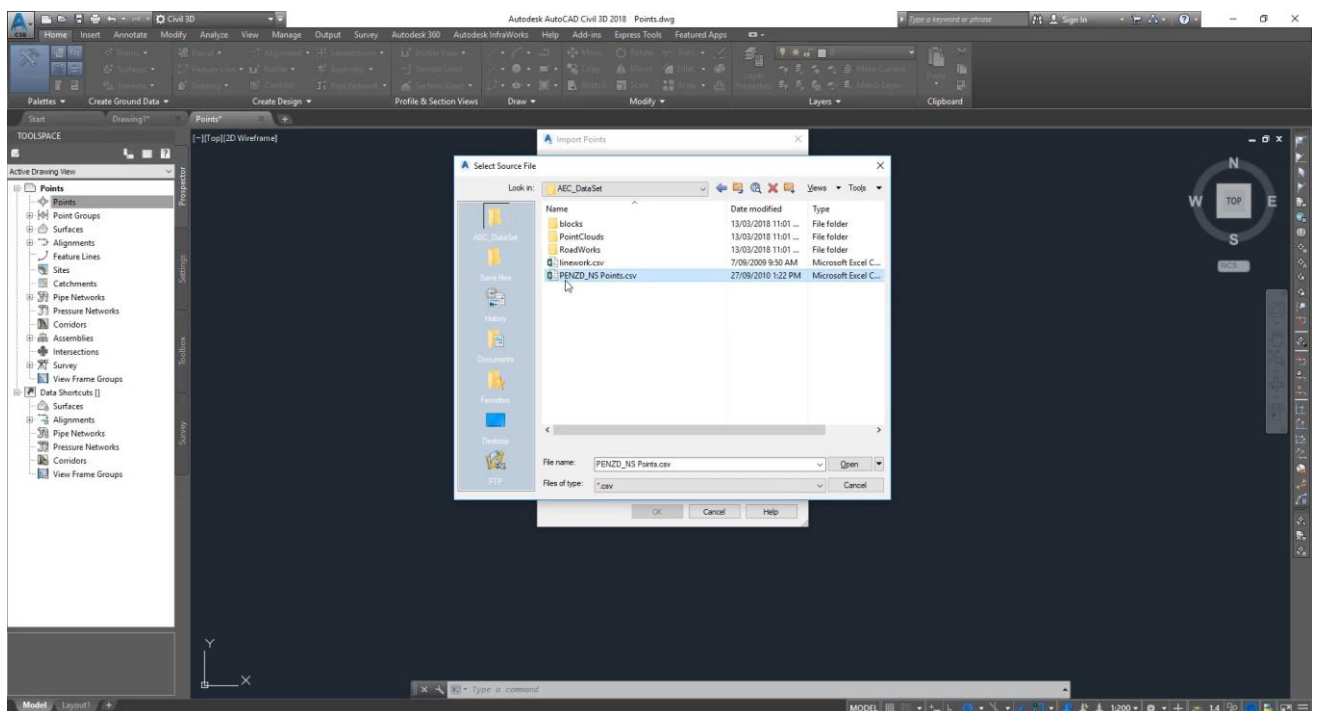


Рисунок 2.6. Налаштування параметрів під час імпорту геопросторових даних у форматі PENZD у середовище AutoCAD Civil 3D

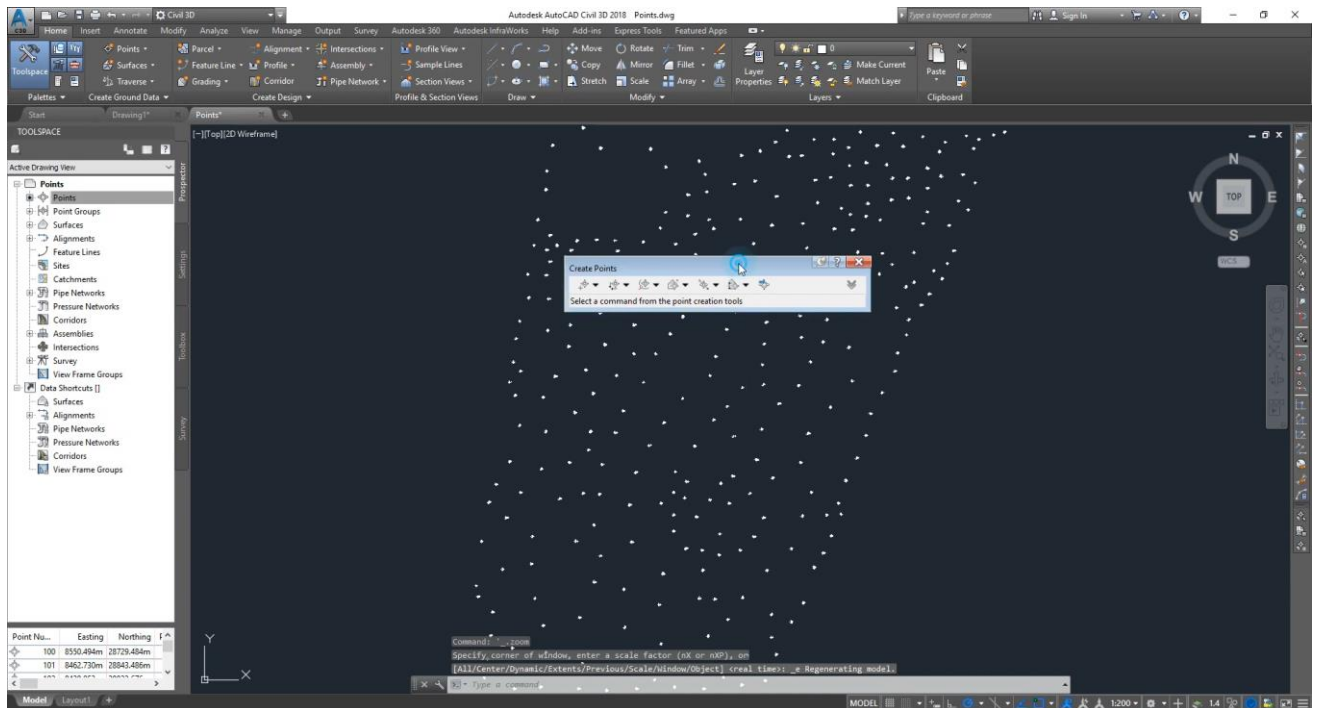


Рисунок 2.7. Відображення імпортованого масиву пікетних точок на робочому екрані AutoCAD Civil 3D

Систематизований таким чином масив даних дозволяє перейти від простого набору координат до створення інтелектуальних об'єктів поверхні, що забезпечує високу точність подальших інженерних розрахунків при проектуванні автомобільної магістралі.

Наступним етапом камерального опрацювання в середовищі AutoCAD Civil 3D після формування масиву точок є створення цифрової моделі рельєфу (ЦМР). ЦМР виступає інтелектуальною основою проекту, яка дозволяє виконувати точні інженерні розрахунки та візуалізувати топографічні умови майбутньої траси. Процес побудови розпочинається зі створення об'єкта «Поверхня» (Surface) типу TIN (Triangulated Irregular Network), до якої додаються імпортовані групи точок. Програма автоматично виконує тріангуляцію, з'єднуючи пікети лініями, що утворюють мережу суміжних трикутників. Для забезпечення адекватності моделі реальному рельєфу обов'язковим є визначення структурних ліній (Breaklines), що проходять по брівках, підошвах насипів та інших переломах місцевості. Після

побудови поверхні генеруються горизонталі з установленим кроком (зазвичай 0,5 м або 1,0 м), що дозволяє детально проаналізувати висотний стан ділянки.

На базі створеної цифрової моделі рельєфу виконується трасування осі автомобільної дороги в плані. Використовуючи інструментарій «Траса» (Alignment), проектувальник намічає вісь магістралі, що складається з прямих ділянок та кругових кривих. На цьому етапі вкрай важливо дотримуватися нормативних вимог щодо мінімальних радіусів поворотів, визначених у ДБН В.2.3 – 4:2015. AutoCAD Civil 3D автоматично маркує трасу пікетажем через кожні 100 метрів та встановлює головні точки кривих (початок, середина та кінець кривої), що є необхідним для подальшого розрахунку елементів кругових кривих у табличній формі.

Логічним завершенням формування геометричної основи проекту є генерування «чорного» поздовжнього профілю. Цей документ відображає фактичний стан поверхні землі безпосередньо по вісі проектної траси. У середовищі Civil 3D цей процес автоматизований: програма зчитує відмітки з цифрової моделі рельєфу вздовж обраної траси та будує лінію профілю у заданому масштабі (зазвичай 1:5000 для горизонтального та 1:500 для вертикального масштабів). Отриманий профіль є вихідною базою для наступного етапу — проектування проектної («червоної») лінії дороги, що дозволить оцінити обсяги майбутніх земляних робіт.

Таким чином, використання функціоналу AutoCAD Civil 3D дозволяє перетворити розрізнені результати польових вишукувань у цілісну та динамічну проектну модель. Такий підхід забезпечує мінімізацію помилок при проектуванні та створює умови для переходу до контролю якості отриманих результатів, що буде розглянуто у наступному підрозділі.

2.3. Контроль якості та побудова технологічної схеми

Завершальним етапом методичного розділу є обґрунтування системи контролю якості та систематизація всіх етапів вишукуючого процесу у вигляді

єдиної технологічної схеми. Впровадження дієвого контролю на кожному етапі — від рекогносцирування до видачі фінальних планів — є критично важливою умовою для забезпечення надійності та довговічності майбутньої автомобільної магістралі.

Методи контролю якості в інженерно-геодезичних вишукуваннях поділяються на польові та камеральні. Під час польових робіт першочергова увага приділяється дотриманню встановлених допусків для кутових та лінійних вимірювань. Контроль здійснюється шляхом перевірки невязок у ходах планово-висотної основи: отримані значення не повинні перевищувати граничних величин, визначених нормативними документами, зокрема ДБН В.2.3 – 4:2015. Камеральний контроль передбачає перевірку точності побудови цифрової моделі рельєфу (ЦМР). Для цього виконується вибіркоче порівняння висотних відміток контрольних пікетів, отриманих безпосередньо в полі, із відмітками, що автоматично генеруються моделлю в AutoCAD Civil 3D.

Значну роль у забезпеченні якості відіграє автоматизований контроль у середовищі AutoCAD. Сучасне програмне забезпечення дозволяє мінімізувати вплив людського фактора через:

- автоматичний пошук та усунення дублікатів точок;
- перевірку цілісності структурних ліній поверхні (брівок, кюветів), що запобігає спотворенню моделі рельєфу;
- динамічний контроль геометричних параметрів траси (радіусів кривих, довжин прямих вставок) на відповідність проектним нормам.

Для візуалізації та логічного структурування всього обсягу робіт розробляється «Технологічна схема лінійного трасування». Вона відображає наскрізний процес вишукувань, поєднуючи підготовчий, польовий та камеральний етапи в єдиний технологічний цикл. Схема дозволяє простежити шлях проходження інформації: від збору вихідних даних та польових вимірювань (тахеометрія, GNSS-зйомка) до формування цифрової моделі та видачі креслень профілів (див. рис. 2.8.).



Рисунок 2.8. Технологічна схема лінійного трасування автомобільної дороги

Таким чином, розроблена технологічна схема разом із багаторівневою системою контролю забезпечує створення високоякісної геодезичної підоснови. Це дозволяє впевнено переходити до практичної реалізації процесу вишукувань, розрахунку елементів кривих та об'ємів земляних робіт.

РОЗДІЛ 3. ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ІНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧНИХ ВИШУКУВАНЬ ДЛЯ ПРОЕКТУВАННЯ АВТОМОБІЛЬНОЇ МАГІСТРАЛІ

3.1. Характеристика об'єкта вишукувань та вихідні проектні дані

Практична частина кваліфікаційної роботи спрямована на реалізацію алгоритму інженерно-геодезичних вишукувань для проектування ділянки автомобільної дороги. Для забезпечення розрахунково-пояснювального характеру дослідження було змодельовано умовну ділянку траси, що дозволяє повною мірою продемонструвати застосування теоретичних методик та програмних комплексів, розглянутих у попередніх розділах.

Об'єктом проектування є ділянка автомобільної дороги загальною довжиною 1,85 км (див. рис. 2.1). Згідно з технічними нормативами та перспективною інтенсивністю руху, об'єкт віднесено до II категорії. Дороги цієї категорії характеризуються високими вимогами до плавності траси у плані та профілі, що обумовлює необхідність проведення високоточних геодезичних робіт. Основні технічні параметри проектованої дороги включають ширину проїзної частини 7,5 м (дві смуги руху по 3,75 м) та ширину узбіччя 3,75 м. Проектна швидкість руху на ділянці становить 120 км/год, що накладає певні обмеження на вибір радіусів горизонтальних і вертикальних кривих.

Фізико-географічні умови району вишукувань характеризуються рівнинно-пересіченим рельєфом. Територія має загальний нахил у південно-західному напрямку з наявністю локальних підвищень та понижень, що потребує детального відображення мікрорельєфу під час тахеометричної зйомки. Клімат району — помірно-континентальний, із середньорічною кількістю опадів 550–600 мм. Такі умови є сприятливими для проведення польових геодезичних робіт у весняно-літній період, проте потребують врахування можливого зволоження ґрунту при розрахунку об'ємів земляних мас. Важливим фактором є відсутність на ділянці складних карстових чи зсувних процесів, що спрощує процес вибору осі траси та

забезпечує стабільність геодезичної знімальної основи. Вихідною базою для лінійного трасування слугує планово-висотна основа, створена у Державній геодезичній системі координат УСК-2000 та Балтійській системі висот. Координати планової знімальної основи наведено у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1. Відомість координат пунктів знімальної основи

Назва пункту	Координата X, м	Координата Y, м	Примітка
ПЗ-1	5245600	6325100	Вихідний пункт (ДГМ)
ПП-1	5245845,23	6325210,45	Пункт полігонометрії
ПП-2	5246102,78	6325305,12	Пункт полігонометрії
ПП-3	5246350,14	6325412,89	Пункт полігонометрії
ПП-4	5246615,45	6325515,34	Пункт полігонометрії
ПЗ-2	5246870	6325600	Вихідний пункт (ДГМ)

Контроль якості вимірювань (оцінка нев'язок):

- Загальна довжина магістрального ходу (L): 1850,5 м.
- Планова (лінійна) нев'язка: фактична становить 0,14 м. Відносна нев'язка ходу дорівнює 1/13200, що не перевищує допустимого нормативного значення 1/5000 для даного класу точності.
- Висотна нев'язка: фактична нев'язка ходу технічного нівелювання становить +18 мм. Допустима висотна нев'язка розрахована за формулою $50\sqrt{L}$ (де L у км) і становить ± 68 мм.

Висновок до таблиці: Оскільки фактичні нев'язки значно менші за допустимі ($18 \text{ мм} < 68 \text{ мм}$), польові вимірювання визнаються якісними, а отримані координати пунктів (ПП1-ПП4) можуть бути використані як надійна основа для побудови цифрової моделі рельєфу та трасування осі автомобільної дороги.

Геологічна будова змодельованої ділянки представлена переважно типовими суглинками з потужністю шару понад 5 метрів. Верхній горизонт займає рослинний шар ґрунту завтовшки 0,2–0,3 м. Дані характеристики є вихідними для камерального етапу проектування, зокрема для складання відомості об'ємів земляних робіт. Розрахунок насипів та виїмок буде проводитися з урахуванням коефіцієнтів ущільнення суглинистих ґрунтів та необхідності зняття родючого шару перед початком основних будівельних операцій.

3.2. Трасування осі магістралі в плані та розрахунок кругових кривих

Трасування осі автомобільної дороги в плані є одним із найважливіших інженерних завдань. Проектна лінія складається з прямолінійних відрізків, які з'єднуються між собою в місцях зміни напрямку. Для забезпечення безпеки руху, плавності ходу автомобілів та достатньої видимості на кутах повороту в ці місця обов'язково вписуються кругові криві. Радіуси цих кривих підбираються залежно від категорії дороги та нормативної швидкості руху, щоб максимально знизити вплив відцентрової сили на транспортні засоби. Для змодельованого фрагмента траси (рис. 3.2) було запроєктовано два кути повороту.

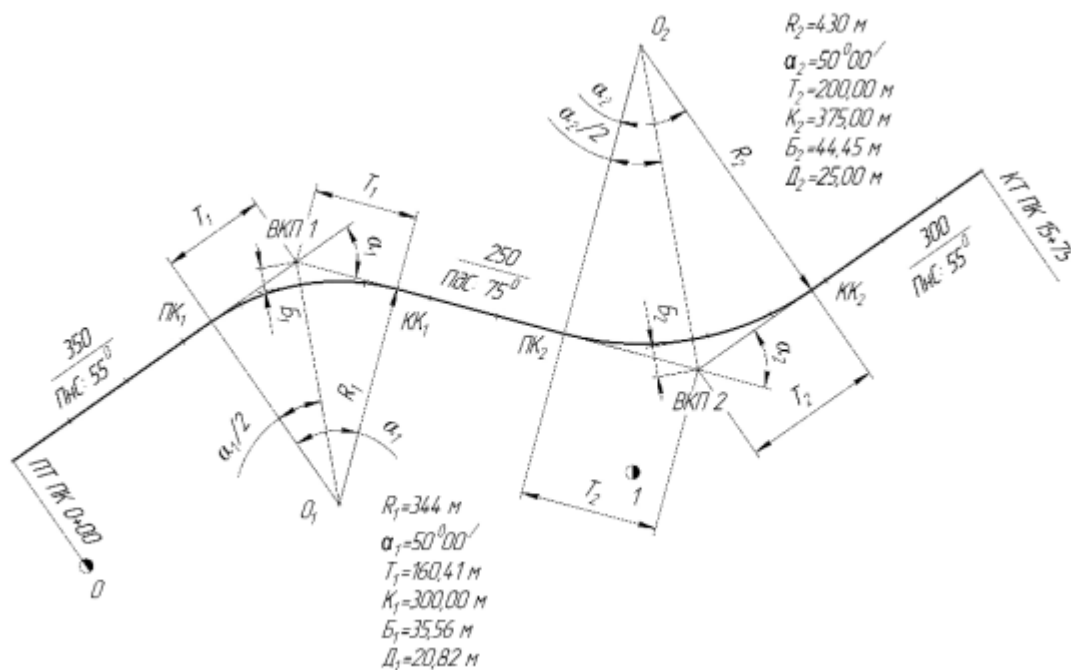


Рисунок 3.1 – Фрагмент плану автомобільної траси з розбивкою пікетажу

Обчислення основних елементів кругової кривої виконується на основі значення кута повороту та обраного проектного радіуса. Основними геометричними параметрами є тангенс, довжина кривої, бісектриса та домір. Тангенс визначає відстань від початку або кінця кривої до вершини кута повороту і розраховується за формулою:

$$T = R \cdot \operatorname{tg}(\alpha / 2)$$

Довжина кругової кривої обчислюється через радіанну міру кута:

$$K = (\pi \cdot R \cdot \alpha) / 180^\circ$$

Бісектриса показує відстань від вершини кута повороту безпосередньо до середини кривої:

$$B = R \cdot (1 / \cos(\alpha / 2) - 1)$$

Домір визначає різницю між довжиною двох тангенсів та самою кривою, що критично необхідно для правильного розрахунку наскрізного пікетажу траси:

$$D = 2T - K$$

Для змодельованого фрагмента траси було запроєктовано два кути повороту. Для першого кута повороту праворуч $42^\circ 22'$ обрано радіус 100 м. Для другого кута ліворуч $13^\circ 11'$ радіус становить 200 м. Отримані результати

розрахунків елементів кривих, що повністю відповідають параметрам на поздовжньому профілі, систематизовано та зведено до таблиці (табл. 3.2).

Таблиця 3.2. Розрахунок елементів кругових кривих

Вершина кута	Напрямок повороту	Кут повороту (α)	Радіус R, м	Тангенс T, м	Довжина кривої К, м	Бісектриса Б, м	Домір Д, м
1	Праворуч	42°22'	100	58,13	110,92	10,87	5,34
2	Ліворуч	13°11'	200	32,00	63,47	2,54	0,63

Опрацювання таких масивів геометричних параметрів вимагає високої точності для уникнення накопичення похибок під час розбивки пікетажу. Для автоматизації цього процесу та мінімізації людського фактора верифікацію розрахунків було здійснено за допомогою вкладених математичних функцій та системи абсолютних посилань у середовищі Microsoft Excel. Це дозволило створити динамічну розрахункову форму, яка миттєво перераховує всі елементи кривої при зміні вихідного кута або радіуса, забезпечуючи надійність проектних даних.

Початок траси (ПК 0+00) прив'язаний до існуючого пункту ДГМ. Під час попереднього трасування в середовищі AutoCAD Civil 3D на основі цифрової моделі рельєфу було визначено оптимальне планове положення осі дороги. З метою обходу існуючих перешкод та мінімізації земляних робіт на досліджуваному фрагменті траси (ПК0 – ПК10) запроектовано два кути повороту.

Для практичної реалізації геометричних параметрів траси у наступному підрозділі будуть використані такі вихідні дані:

- Кут повороту №1 — 42°22' (праворуч), проектний радіус 100 м;
- Кут повороту №2 — 13°11' (ліворуч), проектний радіус 200 м.

Зазначені параметри стануть основою для заповнення Таблиці 3.2 «Розрахунок елементів кругових кривих». Комплексне поєднання опрацьованих

фізико-географічних, геологічних та геодезичних даних дозволяє перейти до детального інженерного проектування магістралі з дотриманням усіх вимог ДБН В.2.3 – 4:2015.

3.3. Проектування поздовжнього профілю та обчислення земляних мас

Логічним продовженням просторового трасування осі автомобільної дороги є проектування її поздовжнього профілю, який відображає висотне положення траси відносно існуючого рельєфу. На основі створеної раніше цифрової моделі поверхні генерується лінія існуючої землі, так звана «чорна лінія», що фіксує фактичні відмітки по осі магістралі. Відштовхуючись від цих даних, проектується «червона лінія», яка є проектною віссю дороги. Головним завданням при нанесенні проектної лінії є забезпечення плавного та безпечного руху автомобілів із розрахунковою швидкістю, що досягається шляхом вписування вертикальних опуклих та увігнутих кривих у місцях перелому поздовжнього похилу. При цьому проектувальник прагне максимально наблизити проектну лінію до існуючого рельєфу для мінімізації обсягів земляних робіт, дотримуючись нормативних обмежень щодо максимальних поздовжніх похилів для доріг II категорії. На рисунку 3.2 наведено фрагмент поздовжнього профілю першого кілометра проектованої магістралі (ПК0 – ПК10), що найбільш репрезентативно відображає складність рельєфу.



Рисунок 3.2 – Фрагмент поздовжнього профілю автомобільної траси (ділянка ПК0 – ПК10)

Після затвердження висотного положення траси виконується обчислення об'ємів земляних мас, необхідних для влаштування земляного полотна. Методика розрахунку базується на визначенні площ поперечних перерізів насипів та виїмок на кожному пікеті з подальшим множенням середньої площі суміжних перерізів на відстань між ними. Враховуючи геологічні умови змодельованої ділянки, розрахунки починаються з визначення обсягів зрізання рослинного шару ґрунту товщиною 0,2–0,3 метра на всій площі відведення, який у подальшому використовується для рекультивації відкосів. Основний об'єм земляних робіт виконується у типових суглинках. Оскільки суглинки при розробці розпушуються, а в насипі потребують ущільнення, до обчислень обов'язково вводиться коефіцієнт відносного ущільнення ґрунту. Це дозволяє досягти балансу земляних мас, використовуючи розроблений ґрунт із виїмок для влаштування насипів на суміжних ділянках магістралі. Результати попикетних обчислень для початкових відрізків траси (ПК0 – ПК3), де за профілем спостерігається перехід

від глибокої виїмки до насипної ділянки рельєфу, зведено до відповідної таблиці (табл. 3.3).

Таблиця 3.3. Розрахунок об'ємів земляних робіт

Ділянка траси (пiketи)	Відстань, м	Робоча відмітка (середня), м	Площа насипу, м ²	Площа виїмки, м ²	Об'єм насипу, м ³	Об'єм виїмки, м ³
ПК0 – ПК1	100	- 1,56	0	20,5	0	2050
ПК1 – ПК2	100	- 1,69	0	22,5	0	2250
ПК2 – ПК3	100	Перехідна	8,8	12,7	360	750

У третьому розділі було успішно реалізовано практичний алгоритм проектування автомобільної дороги на основі даних інженерно-геодезичних вишукувань. Шляхом моделювання умовної ділянки траси II категорії вдалося наочно продемонструвати процес інтеграції геопросторових даних у середовище автоматизованого проектування. Виконані розрахунки елементів кругових кривих підтвердили можливість безпечного вписування осі траси у задані кути повороту з дотриманням нормативних вимог щодо швидкості та комфорту руху. Побудова поздовжнього профілю та розрахунок об'ємів земляних мас із урахуванням фізико-механічних властивостей місцевих ґрунтів довели ефективність сучасних методів проектування для досягнення оптимального балансу земляних робіт. В цілому, проведений комплекс розрахунково-графічних робіт підтверджує високу значущість якісної геодезичної основи для прийняття економічно та технічно обґрунтованих інженерних рішень.

ВИСНОВКИ

У результаті виконання кваліфікаційної роботи на тему «Інженерно-геодезичні вишукування для проектування автомобільних доріг» було досягнуто поставленої мети та в повному обсязі вирішено всі визначені дослідницькі й практичні завдання. Проведене комплексне дослідження підтвердило, що інженерно-геодезичні вишукування виступають не просто етапом збору просторових даних, а фундаментальним інструментом дорожнього проектування, від якості та точності якого безпосередньо залежать техніко-економічні показники, безпека та довговічність майбутньої транспортної магістралі. Доведено критичну необхідність суворого дотримання нормативно-правової бази та державних будівельних норм, насамперед ДБН В.2.3 – 4:2015, які встановлюють безальтернативні вимоги до точності геодезичної підоснови для забезпечення надійних проектних рішень. Разом із тим, в умовах постійного зростання вимог до інфраструктурних об'єктів, традиційні методи вимірювань поступаються місцем інноваційним підходам. Аналіз показав, що впровадження сучасних високоточних технологій, таких як супутникові системи позиціонування (GNSS) у режимі реального часу, мобільне та повітряне лазерне сканування (LiDAR), а також використання безпілотних літальних апаратів, дозволяє кардинально оптимізувати процеси створення планово-висотної основи та зйомки рельєфу. Інтеграція цих масивів даних у спеціалізоване програмне середовище, зокрема AutoCAD Civil 3D, формує надійний базис для переходу до інформаційного моделювання (BIM), що виводить дорожнє проектування на якісно новий рівень.

Детальне вивчення організації та технології проведення польових і камеральних робіт дозволило систематизувати процес створення цифрової моделі місцевості. Важливим теоретико-прикладним здобутком роботи є розроблення наскрізної технологічної схеми лінійного трасування, яка об'єднала підготовчий, польовий та камеральний етапи в єдиний безперервний і логічний цикл. Ця схема наочно демонструє рух геопросторової інформації від моменту безпосередніх

вимірювань електронними тахеометрами до випуску фінальної проектної документації. Особливий акцент було зроблено на обґрунтуванні багаторівневої системи контролю якості. Доведено, що лише поєднання польового контролю невязок зі строгими допусками та автоматизованої камеральної перевірки в AutoCAD (зокрема, виявлення дублікатів точок і колізій структурних ліній) гарантує усунення критичних помилок до етапу безпосереднього розрахунку параметрів дороги та об'ємів земляних робіт.

Практична цінність кваліфікаційної роботи повною мірою розкрита через реалізацію алгоритму інженерно-геодезичних вишукувань на прикладі змодельованої ділянки автомобільної дороги II категорії довжиною 1,85 км. Застосування теоретичних принципів трасування дозволило успішно виконати інженерні розрахунки ключових параметрів магістралі. Зокрема, обчислення елементів кругових кривих (тангенсів, бісектрис, домірів та довжин кривих) для трьох запроєктованих кутів повороту підтвердило можливість забезпечення безпеки та плавності руху автомобілів із розрахунковою швидкістю 120 км/год згідно з діючими нормативами. Крім того, на основі згенерованого поздовжнього профілю та запроєктованої «червоної лінії» було розроблено методику попикетного обчислення об'ємів земляних мас. Врахування у розрахунках конкретних фізико-географічних умов змодельованої ділянки, таких як необхідність попереднього зняття рослинного шару ґрунту та застосування коефіцієнтів ущільнення для типових суглинків, дозволило оптимізувати баланс між виїмками та насипами. Таким чином, проведені дослідження комплексно доводять, що високоточне геодезичне забезпечення є безальтернативною умовою для створення технічно досконалих та економічно збалансованих проектів у сучасній дорожній галузі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Закон України «Про регулювання містобудівної діяльності» від 17.02.2011 № 3038-VI. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3038-17#Text>
2. Закон України «Про топографо-геодезичну і картографічну діяльність» від 23.12.1998 № 353-XIV. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/353-14#Text>
3. Про деякі питання застосування геодезичної системи координат : Постанова Кабінету Міністрів України від 22.09.2004 № 1259. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1259-2004-%D0%BF#Text>
4. ДБН В.2.3-4:2015. Автомобільні дороги. Частина І. Проектування. Частина ІІ. Будівництво. – Київ : Мінрегіон України, 2015. – 91 с.
5. ДБН А.2.1-1-2014. Інженерні вишукування для будівництва. – Київ : Мінрегіон України, 2014. – 80 с.
6. ДСТУ 9154:2021. Настанова з виконання геодезичних робіт у дорожньому будівництві. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2022. – 45 с.
7. Перович Л. М., Волосецький Б. І. Основи кадастру та інженерні вишукування : навчальний посібник. – Львів : Львівська політехніка, 2020. – 320 с.
8. Войтенко С. П. Інженерна геодезія : підручник. – Київ : Знання, 2019. – 574 с.
9. Іванов О. О., Сидоренко М. В. Особливості геодезичного контролю в дорожньому будівництві з використанням GNSS-технологій // Проблеми розвитку транспортної інфраструктури : матеріали Міжнар. наук.-практ. конф., м. Миколаїв, 10–11 листоп. 2023 р. – Миколаїв : ЧНУ ім. Петра Могили, 2023. – С. 89–93.

10. Карпінський Ю. О., Лященко А. А. Стратегія розвитку топографо-геодезичної діяльності в Україні в умовах цифровізації // Інженерна геодезія. – 2022. – Вип. 68. – С. 12–21.

11. Коваленко О. І. Автоматизація розрахунків об'ємів земляних мас у програмному комплексі AutoCAD Civil 3D // Новітні технології у будівництві та інженерії : матеріали Міжнар. наук.-практ. конф., м. Київ, 15-16 трав. 2024 р. – Київ : КНУБА, 2024. – С. 112–115.

12. Літинський В. О., Білоус М. В. Інженерно-геодезичні вишукування : конспект лекцій. – Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2021. – 145 с.

13. Марченко В. С. Застосування технологій мобільного лазерного сканування при проектуванні та реконструкції автомагістралей // Геодезія та землеустрій: виклики сьогодення : матеріали Всеукр. наук.-практ. конф., м. Львів, 20-21 жовт. 2025 р. – Львів : НУ «ЛП», 2025. – С. 45–48.

14. Попович В. В. Топографія з основами інженерного проектування : підручник. – Київ : Вища школа, 2020. – 360 с.

15. Смірнова О. М., Козак В. В. Використання GNSS-мереж при лінійному трасуванні автомобільних доріг I-II категорій // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – 2023. – № 1 (45). – С. 78–84.

16. Тревого І. С., Шевчук П. М. Сучасні геодезичні прилади та технології : навчальний посібник. – Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2022. – 235 с.

17. Чернявський І. В. Інтеграція інженерних вишукувань у технології інформаційного моделювання (BIM) інфраструктурних об'єктів // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – 2024. – Вип. 115. – С. 56–63.

18. Шульц Р. В. Використання безпілотних літальних апаратів в інженерно-геодезичних вишукуваннях для цілей будівництва // Вісник геодезії та картографії. – 2022. – № 3. – С. 22–29.