

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ВОЛИНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ЛЕСІ УКРАЇНКИ**

Кафедра геодезії, землевпорядкування та кадастру

На правах рукопису

ГАЇНСЬКИЙ АНТОН ІГОРОВИЧ

**ГЕОДЕЗИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БУДІВНИЦТВА ЛОГІСТИЧНИХ
ТЕРМІНАЛІВ**

Спеціальність: 193 Геодезія та землеустрій
Освітня програма Геодезія та землеустрій
Робота на здобуття другого (магістерського) освітнього рівня

Науковий керівник:
Уль Анна Володимирівна
доктор технічних наук, професор

РЕКОМЕНДОВАНО ДО ЗАХИСТУ
Протокол № 5
засідання кафедри геодезії,
землевпорядкування і кадастру
Від 25.11.2025 р.

Завідувач кафедри
д.т.н., проф. А.В. Уль _____

Анотація

Гаїнський А.І. Геодезичне забезпечення будівництва логістичних терміналів. Кваліфікаційна робота на правах рукопису. –ВНУ імені Лесі Українки, МОН України, Луцьк, –2025. -61 с.

В магістерській роботі розглянуто теоретичні, методологічні та практичні аспекти застосування сучасних інструментальних методів для геодезичного забезпечення будівельних процесів. Проведено аналіз етапів геодезичного супроводу та нормативно-технічного регулювання. Систематизовано та порівняно ефективність технологій глобальних навігаційних супутникових систем (GNSS), наземного лазерного сканування (TLS) та аерофотограмметрії з використанням БПЛА. Обґрунтовано домінуючу роль та безальтернативність електронного тахеометра для вирішення задач високоточного позиціонування, розбивки осей та монтажу конструкцій.

Ключові слова: геодезичний супровід будівництва, інструментальні методи, електронний тахеометр, наземне лазерне сканування, TLS, GNSS, БПЛА, Scan-to-BIM, розбивочні роботи, виконавче знімання.

Annotation

Gainsky, A.I. Geodetic support for the construction of logistics terminals. Qualification work as a manuscript. – Lesya Ukrainka Eastern National University, Ministry of Education and Science of Ukraine, Lutsk, –2025. –61 p.

The master's thesis examines the theoretical, methodological, and practical aspects of applying modern instrumental methods for geodetic support of construction processes. An analysis of the stages of geodetic support and regulatory and technical regulation is provided. The effectiveness of global navigation satellite systems (GNSS), terrestrial laser scanning (TLS), and aerial photogrammetry using UAVs is systematized and compared. The dominant role and indispensability of electronic total stations for solving problems of high-precision positioning, axis layout, and structure installation is substantiated.

Keywords: geodetic support of construction, instrumental methods, electronic total station, terrestrial laser scanning, TLS, GNSS, UAV, Scan-to-BIM, layout work, executive surveying.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
РОЗДІЛ 1. Сучасні завдання та нормативно-технічне регулювання геодезичного забезпечення в будівництві.....	6
1.1. Методи створення геодезичної розмічувальної мережі (ГРМ) на будівельному майданчику	8
1.2. Високопродуктивні технології збору просторових даних: Лазерне сканування та фотограмметрія.....	9
1.3. Електронний тахеометр як фундаментальний інструмент геодезичного супроводу	16
РОЗДІЛ 2. Сутність, мета і зміст геодезичного забезпечення будівництва.....	23
2.1. Загальна інформація про об'єкт	23
2.2. Клімат	26
2.3. Загальні відомості про геодезичні роботи в будівництві	28
2.4. Специфіка монтажу багатопрогонових будівель	30
2.5. Геодезичний контроль та виконавчі зйомки	32
2.6. Застосування електронних тахеометрів.....	33
РОЗДІЛ 3. Методика виконання геодезичних робіт	36
3.1. Сутність методу полярних координат	36
3.2. проект розбивочної мережі. Оцінка точності.....	38
3.3. Геодезичні мережі.....	38
3.4. Закріплення пунктів мережі.....	41
3.5. Геодезичні роботи на ділянці	42
3.6. Детальні розбивочні в у роботи.....	43
3.7. Висотна розбивочна основа.....	50
3.8. Точність побудови міжосьових розмірів	53
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	57
ДОДАТКИ.....	60

Вступ

Актуальність теми. Сучасна будівельна галузь характеризується зростанням масштабності проектів, впровадженням складних архітектурних форм та скороченням термінів зведення. Це висуває жорсткі вимоги до точності, оперативності та повноти геодезичного контролю. Класичні оптичні інструменти та ручні методи вимірювань не завжди здатні забезпечити належний рівень продуктивності. Водночас, цифровізація проектування (зокрема, перехід до BIM-технологій) вимагає нових підходів до збору, обробки та інтеграції просторових даних про фактичний стан об'єкта. У зв'язку з цим, аналіз та систематизація сучасних інструментальних методів – GNSS, лазерного сканування, аерофотограмметрії – та визначення їхнього оптимального поєднання з традиційними тахеометричними роботами є вкрай актуальною науково-практичною задачею.

Об'єкт дослідження: процес геодезичного супроводу (забезпечення) будівництва.

Предмет дослідження: сучасні інструментальні методи (GNSS, TLS, БПЛА, роботизовані тахеометри), технології (Scan-to-BIM) та робочі процеси, що використовуються для геодезичного забезпечення на різних етапах будівництва.

Мета дослідження: систематизувати та проаналізувати сучасні інструментальні методи геодезичного супроводу, визначити їхні технологічні ніші та обґрунтувати фундаментальну роль електронного тахеометра у забезпеченні високоточного будівництва.

Мета цієї роботи передбачає виконання наступних **завдань**:

- Проаналізувати сучасні завдання та нормативно-технічну базу геодезичного супроводу в будівництві.
- Дослідити сучасні методи створення геодезичної розмічувальної мережі (ГРМ) з використанням GNSS-технологій.
- Розглянути високопродуктивні технології збору просторових даних – наземне лазерне сканування (TLS) та аерофотограмметрію (БПЛА) – для контролю геометрії та підрахунку об'ємів.

- Охарактеризувати процеси інтеграції даних у цифрове середовище (Scan-to-BIM) та їхню роль у виявленні колізій.
- Обґрунтувати домінуючу роль електронного тахеометра (включно з роботизованими та безвідбивними моделями) у задачах високоточного монтажу конструкцій, розбивки осей та моніторингу деформацій.

Методи дослідження — методологія дослідження базується на наукових досягненнях, які мають фундаментальне і прикладне значення для вирішення поставлених завдань і забезпечують комплексний погляд на проблеми інженерної геодезії. Для досягнення мети були використані методи системного аналізу, порівняльного аналізу (для інструментів), узагальнення нормативно-технічних документів та наукових публікацій.

Практичне значення одержаних результатів: Результати дослідження можуть бути використані в навчальному процесі при підготовці інженерів-геодезистів, а також інженерно-технічними працівниками будівельних організацій для оптимізації та вибору інструментальних методів при виконанні геодезичного супроводу об'єктів.

Структура і обсяг роботи - Випускна кваліфікаційна робота складається із вступу, 3 розділів, висновків, списку використаних джерел, що містить 31 найменування та додатків на 1 сторінці. Загальний обсяг роботи становить 60 сторінок основного тексту, у тому числі 10 таблиць та 20 рисунків

РОЗДІЛ 1.. СУЧАСНІ ЗАВДАННЯ ТА НОРМАТИВНО-ТЕХНІЧНЕ РЕГУЛЮВАННЯ ГЕОДЕЗИЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ В БУДІВНИЦТВІ

Геодезичне забезпечення, або супровід, будівництва є фундаментальним комплексом інженерно-технічних робіт, що гарантує геометричну точність, просторову надійність та повну відповідність зведеного об'єкта архітектурно-будівельному проекту. Це неперервний процес, що інтегрований у весь життєвий цикл об'єкта, від підготовчих вишукувань до моніторингу в процесі експлуатації.

Академічний аналіз структури геодезичного супроводу дозволяє виділити декілька ключових, послідовних етапів, кожен з яких висуває специфічні вимоги до інструментальних методів:

Підготовчий (вишукувальний) етап. На цій стадії виконується комплекс інженерно-геодезичних та інженерно-геологічних вишукувань. Завданням є визначення придатності ділянки для будівництва, що включає топографічне знімання рельєфу, аналіз проб ґрунту, визначення рівня ґрунтових вод та розрахунок потенційних навантажень, які ґрунт може витримати.¹

Проектно-розбивочний етап (створення ГРМ). Формування геодезичної розмічувальної мережі (ГРМ) будівельного майданчика. Це єдиний, високоточний кістяк системи координат, що геометрично відповідає проекту. Якість ГРМ безпосередньо визначає точність усіх подальших розбивочних робіт та якість кінцевої споруди.

Етап основного будівництва (детальна розбивка). На цьому етапі виконуються детальні розбивочні роботи: винесення в натуру головних та основних осей будівлі, закріплення монтажних горизонтів на поверхах, а також детальна розбивка під окремі конструктивні елементи та монтажні операції.¹

Контрольно-виконавчий етап. Здійснюється поточний геодезичний контроль точності геометричних параметрів зведених конструкцій. Результатом є виконавче геодезичне знімання, яке фіксує фактичне (планове та висотне) положення елементів споруди. Ці дані є основою для підготовки офіційної виконавчої документації, що надається контролюючим органам.

Моніторинговий етап. Включає систематичні геодезичні спостереження за деформаціями та осіданням фундаментів, несучих конструкцій та частин будівлі. Такий моніторинг є критично важливим як під час зведення (для оцінки впливу будівництва на оточуючу забудову), так і протягом усього періоду експлуатації об'єкта.

В Україні нормативно-технічна база геодезичного супроводу регламентується, насамперед, ДБН В.1.3-2:2010 «Система забезпечення точності геометричних параметрів у будівництві. Геодезичні роботи у будівництві». Цей документ, що прийшов на зміну застарілому радянському СНиП 3.01.03-84, ввів та уточнив ряд ключових термінів, що відображають сучасні вимоги до процесу.

Зокрема, ДБН В.1.3-2:2010 дає чіткі визначення таким поняттям, як «геодезичний моніторинг» (як комплекс систематичних спостережень за динамікою деформацій) та «операційний контроль геодезичними методами» (як контроль відповідності геометричних параметрів проектним вимогам під час виконання операцій)

Фундаментальне положення, що визначає сучасні вимоги до інструментарію, міститься у пункті 4.7 ДБН В.1.3-2:2010. Цей пункт недвозначно покладає всю відповідальність за побудову та розвиток внутрішньої ГРМ, виконання детальних розбивок, геодезичний контроль точності параметрів та виконавче знімання безпосередньо на підрядника.

Саме цей розрив між жорсткими нормативними вимогами до точності, повноти та оперативності контролю з одного боку, та фізичними обмеженнями класичних оптичних інструментів (теодолітів, нівелірів) та ручних методів вимірювань з іншого, став головним технологічним драйвером для впровадження та розвитку новітніх інструментальних методів. Сучасне високошвидкісне будівництво зі складними архітектурними формами вимагає технологій, здатних забезпечити необхідний рівень деталізації та автоматизації, що і призвело до широкого застосування супутникових систем (GNSS), технологій лазерного сканування (TLS) та безпілотних літальних апаратів (БПЛА).

1.1. МЕТОДИ СТВОРЕННЯ ГЕОДЕЗИЧНОЇ РОЗМІЧУВАЛЬНОЇ МЕРЕЖІ (ГРМ) НА БУДІВЕЛЬНОМУ МАЙДАНЧИКУ

Створення ГРМ є базовою операцією, що забезпечує перенесення проекту в натуру у єдиній системі координат.[1] Традиційно, побудова ГРМ на майданчику виконувалася класичними методами прокладання полігонометричних та нівелірних ходів за допомогою тахеометрів та нівелірів. Цей підхід забезпечує високу внутрішню точність мережі, але є надзвичайно трудомістким, вимагає значних часових витрат та залежить від кваліфікації виконавців.

Сучасний підхід до створення ГРМ, особливо на великих відкритих майданчиках, базується на застосуванні глобальних навігаційних супутникових систем (GNSS). Ключовою технологією є режим **Real Time Kinematic (RTK)**, який дозволяє визначати координати точок місцевості в режимі реального часу з сантиметровою точністю.[2] На відміну від стандартних GPS-приймачів, що мають похибку від 1 до 10 метрів, технологія RTK використовує диференціальні поправки від базової станції для досягнення точності позиціонування на рівні 1-2 см.[3]

Оптимальною методикою, що витісняє метод роботи від власної тимчасової базової станції, є використання мереж перманентних (постійно діючих) референтних станцій, відоме як **RTN (Real Time Networks)**. Наукові дослідження [4] обґрунтовують методику створення ГРМ на основі RTN-вимірювань, що дозволяє виконавцю працювати лише одним приймачем ("ровером"), отримуючи поправки через мобільний інтернет.

Переваги цього методу є значними. Доведено, що використання RTN-методу в межах триградусної зони дозволяє виконувати основні розмічувальні роботи, забезпечуючи взаємну точність елементів будівництва на рівні **3-5 см**. [4] Це не тільки кардинально прискорює польові роботи (результати отримуються за секунди без постобробки), але й вирішує складні обчислювальні проблеми, пов'язані з похибками картографічних проекцій, зокрема, при переході від

вимірів на референц-еліпсоїді до плоских прямокутних координат у проекції Гауса-Крюгера.

Однак, технологія GNSS має фундаментальне, непереборне обмеження: для її роботи необхідний стабільний, прямий сигнал від щонайменше чотирьох супутників.¹³ В умовах щільної міської забудови (так звані "міські каньйони"), всередині існуючих будівель, під технологічними навісами, у глибоких котлованах або на нижніх поверхах споруди супутниковий сигнал повністю блокується.

Це формує чітку технологічну нішу: технологія GNSS RTK є надзвичайно ефективним інструментом для первинного створення та згущення ГРМ на відкритому будівельному майданчику на підготовчому етапі. Проте, її обмеження вимагають обов'язкового застосування інструментів іншого типу – зокрема, електронних тахеометрів – для подальшого розвитку внутрішньої ГРМ, передачі координат на монтажні горизонти та виконання детальних розбивочних робіт безпосередньо всередині конструкцій.

1.2. ВИСОКОПРОДУКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ЗБОРУ ПРОСТОРОВИХ ДАНИХ: ЛАЗЕРНЕ СКАНУВАННЯ ТА ФОТОГРАММЕТРІЯ

Паралельно з розвитком технологій позиціонування (GNSS) відбувався бурхливий розвиток методів дистанційного збору просторових даних, що характеризуються надзвичайною швидкістю та повнотою.

1.2.1. Наземне лазерне сканування (TLS) для детального контролю геометрії

Наземне лазерне сканування (TLS – Terrestrial Laser Scanning) – це революційний метод, що дозволяє за надзвичайно короткий час отримати високоточну тривимірну копію об'єкта або простору у вигляді «хмари точок» (**point cloud**).^[5]

Принцип технології полягає у вимірюванні відстаней та кутів до точок об'єкта за допомогою лазерного випромінювання з дуже високою частотою, що сягає сотень тисяч або навіть мільйонів вимірів на секунду.¹⁶ В результаті

формується масив даних, де кожна точка має точні просторові координати (X, Y, Z) у системі координат приладу, а часто також інтенсивність відбитого сигналу та колір (RGB) з вбудованої фотокамери. Ці дані слугують цифровим відображенням існуючого об'єкта [6].

Ключова відмінність TLS від традиційної тахеометрії полягає у характері збору даних. Якщо тахеометр координує лише окремі, обрані оператором дискретні пікети, то НЛС координує весь об'єкт цілком, забезпечуючи практично безперервну (високощільну) точкову модель. Це має фундаментальні переваги:

1. **Повнота даних:** Забезпечується повна 3D-модель об'єкта, що виключає пропуски інформації.
2. **Мінімізація людського фактору:** Процес сканування відбувається автоматично, що нівелює помилки оператора при виборі точок наведення.
3. **Висока швидкість:** Значно прискорюються польові роботи, особливо на об'єктах складної форми.¹⁸

Ці переваги визначили основні сфери застосування TLS у будівельному супроводі:

- **Виконавче знімання та контроль геометрії:** Створення високоточних 3D-моделей фактично зведених конструкцій (as-built) для їх порівняння з проектними (as-designed). Це особливо ефективно при контролі складних металоконструкцій¹⁹, промислових об'єктів⁵ та моніторингу правильності установки елементів, наприклад, фундаментів.⁴
- **Знімання фасадів:** Отримання детальної та повної геометрії існуючих фасадів для проектування навісних вентилязованих систем (НВФ)⁴ або при реставраційних роботах.²⁰
- **Моніторинг деформацій:** Шляхом порівняння хмар точок, знятих у різні часові періоди, можливо з високою точністю виявляти не лише зміщення окремих марок, але й деформації, нерівності та відхилення всієї поверхні конструкції.²¹

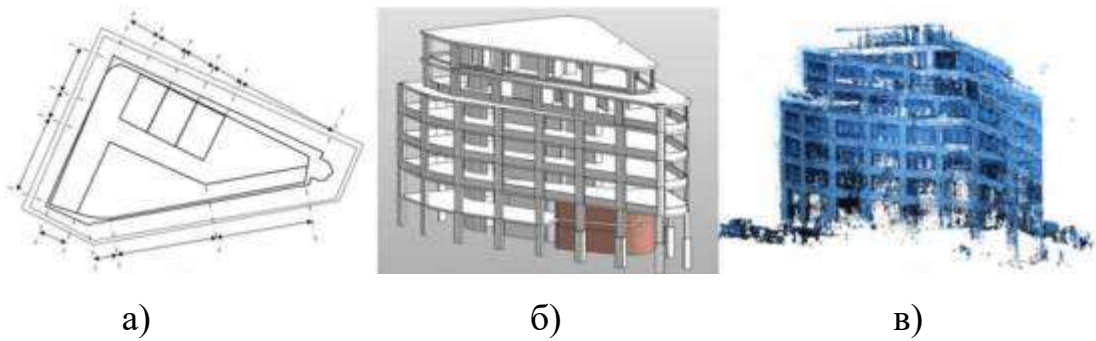


Рис. 1.1. Приклад двовимірного плану, BIM-моделі та хмари точок (point cloud) будівельного об'єкта, отриманої методом наземного лазерного сканування (TLS) [7].

Для систематизації відмінностей між підходами, їх порівняльний аналіз представлено у Таблиці 1.1.

Таблиця 1.1.

Порівняльний аналіз методів Наземного лазерного сканування (TLS) та традиційної тахеометрії (ETS) .

Характеристика	Традиційна тахеометрія (ETS)	Наземне лазерне сканування (TLS)
Принцип збору даних	Дискретний (координація окремих пікетів)	"Безперервний" (високощільна хмара точок)
Повнота моделі	Низька (поверхня інтерполюється між пікетами)	Висока (практично повна 3D-модель об'єкта)
Вплив людського фактору	Високий (вибір точок та наведення оператором)	Мінімальний (автоматичний режим сканування)
Швидкість польових робіт	Низька або середня	Дуже висока (до 2 млн. точок/сек)
Основне застосування	Точна розбивка, моніторинг дискретних точок	Виконавче знімання, контроль геометрії, Scan-to-BIM
Обсяг даних	Малий	Дуже великий (вимагає ПЗ для обробки)

1.2.2. Аерофотограмметрія та лідарні системи на базі БПЛА

Для завдань геодезичного супроводу, що охоплюють значні площі (котловани, кар'єри, великі будівельні майданчики), найбільш ефективним інструментом стали безпілотні літальні апарати (БПЛА, або дрони). Сучасні БПЛА оснащуються або високоякісними цифровими камерами для аерофотограмметрії, або компактними лазерними сканерами (LiDAR).²⁷

На основі зібраних даних (сотень чи тисяч знімків з геоприв'язкою) за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення створюються ключові геопросторові продукти:

1. **Ортофотоплани (Orthomosaics):** Це високодетальні фотографічні плани місцевості, які, на відміну від звичайних аерофотознімків, пройшли процес орторектифікації. Це означає, що вони позбавлені спотворень перспективи та рельєфу, мають єдиний масштаб і є метрично точними (по ним можна вимірювати відстані та площі) [8].
2. **Цифрові моделі місцевості (ЦММ/ЦМР):** Створюються високоточні тривимірні моделі рельєфу (DTM – Digital Terrain Model, модель "землі") та поверхні (DSM – Digital Surface Model, модель, що включає будівлі, рослинність тощо)[8].

У контексті будівельного супроводу, беззаперечно основною сферою застосування БПЛА є оперативний моніторинг та підрахунок об'ємів земляних робіт [9]. Традиційні методи підрахунку об'ємів (наприклад, тахеометричне знімання поверхні по сітці квадратів) є надзвичайно трудомісткими та дають значно менш точний результат через низьку детальність.³⁵

БПЛА дозволяє за один політ (кілька годин) отримати повну 3D-модель (хмару точок та ЦМР) котловану, відвалу ґрунту або складу сипучих матеріалів.[10] Подальше порівняння ЦМР, знятих у різний час (наприклад, до і після виїмки ґрунту), дозволяє з високою точністю автоматично розрахувати об'єми.

Аналіз точності показує високу надійність методу. Дослідження³⁷ фіксують розбіжність у розрахунках об'ємів, отриманих методом БПЛА та традиційним наземним зніманням, на рівні всього 2.36-2.51%. Інші наукові

роботи стверджують, що метод БПЛА (з використанням SfM-аналізу) є не лише економічно ефективнішим, але й більш точним, ніж наземне знімання методом NRTK-GNSS.[11] При дотриманні методики (наприклад, висота польоту 50 м, використання вертикальних та похилих знімків), досяжна точність геоприв'язки хмари точок може становити 25-40 мм.

Додаткові сфери застосування БПЛА включають оперативне оновлення топографічних планів майданчика, створення 3D-моделей для візуалізації проектних рішень, моніторинг загального стану забудови та контроль за ходом робіт.



Рис. 1.2. Приклад ортофотоплану будівельного майданчика, створеного за допомогою БПЛА. [12]

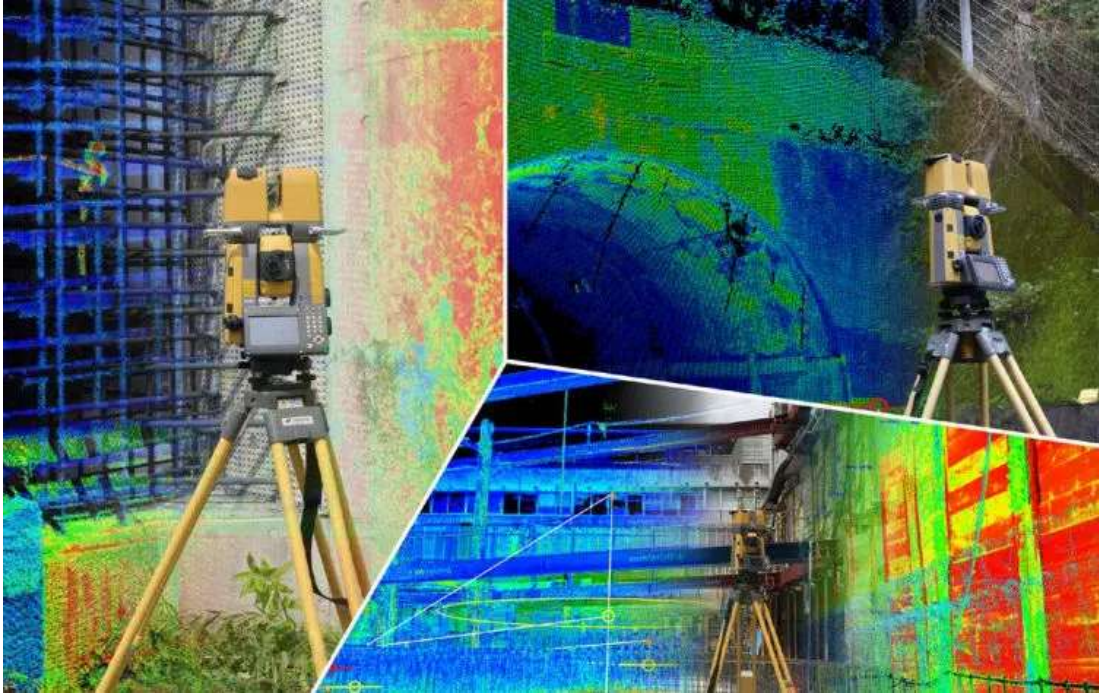


Рис. 1.3. Інтеграція даних у цифрове середовище: Процеси Scan-to-BIM [13]

Поява високопродуктивних методів збору даних (зокрема, TLS) була б неможливою без паралельного розвитку методів обробки та інтеграції цих даних у проектне середовище. Ключовим таким процесом у сучасному будівництві є **Scan-to-BIM** [6].

Scan-to-BIM – це не просто інструмент чи технологія, а комплексний робочий процес [14]. Його сутність полягає у використанні даних лазерного сканування (хмари точок) для створення нової або оновлення існуючої інтелектуальної 3D-інформаційної моделі будівлі (BIM – Building Information Modeling). BIM-модель, на відміну від простої 3D-геометрії, містить багату атрибутивну інформацію про кожен елемент (матеріал, вартість, технічні характеристики).

Стандартизований робочий процес Scan-to-BIM включає три основні етапи:

1. **Scan (Сканування):** Виконання польових робіт на об'єкті за допомогою наземного лазерного сканера для збору даних про фактичний стан (as-built) у вигляді хмари точок.⁴⁰

2. **Process (Обробка):** Камеральна обробка "сирих" даних. Включає реєстрацію (точне "зшивання") окремих сканів, знятих з різних станцій, в єдину зведену хмару точок у спільній системі координат.[15]
3. **Model/Extract (Моделювання):** Імпорт фінальної хмари точок у спеціалізоване програмне забезпечення (наприклад, Autodesk ReCap для обробки хмар та Autodesk Revit для моделювання). На цьому етапі відбувається "перетворення" неінтелектуальної хмари точок на параметричні BIM-об'єкти: програмне забезпечення розпізнає геометрію та дозволяє моделювати стіни, колони, перекриття та інженерні мережі (труби, вентиляційні короби), що точно відповідають фактичному положенню.

Найбільш цінним та потужним застосуванням процесу Scan-to-BIM у будівельному супроводі є виявлення колізій (Clash Detection).

Цей процес полягає в автоматизованому програмному порівнянні декількох 3D-моделей у віртуальному середовищі. Це може бути порівняння:

- Фактичної "as-built" моделі (отриманої зі сканера) з проектною "as-designed" моделлю для виявлення відхилень від проекту.
- Проектних моделей різних розділів, наприклад, моделі інженерних мереж (MEP – Mechanical, Electrical, Plumbing) проти архітектурної або конструкторської моделі [16].

Практична цінність цього підходу величезна. Виявлення колізії (наприклад, фізичний перетин проектного вентиляційного короба з несучою балкою, або неврахована існуюча комунікація) на віртуальній моделі на ранніх етапах ⁴⁸ дозволяє вирішити проблему внесенням змін у проект. Це дає змогу уникнути надзвичайно дорогих фінансових втрат, затримок графіка та технічних спорів, які б неминуче виникли при виявленні цієї ж колізії вже безпосередньо на будівельному майданчику під час монтажу.

Таким чином, інженер-геодезист, що виконує TLS-знімання та бере участь у процесі Scan-to-BIM, перестає бути лише виконавцем вимірювань. Він стає ключовим учасником процесу управління якістю та ризиками проекту, надаючи критично важливі дані для прийняття обґрунтованих інженерних рішень.

1.3. ЕЛЕКТРОННИЙ ТАХЕОМЕТР ЯК ФУНДАМЕНТАЛЬНИЙ ІНСТРУМЕНТ ГЕОДЕЗИЧНОГО СУПРОВОДУ

Незважаючи на вражаючі можливості GNSS-систем та технологій лазерного сканування, центральне місце в інструментарії інженера-геодезиста на будівельному майданчику продовжує займати електронний тахеометр (ETS).

1.3.1. Аналіз переваг та еволюція приладу

Електронний тахеометр за своєю суттю є синергією високоточного електронного теодоліта (для вимірювання горизонтальних та вертикальних кутів) та електронного світлодалекоміра (для вимірювання відстаней). Його розвиток став ключовим для сучасної інженерної геодезії [17].

Важливо розуміти, що тахеометр не став застарілим інструментом під тиском нових технологій. Навпаки, він адаптувався до нових вимог, інтегрувавши технології, що кардинально підвищили його продуктивність та розширили сферу застосування. Ключовими напрямками цієї еволюції стали безвідбивний та роботизований режими.

1. Безвідбивний режим (Reflectorless)

Сучасні тахеометри оснащені лазерним далекоміром, що дозволяє вимірювати відстані безпосередньо до поверхні об'єкта, без необхідності встановлення на точці спеціального відбивача (призми).

Ця функція є критично важливою для будівельного майданчика. Вона дозволяє виконувати вимірювання важкодоступних або небезпечних точок, куди фізично неможливо чи небезпечно встановити віху з призмою: елементи фасадів на висоті, покрівлі, карнизні звиси, точки через глибокі траншеї або котловани, об'єкти на завантажених транспортних магістралях[18,19]. Це ідеальний інструмент для швидкого оперативного контролю геометрії та виконавчого знімання, яке може виконуватися одним оператором без помічника.

Точність у безвідбивному режимі дещо нижча, ніж у призмовому, і залежить від відстані та характеристик поверхні (колір, шорсткість). Однак для більшості будівельних та топографічних задач на відстанях до 500 м ця точність є "більш ніж достатньою".

2. Роботизований режим (Robotic Total Station - RTS)

Роботизовані тахеометри оснащені сервоприводами, що автоматично обертають прилад, та системами машинного зору для автоматичного розпізнавання, захоплення та супроводу цілі (спеціальної 360-градусної призми).³

Концепція "одного оператора": Ця технологія докорінно змінює робочий процес. Помічник біля інструмента стає непотрібним. Прилад керується дистанційно за допомогою польового контролера, який знаходиться безпосередньо у оператора (геодезиста) біля віхи з призмою.

Сучасні RTS, наприклад, Leica TS16 з контролером Captivate та віхою AP20 AutoPole, реалізують функції, що максимізують продуктивність:

ATRplus: Автоматичне розпізнавання та захоплення цілі.

DynamicLock: Автоматичний супровід призми, що рухається, без необхідності зупинки оператора.

AutoPole: Система, що автоматично визначає висоту віхи (виключаючи помилки ручного вимірювання рулеткою) та, що найважливіше, **компенсує нахил віхи**. Оператору більше не потрібно ретельно утримувати віху вертикально за круглим рівнем, що кардинально прискорює процес розбивки точок.

RTS є прямою технологічною відповіддю на ефективність "одноосібної" роботи з GNSS-ровером. Однак, на відміну від GNSS, роботизований тахеометр зберігає свою працездатність всередині будівель, у тунелях, на монтажних горизонтах та забезпечує при цьому стабільну міліметрову точність.



Рис. 1.4. Схематичне зображення роботизованого тахеометра (RTS) в режимі "одного оператора" (one-person operation) [20].

1.3.2. Домінуюча роль тахеометрії у задачах високоточного позиціонування

Незважаючи на всі переваги GNSS (для зовнішньої ГПМ) та TLS (для повноти зйомки), існують ключові задачі геодезичного супроводу, де вимоги до точності є настільки високими, що електронний тахеометр залишається безальтернативним інструментом.

1. Розбивка осей та високоточний монтаж конструкцій

Це ключова і найбільш відповідальна функція тахеометра у будівництві. Процес винесення проектних координат та висотних відміток в натуру (розбивка) є фізичною основою для точного зведення споруди.

Точність GNSS-систем (3-5 см у плані та ще більше по висоті) є категорично недостатньою для більшості монтажних та будівельних операцій. Такі задачі, як встановлення анкерних болтів під металеві колони, монтаж самого металевого каркасу, укладання фундаментних блоків, встановлення опалубки, монтаж ліфтових направляючих чи кронштейнів фасадної системи, вимагають

точності на рівні **1-5 мм**. Єдиним інструментом, що надійно забезпечує таку точність в умовах будівельного майданчика, залишається електронний тахеометр.

2. Інструментальний моніторинг деформацій

Для довготривалих, автоматизованих та високочастотних спостережень за деформаціями (осіданням та зміщеннями) будівель, роботизовані тахеометри (RTS) є визнаним "золотим стандартом".

Система моніторингу, що складається з мережі RTS, здатна автоматично, за заданим розкладом, вимірювати координати спеціальних відбиваючих марок, закріплених на конструкціях, що контролюються, та в режимі реального часу сигналізувати про перевищення допустимих порогів зміщення.

Приклади з інженерної практики демонструють масштаб таких завдань:

- При будівництві 81-поверхового хмарочоса в Брукліні (США) була розгорнута автоматизована система моніторингу на базі RTS для безперервного відстеження будь-яких потенційних рухів прилеглих будівель, паль та тротуарів під час риття котловану та зведення конструкцій.⁶⁰
- Під час комплексної реконструкції вокзалу в Німеччині, система моніторингу Terradata з використанням тахеометрів Leica здійснювала постійні вимірювання (кожні 15 хвилин) діючих залізничних колій, тимчасових мостів та конструкцій існуючого паркінгу, що знаходився над зоною будівництва.⁶¹

Навіть при використанні RTS існують обмеження точності. Дослідження⁵⁹ вказують, що при довготривалих спостереженнях необхідно враховувати вплив атмосферних умов (зміна температури, тиску), які викликають рефракцію лазерного променя та можуть призводити до похибок у кілька міліметрів або, в окремих випадках, навіть сантиметрів.⁵⁹

1.3.3. . Порівняльний аналіз точності тахеометрії та лазерного сканування

На сучасному етапі розвитку приладобудування технології тахеометрії та сканування почали конвергувати. З'явилися гібридні прилади, такі як Trimble

SX10 або Leica Nova MS60, які по суті є скануючими роботизованими тахеометрами. Вони здатні працювати і як класичний RTS (високоточно вимірюючи окремі призми), і як 3D-сканер (збираючи хмару точок).

Це дозволяє проводити пряме порівняння точності обох методів "в одному корпусі". В одному з детальних досліджень [21] проводився моніторинг деформацій стабілізаційної конструкції схилу. Вимірювання контрольних точок виконувалися одночасно у двох режимах: як 3D-сканером (Trimble SX10) та як високоточним тахеометром (Leica TCA2003).

Результати порівняння, оброблені за допомогою статистичного t-критерію для незалежних вибірок, показали **відсутність статистично значущої різниці** між точністю вимірювання деформацій, отриманою в режимі 3D-сканера, та в режимі тахеометра. Розрахована тестова статистика $t = 2.074$ була меншою за критичне значення $t_{0.025}(7) = 2.365$, що дозволило прийняти нульову гіпотезу. Висновок дослідження полягав у тому, що результати обох методів є "високо узгодженими" (highly consistent).

Це дозволяє зробити важливий висновок: для задачі моніторингу дискретних точок (марок) високоточний ETS є таким же точним, як і лазерний сканер. Перевага сканера, як зазначалося раніше, полягає у можливості отримати повну картину деформації всієї поверхні між цими точками, а не лише зміщення самих точок.

Для узагальнення проведеного аналізу, у Таблиці 1.2 представлено зведені характеристики сучасних інструментальних методів у будівництві.

Таблиця 1.2.

Узагальнена порівняльна таблиця інструментальних методів у геодезичному супроводі будівництва.

Метод	Характерна точність	Швидкість / Повнота	Основне застосування	Ключове обмеження
GNSS RTK	2-5 см (план), 3-10 см (висота)	Висока (по точках)	Створення зовнішньої ГРМ, підрахунок об'ємів (низька точність), розбивка (невисока точність)	Потрібне відкрите небо; недостатня точність для монтажу
БПЛА (Фотограмметрія)	3-10 см (позиційна)	Дуже висока (по площах)	Підрахунок об'ємів земляних робіт,	Залежність від погоди;

			ортофотоплани, ЦММ	відносно низька точність по висоті
Наземне Лазерне Сканування (TLS)	5-10 мм	Висока (повнота даних)	Виконавче знімання (as-built), Scan-to- BIM контроль складної геометрії	Висока вартість обладнання та ПЗ; великі обсяги даних
Електронний Тахеометр (ETS/RTS)	1-5 мм	Низька (по точках)	Високоточна розбивка осей, монтаж конструкцій, моніторинг деформацій	Низька швидкість для зйомки площ; вимагає прямої видимості

Проведений аналіз сучасних інструментальних методів геодезичного забезпечення будівництва демонструє, що ефективний супровід базується не на одному універсальному приладі, а на гібридному підході та технологічній синергії. Кожен метод має чітко визначену нішу, де його застосування є найбільш доцільним, виходячи з тріади "точність – швидкість – повнота":

- GNSS (RTK) є незамінним для швидкого створення зовнішньої геодезичної розмічувальної мережі на відкритих майданчиках на підготовчому етапі.
- БПЛА (Дрони) домінують у задачах масштабного оперативного контролю (створення ортофотопланів) та, головним чином, у підрахунку об'ємів земляних робіт, де вони значно перевершують традиційні методи за швидкістю та економічною ефективністю.
- Наземне Лазерне Сканування (TLS) забезпечує безпрецедентну повноту та деталізацію даних. Це ідеальний інструмент для детального контролю фактичної геометрії (as-built) та основа для цифрової трансформації будівництва через процеси Scan-to-BIM та автоматизоване виявлення колізій.

Незважаючи на це, електронний тахеометр залишається одним із найпопулярніших та фундаментальним інструментом на будь-якому будівельному майданчику. Його домінуюча роль, навіть у 2025 році, обґрунтовується трьома ключовими факторами:

1. Неперевершена точність. Тахеометр є єдиним інструментом, що стабільно та надійно забезпечує міліметровий рівень точності (1-5 мм). Цей рівень точності є нормативно необхідним¹⁰ і технічно незамінним для виконання найбільш відповідальних та критичних операцій – розбивки головних та монтажних осей та безпосереднього високоточного монтажу конструктивних елементів.
2. Універсальність та надійність застосування. На відміну від GNSS, тахеометр не залежить від супутникового сигналу і бездоганно працює в будь-яких умовах, де є пряма видимість до цілі: під землею, у тунелях, всередині будівель, на будь-якому монтажному горизонті хмарочоса чи у глибокому котловані.
3. Еволюція продуктивності. Тахеометр нівелював свої традиційні недоліки у швидкості роботи завдяки впровадженню роботизованих технологій (що дозволяють ефективну роботу одним оператором) та безвідбивних режимів (для швидкої зйомки недоступних точок).

Таким чином, у сучасному геодезичному супроводі склався технологічний баланс. У той час як GNSS та БПЛА вирішують задачі масштабування та об'ємів, а TLS – задачі повноти даних та віртуалізації, електронний тахеометр залишається незамінним та найпопулярнішим інструментом для операційного контролю та фізичної реалізації проекту в натурі з найвищою точністю. Він виступає тим високоточним "мостом", що поєднує цифрову BIM-модель з її фізичним втіленням на будівельному майданчику.

РОЗДІЛ 2. СУТНІСТЬ, МЕТА І ЗМІСТ ГЕОДЕЗИЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БУДІВНИЦТВА

2.1. ЗАГАЛЬНА ІНФОРМАЦІЯ ПРО ОБ'ЄКТ

Логістичний термінал передбачається побудувати в Ковельському районі, поблизу м. Ковель на трасі E373 поблизу з перетином із трасою E85. Європейський маршрут E373 — європейський автомобільний маршрут, що проходить територією України і Польщі. Траса пролягає від Києва через Коростень, Сарни, Ковель, міжнародний пункт пропуску Ягодин — Дорогуськ, Холм, П'яскі до Любліна.

На території України збігається з автошляхом M07. Автомобільний шлях з твердим (асфальтовим, бетонним) покриттям, має по одній смузі в кожному напрямку. Народна назва — «Варшавка».

На території Польщі E373 є частиною автошляху S12. Окрім того, на ділянці від П'ясків до Любліна траса збігається з E372. Планується, що ділянка від Любліна до Дорогуська буде частиною польського автошляху S12.



Рис. 2.1. E373 в Януві (гміна Холм)

E85, Європейський маршрут E85 — європейський автошлях, що бере свій початок в литовській Клайпеді і закінчується у грецькому Александруполісі. Загальна довжина 2300 кілометрів.



Рис. 2.2. Автошлях у Теребовлянському районі Тернопільської області

В Україні починається на пропускному пункті «Доманове» на кордоні з Білоруссю (Волинська область). Далі, збігаючись із маршрутом міжнародного автошляху М19, прямує через Ковель, Луцьк, Дубно, Кременець, Тернопіль, Чортків, Чернівці й закінчується на пропускному пункті «Порубне» (Чернівецька область), на кордоні з Румунією.

Будівництво складського логістичного терміналу поблизу перетину міжнародних транспортних коридорів Е373 та Е85 є стратегічно обґрунтованим кроком, що здатен трансформувати регіональний економічний ландшафт, активізувати транскордонну торгівлю та забезпечити стійкість логістичних ланцюгів у Східній Європі.

Розташування поблизу перетину двох ключових європейських маршрутів — Е373 (Київ–Варшава) та Е85 (Балтійське море–Балкани) — створює унікальну транспортно-географічну конфігурацію, яка сприяє формуванню логістичного вузла з високим рівнем мультифункціональності. Такий термінал може виконувати роль не лише транзитного хабу, а й центру консолідації, перерозподілу та короткострокового зберігання вантажів, що надходять з різних країн Європейського Союзу, Балканського регіону та внутрішніх областей України.

З огляду на зростаючу роль України як логістичного мосту між ЄС та Чорноморським регіоном, інфраструктурне укріплення на перетині Е373 та Е85 набуває особливого значення. В умовах геополітичної турбулентності та перебудови глобальних ланцюгів постачання, наявність сучасного складського комплексу з високим рівнем автоматизації, температурного контролю та митної

інфраструктури дозволяє забезпечити безперервність логістичних процесів, зменшити транзакційні витрати та підвищити швидкість обробки вантажів.

Економічна доцільність проєкту також підтверджується високим потенціалом мультиплікаційного ефекту: створення нових робочих місць, стимулювання розвитку суміжних галузей (транспорт, ІТ, охорона, енергетика), а також підвищення інвестиційної привабливості прилеглих територій. У перспективі термінал може стати ядром логістичного кластеру, інтегрованого в європейські мережі TEN-T, що відкриває доступ до фінансування з боку міжнародних інституцій.

З екологічної точки зору, концентрація логістичних операцій у спеціалізованому терміналі дозволяє оптимізувати транспортні потоки, зменшити кількість порожніх пробігів та скоротити викиди CO₂. Впровадження принципів "зеленої логістики", зокрема використання електротранспорту, енергоефективних технологій та цифрового моніторингу, сприяє гармонізації інфраструктурного розвитку з екологічними стандартами ЄС.

У контексті просторового планування, будівництво терміналу на перетині E373 та E85 слід розглядати як елемент поліцентричної моделі розвитку, що дозволяє децентралізувати економічну активність, зменшити навантаження на мегаполіси та активізувати периферійні регіони. Такий підхід відповідає сучасним тенденціям інтегрованого регіонального розвитку, де логістика виступає не лише інструментом мобільності, а й каталізатором соціально-економічної трансформації.

Цільовим призначенням об'єкта будівництва є зберігання товарів. Доставку товару на зберігання планується здійснювати автомобільним та залізничним транспортом. Логістичний термінал являє собою комплекс складських приміщень, що складається з 14 будівель з офісними приміщеннями для персоналу, паркінгами для легкових і вантажних автомобілів, а також розвиненою мережею комунікацій, кімнат охорони. Площа об'єкта – 210000 м², площа під складські будівлі – 100000 м². Об'єкт має бути побудований та введений в експлуатацію за 2 роки. Загальна схема терміналу показана на рис. 1.3.

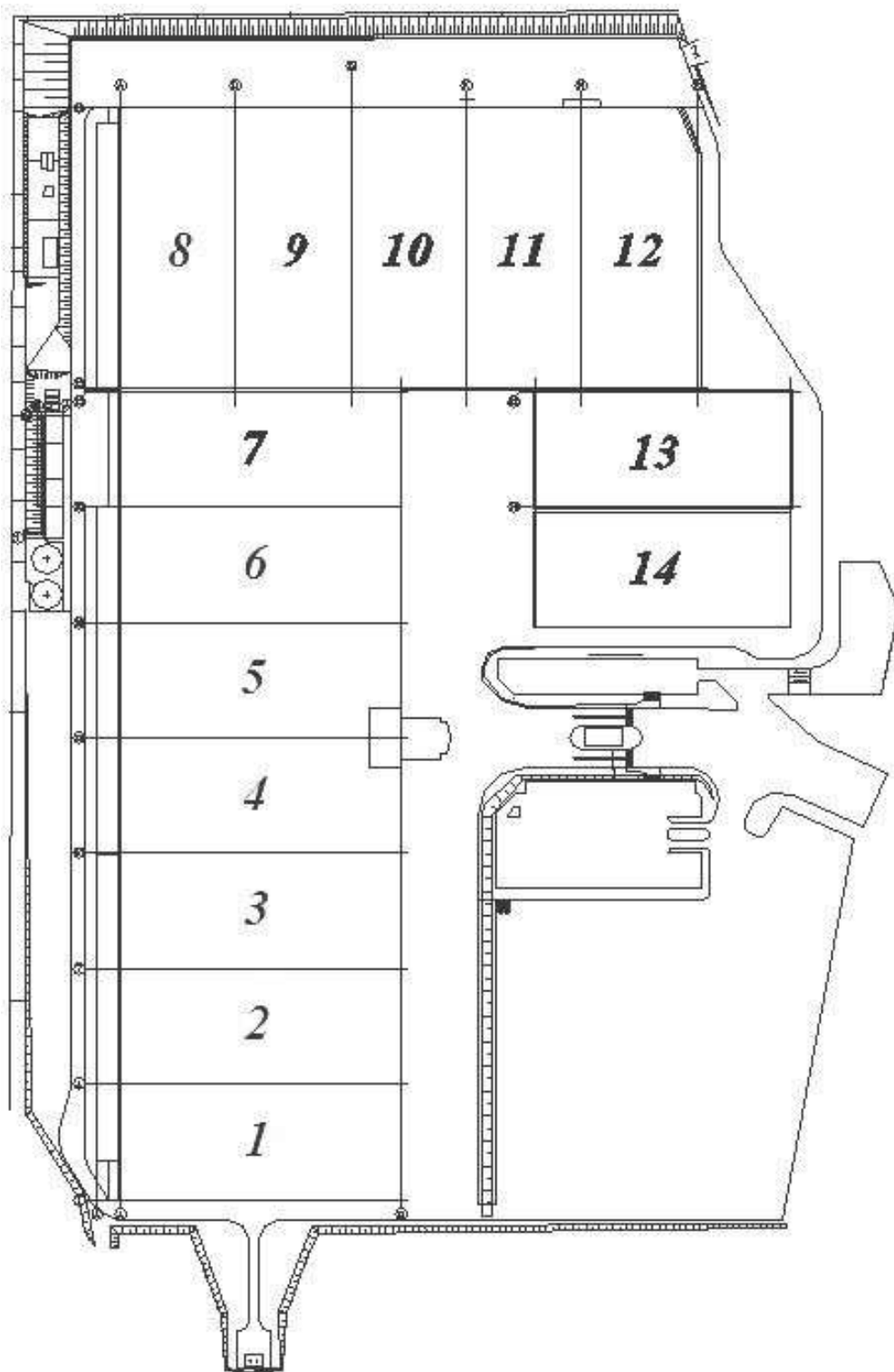


Рис.2.3 – Генеральне планування. Будівлі (позначаються номерами) та інфраструктура складського терміналу

2.2. КЛІМАТ

Клімат Ковельського району Волинської області формується під впливом поєднання атлантичних повітряних мас, поліського ландшафту та гідрологічної специфіки регіону. Його характер визначається помірною континентальністю з

вираженою сезонною динамікою, що проявляється у поступовому переході між м'якою зимою, вологим літом і тривалими перехідними періодами. Такий тип клімату є типовим для північно-західної частини України, де домінують лісово-болотні ландшафти, що мають здатність акумулювати вологу та модифікувати мікрокліматичні умови.

Зимовий період у Ковельському районі, хоча й характеризується негативними середньодобовими температурами, не має ознак суворості, властивої східним регіонам країни. Часті відлиги, обумовлені проникненням теплих атлантичних циклонів, сприяють нестійкості снігового покриву, що, своєю чергою, впливає на гідрологічний режим водно-болотних угідь. Весна, як перехідна фаза, демонструє високу мінливість температурного режиму та значну кількість опадів, що зумовлює активізацію процесів водної ерозії та підвищення рівня ґрунтових вод.

Літній сезон вирізняється підвищеною вологістю повітря, що є наслідком частих конвективних процесів і грозових явищ. Температурний режим залишається в межах комфортного для сільськогосподарської діяльності діапазону, а тривалість вегетаційного періоду дозволяє вирощувати широкий спектр культур, зокрема зернові, технічні та кормові. Водночас надмірна кількість опадів у поєднанні з низинним рельєфом сприяє перезволоженню окремих ділянок, що потребує меліоративного втручання.

Осінь у регіоні характеризується поступовим зниженням температури, збільшенням кількості хмарних днів і частими туманами, що є типовими для поліських ландшафтів. Цей період супроводжується стабілізацією гідротермічного режиму, що має важливе значення для підготовки ґрунтів до зимового спокою.

У контексті сучасних кліматичних змін спостерігається тенденція до зростання середньорічних температур і збільшення кількості екстремальних погодних явищ. Це вимагає адаптації методів екологічного моніторингу, зокрема інтеграції багатотемпорального аналізу супутникових даних, що дозволяє виявляти зміни у водному балансі, рослинному покриві та стані ґрунтів. Ковельський район, як частина Волинського Полісся, виступає важливою

територією для дослідження впливу кліматичних флуктуацій на природні екосистеми, особливо в контексті збереження болотних комплексів і лісових масивів.

2.3. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ГЕОДЕЗИЧНІ РОБОТИ В БУДІВНИЦТВІ

Геодезичний супровід будівництва - це комплекс робіт, що забезпечують точну відповідність геометричних параметрів споруди і будівлі проектним рішенням, а також будівельним нормам і правилам. Крім того, геодезична служба забезпечує якість будівельно-монтажних робіт шляхом проведення ефективних контрольних заходів на всіх етапах будівництва. В цілому геодезичні роботи включають в себе (рис. 1.4):



Рис. 2.4. Порядок виконання геодезичних робіт

- створення розбивочної основи під потреби будівництва і винесення в натуру основних осей і відміток споруд;

- перевірка геометричних параметрів, висотного і планового положення об'єктів;
- контроль за встановленням конструктивних елементів, опалубки;
- підготовка виконавчої документації, що представляє собою текстові та графічні матеріали, що відображають фактичне виконання проектних рішень та фактичне положення об'єктів капітального будівництва та їх елементів, а також інженерних комунікацій у процесі будівництва;
- контрольні виконавчі вишукування об'єктів завершеного будівництва та інженерних мереж;
- визначення обсягів виробок, насипів і використовуваних матеріалів;
- спостереження за атмосферними опадами і деформаціями будівель і споруд [22], земної поверхні, в тому числі при виконанні локального моніторингу небезпечних природних і техногенних процесів.

Значення середньоквадратичних похибок при побудові планової мережі будівельного майданчика відповідно до [23] наведені в таблиці 2.1.

**Значення середньоквадратичних похибок при побудові планової мережі
будівельного майданчика**

Характеристика об'єктів будівництва, клас точності приладів	Середні квадратичні похибки побудови геодезичної розмічувальної мережі будівельного майданчика, не більше		
	кутові вимірювання	лінійні вимірювання	нівелювання на 1 км подвійного ходу
Підприємства та групи будівель (споруд) на ділянках площею більше ніж 1 км ² ; окремо розташовані будівлі (споруди) площею забудови більше ніж 100 тис. м ² Клас наслідків (відповідальності) СС3	3"	2 мм для L до 50 м, L _____ для L понад 50 25000 м	3 мм (за програмою II класу відповідно до інструкції з нівелювання)
Клас точності приладів – тахеометра	A2	2	
– нівеліра (рейки)			A1 (I)
Підприємства та групи будівель (споруд) на ділянках площею менше ніж 1 км ² ; окремо розташовані будівлі (споруди) площею забудови від 10 до 100 тис. м ² Клас наслідків (відповідальності) СС2	5"	5 мм для L до 50 м, L _____ для L понад 10000 50 м	5 мм (за програмою III класу відповідно до інструкції з нівелювання)
Клас точності приладів – тахеометра	B6	3	
– нівеліра (рейки)			B3 (II)
Окремо розташовані будівлі (споруди) із площею забудови менше ніж 10 тис. м ² , земляні споруди; дороги, інженерні мережі та вертикальне планування Клас наслідків (відповідальності) СС1	10"	10 мм для L до 50 м, L _____ для L понад 50 м 5000	10 мм (за програмою IV класу відповідно до інструкції з нівелювання)
Клас точності приладів – тахеометра	B10	4	
– нівеліра (рейки)			C5 (III)
Примітка 1. L – довжина, що вимірюється.			
Примітка 2. Клас наслідків (відповідальності) визначається в проектній документації відповідно до ДБН В.1.2-14, ДСТУ-Н Б В.1.2-16."			

2.4. СПЕЦИФІКА МОНТАЖУ БАГАТОПРОГОНОВИХ БУДІВЕЛЬ

Монтаж великопрогонових будівель і споруд можна охарактеризувати такими особливостями, як (рис. 2.5):

- каркас будівлі може виконуватися зі сталевих, збірних залізобетонних або змішаних конструкцій: залізобетонні колони і фундаменти, стінові панелі – одно- або багатошарові, ферми, зв'язки і елементи покриття – сталеві. Колони розміщуються відповідно до сітки розбивочних осей будівлі. Відстань між поздовжніми осями називають прольотом, а між поперечними – кроком колон;
- розміри будівлі зазвичай перевищують радіус дії монтажних кранів;
- ряд конструкцій – колони великої висоти і маси, потужні підкранові балки, ферми великого прольоту, об'ємні елементи покриття – доводиться монтувати частинами або застосовуючи кілька кранів;
- монтаж будівлі необхідно узгоджувати з установкою технологічного обладнання.



Рис. 2.5. Особливості монтажу великопрогонових споруд

Розрізняють кілька методів монтажу конструкцій. При виборі основного варіанту монтажу і розробці проекту виконання робіт розглядають для порівняння поелементний, блоковий і конвеєрно-блоковий варіанти. Також враховуються конкретні умови будівельного майданчика, наявність необхідного парку будівельних машин і механізмів, обладнання. Обраний варіант, крім своєї економічності, повинен забезпечити виконання будівельно-монтажних робіт в найкоротші терміни [1]. Незалежно від варіанту монтажу конструкцій геодезичною службою повинні бути задіяні всі методи і технології робіт для здійснення безперервності будівельно-монтажних робіт. Своєчасна видача геодезичних даних для будівельників, а також достовірність цих даних – істотно впливає як на терміни монтажу, так і на його якість.

Логістичний термінал за складністю геодезичних робіт можна прирівняти до промислового підприємства, де також виконується великий обсяг геодезичних робіт. Для виносу проекту в натуру необхідно створення розбивочної мережі.

Від пунктів розбивочної мережі виносять на місцевості головні і основні осі будівель, споруд і комунікацій. Під час детальної розбивки від закріплених осей визначають положення окремих елементів конструкцій. Установці фундаментів під колони і самих колон приділяють підвищену увагу.

Колони – є основними несучими конструкціями будівлі і зазнають великих навантажень, тому вони повинні бути строго в проектному положенні. Зсув відносно розбивочної осі допускається в нижньому перерізі до 5 мм, відхилення від вертикалі у верхньому перерізі – до 15 мм для колон, висота яких менше 15 метрів. При встановленні залізобетонних колон необхідно забезпечити точну розбивку фундаментів-стаканів.

2.5. ГЕОДЕЗИЧНИЙ КОНТРОЛЬ ТА ВИКОНАВЧІ ЗЙОМКИ

Геодезичний контроль точності геометричних параметрів будівель (споруд) та виконавчі геодезичні зйомки здійснюються відповідно до вимог ДСТУ-Н Б В.2.6-203:2015 [24]

Виконавча зйомка проводиться на різних стадіях будівельних робіт. Основним завданням виконавчої зйомки є контроль відповідності виконаних робіт рішенням проектної документації. Як правило, елементи конструкцій і частини будівлі, що підлягають зйомці, встановлює проектна організація.

У процесі будівництва слід проводити геодезичний контроль геометричних параметрів будівель і споруд. Геодезичний контроль включає визначення фактичного положення в плані і по висоті елементів конструкцій і частин будівель і споруд в процесі їх монтажу і тимчасового закріплення.

Положення в плані і по висоті елементів конструкцій і частин будівель і споруд при геодезичному контролі і виконавчих зйомках визначають від знаків внутрішньої розбивочної мережі будівлі і споруди або орієнтирів, які використовувалися при розбивочних роботах, а інженерних комунікацій – від

знаків геодезичної розбивочної основи або твердих точок капітальних будівель і споруд. Похибка вимірювання при виконанні геодезичного контролю та виконавчих зйомок повинна бути не більше 0,2 величини відхилень, що допускаються проектом, будівельними нормами і правилами та державними стандартами.

Результатом виконавчої зйомки є виконавча документація, яка включає виконавчі схеми із зазначенням фактичного положення або розмірів елементів конструкцій або частин будівлі та відхиленням цих розмірів від проекту.

Геодезична служба повинна своєчасно готувати виконавчу документацію, оскільки на підставі даних, показаних у ній, можуть бути змінені проектні рішення або своєчасно виправлені грубі помилки монтажних робіт.

2.6. ЗАСТОСУВАННЯ ЕЛЕКТРОННИХ ТАХЕОМЕТРІВ

Після запису в пам'ять тахеометра координат точок, що підлягають виносу в натуру, можна приступати до розбивочних робіт. При використанні електронного тахеометра відпадає необхідність обчислення розбивочних елементів: кута β і відстані l – вони обчислюються приладом автоматично, що, по-перше, виключає помилки в обчисленнях, а по-друге, полегшує роботу геодезистам, які виконують при сучасних темпах і обсягах будівництва і без того великі обсяги робіт.

Електронний тахеометр призначений для вимірювання відстаней, горизонтальних і вертикальних кутів. Область застосування – інженерно-геодезичні вишукування, виконання тахеометричної зйомки, розбивочні роботи в будівництві, створення мереж згущення і землепорядні роботи.

Сам по собі тахеометр представляє комбінований прилад, що об'єднує в своїй конструкції кодовий теодоліт і лазерний далекомір. Прилад складається з водонепроникного корпусу, що вміщує оптичні та електронні компоненти, з'ємного трегера і знімної акумуляторної батареї.

Принцип дії кутового вимірювального каналу заснований на використанні кодового абсолютного датчика кута повороту, що не вимагає попередньої індексації перед вимірюванням, і після включення тахеометра на його дисплеї

відображається поточне кутове значення стану датчика. Електронні зчитувальні пристрої забезпечують автоматичне зняття відліків по горизонтальному і вертикальному кутомірним датчикам. Застосування двостороннього зняття відліків і двовісних електронних компенсаторів підвищує точність вимірювання кутів, виключає похибку ексцентриситету горизонтального (вертикального) датчика і автоматично враховуються поправки в вимірюванні горизонтальні і вертикальні кути за відхилення тахеометра від вертикалі.

Принцип дії лінійного вимірювального каналу заснований на вимірюванні часу поширення електромагнітних хвиль і реалізує імпульсно-фазовий метод вимірювання відстані. Тахеометр має відбивний режим роботи (лазерне випромінювання відбивається від призмового відбивача, встановленого в точці вимірювання) і безвідбивний (дифузне відбиття лазерного випромінювання від вимірюваної точки). Тахеометр може мати вбудовані метеодатчики, що дозволяє автоматично враховувати атмосферні поправки. Результати вимірювань виводяться на графічний дисплей, реєструються у внутрішній пам'яті і згодом можуть бути передані на персональний комп'ютер для подальшої обробки. Для приведення в робоче положення тахеометр оснащений круглим і електронним рівнем.

Через багатофункціональність тахеометрів і з ряду економічних причин вони набувають все більшої популярності у підприємств, які мають необхідність використовувати для своїх потреб геодезичні засоби вимірювань.

У таблиці 2.2 наведені технічні характеристики електронного тахеометра Sokkia Set 530R (рис. 2.6.).

Тахеометр Sokkia SET 530R — це електронний геодезичний прилад з кутовою точністю 5", здатний виконувати вимірювання як з відбивачем, так і без нього, що робить його універсальним для будівельно-монтажних і топографічних робіт.



Рис. 2.6. Загальний вигляд тахеометра Sokkia SET 530R

Таблиця 2.2.

Технічні характеристики електронного тахеометра Sokkia Set 530R

Ключові технічні характеристики:	
 Кутові вимірювання	 Пам'ять та інтерфейс
Кутлова точність: 5" — достатньо для більшості інженерно-геодезичних задач.	Внутрішня пам'ять: до 10 000 точок, з можливістю збереження 10 файлів.
Тип компенсатора: двовісний рідинний, забезпечує стабільність вимірювань навіть при незначному нахилі приладу.	Дисплей: графічний ЖК з підсвіткою, роздільна здатність 192×80 точок, з двох сторін.
 Вимірювання відстаней	Клавіатура: зручна для польових умов, підтримує швидке введення координат і кодів.
Без відбивача: до 350 м, точність — ± 3 мм + 2 мм/км.	 Живлення та умови експлуатації
На плівковий відбивач: до 800 м, точність — ± 3 мм + 2 мм/км.	Акумулятор: Li-Ion, вага близько 100 г, доступний у магазинах побутової електроніки.
На призму: до 6000 м, точність — ± 2 мм + 2 мм/км.	Температурний діапазон роботи: від -30°C до $+50^{\circ}\text{C}$ — адаптований для роботи в зимових умовах.
Мінімальна відстань візування: 1,3 м.	Час автономної роботи: залежить від режиму, зазвичай до 20 годин.
 Оптика	 Додаткові можливості
Збільшення зорової труби: 30× — забезпечує чітке візування на далекі об'єкти.	Режими вимірювання: швидке перемикання між режимами "без відбивача", "призма", "плівка" однією кнопкою.
Поле зору: зручне для роботи в умовах щільної забудови або складного рельєфу.	Лазерний покажчик створу: вузький видимий промінь — зручно для роботи через листя, паркани, сітки.
	Передача даних: через стандартні порти, можливість експорту в CAD/GIS-системи.

РОЗДІЛ 3. МЕТОДИКА ВИКОНАННЯ ГЕОДЕЗИЧНИХ РОБІТ

3.1. СУТНІСТЬ МЕТОДУ ПОЛЯРНИХ КООРДИНАТ

Розбивочні роботи на будівельному майданчику полягають у закріпленні на місцевості точок, що визначають планове і висотне положення будівель і споруд, елементів конструкцій. У плані положення цих точок може бути отримано за допомогою відкладення кута β від вихідної сторони і відстані l по створу, задаваному візирною віссю приладу (рис. 3.1).

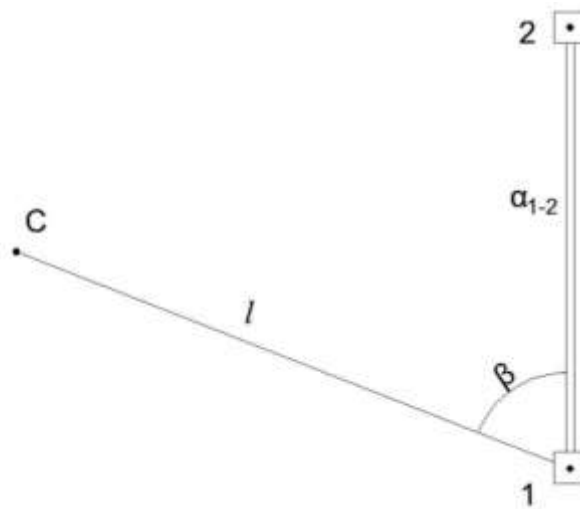


Рис. 3.1 – винесення в натуру точки способом полярних координат

Для виконання робіт необхідно встановити штатив і закріпити на ньому тахеометр. Станція стояння вибирається в максимально зручному для оператора місці – виходячи з умов будівельного майданчика. Природно, що повинна бути видимість не менше ніж на два пункти розбивочної мережі. Два пункти, за умови невисокої точності розбивки (не менше 1 см) дозволяють орієнтувати тахеометр зворотньою лінійно-кутовою засічкою. Для тахеометра Sokkia Set 530R в меню перед початком роботи необхідно вибрати опцію для відображення на дисплеї графічного зображення круглого рівня з вказівкою нахилу приладу по осях X і Y в кутових секундах. За допомогою підйомних гвинтів тахеометр приводиться в робоче положення. Далі, здійснюється перехід до пам'яті приладу, де вибирається файл роботи, що містить координати виносних точок, а також файл вихідних координат, що містить координати розбивочної основи. Після вибору робочих файлів необхідно перейти в меню і вибрати пункт «Зворотня засічка»,

після чого буде запропоновано вказати приладу точки, на які будуть проводитися вимірювання, для обчислення зворотної засічки.

Провівши вимірювання, слід натиснути на клавішу «обчислити», на дисплеї тахеометра будуть показані координати X, Y, N станції стояння і показник розсіювання значень координат щодо їх математичного очікування. Після чого слід вибрати «Установка ГУ» і тахеометр буде орієнтований в даній системі координат.

Зорієнтувавши прилад в будівельній системі координат, можна приступати до розбивальних робіт. Для цього в меню тахеометра необхідно вибрати пункт «Винос в натуру» і, далі, точку зі списку в пам'яті. На дисплеї буде вказаний кут, на який необхідно повернути алідадну частину тахеометра і за допомогою навідного гвинта горизонтального кола довести значення цього кута до 0°00'00". Таким чином, буде задано створ, в який встановлюється помічник з призматичним відбивачем, або, якщо того вимагають умови, з маркою. Виконуючи вимірювання відстані до відбивача, прилад автоматично показує величину і напрямок, куди необхідно змістити відбивач помічника. Після переміщення і коригування положення помічника в створі вимірювання відстані повторюють. Часто при великих відстанях зручно використовувати побутові радіостанції для зв'язку спостерігача і помічника.

Після того, як положення винесеної в натуру точки знайдено на місцевості або елементі конструкції, її необхідно закріпити дерев'яним кілком, обрізком арматури, дюбель-цвяхом, керном тощо - в залежності від умов розбивки.

Точність розбивки споруд залежить від типу і призначення споруди, матеріалу зведення, технологічних особливостей виробництва і регламентується Державними будівельними нормами, зокрема ДБН В.1.3-2:2010 Геодезичні роботи у будівництві [23], та технічними умовами проекту споруди.

При заданому в проекті допуску Δ симетричне гранично допустиме відхилення від осі

$$\pm\delta = \frac{\Delta}{2} \quad (3.1)$$

або середнє квадратичне відхилення при ймовірності $p=0,9973$

$$\pm\sigma = \frac{\delta}{3} = \frac{\Delta}{6} \quad (3.2)$$

Таким чином, δ є гранично-допустимою точністю геодезичних робіт, Δ – граничне відхилення будівельних конструкцій, що визначається або зазначене в проекті.

У загальному випадку, точність зведення інженерної споруди залежить від точності геодезичних вимірювань, точності технологічного розрахунку проекту та помилок будівельно-монтажних робіт [25,26].

У зв'язку зі зручністю використання в сучасних умовах метод полярних координат є універсальним способом розбивки.

3.2. ПРОЕКТ РОЗБИМОЧНОЇ МЕРЕЖІ. ОЦІНКА ТОЧНОСТІ

3.3. ГЕОДЕЗИЧНІ МЕРЕЖІ

Геодезична мережа на будівельному майданчику розрахована на:

- створення обґрунтування виносу в натуру марок, осей та інших елементів інженерних споруд;
- створення основи для виконання виконавчих вишукувань в процесі будівництва.

Також геодезична мережа може використовуватися для спостереження за деформаціями конструкцій і поверхні ґрунту, як при проведенні будівельних робіт, так і після їх завершення.

В цілому геодезична мережа повинна бути закріплена знаками геодезичних пунктів, які визначають положення будівлі на місцевості і дозволяють з необхідною точністю забезпечити виконання подальших геодезичних вимірювань і побудов в процесі будівельних робіт.

Геодезична основа для будівництва повинна створюватися з урахуванням:

- забезпечення повної безпеки і стійкості знаків, що закріплюють точки макетної основи;
- проектування та існуюче розміщення будівель (споруд) та інженерних мереж на будівельному майданчику;

- геологічні, температурні, динамічні процеси та інші впливи в районі будівництва, які можуть негативно позначитися на якості розташування основи будівництва;
- використання створеної геодезичної розкладної основи в процесі експлуатації споруджуваного об'єкта, його розширення та реконструкції.

3.3.1. Оцінка точності мережі

Згідно з актом, замовником було передано центральну мережу, створену з початкових точок I і II (рис. 2.1).

Для оцінки точності мережі за допомогою електронного тахеометра можна виміряти всі сторони і кути і обробити і вирівняти вимірювання в програмі Credo_Dat за допомогою файлу із записаними вимірюваннями.

Опрацювання планового та висотного обґрунтування в програмі Credo включає:

- розрахунок напрямків, горизонтальна прокладка і висотних відміток на основі середніх значень вимірювальних зразків, контроль дотримання проектних допусків, встановлених для відповідних класів конструкцій, розрахунок вертикальних кутів і перевищень;
- внесені корективи в виміри враховуються при обробці;
- генерація зведених значень довжин, напрямків і перевищень, що підлягають вирівнюванню, обчислення попередніх координат точок, розпізнавання надлишкових вимірювань і формування топології мережі обґрунтування.

Обчислення в програмі здійснюється параметричним способом за критерієм мінімізації суми квадратів поправок у вимірах. Для оцінки точності положення зрівняних точок, формування параметрів еліпсів похибок використовується коваріаційна матриця, коефіцієнти якої обчислюються в процесі вирівнювання.

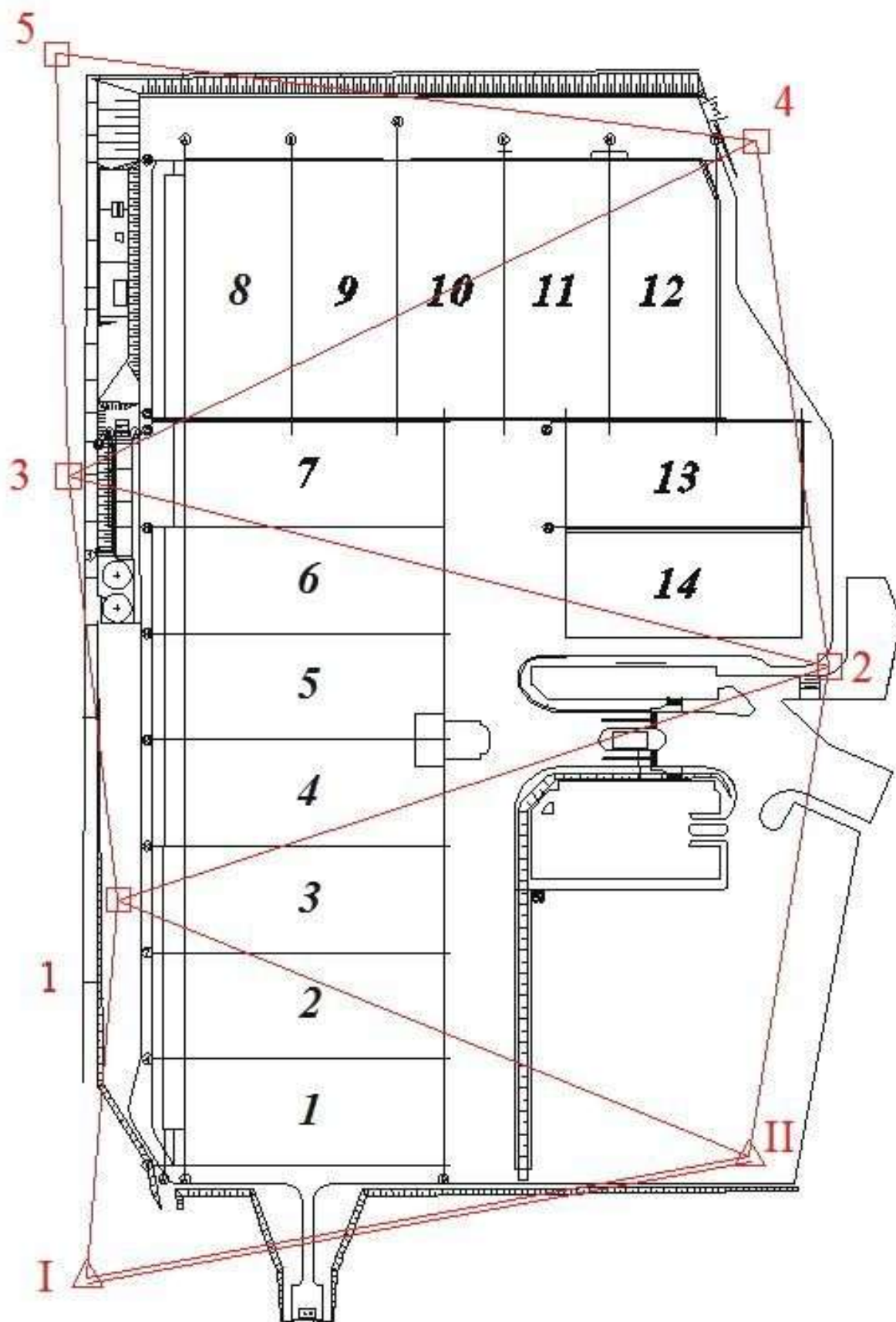


Рис. 3.1 – Основа знімальної мережі

Після обробки і вирівнювання мережі користувачеві доступні списки координат, поправок, оцінки точності положення точок, оцінки точності вимірювань в мережі і деякі інші.

Оцінка точності вимірювань в мережі

Клас	Лінійно-кутова мережа				СКП кутів у ходах	
	СКП напрямків		СКП ліній		СКП кутів у ходах	
	Апріорна	Фактичний	Апріорі	Фактичний	Апріорі	Фактичний
1-й розряд	3,5360	4,0005	0,0200	0,0242	5,0000	5,0000

Як видно з таблиці 3.1, програма автоматично присвоює клас для лінійно-кутової мережі: в даному випадку 1 розряд.

У таблиці 3.2 наведено витяг з відомості оцінки точності точки коригування.

Таблиця 3.2

Пункт	М	Мх	Му
1	2	3	4
5	0,050	0,039	0,032

В таблиці 3.2 величина М знаходиться, як

$$M = \sqrt{M_X^2 + M_Y^2}, \quad (3.3)$$

$$M = \sqrt{0.039^2 + 0.032^2}, \quad (3.4)$$

$$M = 0.0504 \text{ м} \quad (3.5)$$

Беручи до уваги дані таблиці 3.1, можна сказати, що мережа повністю відповідає вимогам проекту і нормативних документів.

Точки мережі були закріплені таким чином, щоб зберегти їх до кінця будівництва об'єкта.

3.4. ЗАКРІПЛЕННЯ ПУНКТИВ МЕРЕЖІ

Як правило, точки планованої розкладки мереж і мереж згущення закріплюються за підземними центрами, так само, як і пункти державних мереж. Так як відстані між цими точками відносно невеликі, їх не потрібно позначати зовнішніми знаками [17].

На рис. 3.2 схематично показаний знак фіксації осей будівлі. Для фіксації точок розводки мережі можна рекомендувати ту ж конструкцію з невеликими змінами.

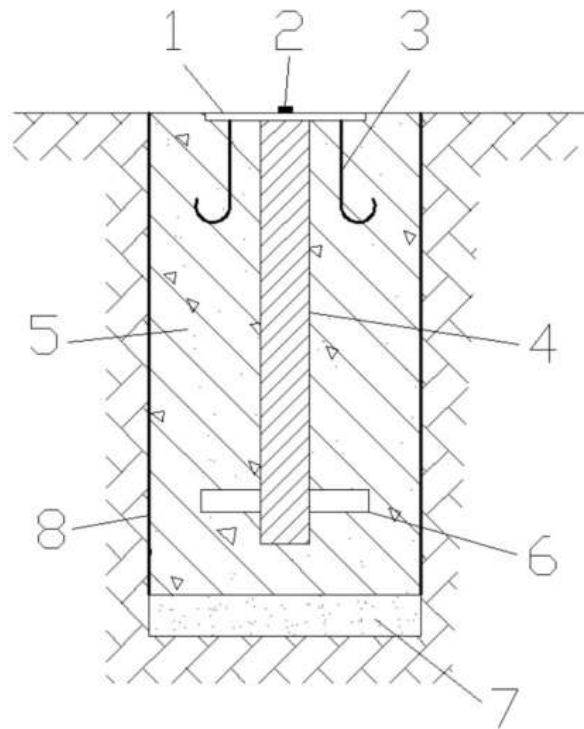


Рис. 3.2 – Кріплення осей і точок мереж:

- 1 – металева пластина розміром $200 \times 200 \times 15$;
- 2 – металева заклепка; 3 – анкер товщиною не менше 15 мм;
- 4 – металева труба товщиною 50-70 мм;
- 5 – клас бетону М100-М200;
- 6 – якір, розташований нижче глибини промерзання;
- 7 – піщана подушка;
- 8 – два шари утеплювача.

Також рекомендується закріплювати осі будівель і точки внутрішньої розмічальної мережі за допомогою дюбель-цвяхів в асфальті.

3.5. ГЕОДЕЗИЧНІ РОБОТИ НА ДІЛЯНЦІ

3.5.1. Створення внутрішньої розбивочної мережі

Внутрішня основа вирівнювання створюється на початковому горизонті шляхом видалення точок методом полярних координат з точок зовнішньої мережі.

Розбивочні роботи виконуються електронним тахеометром Sokkia Set 530R. Місця фіксації точок внутрішньої планувальної мережі визначаються на генплані і виносяться в натуру. Точки фіксуються дюбель-цвяхами в асфальті, бетонних фундаментах будівель або, де це можливо, за допомогою ходу по рівній поверхні. Уздовж точок створюваної мережі прокладається полігонометричний хід з прив'язкою до точок зовнішньої розбивочної основи. Хід вирівнюється в програмі Credo_DAT.

На рис. 2.3 показана схема внутрішньої розбивочної основи на прикладі будівлі №14

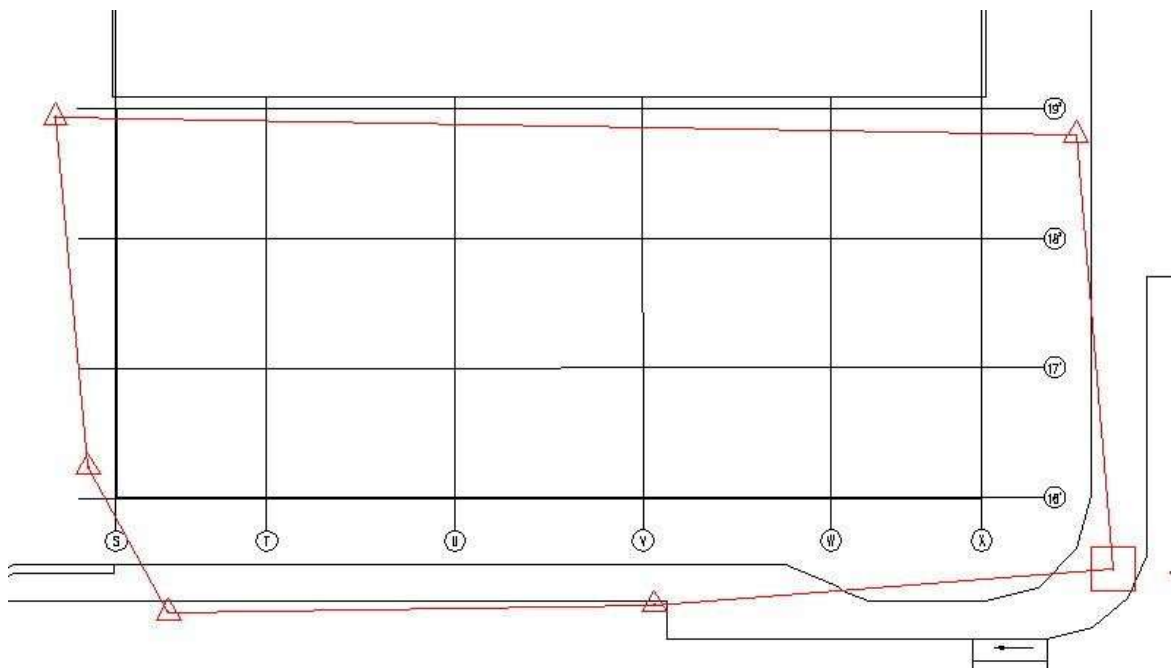


Рис. 2.3 Схема внутрішньої розбивочної основи на прикладі будівлі №14

У Додатку А.1. наведені значення середньоквадратичних похибок при побудові зовнішніх і внутрішніх розбивочних мереж будівлі (споруди) та інших розбивочних роботах відповідно до ДБН В.1.3-2:2010 Геодезичні роботи в будівництві [23].

3.6. ДЕТАЛЬНІ РОЗБИВОЧНІ В У РОБОТИ

Детальні розбивочні роботи виконуються від точок внутрішньої основи і від осьових знаків. Для детальних розбивочних робіт використовується електронний безвідбивальний тахеометр Sokkia Set 530R (точність вимірювання кутів за ISO 12857-2:1997) становить 5", точність вимірювання відстаней на

призму становить: $\pm(2+2 \text{ ppm} \cdot D)$ мм, на плівку і безвідбивально до 100 м – $\pm(3+2 \text{ ppm} \cdot D)$ мм. Де D – відстань в км.

При детальних розбивочних роботах широке застосування отримав метод полярних координат. В електронний тахеометр закладена програма виносу в натуру точки способом полярних координат. Для того щоб її задіяти, необхідно орієнтувати інструмент – для чого виконується визначення координат точки стояння способом зворотного засічки або, що менш зручно, проводиться центрування тахеометра на відомому пункті і орієнтування на інший відомий пункт. Після прив'язки станції стояння до пунктів розбивочної основи, в меню приладу вибирається пункт «Винесення в натуру» і далі необхідний номер точки зі створеного заздалегідь списку. Після вибору точки на дисплеї тахеометра показуються кут до напрямку на винесену точку, а також відстань до неї. Винесення в натуру точки електронним тахеометром перевершує класичний метод, як за швидкістю, так і за кількістю необхідних для виконання робіт дій.

Залежно від необхідної точності робіт використовуються різні відбивачі, що не позначається на загальній методиці виносу в натуру. Так, наприклад, для виносу поздовжніх і поперечних осей будівлі можна використовувати маленький відбивач висотою 12 см і діаметром призми, залежно від моделі, близько 25 мм. Часто буває зручно використовувати спеціальні марки, наприклад, для винесення на фундаменти-стакани осей колон. Звичайна віха зі стандартним відбивачем застосовується, в основному при зйомках, або винесенні з точністю не більше 1 см, наприклад, для позначення меж котлованів під фундаменти, осей комунікацій.

Методика виносу в натуру за допомогою електронного тахеометра полягає в наступному: після вибору точки для виносу зі списку, прилад повертається, поки на дисплеї кут до напрямку на точку не стане відображатися як $0^{\circ}00'00''$. Після чого, помічник з відбивачем стає в створ. Оскільки зазвичай не використовується спеціальна автоматизована система установки в створ, то достатньо застосовувати побутові радіостанції або систему жестів. Далі, на призму проводиться вимірювання відстані. Поправки за нахил місцевості враховуються автоматично. Після вимірювання на дисплеї приладу

відображається відстань, яку необхідно відкласти, і напрямок: до оператора або від нього. Таким чином, знайти на місцевості місце розташування винесеної точки виходить за три-чотири прийоми, а загальні трудовитрати набагато менше класичного способу, з використанням рулетки і теодоліта.

Розрахуємо точність виносу точки в натуру способом полярних координат. Відомо, що координати шуканої точки С дорівнюють

$$x = x_1 + \Delta x; \quad (3.6)$$

$$y = y_1 + \Delta y. \quad (3.7)$$

Згідно з рисунком 2.4 можна записати

$$\Delta x = l \cos(\alpha_{1-2} - \beta); \quad (3.8)$$

$$\Delta y = l \sin(\alpha_{1-2} - \beta). \quad (3.9)$$

Так як, в основному, на точність розбивки точки С відносно вихідних пунктів впливає похибка m_β побудови кута β і похибка m_l відкладення проектної відстані l . Застосовуючи теорію помилок, отримаємо

$$\begin{aligned} m_{\Delta x}^2 &= \cos^2(\alpha - \beta) m_l^2 + l^2 \sin^2(\alpha - \beta) \frac{m_\beta^2}{\rho^2}; \\ m_{\Delta y}^2 &= \sin^2(\alpha - \beta) m_l^2 + l^2 \cos^2(\alpha - \beta) \frac{m_\beta^2}{\rho^2} \end{aligned} \quad (3.10)$$

Загальна похибка в положенні точки С під впливом похибок розбивальних робіт способом полярних координат буде дорівнювати

$$m_{розб}^2 = m_{\Delta x}^2 + m_{\Delta y}^2 \quad (3.11)$$

Або, спрощуючи:

$$m_{розб}^2 = m_l^2 + l^2 \left(\frac{m_\beta}{\rho} \right)^2 \quad (3.12)$$

Розрахуємо загальну похибку в положенні точки С, врахувавши, що відстань рідко перевищує $l = 80\text{м}$, $\rho = 206265'$, а розбивка здійснюється тахеометром Sokkia set 530R, для якого $m_\beta = 5'$, $m_l = 2\text{мм}$. Тоді:

$$m_{розб}^2 = (2\text{мм})^2 + (80\text{м})^2 \left(\frac{5''}{206265''} \right)^2 = 2,2\text{мм} \quad (3.13)$$

Як видно, найбільший вплив має похибка відкладення відстані у створі.

Розрахуємо помилку визначення координат станції стояння за допомогою оберненої засічки, виконаної тахеометром.

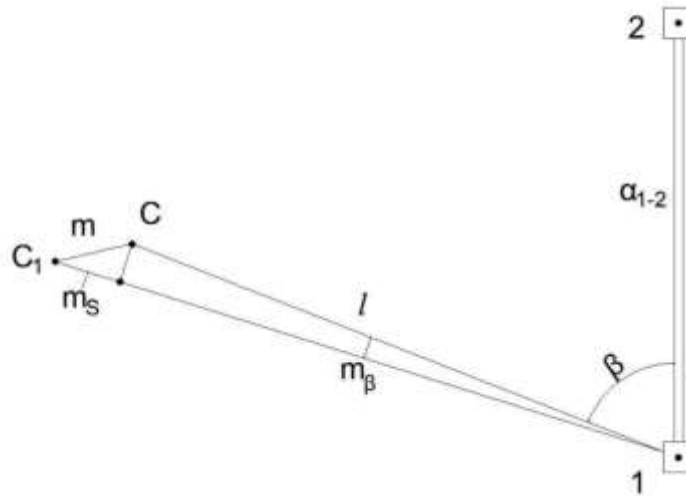


Рис. 3.4. Схема винесення в натуру точки способом полярних координат:

β – проектний кут, l – проектна відстань

На рис. 3.5 показана схема способу оберненої засічки для трьох пунктів, де β_1 і β_2 – кути засічки.

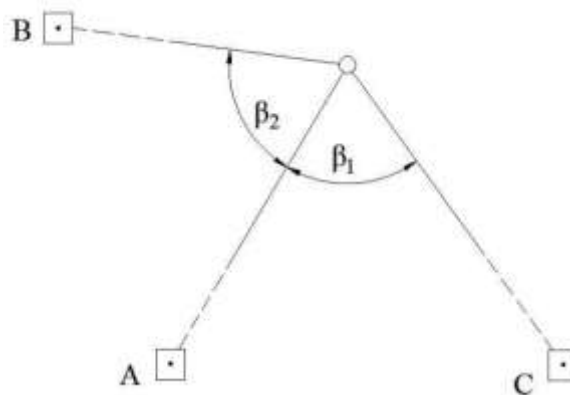


Рис. 3.5. Схема способу оберненої засічки для трьох пунктів

Похибка визначення координат за способом оберненої засічки може бути визначена за формулою (3.14):

$$m_{o.з.} = \frac{m_\beta S_A}{\rho \sin(\beta_1 + \beta_2 + \omega_{BAC})} \sqrt{\left(\frac{S_B}{b_{AB}}\right)^2 + \left(\frac{S_C}{b_{AC}}\right)^2}, \quad (3.14)$$

де S – відстань від пункту, координати якого потрібно визначити до відповідних опорних пунктів; b – відстань між відповідними опорними пунктами (базис засічки); ω_{BAC} – кут між вихідними сторонами.

Якщо для приблизних розрахунків прийняти, що $S_A = S_B = S_C = S_{сер}$ та $b_{AB} = b_{AC} = b_{сер}$, то формула (3.14) набуде вигляду:

$$m_{o.з.} = \frac{m_{\beta} \sqrt{2} S_{сер}}{\rho \sin(\beta_1 + \beta_2 + \omega_{BAC})} \left(\frac{S_{сер}}{b_{сер}} \right) \quad (3.15)$$

На рис. 3.5: $\beta_1 = 66^{\circ}28'12''$, $\beta_2 = 66^{\circ}52'54''$, $\omega_{BAC} = 108^{\circ}35'01''$, прийmemo $S_{сер} = 100 м$, $b_{сер} = 60 м$, $m_{\beta} = 5''$, тоді без урахування похибок вихідних даних можна розрахувати, що $m_{o.з.} = 7 мм$.

Винесення в натуру меж котлованів під фундаменти стаканного типу здійснюється з низькою точністю, так як в далі котлован викопується екскаватором. Дно котлованів добирається до проектної позначки вручну.

Після підготовки основи розмічають осі фундаментів, які виносять на обноску з подальшою розміткою осей на місці установки фундаментів. Для цього на обноску натягують осьові струни і за допомогою висків переносять точки їх перетину на дно котлованів і траншей (рис. 2.6). У всіх каркасних будівлях фундаменти стаканного типу мають від'ємну позначку верхнього обрізу $-0,15 м$, що дозволяє в зручний час влаштовувати в у бетонну у підготовку під підлоги, і, відповідно, у повному обсязі завершувати роботи нульового циклу.

Перевіряють рівень дна склянок, розташованих в зоні установки. При необхідності роблять поглиблення в земляній або піщаній основі. У цьому місці підсипку роблять тоншою, втоплюється бетонне покриття. Від точок перетину осей фундаментів рулеткою або шаблоном розмічають положення бічних граней кожного стакана. Це положення закріплюють трьома кілочками або металевими штирями, забитими в ґрунт.

Маючи електронний тахеометр, можна безпосередньо з його допомогою винести в натуру кілочки, що позначають положення граней фундаменту (рис. 2.7).

На встановлений фундамент виносяться осі колон (рис. 2.8) у вигляді рисок або, якщо того вимагають умови, осі можуть закріплюватися дюбель-цвяхами.

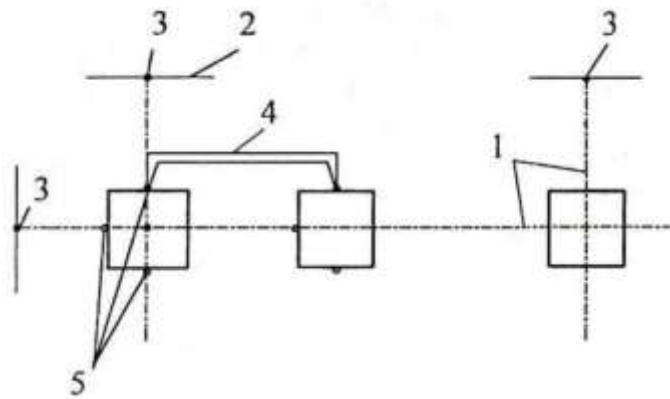


Рис.3.6. Розмітка положення фундаментів стаканного типу:

1 – головні осі; 2 – обноска; 3 – цвяхи, що показують положення осей; 4 – шаблон; 5 – кілочки, штирі.

При установці колон їх орієнтують по осях, а також стежать за нахилом у вертикальній площині в двох взаємно перпендикулярних площинах. На бічних гранях колон повинні бути нанесені установчі ризики за [27] в бетоні або в закладних виробках у вигляді канавок або незмивною фарбою, що визначають розбивочні осі будівлі, а на консолях – установчі ризики, що визначають осі підкранових балок.

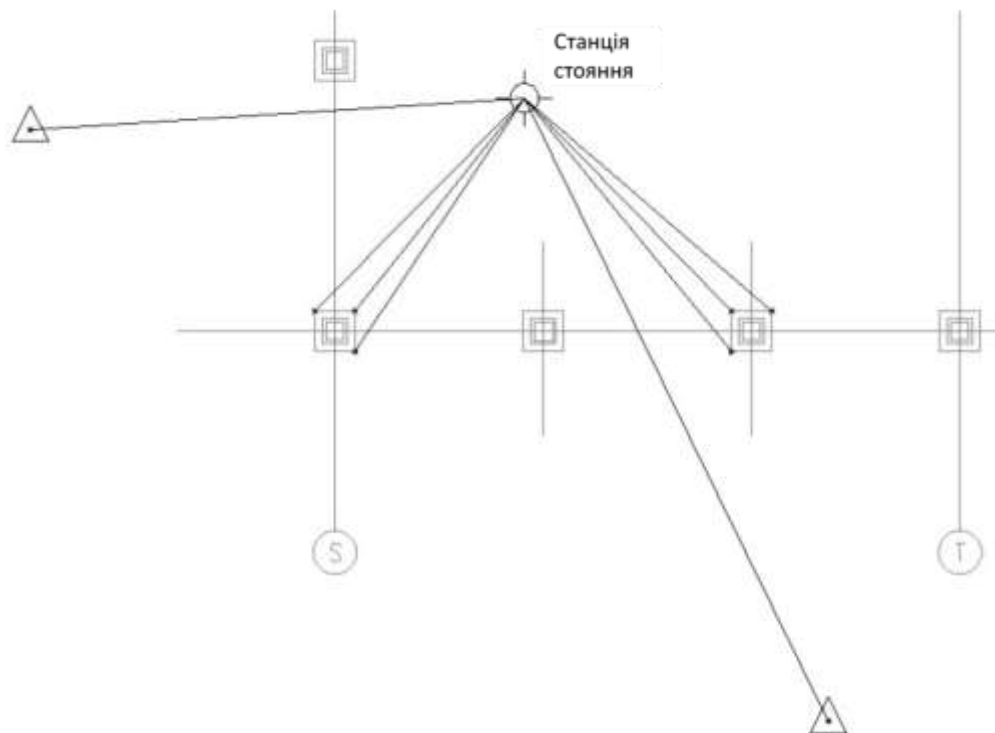


Рис. 3.7. Розмітка положення фундаментів стаканного типу за допомогою електронного тахеометра

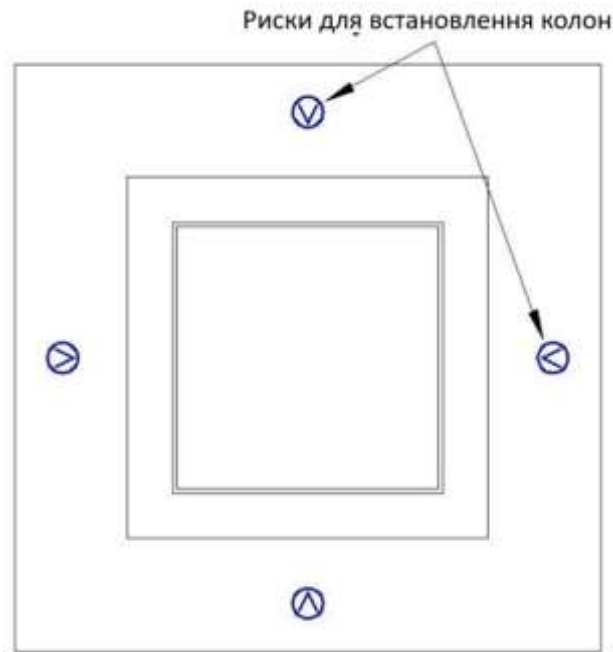


Рис. 3.8. Фундамент (вид зверху) із закріпленими осями колон

Для полегшення зміщення колони при орієнтуванні на дно склянки встановлюють так зване «яблучко» – напівсферичний металевий виріб, замонолічений бетоном. В основі колони є отвір для змикання з «яблучком». Місце розташування центру «яблучка» знаходять за допомогою натягування шнура по рисках і опутивши висок на дно фундаменту. Після установки колони проводять виконавчу зйомку до і після замонолічування її в фундаменті.

Металоконструкції (фаферки, ферми) встановлюються на колони після проведення виконавчих зйомок планового і висотного положення колон, а також після винесення на них відміток. Монтажна організація за фактичними відмітками верху колон підбирає підкладки для кріплення металевих ферм.

Граничні відхилення від суміщення орієнтирів при установці збірних елементів, а також відхилення закінчених монтажних конструкцій від проектного положення не повинні перевищувати величин, наведених в [28] (таблиця 3.3)

Граничні відхилення від суміщення орієнтирів при установці збірних елементів

Параметр	Граничні відхилення, мм	Контроль (метод, обсяг, вид реєстрації)
Відхилення від суміщення установчих орієнтирів фундаментних блоків і стаканів фундаментів з ризиками розбивочних осей	12	Вимірювальний, кожен елемент, геодезична виконавча схема
Відхилення від суміщення орієнтирів (рисок геометричних осей, граней) у нижньому перерізі встановлених елементів з установчими орієнтирами (рисками геометричних осей або гранями нижчезакладених елементів, рисками розбивочних осей):		
колон, панелей і великих блоків несучих стін, об'ємних блоків	8	
панелей навісних стін	10	
ригелів, прогонів, балок, підкранових балок, підкроквяних ферм, кроквяних балок і ферм	8	
Відхилення осей колон одноповерхових будівель у верхньому перерізі від вертикалі при довжині колон, м:		Вимірювальний, кожен елемент, журнал робіт
до 4	20	
від 4 до 8	25	
від 8 до 16	30	
від 16 до 25	40	
Відхилення від суміщення орієнтирів (рисок геометричних осей) у верхньому перетині колон багатоповерхових будівель з рисками розбивочних осей при довжині колон, м:		
до 4	12	
від 4 до 8	15	
від 8 до 16	20	
від 16 до 25	25	

3.7. ВИСОТНА РОЗБИВОЧНА ОСНОВА

Висотна розбивочна основа поєднана з плановою розбивочною мережею. Проектні відмітки виносять у натуру від найближчих реперів. Для полегшення виконання геодезичних робіт висотна основа згущується винесенням відміток на

колони і цоколі прилеглих будівель, а також на закріпленні на місцевості точки. Згідно з [23] щільність висотної основи повинна забезпечувати винесення відмітки при одноразовій постановці приладу.

Попередньо висоти від рівня чистої підлоги (або іншого умовного рівня) перераховують в систему, в якій задані висоти реперів і проведено зйомку рельєфу майданчика.

Висоти виносять в натуру за допомогою горизонту нівеліра. Поставивши інструмент посередині між репером R_p і виносною точкою M , визначають горизонт приладу $H_{гп}$

$$H_{гп} = H_{Rp} + a, \quad (2.16)$$

де a – відлік по рейці, встановленій на репері. Для контролю можна визначити горизонт інструменту з іншого репера. Щоб встановити точку M на проектну відмітку $H_{пр}$ слід обчислити відлік b по рейці

$$b = H_{гп} - H_{пр}, \quad (2.17)$$

І встановити рейку таким чином, щоб відлік по ній становив величину, рівну b .

Найбільш жорстким допуском на основному монтажному горизонті, як правило, є допуск на відхилення опорних поверхонь колони по висоті. Дотримання цього допуску щодо найближчого репера або щодо опорних поверхонь суміжних колон слід вважати достатнім [29].

Відповідно до [23] граничне відхилення різниці відміток верху колон або їх опорних майданчиків (кронштейнів, консолей) одноповерхових будівель і споруд при довжині колон від 8 до 16 м має становити не більше 20 мм, а граничне відхилення відміток опорної поверхні дна стаканів фундаментів від проектних до влаштування вирівнюючого шару по дну стакана – не більше -20 мм. У [30] вказується, що граничне відхилення по довжині колони повинно становити не більше 20 мм.

Приклад складання рівняння похибок за розмірними ланцюжкам наведено на рис. 3.9.

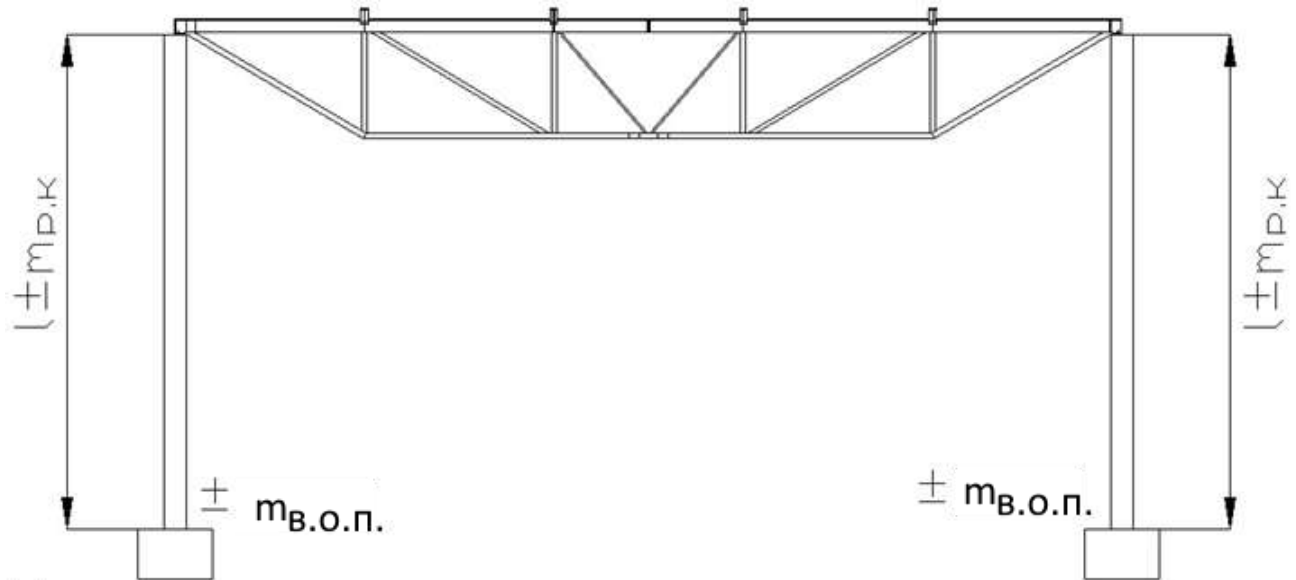


Рис. 3.9. Розмірна схема колон

Згідно зі схемою (рис. 3.9) для розмірного ланцюга при замиканні конструкцій по верху колон можна написати:

$$m_{г.в.}^2 = 2m_{г.в.}^2 + 2m_{в.о.п.}^2 + 2m_{р.к.}^2 \quad (3.18)$$

Де прийняті наступні позначення:

$m_{в.к.}$ - середня квадратична похибка різниці відміток верху суміжних колон;

$m_{г.в.}$ - середня квадратична похибка геодезичної відмітки відносно вихідного репера;

$m_{в.о.п.}$ - середня квадратична похибка відхилення опорних поверхонь фундаментів від проектної відмітки;

$m_{р.к.}$ - середня квадратична похибка розміру колон по довжині.

Отримавши з виразу (3.18) формулу для $m_{г.в.}$ визначають точність вихідної висотної основи, методику вимірювань і клас приладу:

$$m_{г.в.} = \pm \sqrt{\frac{m_{в.к.}^2}{2} - m_{в.о.п.}^2 - m_{р.к.}^2} \quad (3.19)$$

Враховуючи значення аргументів, що входять до формули (3.19), зазначені вище, отримаємо:

$$m_{г.в.} = \sqrt{225} = 15 \text{ мм} \quad (3.20)$$

Отже, середня квадратична похибка геодезичної відмітки щодо вихідного репера повинна дорівнювати не більше 15 мм.

Середня квадратична похибка винесення проектної відмітки в натуру при одноразовій постановці приладу може бути знайдена за формулою:

$$m_n^2 = m_0^2 + m_a^2 + m_b^2 + m_i^2 + m_\phi^2 \quad (3.21)$$

де m_0 - середня квадратична похибка відмітки вихідного пункту висотного обґрунтування;

m_a - середня квадратична похибка відліку по рейці, встановленої на вихідному пункті;

m_b - середня квадратична похибка встановлення рейки на проектний відлік;

m_i - середня квадратична похибка перевищення, обумовлена непаралельністю візирної осі труби нівеліра і осі його циліндричного рівня;

m_ϕ - середня квадратична похибка фіксації проектної відмітки.

При ретельній організації робіт з винесення відмітки, похибку її винесення вдається звести до 1-2 мм.

3.8. ТОЧНІСТЬ ПОБУДОВИ МІЖОСЬОВИХ РОЗМІРІВ

Побудова осей інженерної споруди на місцевості проводиться з точністю, що забезпечує збиральність будівельних конструкцій. При визначенні точності геодезичних розбивочних робіт вихідними даними служать допуски на виготовлення і монтаж будівельних конструкцій, що регламентуються відповідними нормативними документами [31].

При жорсткому з'єднанні ферм з колонами в якості замикаючих ланок розмірних ланцюгів приймаються:

- розмір зазору між геометричною віссю верху колони і торцем ферми;
- розмір майданчика опори ферми;
- проектна відстань між осями рейок.

У разі, якщо відомі не всі допуски на виконання будівельно-монтажних робіт, слід використовувати принцип незначного впливу похибок геодезичних побудов на точність зведення будівельних конструкцій, який виражається формулою:

$$m_{\text{геод}} = 0,40m_{\text{буд}} \quad (3.22)$$

$m_{\text{геод}}$ - середня квадратична похибка розбивки міжосьового розміру;

$m_{\text{буд}}$ - сумарна середня квадратична похибка положення будівельних конструкцій.

В якості типової схеми каркаса одноповерхової будівлі при розрахунках точності розбивки міжосьових розмірів [23] рекомендується плоска розмірна ланцюг, що складається з трьох елементів – двох вертикальних колон і ферми між ними (див. рис. 3.9). За замикаючу ланку в цьому випадку приймається зазор між геометричною віссю колони на її оголовку і торцем перекриття.

Рівняння похибок розмірного ланцюга такого виду матиме вигляд:

$$2m_4^2 = m_1^2 + 2m_2^2 + 2m_3^2 + 2m_5^2 + 2m_6^2 \quad (3.23)$$

де m_1 - середня квадратична похибка геодезичної побудови міжосьового розміру;

m_2 - середня квадратична похибка суміщення осі колони в нижньому перерізі з розбивочною віссю;

m_3 – середня квадратична похибка положення колони у вертикальній площині;

m_4 - середня квадратична похибка положення торця перекриття відносно осі колони на її оголовку;

m_5 - середня квадратична похибка довжини перекриття;

m_6 - середня квадратична похибка внаслідок деформаційних впливів.

Точність побудови міжосьових розмірів одноповерхової багатопролітної будівлі, розрахована за формулою (3.23), наведена у таблиці 3.4.

Точність побудови міжосьових розмірів одноповерхової багатопролітної будівлі

Висота колон, м	Ширина прольотів, м		
	24,0	30,0	36,0
Металеві конструкції			
9,6	1:5000	1:6000	1:7000
10,8	1:5000	1:6000	1:7000
12,6	1:5000	1:6000	1:7000
14,4	1:5000	1:6000	1:7000
16,2	1:5000	1:7000	1:8000
Залізобетонні конструкції			
9,6	1:4000	1:5000	1:5000
10,8	1:4000	1:5000	1:6000
12,6	1:5000	1:6000	1:7000
14,4	1:6000	1:7000	1:9000
16,2	1:7000	1:12000	1:1500

Оцінити фактичну точність міжосьового розміру можна за допомогою програми Credo. Для цього на точки, що закріплюють положення осей, проводять вимірювання (рис. 3.10), як на знімальні точки. Після чого отриману зйомку вирівнюють і отримують величини m_x , m_y , m_s

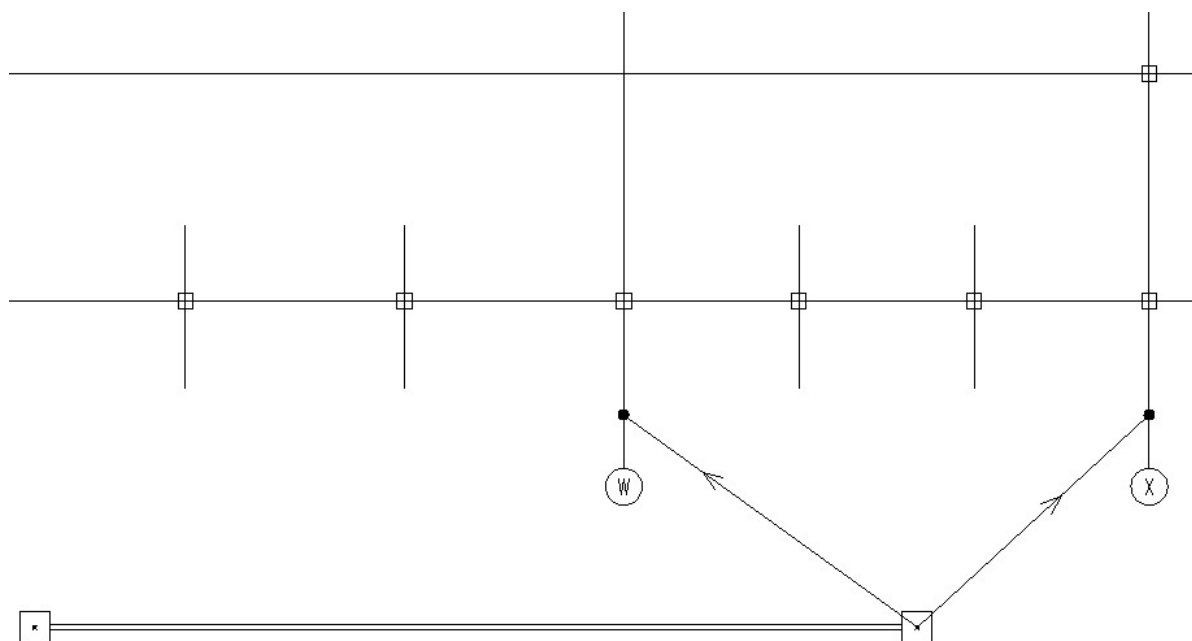


Рис. 3.10. Схема вимірювань

Оскільки в основному на об'єкті використовуються залізобетонні колони висотою не більше 14 метрів, то з таблиці 2.4 можна прийняти:

$$\frac{m_s}{S} = \frac{1}{6000} \quad (2.24)$$

Враховуючи, що в середньому проліт дорівнює $S=25$ м, отримаємо, що $m_s = 4.2 \text{ мм}$

Список використаних джерел

1. Геодезичний Супровід Будівельного Процесу | Альфа-Зем [Electronic resource]. URL: <https://alfazem.com.ua/uk/geodeziya/soprovozhdenie-stroitel'nogo-proczessa> (accessed: 04.11.2025).
2. Що Таке GNSS і Як Це Працює? – SystemNET – “Систем Солюшнс” [Electronic resource]. URL: <https://systemnet.com.ua/shho-take-gnss-i-yak-ce-pracyuye/> (accessed: 04.11.2025).
3. RTK в деталях. *ArduSimple*. URL: <https://uk.ardusimple.com/rtk-explained/>.
4. Burak K., Lysko B., Yarosh K. Особливості Координатного Забезпечення Розпланувальних Робіт На Будівництві GNSS Методом. *Scientific Bulletin of UNFU*. 2019. Vol. 29. P. 151–155. DOI: 10.15421/40290730.
5. Лазерне Сканування [Electronic resource]. URL: <https://geomonitor.com.ua/services/geodeziya/lazernoe-skanirovanie> (accessed: 04.11.2025).
6. Хащевацька А. LiDAR та BIM: Модернізації інфраструктури. *portalgis*. 2025. URL: <https://portalgis.pro/lidar/lidar-ta-bim-modernizacziyi-infrastruktury/>.
7. Wu C., Yuan Y., Tang Y., Tian B. Application of Terrestrial Laser Scanning (TLS) in the Architecture, Engineering and Construction (AEC) Industry. *Sensors (Basel, Switzerland)*. 2021. Vol. 22, No. 1. P. 265. DOI: 10.3390/s22010265.
8. Ортофотоплани | Професійне створення ортофотопланів для геодезії, будівництва, сільського господарства | Solar-M. *Solar-M Інжиніринг*. URL: <https://drones.solar-m.com.ua/services/stvorenniya-ortofotoplaniv-dsm-dtm-dem/>.
9. Lee K., Lee W.H. Earthwork Volume Calculation, 3D Model Generation, and Comparative Evaluation Using Vertical and High-Oblique Images Acquired by Unmanned Aerial Vehicles. *Aerospace*. 2022. Vol. 9, No. 10. DOI: 10.3390/aerospace9100606.
10. Lee S., Han D., Song M. Calculation and Comparison of Earthwork Volume Using Unmanned Aerial Vehicle Photogrammetry and Traditional Surveying Method. *Sensors and Materials*. 2022. Vol. 34. P. 4737. DOI: 10.18494/SAM4192.

11. Hasegawa H., Sujaswara A.A., Kanemoto T., Tsubota K. Possibilities of Using UAV for Estimating Earthwork Volumes during Process of Repairing a Small-Scale Forest Road, Case Study from Kyoto Prefecture, Japan. *Forests*. 2023. Vol. 14, No. 4. DOI: 10.3390/f14040677.
12. Створення ортофотоплану. *MagneticOne Municipal Technologies*. URL: <https://magneticonemt.com/stvorennia-ortofotoplanu/>.
13. Сканер 3D - GTL-1200 - TOPCON - Для Измерений / Лазер [Electronic resource]. URL: <https://www.directindustry.com.ru/prod/topcon/product-22493-2322968.html> (accessed: 04.11.2025).
14. Scan to BIM | Benefits and How It Works | Autodesk [Electronic resource]. URL: <https://www.autodesk.com/industry/land-development/scan-to-bim> (accessed: 04.11.2025).
15. Refining the Scan-to-BIM Workflow for Further Automation and Visualization | Autodesk University [Electronic resource]. URL: <https://www.autodesk.com/autodesk-university/article/Refining-Scan-BIM-Workflow-Further-Automation-and-Visualization-2021> (accessed: 04.11.2025).
16. Ellis G. BIM Clash Detection: A Quick Guide. *Digital Builder*. 2023. URL: <https://www.autodesk.com/blogs/construction/bim-clash-detection/>.
17. Зуска А.В. Інженерна Геодезія. Дніпро: Національний гірничий університет, 2015.
18. Шульц Р.В. Анненков А.О. М.О.В.Х.А.М. Оброблення Результатів Інженерно-Геодезичних Спостережень За Осіданнями Методом Фільтрації За Калманом. *Інженерна геодезія: науково-технічний збірник*. 2013. No. 60. P. 57–76.
19. Мельник В., Мельник О. Варіант Оперативного Геодезичного Контролю За Експлуатаційним Станом Греблі ХАЕС. *ВМ Мельник, ОВ Мельник//Зб. Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва.-Львів,-2009.-вип.* P. 178–186.
20. Robotic Total Stations Measure Distances and Angles for a Variety of Projects [Electronic resource]. URL:

<https://www.topconpositioning.com/us/en/solutions/technology/infrastructure-products/robotic-total-stations> (accessed: 04.11.2025).

21. Yu F., Tong J., Peng Y., Chen L., Wang S. A Case Study on the Application of 3D Scanning Technology in Deformation Monitoring of Slope Stabilization Structure. *Buildings*. 2023. Vol. 13, No. 7. DOI: 10.3390/buildings13071589.

22. ДСТУ Б В.2.1-30:2014 ГРУНТИ. Методи Вимірювання Деформацій Основ Будинків і Споруд. Київ: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України. 53 р.

23. ДБН В.1.3-2:2010 ГЕОДЕЗИЧНІ РОБОТИ У БУДІВНИЦТВІ. Київ: Мінрегіонбуд України, 2010. 70 р.

24. ДСТУ-Н Б В.2.6-203:2015 Настанова з Виконання Робіт При Виготовленні Та Монтажі Будівельних Конструкцій. Київ: Мінрегіон України, 2016.

25. Мельник О.В. Комплексне Дослідження Деформаційних Процесів Ґрунтових Гребель Значної Протяжності. Київ: Київський національний університет будівництва та архітектури, 2013. 184 р.

26. Мельник О. ПРО ПРИЧИНИ ДЕФОРМАЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ РУНТОВО ГРЕБЛІ ХАЕС.

27. ДСТУ Б В.2.6-2:2009 Конструкції Будинків і Споруд. Вироби Бетонні і Залізобетонні. Загальні Технічні Умови. Київ: Мінрегіонбуд України, 2010. 71 р. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=25938.

28. ДСТУ 9263:2023 Настанова з Контролю Якості Монтажу Сталевих Конструкцій. Київ: Технічний комітет стандартизації «Будтехнології» (ТК 309), 2024.

29. Линник І.Е. Інженерна Підготовка Територій Населених Місць: Навчальний Посібник. 2003.

30. ДСТУ Б В.2.6-63:2008 Конструкції Будинків і Споруд. Колони Залізобетонні Для Одноповерхових Будівель Підприємств. Технічні Умови. Київ: Мінрегіонбуд України, 2009. 44 р.

31. Ратишняк П.І. Геодезичне Забезпечення Будівництва. Частина 1. Вінниця: Вінницький національний технічний університет, 2014.

Додатки

Значення середньоквадратичних похибок при побудові зовнішніх і внутрішніх розбивочних мереж будівлі (споруди)

Характеристика будівель, споруд, будівельних конструкцій	Середні квадратичні похибки побудови зовнішньої і внутрішньої геодезичних розмічувальних мереж будинку (споруди) й інших розмічувальних робіт, не більше				
	лінійні вимірювання	кутові вимірювання	Нівелювання на станції на вихідному та монтажному горизонтах, мм	передача позначок на монтажний горизонт відносно вихідного, мм	передача точок, осей по вертикалі, мм
1	2	3	4	5	6
Металеві конструкції з фрезерованими контактними поверхнями; збірні залізобетонні конструкції, які монтуються методом самофіксації у вузлах; будівлі та споруди висотою понад 100 м або із прогонами від 30 м до 36 м Клас наслідків (відповідальності) СС3	1 мм для L до 15 м, $\frac{L}{15000}$ для L понад 15 м	5"	1	$2 + 10 \times H$	$1 + 2 \times H$
Будинки вище ніж 15 поверхів; будівлі та споруди висотою від 73,5 м до 100 м або із прогонами від 18 до 30 м Клас наслідків (відповідальності) СС3	2 мм для L до 20 м, $\frac{L}{10000}$ для L понад 20 м	10"	2	$4 + 15 \times H$	$2 + 3 \times H$
Будинки до 15 поверхів; будівлі та споруди висотою до 73,5 м або із прогонами від 6 м до 18 м Клас наслідків (відповідальності) СС2	3 мм для L до 15 м, L $\frac{L}{5000}$ для L понад 15 м	15"	3	$6 + 20 \times H$	$3 + 5 \times H$
Будинки до 5 поверхів; будівлі та споруди висотою до 15 м Клас наслідків (відповідальності) СС1	4 мм для L до 20 м, 5000 для L понад 20 м	30"	5	$10 + 50 \times H$	$5 + 10 \times H$

Примітка 1. Величини середніх квадратичних похибок (колонки 2-4) призначаються залежно від наявності однієї з характеристик, що зазначені в колонці 1; при наявності двох і більше характерних величин середніх квадратичних похибок призначаються за тією характеристикою, якій відповідає вища точність.

Примітка 2. Точність геодезичних побудов при будівництві висотних, експериментальних, унікальних і складних об'єктів і монтажі фундаментів технологічного устаткування треба визначати розрахунками на основі спеціальних технічних умов і з урахуванням особливих вимог до допусків, що передбачаються проектом.

Примітка 3. Н – різниця позначок двох будь-яких монтажних горизонтів виражена в сотнях метрів

(100 м = 1)

Примітка 4. Клас наслідків (відповідальності) визначається в проектній документації відповідно до ДБН В.1.2-14, ДСТУ-Н Б В.1.2-16