

**БАКАЛАВРСЬКА
РОБОТА**

Група ГЗ-22-1

Олександра Домбровська

2026

Міністерство освіти і науки України
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
Інститут архітектури та будівництва «ІФНТУНГ-ДонНАБА»
Кафедра геодезії та землеустрою

Домбровська Олександра Олександрівна

(прізвище, ім'я, по батькові)

УДК 528.16
(індекс)

БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

Дослідження методів геодезичного забезпечення будівництва
«Регіонального центру реабілітаційного лікування та ментального
здоров'я»

(назва роботи)

193 Геодезія та землеустрій

(назва освітньої програми)

193 Геодезія та землеустрій

(шифр і назва спеціальності)

Робота містить результати власних досліджень, використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело:

Здобувач освітнього ступеня

О.О. Домбровська

(підпис, ініціали та прізвище здобувача)

Науковий керівник

Ковтун Віталій Миронович, старший викладач

(підпис, прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання керівника)

Допущено до захисту

Завідувач кафедри

геодезії та землеустрою

М.М. Приходько

(посада)

(підпис) (дата)

(ініціали та прізвище)

Івано-Франківськ – 2026

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
Інститут архітектури та будівництва «ІФНТУНГ-ДонНАБА»
Кафедра геодезії та землеустрою
Освітньо-кваліфікаційний рівень бакалавр
Спеціальність 193 Геодезія та землеустрій
Освітньо-професійна програма Геодезія та землеустрій

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ГКЗ
Приходько М. М.

«__»_____ 2026 року

ЗАВДАННЯ
НА БАКАЛАВРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТЦІ
Домбровській Олександрі Олександрівні

1.Тема роботи «Дослідження методів геодезичного забезпечення будівництва «Регіонального центру реабілітаційного лікування та ментального здоров'я»»

Керівник роботи ст.викладач Ковтун В.М.

Наказ ректора від «13» травня_____ 2026 року №358.

2. Термін подання студентом роботи –_____2026 року.

3. Вихідні дані до роботи:

Матеріали переддипломної практики:

1 Топографічний план масштабу 1:500 для «Регіонального центру реабілітаційного лікування та ментального здоров'я»»

2 Відомість координат Планово-висотної геодезичної снови РОБОЧА ДОКУМЕНТАЦІЯ Альбом 2. Споруда цивільного захисту з майданчиками для паркування

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки:

1. Характеристика об'єкту досліджень.

2.Інженерно-геодезичний супровід будівництва нового Регіонального центру реабілітаційного лікування та ментального здоров'я.

3. Особливості виконання розпланувальних робіт.

4.Вибір оптимальної системи координат для забезпечення необхідної точності будівництва

5. Перелік графічного матеріалу:

1 Організаційно правові передумови проведення інженерно геодезичних робіт .

2. РОБОЧА ДОКУМЕНТАЦІЯ Альбом 1. Реабілітаційний центр ТОМ 1.4 Конструкції бетонні

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв

7. Дата видачі завдання – «01» березня 2026 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів бакалаврської роботи	Термін виконання	Примітка
1	Отримання завдання на виконання бакалаврської роботи. Опрацювання рекомендованої літератури.	01.03.26 17.03.26	
2	Складання попереднього плану та змісту бакалаврської роботи.	18.03.26 26.03.26	
3	Опис об'єкту досліджень.	28.03.26 16.04.26	
4	Обґрунтування методології створення опорно-геодезичної мережі об'єкта	17.04.26 01.05.26	
5	Аналіз точності та вибір параметрів розпланувальних робіт	02.05.26 19.05.26	
6	Розробка алгоритму геодезичного супроводу будівництва центру та винесення осей в натуру	21.05.26 30.05.26	
7	Оформлення бакалаврської роботи та складання висновків.	31.05.26 07.06.26	

Студент

(підпис)

Домбровська О.О.

(розшифровка підпису)

Керівник

(підпис)

Ковтун В.М.

(розшифровка підпису)

АНОТАЦІЯ

Дану роботу присвячено розробці та науковому обґрунтуванню комплексної методики інженерно-геодезичного супроводу будівництва нового «Регіонального центру реабілітаційного лікування та ментального здоров'я». Дослідження виконано з урахуванням ускладнених умов реального будівельного майданчика на території Івано-Франківської обласної клінічної лікарні, що відзначається високою щільністю підземних інженерних комунікацій.

У роботі виконано апріорний розрахунок точності геодезичної основи та визначено технологічні допуски для будівельно-монтажних робіт. Запропоновано оптимальну технологічну схему, яка поєднує використання GNSS-RTK технологій для створення опорних базисів та виконання детальних розпланувальних робіт електронним тахеометром відносно базової лінії.

На основі аналізу проєкцій з'ясовано, що застосування державної системи координат УСК-2000 спричиняє значні лінійні спотворення через поправки за перехід на площину. Для гарантування міліметрової точності розпланування осей обґрунтовано необхідність переходу до місцевої топоцентричної системи координат. Доведено, що інтеграція сучасного інструментарію (супутникових систем, електронних тахеометрів та 3D-сканерів) забезпечує надійний геодезичний контроль та дотримання вимог чинних ДБН.

Ключові слова: інженерно-геодезичний супровід; розпланування осей; точність будівництва; лінійні спотворення. електронний тахеометр; система координат УСК-2000 .

ABSTRACTS

This work is devoted to the development and scientific substantiation of a comprehensive methodology for engineering-geodetic support during the construction of the new "Regional Center for Rehabilitation Treatment and Mental Health". The study was conducted taking into account the complicated conditions of a real construction site on the premises of the Ivano-Frankivsk Regional Clinical Hospital, which is characterized by a high density of underground utilities.

The paper presents an a priori accuracy calculation of the geodetic control network and determines the technological tolerances for construction and installation works. An optimal technological scheme is proposed, which combines the use of GNSS-RTK technologies for establishing reference bases and performing detailed setting-out works with an electronic total station relative to the base line.

Based on the analysis of projections, it was established that the application of the USK-2000 state coordinate system causes significant linear distortions due to corrections for the transition to the plane. To guarantee millimeter accuracy in axis setting-out, the necessity of transitioning to a local topocentric coordinate system is substantiated. It is proven that the integration of modern instrumentation (satellite systems, electronic total stations, and 3D scanners) ensures reliable geodetic control and compliance with the requirements of the current State Building Codes (DBN).

Keywords: engineering-geodetic support; axis setting-out; construction accuracy; linear distortions; electronic total station; USK-2000 coordinate system

ЗМІСТ

ВСТУП	8
РОЗДІЛ 1	10
ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТУ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	10
РОЗДІЛ 2	15
ІНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧНИЙ СУПРОВІД БУДІВНИЦТВА НОВОГО РЕГІОНАЛЬНОГО ЦЕНТРУ РЕАБІЛІТАЦІЙНОГО ЛІКУВАННЯ ТА МЕНТАЛЬНОГО ЗДОРОВ'Я	15
2.1 ОБГРУНТУВАННЯ ТОЧНОСТІ ОПОРНО-ГЕОДЕЗИЧНОЇ МЕРЕЖІ	18
2.2 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ РОЗМІЧУВАННЯ ОСНОВНИХ ОСЕЙ БУДІВЕЛЬ ТА СПОРУД	21
2.3 РОЗРАХУНОК ТОЧНОСТІ ВИКОНАННЯ ІНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧНИХ РОБІТ НА ОБ'ЄКТІ НОВОГО РЕГІОНАЛЬНОГО ЦЕНТРУ РЕАБІЛІТАЦІЙНОГО ЛІКУВАННЯ ТА МЕНТАЛЬНОГО ЗДОРОВ'Я.....	32
РОЗДІЛ 3	38
ОСОБЛИВОСТІ ВИКОНАННЯ РОЗПЛАНУВАЛЬНИХ РОБІТ	38
3.1 ТЕХНОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ СТВОРЕННЯ ТОПОГРАФІЧНИХ ПЛАНІВ ...	38
3.2 ВИБІР ОПТИМАЛЬНОЇ МЕТОДИКИ ВИШУКУВАЛЬНИХ ТА РОЗПЛАНУВАЛЬНИХ РОБІТ НА БУДІВНИЦТВІ.....	40
РОЗДІЛ 4	45
ВИБІР ОПТИМАЛЬНОЇ СИСТЕМИ КООРДИНАТ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НЕОБХІДНОЇ ТОЧНОСТІ БУДІВНИЦТВА	45
4.1 ДЕРЖАВНА ГЕОДЕЗИЧНА СИСТЕМА КООРДИНАТ.....	45
4.2 ТОПОЦЕНТРИЧНА СИСТЕМА КООРДИНАТ.....	46
4.3 ПОШУК ПАРАМЕТРІВ ТРАНСФОРМУВАННЯ	47
ВИСНОВОК	56
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	58

ВСТУП

Будівництво сучасних цивільних та медичних об'єктів, таких як «Регіональний центр реабілітаційного лікування та ментального здоров'я», вимагає суворого дотримання геометричних параметрів на всіх етапах реалізації проєкту. Ефективність, надійність та довговічність зведення таких споруд безпосередньо залежать від якості їх інженерно-геодезичного супроводу.

Геодезичне забезпечення є базовою складовою будівельного процесу — від первинних вишукувань та створення точних топографічних планів до винесення проєкту в натуру й координатного забезпечення. З огляду на впровадження сучасного супутникового обладнання, роботизованих приладів та необхідність мінімізації лінійних спотворень через правильний вибір систем координат, дослідження та оптимізація методів геодезичного супроводу будівництва є надзвичайно актуальним практичним завданням.

Метою бакалаврської роботи є дослідження, обґрунтування та вибір оптимальних методів інженерно-геодезичного забезпечення будівництва нового «Регіонального центру реабілітаційного лікування та ментального здоров'я» для забезпечення нормативної точності робіт.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

1. Дати характеристику об'єкту дослідження та проаналізувати існуючі методи створення опорних геодезичних мереж.
2. Виконати обґрунтування та розрахунок точності опорно-геодезичної мережі та інженерно-геодезичних робіт на об'єкті.
3. Дослідити технологічне забезпечення для створення топографічних планів та визначити оптимальну методику вишукувальних і розпланувальних робіт.
4. Обґрунтувати вибір оптимальної системи координат (державної чи топоцентричної) та визначити параметри їх трансформування для мінімізації похибок будівництва.

Практичне значення одержаних результатів. Виконані у роботі розрахунки точності, запропоновані методики розпланувальних робіт та алгоритми трансформування координат можуть бути безпосередньо використані виробничими організаціями під час інженерно-геодезичного супроводу будівництва даного центру для підвищення точності та оптимізації термінів виконання робіт.

Бакалаврська робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел. Загальний обсяг роботи становить 59 сторінок.

РОЗДІЛ 1

ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТУ ДОСЛІДЖЕНЬ

Івано-Франківська обласна клінічна лікарня є головною багатoproфiльною установою охорони здоров'я в регіоні, що володіє найвищою акредитаційною категорією. Цей заклад виступає ключовим осередком для здійснення науково-практичної діяльності, точної діагностики, надання вузькоспеціалізованих медичних послуг та розвитку сучасного напрямку трансплантаційної медицини на Прикарпатті.

Історія медичної установи розпочалася у 1949 році, а внаслідок реформування 2019 року її було трансформовано у комунальне некомерційне підприємство. Наразі лікарня забезпечує високопрофесійне лікування за 36 напрямками, обслуговуючи потреби понад 1,3 мільйона жителів області.

Заклад розташований у місті Івано-Франківськ за адресою: вул. Федьковича, 91.



Рисунок 1.1 - Супутниковий знімок території обласної лікарні

Ключовим завданням медичної установи є надання населенню краю високоспеціалізованих лікувальних послуг у режимі цілодобовому.

Організація роботи закладу гарантує безперервний цикл медичного супроводу — починаючи від базових консультацій і планового перебування у стаціонарі й завершуючи екстреним втручанням у критичних для життя станах. Вагомою складовою функціонування лікарні є її статус головного науково-методичного центру, який виступає експертом з оцінки якості надання медичної допомоги та координує діяльність інших профільних установ Івано-Франківщини.

Саме тому на базі її існуючої недобудованої будівлі перинатального центру ведеться зведення Регіонального центру реабілітаційного лікування та ментального здоров'я.

Згідно Офіційного вебсайту Івано-Франківської обласної державної адміністрації: «Проект передбачає дві черги будівництва:

- Зведення Центру з можливістю одночасного лікування до 100 пацієнтів та амбулаторного обслуговування до 100 людей щодня; підземне укриття на 350 людей, яке відповідатиме всім вимогам цивільного захисту; дворівневий паркінг на 81 одиницю транспорту.

Готель сімейного типу на 71 місце – для тимчасового проживання родичів пацієнтів, які проходять реабілітацію.» [1].

Нижче представлені світлини з візуалізацією майбутнього багатопрофільного Регіонального центру реабілітаційного лікування та ментального здоров'я:



Рисунок 1.2 - Фрагмент візуалізації

Основні техніко-економічні показники:

Містобудівні умови та обмеження: М4701:7818-4601-0265-7293, видані департаментом містобудування, архітектури та культурної спадщини Івано-Франківської міської ради, наказ №23 від 23.02.2025.

Клас наслідків – СС3.

Площа ділянки: 7,0666 га.

Площа забудови: 3941,97 м².

Площа реабілітаційного центру: 7145,08 м².

Площа споруд приймального закладу з майданчиками для паркування: 4966,08 м².

Площа господарського блоку: 4220,35 м².

Територія закладу відзначається надзвичайно щільною мережею підземних та наземних інженерних комунікацій, що суттєво ускладнює виконання геодезичних робіт і вимагає розробки опорної геодезичної мережі підвищеної точності для потреб капітального будівництва. Система водопостачання та пожежогасіння, яку експлуатує КП «Івано-Франківськводокотехпром», має орієнтовну протяжність 1,5–2,0 км; вона складається з магістральних кілець діаметром 110, 150, 200 мм (із чавуну, сталі та поліетилену) та розводки до корпусів діаметром 50, 63, 90 мм. Мережа водовідведення побутової та дощової каналізації завдовжки 2,0–2,5 км характеризується великою кількістю оглядових колодязів і включає дворові лінії діаметром 150, 200 мм (із кераміки, азбестоцементу й пластику), а також головні збірні колектори діаметром 300, 400, 500 мм із залізобетону та пластику.

Трасування мереж теплопостачання та гарячого водопостачання від локальної котельні протяжністю 1,2–1,8 км є переважно підземним у залізобетонних лотках, де прокладено сталеві ізольовані труби діаметром від 76–89 мм на відгалуженнях до 133–219 мм на головних магістралях. Система газопостачання середнього та низького тиску (експлуатант — Івано-Франківська філія ТОВ «ГМУ») має довжину 300–500 м і виконана зі сталевих та поліетиленових труб діаметром 57, 76, 108 мм, що забезпечують підвід до котельні та харчоблоку. Електрозабезпечення об'єкта (АТ «Прикарпаттяобленерго») здійснюється через власні трансформаторні підстанції та підземні кабельні траси протяжністю понад 3,0–4,0 км, які об'єднують високовольтні лінії 10 кВ, живильні кабелі 0,4 кВ до корпусів, мережі вуличного освітлення та лінії резервних дизель-генераторів. Лінійні об'єкти зв'язку та диспетчеризації (АТ «Укртелеком» та приватні провайдери)

охоплюють близько 1,0 км підземної кабельної каналізації з оглядовими колодзями, де розміщено телефонні кабелі, волоконно-оптичні лінії інтернету, а також внутрішні системи медичної сигналізації та відеоспостереження.

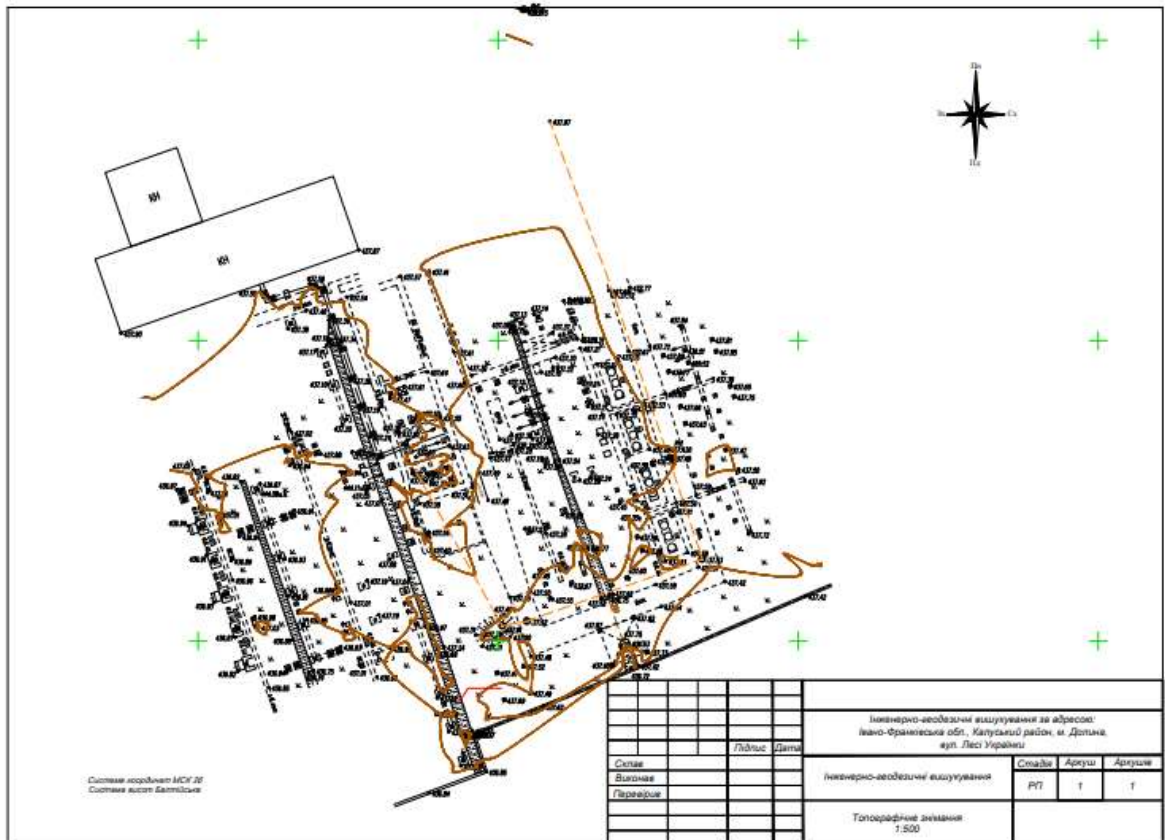


Рисунок 1.3 – Топографічне знімання інженерно-геодезичних вишукувань

Це перший на Прикарпатті багатопрофільний медичний центр з таким масштабом, що надаватиме комплексну допомогу і військовим, і цивільним: соціальну, фізичну та психологічну реабілітацію.

РОЗДІЛ 2

ІНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧНИЙ СУПРОВІД БУДІВНИЦТВА НОВОГО РЕГІОНАЛЬНОГО ЦЕНТРУ РЕАБІЛІТАЦІЙНОГО ЛІКУВАННЯ ТА МЕНТАЛЬНОГО ЗДОРОВ'Я

Висока насиченість території КНП «Обласна клінічна лікарня Івано-Франківської обласної ради» підземними та наземними інженерними мережами, а також специфіка функціонування медичного закладу в режимі 24/7 вимагають особливої точності на етапі збору вихідних даних. Отриманий в результаті інженерно-геодезичних вишукувань топографічний план масштабу 1:500 стає основою для подальшого проектування та реалізації масштабного інфраструктурного проекту на даній локації. Наступним відповідальним етапом інженерної діяльності на майданчику лікарні є безпосередній інженерно-геодезичний супровід будівництва нового регіонального центру реабілітаційного лікування та ментального здоров'я. Геодезичні роботи на етапі нового будівництва розпочинаються із геодезичної підготовки проекту — математичного зв'язку між існуючою ситуацією (виявленою під час вишукувань) та проектними рішеннями. Основним геометричним каркасом, який переносить проектну геометрію новобудови з паперу або цифрової моделі безпосередньо на будівельний майданчик лікарні, є система розпланувальних осей.

Віссю споруди називають лінію, яка зафіксована безпосередньо на місцевості, відображена в графічних документах або представлена просторовими координатами у цифровій моделі ландшафту. Вона слугує для визначення конфігурації, симетрії, а також загальних і розбивних габаритів будівлі.

Усі осі будівель та інженерних об'єктів поділяють на три основні типи:

- Головні осі — це лінії симетрії об'єкта або ж поздовжні осі споруд лінійного типу.

- Основні осі — лінії, які окреслюють контури, форму та загальні планові розміри споруди.
- Детальні осі — всі решта ліній, необхідні для точного позиціонування конкретних конструктивних елементів у плані.

За своїм напрямком вони також поділяються на поздовжні та поперечні (як показано на рис. 2.1). Для маркування поздовжніх осей традиційно використовують літери української абетки, тоді як поперечні позначають цифрами. Наприклад, на кресленні (рис. 5.1) поздовжній ряд осей представлений як А-А, Б-Б, В-В, Г-Г, Д-Д, а поперечний — як 1-1, 2-2, 3-3, 4-4, 5-5.

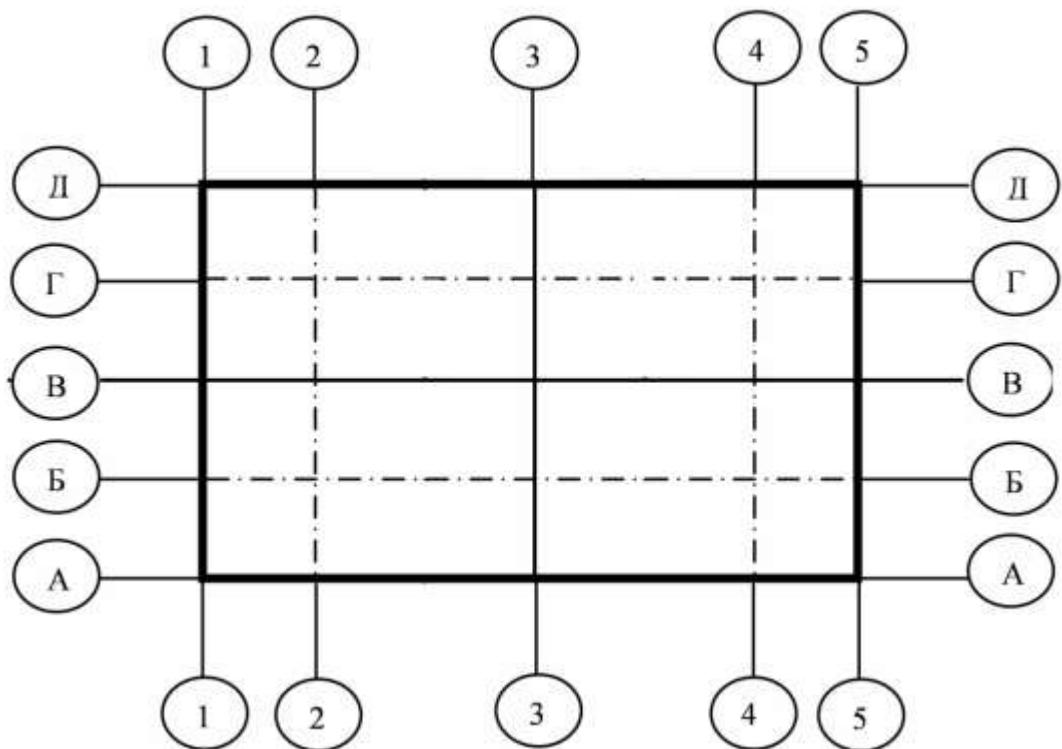


Рисунок 2.1 – Осі споруди: 3-3, В-В – головні осі, 1-1, 5-5, А-А, Д-Д – основні осі, 2-2, 4-4, Б-Б, Г-Г – детальні осі.

Для винесення головних осей у натуру використовують таку вихідну документацію:

- Генеральний план території будівництва;

- Робочі та розбивні креслення, на яких вказані координати будівельної сітки, а також точок перетину поздовжніх і поперечних ліній.

Важливо, що процес розбивки контролюється за допомогою лінійних розмірів самого об'єкта. Взаємне розташування основних і головних осей має бути встановлене з вищою точністю, ніж похибка геодезичних пунктів розбивочної бази. Саме тому від вихідних геодезичних пунктів на майданчик спочатку виносять лише одну базову (основну) вісь, а вже від неї згодом проєктують і розбивають усі інші осі будівлі.

У межах наявної міської чи селищної забудови прив'язку осей споруд здійснюють відносно червоних ліній (див. рис. 2.2). Під червоною лінією розуміють межу, що проходить уздовж зовнішнього боку фасадів будівель, які обернені до вулиці чи проїзної частини.

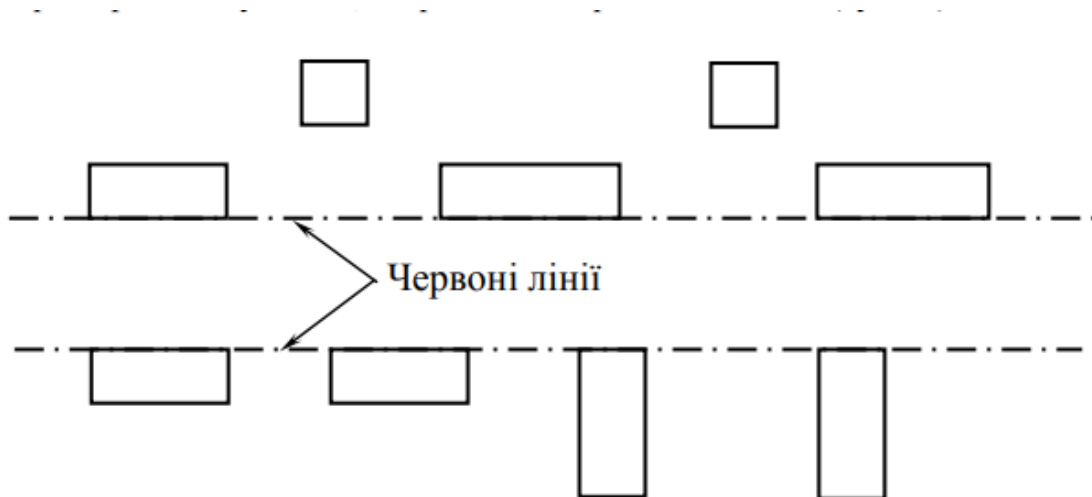


Рисунок 2.2 – Схема розміщення червоних ліній

Аналіз зібраних відомостей про підземні та наземні мережі лікарняного мікрорайону показує, що будівництво нового корпусу відбуватиметься у надзвичайно складних і стиснутих умовах. Матеріали топографо-геодезичних вишукувань, доповнені точними трасуваннями та шурфуванням інженерних комунікацій, трансформуються у єдину цифрову модель місцевості. Цей простір є фундаментальною основою, на якій розробляється генеральний

план та виконується подальша детальна прив'язка проектних рішень майбутньої медичної установи.

Наступним етапом, який матеріалізує проектні рішення на будівельному майданчику лікарні, є інженерно-геодезичний супровід будівництва. Перехід від камерального проектування до безпосередніх монтажних робіт вимагає створення надійної геодезичної розпланувальної основи та закріплення на місцевості геометричної основи будівлі. Головним елементом такої системи, що забезпечує чітке просторове положення та дотримання проектних габаритів об'єкта, виступає мережа його осей.

2.1 Обґрунтування точності опорно-геодезичної мережі

Геодезичне забезпечення є цілісною системою технологічних, організаційних, технічних та інших процедур. Їхня головна мета — гарантувати, що фактичні геометричні й просторові характеристики споруджуваних об'єктів чітко відповідають вимогам затвердженого проекту та чинних нормативних документів.

Відповідно до положень ДБН В.1.3-2:2010, під опорною геодезичною мережею розуміють мережу конкретного класу точності (зокрема, державну, спеціальну інженерно-геодезичну або мережу згущення). Вона виступає вихідною базою, на основі якої надалі розгортають розбивочну геодезичну мережу безпосередньо для території будівельного майданчика.

Згущення мереж для практичних потреб: Щоб ефективно виконувати топографічне знімання, проектувати майбутню забудову у межах населених пунктів чи промислових регіонів, Державну геодезичну мережу (ДГМ) ущільнюють. Для цього створюють мережі полігонометрії 4 класу, а також 1 і 2 розрядів. Конкретна структура цих мереж та показники їхньої точності детально представлені у табл. 2.1 [9].

Таблиця 2.1 - Характеристика полігонометричних ходів

Характеристика	4 клас	1 розряд	2 розряд
Гранична довжина ходу, км:			
Окремого	14	7	4
Між вихідним і вузловим пунктами	9	5	3
Між вузловими пунктами	7	4	2
Граничний периметр полігона, км	40	20	12
Довжини сторін ходу, км:			
Найбільша	3	0,80	0,50
Найменша	0,25	0,12	0,08
середня	0,50	0,30	0,20
Кількість сторін у ході, не більше	15	15	15
Скп вимірюного кута (за нев'язками у ходах і в полігонах), кутові секунди, не більше	3	5	10
Допустима кутова нев'язка ходу або полігона, с (n -кількість кутів у ході)	$5\sqrt{n}$	$10\sqrt{n}$	$20\sqrt{n}$
Скп вимірюної довжини сторони, мм:			
До 500 м	10	10	10
Від 500 до 1000 м	20	20	-
Понад 1000 м	1:40 000	-	-
Відносна похибка ходу, не більше	1:25 000	1:10 000	1:5 000

Під час проведення інженерно-геодезичних вишукувань та зведення об'єктів у межах населених пунктів або промислових районів концентрація пунктів геодезичної основи за потреби збільшується до восьми одиниць на один квадратний кілометр. Впровадження у виробництво сучасних електронних тахеометрів сприяло значному розширенню практичного використання полігонометрії для створення геодезичних мереж на закритих локаціях, таких як міста, селища, промислові й сільськогосподарські об'єкти, будівельні майданчики чи тунельні переходи, а також теодолітних ходів як базового методу розгортання знімального обґрунтування. Водночас застосування сучасних обчислювальних засобів і спеціалізованого програмного забезпечення для математичного урівноваження та оцінки точності мереж дає змогу раціонально проектувати комплекс польових робіт. Це відіграє важливу роль у процесі геодезичного супроводу будівництва та

подальшого моніторингу інженерних споруд, особливо під час виконання робіт методом інженерної полігонометрії.

Планово-висотні геодезичні мережі інженерного призначення закладають для перенесення на місцевість осей споруд та елементів обладнання під час будівельно-монтажних робіт, а також для подальшого спостереження за деформаційними процесами в період експлуатації. Точність їхнього проектування обумовлена технологічними допусками на взаємне розміщення конструкцій, їхньою щільністю та геометрією розташування. Головними критеріями при цьому є відповідність похибок між суміжними пунктами точності монтажу вузлів, достатня густота мережі для проведення поточних розбивок і контролю деформацій, а також забезпечення збереженості центрів із можливістю вертикального проектування на вищі монтажні горизонти. При цьому просторові помилки взаємного положення сусідніх пунктів мають бути щонайменше вдвічі або втричі меншими за допуски на встановлення самих будівельних елементів.

Залежно від конфігурації об'єкта, умов видимості та наявних приладів, геодезичну основу поділяють на зовнішню, яку створюють навколо майданчика для розбивки осей, та внутрішню, що розгортається безпосередньо на вихідному ярусі споруди для контролю монтажу. Для їхнього розвитку найчастіше застосовують методи полігонометрії, трилатерації та тріангуляції, орієнтуючи сторони паралельно будівельним осям. На великих промислових комплексах зовнішня мережа зазвичай має вигляд прямокутної будівельної сітки з довжиною сторін від 100 до 200 метрів, які переважно є кратними 10–20 метрам. Внутрішні мережі повторюють обриси споруди, формуючи монтажну сітку із довжиною ліній від 20 до 100 метрів, а у деяких випадках інтервали між створними пунктами становлять від 10 до 30 метрів. Інструментальне вимірювання кутів у таких мережах виконують електронними тахеометрами або теодолітами з точністю дві або п'ять секунд. Лінійні вимірювання здійснюють світловідалемірами, забезпечуючи похибку в межах 5–10 міліметрів для будівельної сітки та не більше 1–2 міліметрів для монтажної основи. Під час зведення прецизійних об'єктів, таких як атомні електростанції, прискорювачі чи

турбоагрегати, вимоги до взаємного розташування пунктів жорсткішають до 0,2–1 міліметра. Це зумовлює необхідність застосування спеціальних знаків із примусовим центруванням приладів, використання високоточних кутомірних інструментів, а також вимірювання відстаней за допомогою лазерних інтерферометрів або підвісних інварних дротів.

2.2 Аналіз існуючих методів розмічування основних осей будівель та споруд

Розмічування (винесення в натуру) основних осей є критично важливим етапом геодезичного супроводу, який визначає планове та висотне положення майбутнього центру реабілітації на території лікарні. Вибір конкретного методу залежить від типу створеної розпланувальної основи, щільності забудови, рельєфу та наявного приладового парку.

Нижче наведено аналіз основних класичних та сучасних методів, які застосовуються в інженерній геодезії

Метод прямокутних координат (ординат)

Метод полягає у визначенні точок перетину основних осей від найближчих пунктів будівельної сітки через відкладання проектних координат X і Y вздовж її ліній. При цьому для винесення точки на місцевості вздовж сторони розбивочної мережі $P1.1$ – $P2.1$ відміряють необхідну відстань.

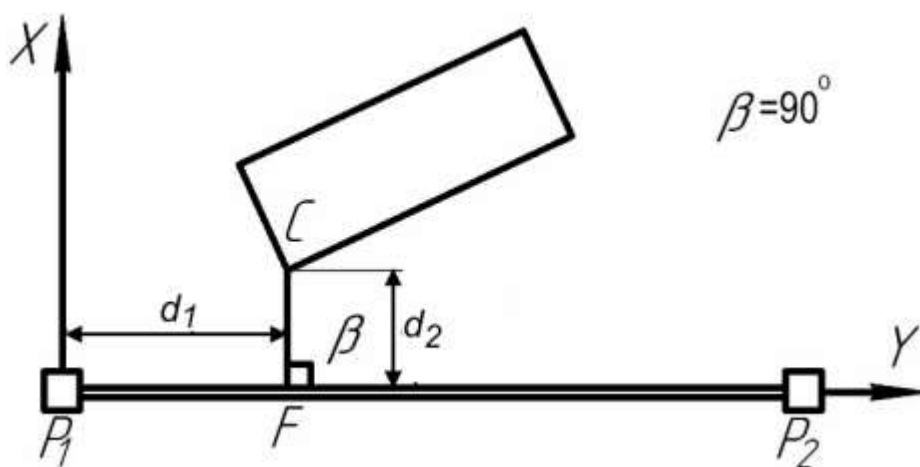


Рисунок 2.3 – Метод прямокутних координат (ординат)

З точки F роблять теодолітом перпендикуляр і в цьому напрямі відкладають відстань d2. Координата точки C, це відстані d1 і d2 визначають за формулами:

$$d_1 = (x_c - x_{p1}) \cos \alpha_0 + (y_c - y_{p1}) \sin \alpha_0 \quad (2.1)$$

$$d_2 = (y_c - y_{p1}) \cos \alpha_0 + (x_c - x_{p1}) \sin \alpha_0 \quad (2.2)$$

де x_c, x_{p1}, y_c, y_{p1} – координати пункту розмічувальної мережі і проектної точки;

α_0 – дирекційний кут лінії P1P2.

Переваги: Висока швидкість обчислень; мінімальна ймовірність помилок при винесенні; зручність контролю лінійними вимірюваннями.

Недоліки: Метод жорстко прив'язаний до наявності ортогональної будівельної сітки, розгортання якої на території діючої лікарні часто ускладнене існуючими корпусами та зеленими насадженнями.

Метод полярних координат

Суть методу: щоб винести точки основної осі електронний тахеометр розміщують на пункті геодезичної мережі із заданими координатами, після чого виконують орієнтування приладу на сусідній вихідний пункт. Спираючись на проектні координати шуканих точок, розраховують значення полярного кута та горизонтального прокладання. Отримані параметри відкладають безпосередньо на місцевості за допомогою тахеометра й відбивача.

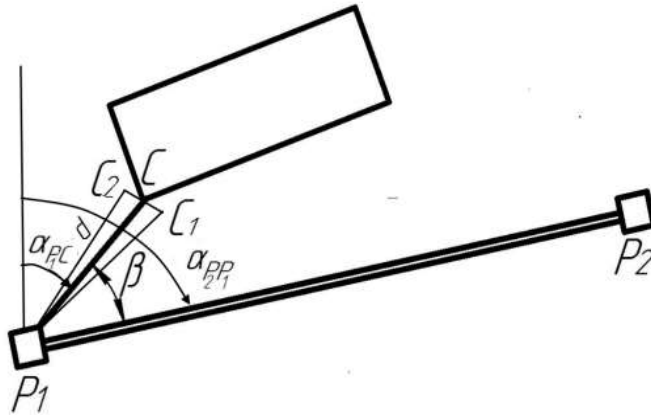


Рисунок 2.4 – Метод полярних координат

Значення кута β і довжину радіус-вектора d отримують розв'язанням оберненої геодезичної задачі (рис. 2.4) по координатах пункту геодезичної розмічувальної сітки P_1 і проектної точки споруди C за формулами:

$$\tan \alpha_{P_1C} = \frac{Y_C - Y_{P_1}}{X_C - X_{P_1}} \quad (2.4)$$

$$d = \frac{Y_C - Y_{P_1}}{\sin \alpha_{P_1C}} = \frac{X_C - X_{P_1}}{\cos \alpha_{P_1C}} \quad (2.5)$$

$$\beta = \alpha_{P_1P_2} - \alpha_{P_1C} \quad (2.6)$$

Переваги: Висока гнучкість; можливість винесення точок з однієї станції без необхідності прямої видимості між усіма кутами будівлі; висока точність завдяки автоматизації вимірювань електронними тахеометрами.

Недоліки: Потребує прямої видимості від приладу до точки, що виноситься. В умовах щільної забудови території обласної лікарні це може вимагати створення додаткових робочих точок (точок ходу).

Метод кутових засічок (пряма кутова засічка)

Суть способу у тому, що положення точки C на місцевості дізнаються відкладанням кутів β_1 і β_2 від відомого базису (рис. 2.5). Значення кутів β_1 і β_2 визначають з оберненої геодезичної задачі як різниці кутів дирекцій.

$$\beta_1 = \alpha_{P_1P_2} - \alpha_{P_1C} \quad (2.7)$$

$$\beta_2 = \alpha_{P_2P_1} - \alpha_{P_2C} \quad (2.8)$$

де $\alpha_{P_1P_2}$, $\alpha_{P_2P_1}$ – прямий та зворотний дирекційні кути базисної сторони;

α_{P_1C} , α_{P_2C} – дирекційні кути сторін, що визначені шляхом розв’язування оберненої геодезичної задачі за відомими координатами пунктів P_1 і P_2 та проектними координатами точки C .

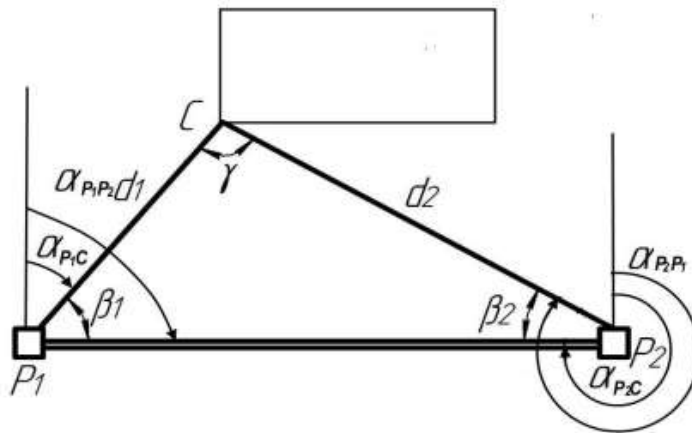


Рисунок 2.4 – Спосіб прямої кутової засічки

Переваги: Відсутність необхідності фізично вимірювати відстань до самої точки об'єкта.

Недоліки: Метод є трудомістким, вимагає одночасної роботи двох виконавців з двома приладами та суворої геометрії засічки (оптимальний кут перетину візорних променів має бути близьким до 90° , але не менше 30° та не більше 150°).

Метод лінійних засічок

Суть методу у тому, що положення точки визначається перетином двох радіусів (проектних відстаней), що відміряються рулетками від двох відомих точок уже винесеної основної осі або пунктів основи.

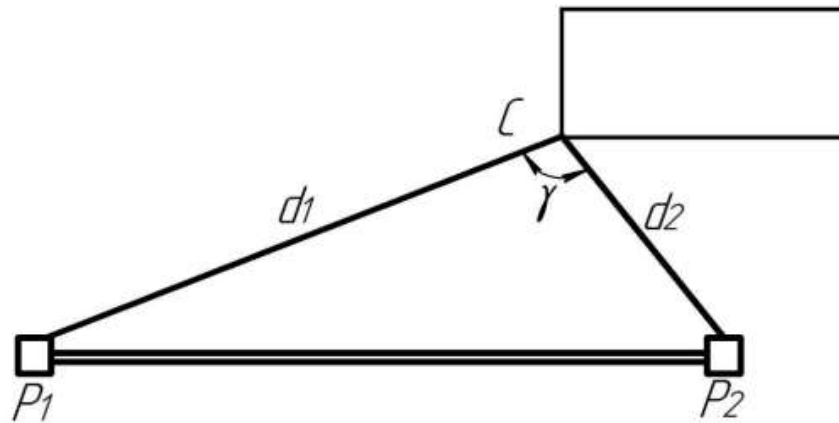


Рисунок 2.5 – Спосіб лінійної засічки

Переваги: Простота виконання; не потребує складних оптичних чи електронних приладів.

Недоліки: Обмежена дальність дії (зазвичай до довжини мірної стрічки/рулетки — 20-30 м); точність суттєво падає через провисання стрічки та вплив вітру.

Метод створів (створних засічок)

Суть методу: Точки осей виносяться шляхом фіксації їхнього положення на лінії створу (прямій лінії), яка з'єднує два базові пункти розпланувальної основи. Положення проектної точки С визначають як перетин 2-ох променів. Створи будують одночасно двома теодолітами (рис. 2.6)

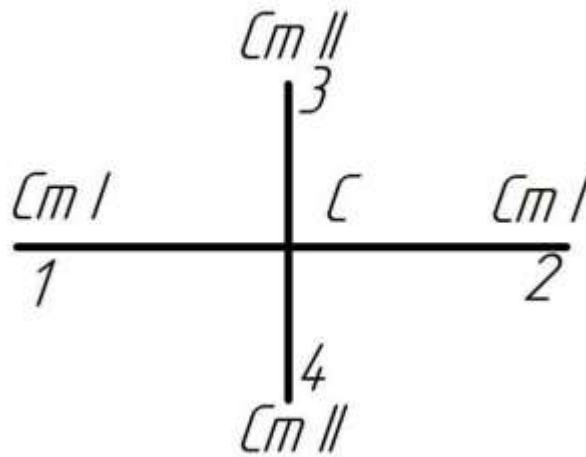


Рисунок 2.6 – Спосіб створної засічки

Переваги: Висока точність взаємного положення точок на одній лінії; зручність для контролю прямолінійності конструкцій. [8].

Сучасний метод GNSS-RTK (супутникове позиціонування в реальному часі)

Суть методу: Винесення точок осей здійснюється за допомогою супутникових геодезичних приймачів, які отримують диференційні поправки від мережі базових референц-станцій у реальному часі (RTK).

Головною проблемою розбивочних робіт є накопичення похибок при переході від вищих геодезичних мереж до нижчих. Чинні нормативи вимагають створення складних традиційних мереж, що є неефективним за наявності сучасних GNSS-технологій. Як альтернативу запропоновано методику, за якої основу для комплексу споруд формують щонайменше з двох базових ліній, закладених методом RTN паралельно координатним осям генплану. Детальні розмічувальні роботи у такому разі проводять електронним тахеометром у режимі базової лінії. Це дозволяє повністю виключити вплив помилок вихідних даних, а зіставлення проектної довжини базису з фактично виміряною приладом забезпечує надійний додатковий контроль.

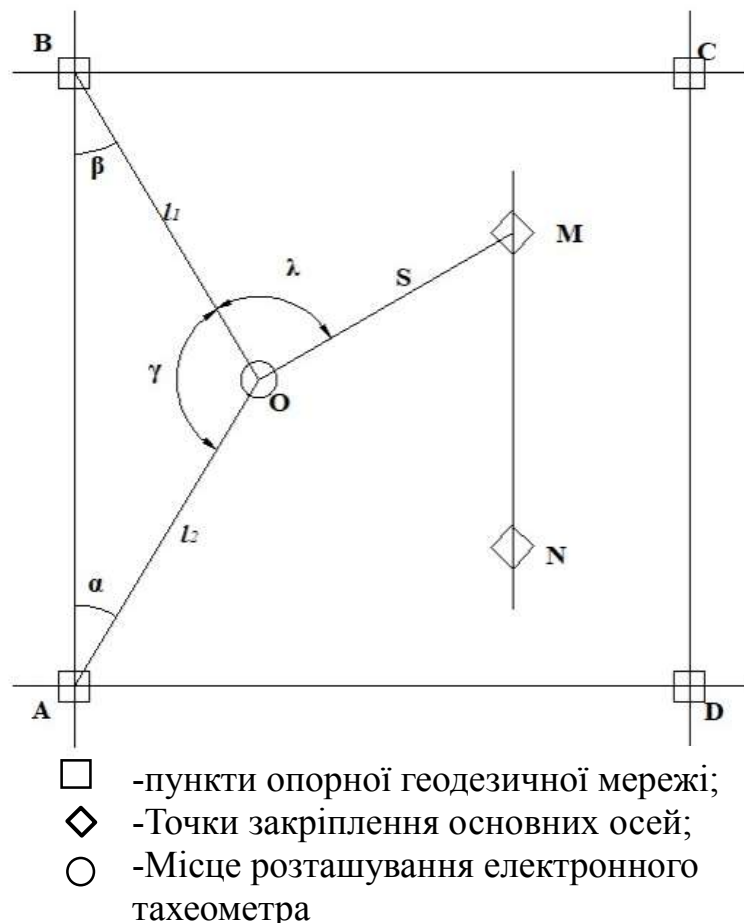


Рисунок 2.7 - Типова схема розмічувальних робіт з використанням RTN-методу

Для створення опорної геодезичної мережі на будівельному майданчику пропонується винесення в натуру двох базисів AB і CD за допомогою GNSS-приймача паралельно до координатних осей X та Y генерального плану. Подальшу розбивку осей доцільно виконувати способом від базової лінії, для реалізації якого достатньо знати координати лише однієї точки базису та задати дирекційний кут лінії 0° або 90° . Перевагою цього підходу є те, що вихідні пункти виносяться без накопичення похибок вихідних даних, центрування приладу та візирних цілей. Робота в режимі базової лінії ґрунтується на вимірюванні відстаней і кута γ , за якими електронний тахеометр автоматично визначає координати свого місцезнаходження. Це дозволяє уникнути помилок фіксації точки стояння на місцевості та забезпечує високу взаємну точність елементів. Водночас недоліком методу є

відсутність автоматичного контролю, тому для його забезпечення рекомендується виконувати повторні виміри з двох різних точок стояння приладу.

Якщо винесення точок базисів зроблено завдяки GNSS-приймачу і ми знаємо довжину базису з цих вимірів, то ми можемо мати додатковий контроль визначення координат точки О. Тобто спочатку визначаємо довжину базису, наприклад АВ за теоремою косинусів з рівняння

$$AB = \sqrt{l_1^2 + l_2^2 - 2l_1l_2 \cos \gamma} \quad (2.12)$$

Далі порівнюємо це значення з довжиною базису, визначеною за координатами з рівняння

$$AB = \sqrt{(X_b - X_a)^2 + (Y_b - Y_a)^2} \quad (2.13)$$

де

X_a, X_b, Y_a, Y_b – координати опорних пунктів одержані за результатами супутникових спостережень.

Визначимо допустиме розходження між цими двома значеннями, визначеними за формулами (2.12) і (2.13). Для спрощення і наочності розрахунку розглянемо частковий випадок, коли сторони l_1 та l_2 однакові і виміряні ЕТ з однаковою точністю, СКП рівні $m_{l_1} = m_{l_2}$.

$$AB = \sqrt{2l^2 - 2l^2 \cos \gamma} = \sqrt{2l^2(1 - \cos \gamma)} \quad (2.14)$$

Продиференціюємо функцію за l та γ , і одержимо:

$$\frac{\partial AB}{\partial l} = \frac{2l(1 - \cos \gamma)}{\sqrt{2l^2(1 - \cos \gamma)}} = \sqrt{2(1 - \cos \gamma)} = \sqrt{\frac{4(1 - \cos \gamma)}{2}} = \sqrt{4 \sin^2 \frac{\gamma}{2}} = 2 \sin \frac{\gamma}{2} \quad (2.15)$$

$$\frac{\partial AB}{\partial \gamma} = \frac{l \sin \gamma}{\sqrt{2(1 - \cos \gamma)}} = \frac{l \sin \gamma}{\sqrt{4 \sin^2 \frac{\gamma}{2}}} = \frac{l \sin \gamma}{2 \sin \frac{\gamma}{2}} = \frac{2l \sin \frac{\gamma}{2} \cos \frac{\gamma}{2}}{2 \sin \frac{\gamma}{2}} = l \cos \frac{\gamma}{2} \quad (2.16)$$

Звідси:

$$m_{AB}^2 = \left(\frac{dAB}{dl}\right)^2 m_S^2 + \left(\frac{dAB}{d\gamma}\right)^2 \frac{m_\beta^2}{\rho^2} = \left(2 \sin \frac{\gamma}{2}\right)^2 m_S^2 + \left(l \cos \frac{\gamma}{2}\right)^2 \frac{m_\beta^2}{\rho^2} = 4m_S^2 \left(\sin \frac{\gamma}{2}\right)^2 + \frac{m_\beta^2}{\rho^2} l^2 \left(\cos \frac{\gamma}{2}\right)^2 \quad (2.17)$$

Переходячи до макс. значення дадуть:

$$m_{AB}^2 = 4m_S^2 + l^2 \frac{m_\beta^2}{\rho^2} \quad (2.18)$$

Розрахунки проілюстровано на рис. 2.8 Де по осі абсцис відкладено віддаль l , а по ординат кут γ

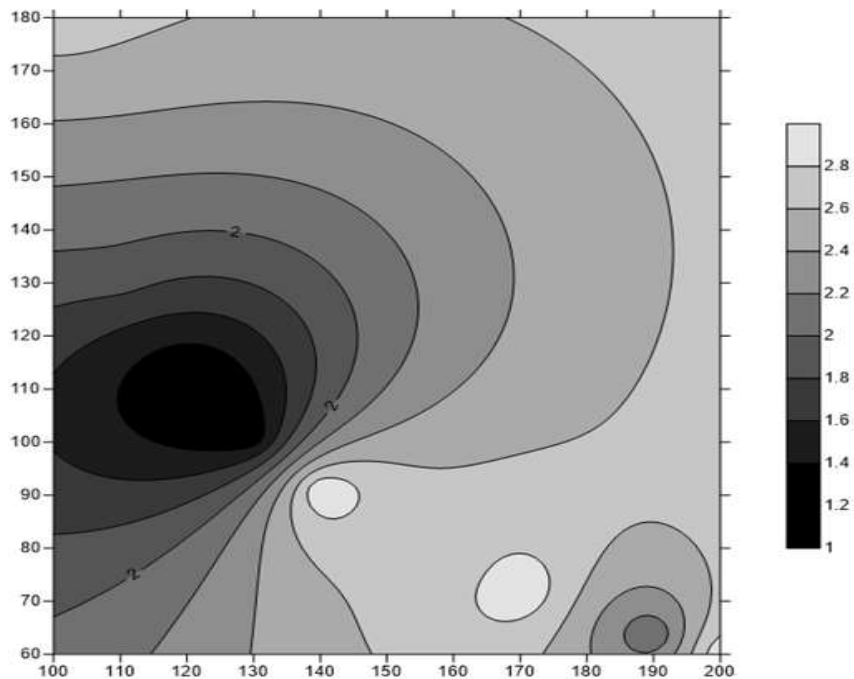


Рисунок 2.8 –.Значення похибки визначення віддалі m_{AB} залежно від положення точки О на будівельному майданчику

Розрахунки показують, що в залежності від положення т. О відносно базисної лінії АВ, мінімальні та максимальні m_{AB} становлять: $m_{ABmin} = 1.2$ мм при $l=120$ м, та $m_{ABmax} = 3.0$ мм при $l=140$ м. При обчисленнях приймали точність визначення віддалей $m_s = 0,0015$ м та кута $m_\beta = 2''$.

У такий спосіб, середня квадратична похибка винесення базової лінії АВ за допомогою супутникових спостережень та гранична помилка обчислення

цієї відстані в режимі вимірювань від базової лінії є рівноточними. Це забезпечує можливість додаткового контролю правильності виконання оберненої лінійно-кутової засічки завдяки безпосередньому зіставленню одержаних лінійних значень [5].

На рисунках 2.9-2.10 продемонстровано практичний етап дослідження — процес винесення в натуру осей будівлі Регіонального центру реабілітаційного лікування та ментального здоров'я, проведений з метою засвоєння отриманих знань на практиці.

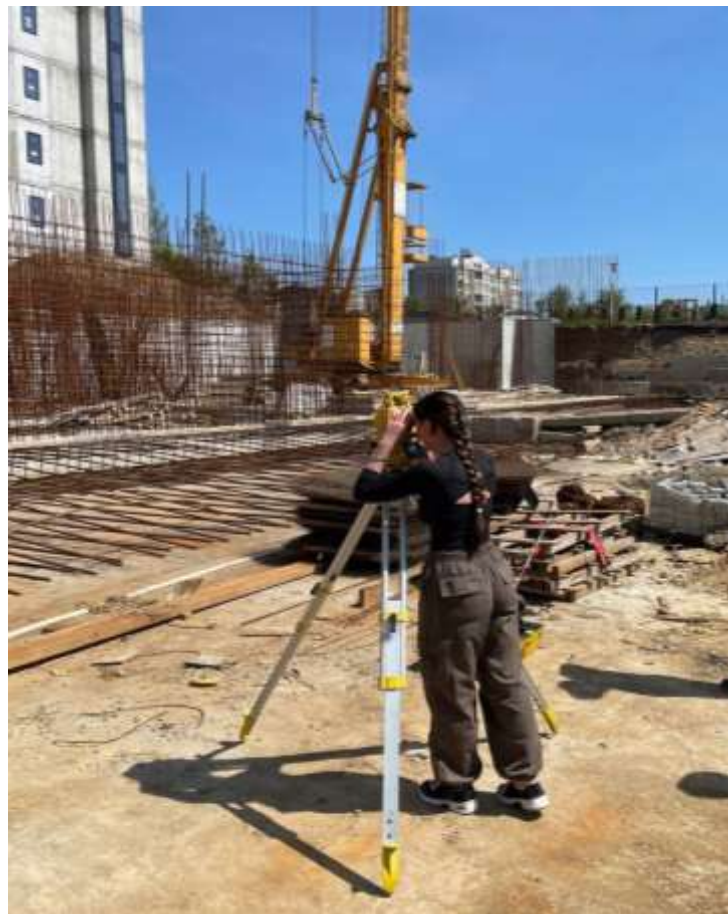


Рисунок 2.9 – Виконання робіт з винесення в натуру основних осей будівлі «Регіонального центру реабілітаційного лікування та ментального здоров'я»



Рисунок 2.10 – Територія «Регіонального центру реабілітаційного лікування та ментального здоров'я»

2.3 Розрахунок точності виконання інженерно-геодезичних робіт на об'єкті нового Регіонального центру реабілітаційного лікування та ментального здоров'я

Відповідно до ДБН, геодезичні роботи забезпечують точність геометричних параметрів будівель згідно з проектом і нормативами. На основі конструктивних особливостей та поверховості об'єкта створюють ескізний план осей у масштабі 1:500 або 1:1000, що є основою для розробки проекту геодезичних робіт. У ньому обґрунтовують точність вимірів, обирають прилади, описують графік робіт у прив'язці до будівництва та схеми оснащення. Для контролю якості використовують функціональні допуски, що визначають точність зібраної конструкції, та технологічні, які регламентують виконання конкретних операцій, наприклад, розбивки осей чи вимірювання крену. Для звичайних споруд клас точності виготовлення деталей обирають за практичними рекомендаціями: перші два класи — для металевих конструкцій, третій-п'ятий — для залізобетонних, шостий-сьомий — для цегляних і восьмий-дев'ятий — для земляних робіт, тоді як для унікальних об'єктів виконують індивідуальні розрахунки.

Технологічні допуски на виготовлення будівельних конструкцій, геодезичні розмічувальні та монтажні роботи даються в Державному стандарті ДСТУ- Н Б В.1.3-1:2009 "Виконання вимірювань, розрахунок і контроль точності геометричних параметрів. Настанова". Допуск (поле допуску) визначається за формулою, мм:

$$\Delta_L = Ki, \quad (2.19)$$

де K – коефіцієнт точності, який дорівнює кількості одиниць допуску, установленому для кожного класу точності; i – одиниця допуску, що характеризує залежність допуску від величини нормованого розміру, мм.

Допуски для будівельних конструкцій розміром від 20 до 60 000 мм у 9-класах точності наведено в табл.2.2, які приведені до температури 20° С.

Якщо розмір елемента перевищує 60 м, то допуск розраховують за формулою (2.19), визначаючи величину i за простою і точною формулою

$$i = 10,66\alpha\sqrt[3]{L} \cdot e^{0,0053L}, \quad (2.20)$$

Де α - коефіцієнт, що залежить від виду контролю (для лінійних розмірів $\alpha = 1$); L – розмір у метрах (важливо для конструкцій довжиною понад 60 м, які не вказано в табл.2.2).

Для номінального розміру елемента L при довірчій ймовірності $P = 0,95$ або $P = 0,997$ середні квадратичні похибки розміру елементів відповідно визначаються за формулами

$$m_L = \frac{\Delta_L}{4} \quad \text{або} \quad m_L = \frac{\Delta_L}{6}. \quad (2.21)$$

Таблиця 2.2 - Допуски лінійних розмірів будівельних конструкцій, мм

Інтервали номінальних розмірів	Клас точності								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
До 20	0,24	0,4	0,6	1,0	1,6	2,4	4	6	10
20-60	0,3	0,5	0,8	1,2	2	3	5	8	12
60-120	0,4	0,6	1	1,6	2,4	4	6	10	16
120-250	0,5	0,8	1,2	2	3	5	8	12	20
250-500	0,6	1	1,6	2,4	4	6	10	16	24
500-1000	0,8	1,2	2	3	5	8	12	20	30
1000-1600	1,0	1,6	2,4	4	6	10	16	24	40
1600-2500	1,2	2	3	5	8	12	20	30	50
2500-4000	1,6	2,4	4	6	10	16	24	40	60
4000-8000	2	3	5	8	12	20	30	50	80
8000-16000	2,4	4	6	10	16	24	40	60	100
16000-25000	3	5	8	12	20	30	50	80	120
25000-40000	4	6	10	16	24	40	60	100	160
40000-60000	5	8	12	20	30	50	80	120	200
Значення К	0,10	0,16	0,25	0,4	0,6	1	1,6	2,5	4

Згадані нормативні документи визначають граничні відхилення для процесів виготовлення та монтажу конструктивних елементів. Зокрема, вони нормують показники непрямолінійності й неплоскостності деталей, неперпендикулярності суміжних осей та поверхонь, а також точність суміщення осевих позначок і симетричність розташування конструкцій під час їх встановлення. На основі цих будівельно-монтажних нормативів у документації сформовано комплексну систему допусків для інженерно-геодезичного забезпечення зведення будівель, а конкретні вимоги до відповідних геодезичних процесів представлено у таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Класи точності геодезичних і монтажних робіт

Технологічний процес	Величини K в класах точності					
	1	2	3	4	5	6
Геодезичні роботи,	0,25	0,4	0,6	1	1,6	2,5

Допуск на процес геодезичного контролю пов'язано з довжиною конструкції або лінії геодезичної побудови L , який розраховується за формулою, мм

$$\Delta_L^{\text{геод}} = 0.001 \cdot K \alpha L, \quad (2.22)$$

де K – коефіцієнт одного із 6-х класів точності вимірювань, який береться рівним відповідно 0,25;

α – коефіцієнт одиниці допуску (табл.2.3);

L – розмір будівельного або геодезичного елемента у метрах.

Похибки геодезичних розбивочних робіт поділяють на два основні види: похибки винесення в натуру контурних точок об'єкта відносно пунктів вихідної геодезичної основи у плані та за висотою, а також похибки розмічування внутрішніх осей і висотних позначок для встановлення будівельних конструкцій у проектне положення відносно базового ярусу споруди.

Таблиця.2.4 - Способи геодезичних розмічувальних і монтажних робіт

№	Контрольовані параметри	Коефіцієнт
Геодезичні роботи		
1	Розмічування точок і осей в плані	1
2	Розмічування точок по висоті	0,6
3	Передача точок і осей по вертикалі	0,4
4	Контроль перпендикулярності осей	0,4
5	Передача висотних позначок МГ	0,25
Монтаж конструкцій		
1	З'єднання орієнтирів	1,6
2	Симетричності установки	0,6

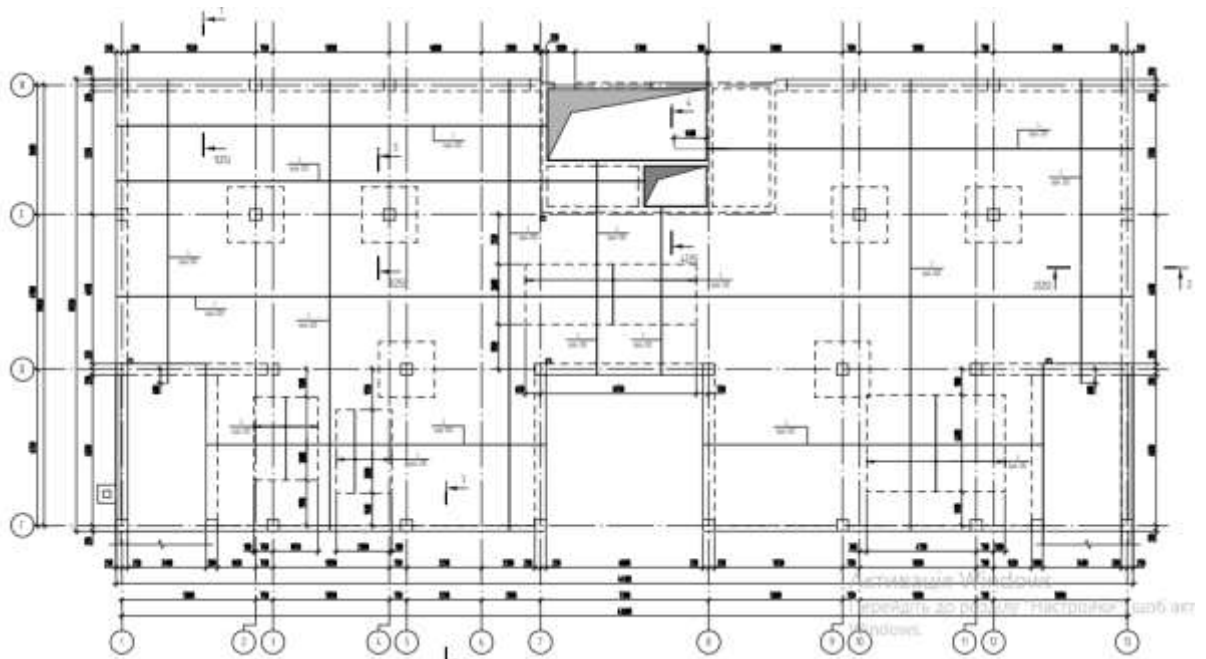


Рисунок.2.11 - План осей споруди

Вихідні дані для проектування геодезичних робіт

№	Тип будинку	Конструкція будинку	Висоти поверхів, м		Кількість поверхів	
			Перших (1-3)	Звичайних	1-15	16-30
4	Адмін.	Мет. каркас	4,2х1	3,6	32	36

3. При безпосередньому розрахунку допуску виготовлення будівельної конструкції (формула 2.19) коефіцієнт K обираємо згідно заданої споруди із таблиці 2.2.

$$\Delta_L = K \cdot i$$

$$\Delta_{L_1} = 0,16 \cdot 2,4 = 0,384 \text{ мм}$$

$$\Delta_{L_2} = 0,16 \cdot 3 = 0,48 \text{ мм}$$

$$\Delta_{L_3} = 0,16 \cdot 4 = 0,64 \text{ мм}$$

4. За формулою 2.21 знаходимо середні квадратичні похибки розміру елементів при довірчій ймовірності $P = 0,997$.

$$m_L = \frac{\Delta_L}{4}$$

$$m_{L_1} = \frac{0,384}{4} = 0,096 \text{ мм}$$

$$m_{L_2} = \frac{\Delta_L}{4} = 0,12 \text{ мм}$$

$$m_{L_3} = \frac{\Delta_L}{4} = 0,16 \text{ мм}$$

5. Розраховуємо п'ять допусків процесу геодезичного контролю за формулою 2.22. Коефіцієнт одиниці допуску α обирається згідно виду геодезичних розмічувальних робіт.

$$\Delta_L^{\text{геод}} = 0.001 \cdot K \cdot \alpha \cdot L$$

Для $L = 3,6 \text{ м}$

$$\Delta_{L_1}^{\text{геод}} = 0.001 \cdot 0,4 \cdot 1 \cdot 3,6 = 0,00144 \text{ м} = 1,44 \text{ мм}$$

$$\Delta_{L_2}^{\text{геод}} = 0.001 \cdot 0,4 \cdot 0,6 \cdot 3,6 = 0,000864 \text{ м} = 0,864 \text{ мм}$$

$$\Delta_{L_3}^{\text{геод}} = 0.001 \cdot 0,4 \cdot 0,4 \cdot 3,6 = 0,000576 \text{ м} = 0,576 \text{ мм}$$

$$\Delta_{L_4}^{\text{геод}} = 0.001 \cdot 0,4 \cdot 0,4 \cdot 3,6 = 0,000576 \text{ м} = 0,576 \text{ мм}$$

$$\Delta_{L_5}^{\text{геод}} = 0.001 \cdot 0,4 \cdot 0,25 \cdot 3,6 = 0,00036 \text{ м} = 0,36 \text{ мм}$$

Для $L = 4,2 \text{ м}$

$$\Delta_{L_1}^{\text{геод}} = 0.001 \cdot 0,4 \cdot 1 \cdot 4,2 = 0,00168 \text{ м} = 1,68 \text{ мм}$$

$$\Delta_{L_2}^{\text{геод}} = 0.001 \cdot 0,4 \cdot 0,6 \cdot 4,2 = 0,001008 \text{ м} = 1,008 \text{ мм}$$

$$\Delta_{L_3}^{\text{геод}} = 0.001 \cdot 0,4 \cdot 0,4 \cdot 4,2 = 0,000672 \text{ м} = 0,672 \text{ мм}$$

$$\Delta_{L_4}^{\text{геод}} = 0.001 \cdot 0,4 \cdot 0,4 \cdot 4,2 = 0,000672 \text{ м} = 0,672 \text{ мм}$$

$$\Delta_{L_5}^{\text{геод}} = 0.001 \cdot 0,4 \cdot 0,25 \cdot 4,2 = 0,00042 \text{ м} = 0,42 \text{ мм}$$

Для $L = 12 \text{ м}$

$$\Delta_{L_1}^{\text{геод}} = 0.001 \cdot 0,4 \cdot 1 \cdot 12 = 0,0048 \text{ м} = 4,8 \text{ мм}$$

$$\Delta_{L_2}^{\text{геод}} = 0.001 \cdot 0,4 \cdot 0,6 \cdot 12 = 0,00288 \text{ м} = 2,88 \text{ мм}$$

$$\Delta_{L_3}^{\text{геод}} = 0.001 \cdot 0,4 \cdot 0,4 \cdot 12 = 0,00192 \text{ м} = 1,92 \text{ мм}$$

$$\Delta_{L_4}^{\text{геод}} = 0.001 \cdot 0,4 \cdot 0,4 \cdot 12 = 0,00192 \text{ м} = 1,92 \text{ мм}$$

$$\Delta_{L_5}^{\text{геод}} = 0.001 \cdot 0,4 \cdot 0,25 \cdot 12 = 0,0012 \text{ м} = 1,2 \text{ мм}$$

Проведені розрахунки оцінки точності інженерно-геодезичних процесів показують, що середня квадратична помилка приладів для розгортання опорної мережі становить 3 мм, тому цей вид робіт доцільно виконувати за допомогою електронних тахеометрів із точністю вимірювання кутів не менше 5”.

Разом із цим, урахування рельєфу ділянки є ключовим фактором під час проектування капітальних об'єктів. Після завершення проектування та переходу до будівництва виникає потреба у розбивочних роботах, які забезпечують точне перенесення геометричних параметрів та контурів споруди з креслень безпосередньо на майданчик. Цей комплекс геодезичних заходів виконується лише після остаточного погодження будівельного генерального плану та детального топографічного знімання місцевості.

РОЗДІЛ 3

ОСОБЛИВОСТІ ВИКОНАННЯ РОЗПЛАНУВАЛЬНИХ РОБІТ

3.1 Технологічне забезпечення для створення топографічних планів

Згідно нормативних документів і вимог щодо створення топографічних планів в масштабі 1:500, доцільно використовувати такі високоточні геодезичні прилади: електронний тахеометр, двочастотний GNSS-приймач та лазерний 3д сканер.

Основним інструментом для високоточних робіт на майданчику є електронний тахеометр — комбінований пристрій, що поєднує функції теодоліта та світловіддалеміра. Завдяки вбудованому процесору він дозволяє вимірювати кути та відстані, миттєво обчислюючи просторові координати у міліметровому діапазоні. Прилад працює шляхом аналізу фазового зсуву або часу проходження лазерного променя до відбивача чи поверхні об'єкта. Використовується для високоточного винесення в натуру головних, основних та детальних осей, контролю вертикальності конструкцій та моніторингу деформацій. Для цих робіт підійде такий тахеометр, наприклад, як Leica FlexLine TS03 2" R500.



Рисунок 3.1 – Тахеометр Leica FlexLine TS03

Таблиця 3.1 Технічні характеристики Leica FlexLine TS03 2" R500:

КУТОВІ ВИМІРЮВАННЯ	
Кутова точність	2"
Метод визначення кута	Абсолютний, неперервний, діаметральний
ЛІНІЙНІ ВИМІРЮВАННЯ	
Точність безвідбив.	2мм+2ppm
Точність на призму	1мм+1,5ppm
Без відбивача	500м
Межа 1 призми	3500м (10000м в режимі великих відстаней)
ЗОРОВА ТРУБА	
Збільшення	30х
Тип зображення	пряме
Кут поля зору	1°30' (1,66град)/ 2,7м на відстані 100м
КОМПЕНСАТОР	
Точність компенсатора	0,5
Діапазон компенсації	+/- 3,78' (+/-0,07гон) '

Для створення геодезичної розпланувальної основи та прив'язки об'єкта до загальнодержавної системи координат використовується двочастотний GNSS-приймач. Цей прилад обробляє сигнали супутникових систем на кількох частотах, що дозволяє нівелювати вплив іоносферних затримок і досягати сантиметрової точності в режимі реального часу (RTK). Головною перевагою супутникових технологій є висока швидкість отримання даних та відсутність потреби в прямій видимості між пунктами мережі, що значно пришвидшує етап топографічної зйомки території та початкового розпланування майданчика.

На етапах контролю та виконавчої зйомки складних архітектурних форм реабілітаційного центру особливу роль відіграє лазерний 3D-сканер. Пристрій виконує мільйони вимірів за секунду, створюючи детальну «хмару точок», яка є точною цифровою копією реальної споруди. Це дозволяє створювати високоточні BIM-моделі, контролювати об'єми виконаних робіт та перевіряти відповідність фактично збудованих елементів проектній документації з рівнем деталізації, недоступним для класичних методів.

Інтеграція цих приладів дозволяє реалізувати комплексний підхід: GNSS-приймачі забезпечують зовнішню прив'язку, тахеометри — високу точність монтажу конструкцій, а 3D-сканери — повний цифровий контроль якості будівництва.

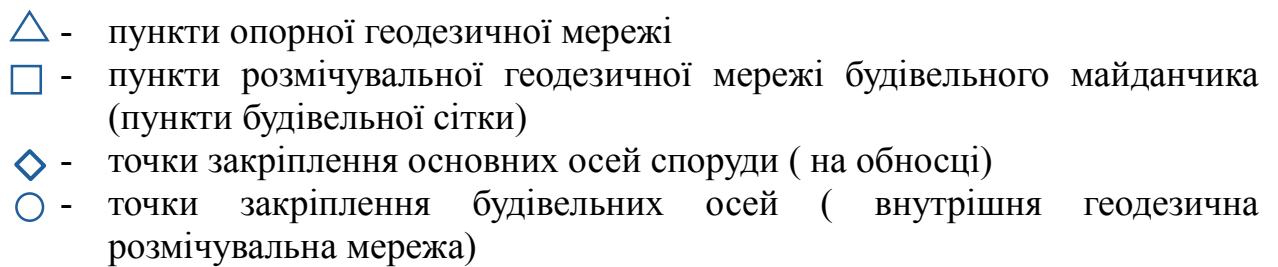
3.2 Вибір оптимальної методики вишукувальних та розпланувальних робіт на будівництві

Планово-висотну прив'язку точок доцільно здійснювати за допомогою супутникових GPS-технологій, а за умови достатньої щільності пунктів геодезичної опори — методом електронної тахеометрії із застосуванням TPS або лінійно-кутових засічок. Вихідною базою для подальшого розгортання розбивочної основи на будівельному майданчику слугує опорна геодезична мережа відповідного класу точності. На її основі виконують розмічувальні роботи, що полягають у визначенні проектного просторового положення характерних точок і конструкцій споруди відповідно до робочих креслень. Цю основу поділяють на зовнішню розбивочну мережу, яка переважно фіксує головні осі об'єкта і забезпечує проведення детальних розбивок та виконавчого знімання, а також внутрішню мережу. Внутрішню основу проектують безпосередньо на вихідному та монтажних ярусах будівлі для контролю геометрії та точного позиціонування елементів під час їх монтажу.



Рисунок 3.2 – Традиційна схема опорної зовнішньої та внутрішньої розмічувальних геодезичних мереж згідно ДБН (без використання ГНСС)

Загалом, якщо для винесення головних осей на місцевості допускається похибка у межах трьох-п'яти сантиметрів, то розбивка основних і детальних осей потребує значно вищої точності — на рівні двох-трьох міліметрів. Найбільш жорсткі вимоги до геодезичних вимірів висуваються після завершення спорудження фундаментів, коли виконується розмічування та фіксація монтажних або технологічних осей, де гранична похибка має становити від одного до однієї десятої міліметра й менше. Особливістю цього завершального етапу є те, що всі монтажні осі обов'язково проектується виключно від єдиної лінії, яку заздалегідь обирають як вихідну базову вісь[4].



У зв'язку з тим, що вимоги до точності взаємного розміщення проектних точок є суттєво вищими за точність взаємного положення вихідних пунктів А і В, під час розбивки задаються координатами лише точки А та дирекційним кутом лінії АВ, який залежно від специфіки проектних розрахунків приймають рівним 0° або 90° . Початок умовної системи координат при цьому зазвичай суміщають із точкою А. Електронний тахеометр встановлюють у точці С, обраній як найбільш зручна для спостережень і розмічування об'єкта, і виконують вимірювання відповідних відстаней та кута між ними. Такий мінімальний комплекс кутово-лінійних вимірів дозволяє визначити умовні координати точки стояння приладу С

відносно початку координат у точці А, що забезпечує безпосередній зв'язок із геометрією робочих креслень споруди.

$$y = l_1 * \sin\beta; x = l_1 * \cos\beta \quad (3.1)$$

Кут β можемо знайти, використовуючи аналітичну залежність:

$$\beta = \arccotg\left(\frac{l_1}{l_2 * \sin\gamma} - \cotg\gamma\right) \quad (3.2)$$

За формулами (3.1) і (3.2) знаходимо координати станції, де встановлено ЕТ. Далі розмічуємо за проектними координатами потрібні точки (осі).

З метою обґрунтування того, що необхідна точність розбивочних робіт на кожному етапі забезпечується безпосередньо за рахунок одноразових вимірювань, виконаємо розрахунок середньої квадратичної похибки визначення відповідних величин. – m_y і m_x залежно від СКП визначення відстаней ml та кута $m\gamma$.

$$m_y = \sqrt{\left(l_1 * \cos\beta * m_{\beta}^{\parallel} / \rho^{\parallel}\right)^2 + (m_l * \sin\beta)^2} \quad (3.3)$$

$$m_x = \sqrt{\left(l_1 * \sin\beta * m_{\beta}^{\parallel} / \rho^{\parallel}\right)^2 + (m_l * \cos\beta)^2} \quad (3.4)$$

$$m_{\beta}^{\parallel} = \sqrt{\left[\left(\frac{a}{l_1 * \sin\gamma}\right)^2 + \left(\frac{a * l_1}{l_2^2 * \sin\gamma}\right)^2\right] * m_l^2 * \rho^2 + \left[\frac{a(l_2 - l_1 * \cos\gamma)}{l_2 * \sin^2 \gamma}\right]^2 * m_{\gamma}^2} \quad (3.5)$$

Загальна СКП розмічування точок - M_p пропонованим способом дорівнює:

$$M_p = \sqrt{m_{\text{СТ}}^2 + m_{\text{ЕТ}}^2} \quad (3.6)$$

де $m_{\text{СТ}}$ – СКП визначення планового положення станції, з якої розмічують осі, яка знаходиться за формулою (3.7); $m_{\text{ЕТ}}^2$ – СКП розмічування

точки ЕТ способом полярних координат, або в режимі вимірів зі зміщенням. Її відповідні складові визначаються за формулами:

$$m = \sqrt{m_x^2 + m_y^2} \quad (3.7)$$

$$m_{\Delta x}^2 = \cos^2(\alpha - \beta) * m_s^2 + S^2 * \sin^2(\alpha - \beta) \frac{m_\beta^2}{\rho^2} \quad (3.8)$$

$$m_{\Delta y}^2 = \sin^2(\alpha - \beta) * m_s^2 + S^2 * \cos^2(\alpha - \beta) \frac{m_\beta^2}{\rho^2} \quad (3.9)$$

де $m_{\Delta x}$, $m_{\Delta y}$ – СКП визначення координат за відповідними осями; α , β – відповідно, дирекційний кут вихідного напрямку і полярний кут; m_β , m_s – середні квадратичні похибки виміру кутів і довжин.

Для тах значення, на основі (3.8) і (3.9) після перетворень одержимо:

$$m_{\text{ЕТ}}^2 = m_s^2 + \frac{m_\beta^2}{\rho^2} * S^2 \quad (3.10)$$

Розглянута схема, що передбачає використання єдиної вихідної осі, закріпленої двома точками, у переважній більшості випадків здатна повністю замінити собою класичні зовнішню та внутрішню розбивочні мережі окремої будівлі або цілого комплексу споруд, які об'єднані єдиним технологічним циклом [7].

РОЗДІЛ 4

ВИБІР ОПТИМАЛЬНОЇ СИСТЕМИ КООРДИНАТ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НЕОБХІДНОЇ ТОЧНОСТІ БУДІВНИЦТВА

4.1 Державна геодезична система координат

Кабінет Міністрів України від 22 вересня 2004 р. № 1259 постановив, що виконання топографо-геодезичних та картографічних робіт, починаючи з 1 січня 2007 р., здійснюється із застосуванням Державної геодезичної референцної системи координат УСК-2000.



Рисунок 4.1 – Розподіл зон УСК-2000

Державна геодезична референцна система координат УСК-2000. Система координат УСК-2000 встановлена за умови паралельності її осей просторовим осям Міжнародної загальноземної референцної системи координат ITRS. За поверхню відліку в системі координат УСК-2000 прийнятий референц-еліпсоїд Красовського.

Система координат УСК-2000 року чітко узгоджена з Міжнародною загальноземною референцною системою координат ITRS на епоху 2000 року

— ITRF2000, яка закріплена пунктами космічної геодезичної мережі. УСК-2000 встановлена для виконання топографо-геодезичних та картографічних робіт на території України постановою Кабінету Міністрів України "Деякі питання застосування геодезичної системи координат" від 22 вересня 2004 р. № 1259. З моменту введення системи координат УСК-2000 року при виконанні нових робіт вона замінила систему координат 1942 року, яка була введена постановою Ради Міністрів СРСР № 760 від 7 квітня 1946 року.

УСК-2000 отримана в результаті сумісного врівноваження пунктів Української перманентної мережі спостережень глобальних навігаційних супутникових систем та Державної геодезичної мережі 1-4 класів на епоху 2005 року і закріплена пунктами Державної геодезичної мережі.

Положення пунктів в прийнятій системі координат визначається:

- просторовими прямокутними координатами X , Y , Z (вісь Z співпадає з віссю обертання еліпсоїда, вісь X лежить в площині нульового меридіану, а вісь Y доповнює систему до правої; початком системи координат є геометричний центр еліпсоїда);
- геодезичними (еліпсоїдальними) координатами: широтою — B , довготою — L , висотою — H ;
- плоскими прямокутними координатами x та y , які обчислюються в проекції Гаусса-Крюгера;
- геодезична висота H утворюється як сума нормальної висоти та висоти квазігеоїда над еліпсоїдом Красовського. Нормальні висоти геодезичних пунктів

4.2 Топоцентрична система координат

Щоб встановити локацію довільного об'єкта у просторі, необхідно обрати систему координат, яка дозволить чітко охарактеризувати його розміщення конкретною сукупністю числових величин. Зазвичай

координатна система визначається розміщенням її початку відліку, орієнтацією осей, а також однією чи кількома одиницями виміру, за допомогою котрих виражаються чисельні дані про позицію об'єкта. Вибір певної системи небесних координат безпосередньо залежить від конкретної задачі, яку необхідно розв'язати.

У випадках, коли початок відліку суміщають із точкою спостереження безпосередньо на поверхні Землі (топоцентром), таку систему координат називають топоцентричною. В геодезичній практиці активно застосовують топоцентричні системи у формі прямокутних декартових x, y, z або полярних сферичних Q, A, D координат.

Вихідна точка топоцентричної системи зазвичай фіксується у певній позиції Q_1 , яка найчастіше лежить на земній поверхні.

Прямокутні топоцентричні координати формуються наступним чином: вісь z збігається з продовженням лінії нормалі до еліпсоїда у точці Q_1 . У площині меридіана цієї ж точки Q_1 перпендикулярно до осі z проходить вісь x , яка спрямована на північ. Наступна вісь доповнює структуру до лівої декартової координатної системи.

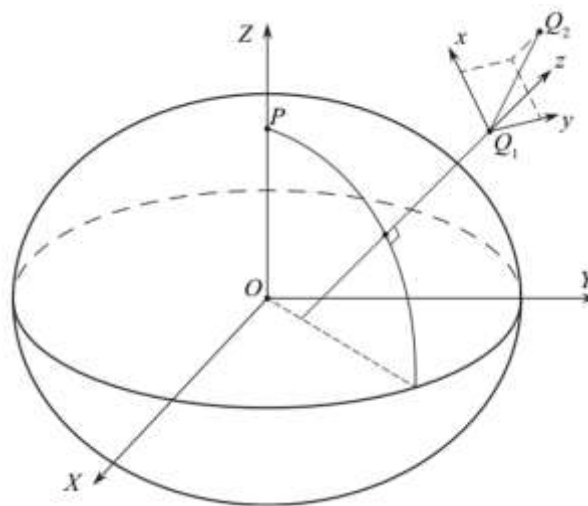


Рисунок 4.2 – Топоцентричні декартові координати

4.3 Пошук параметрів трансформування

Виконання більшості інженерно-геодезичних завдань, зокрема супроводу будівельного процесу, потребує обчислення та безпосереднього винесення на місцевість саме реальних (натурних) відстаней і кутів. Разом з тим, координати опорної мережі самого генерального плану зазвичай зафіксовані у проекції Гаусса-Крюгера в комбінації з нормальною висотою (маються на увазі УСК-2000 та похідні від неї 26 регіональних систем, які надалі класифікуватимуться як картографічні. Обчислені за цими картографічними даними лінійні довжини мають відмінності від проєктних параметрів. Ця різниця обумовлена редукуванням на референц-еліпсоїд (поправка - Δ_H) та проектуванням на дотичний циліндр у системі Гаусса-Крюгера або січний циліндр у проекції UTM (поправка - Δ_G):

$$\Delta_H = -S \times \frac{H_m}{R_m}, \quad (4.1)$$

$$\Delta_G = +S \times \frac{y_m^2}{2R_m^2}, \quad (4.2)$$

де H_m – середня висота вимірної сторони, для будівельного майданчика;

S – горизонтальне прокладення віддалі між точками;

R_m – середній радіус кривизни еліпсоїда;

y_m – середнє значення із перетворених ординат кінців лінії.

Через те, що поправки Δ_G і Δ_H мають протилежні знаки, частково загальна поправка компенсується. Ця загальна поправка за перехід на площину в проекції Гаусса-Крюгера як і UTM виглядатиме:

$$\frac{\Delta_{ред}}{S} = \frac{\Delta_G + \Delta_H}{S} = \left(\frac{y_m^2}{2R_m^2} - \frac{H_m}{R_m} \right) \quad (4.3)$$

Розберемо окремий випадок, коли розташування будівельного майданчика відносно осьового меридіана та висотні характеристики

місцевості поєднуються так, щоб сумарна величина цих двох поправок дорівнювала нулю:

$$\Delta_I = \Delta_H \quad (4.4)$$

$$S \times \frac{y_m^2}{2R_m^2} = S \times \frac{H_m}{R_m} \quad (4.5)$$

Звідси, якщо задана величина H_m то

$$y_m = \sqrt{2R_m \times H_m} \quad (4.6)$$

Якщо відома величина y_m то

$$H_m = \frac{y_m^2}{2R_m} \quad (4.7)$$

У такому випадку, якщо будівництво ведеться на віддалі 14 км від осьового меридіану, наприклад, то для того щоб поправка (4.3) = 0 висота поверхні - H_m повинна бути

$$H_m = \frac{14^2}{2 \times 6371} = 15,4 \text{ м} \quad (4.8)$$

Проте середні висотні позначки для цієї місцевості становлять 250–300 м, що робить подібний вибір параметрів фактично нездійсненним. Через це неузгодженість між фізичною довжиною лінії та її значенням, отриманим за координатами в УСК-2000, сягатиме 1/25 000 від величини ліній на генплані (див. рисунок 4.3).

Отримані результати обчислень чітко демонструють, що застосування системи УСК-2000 не дозволяє забезпечити нормативний рівень точності, необхідний для виконання цих робіт.

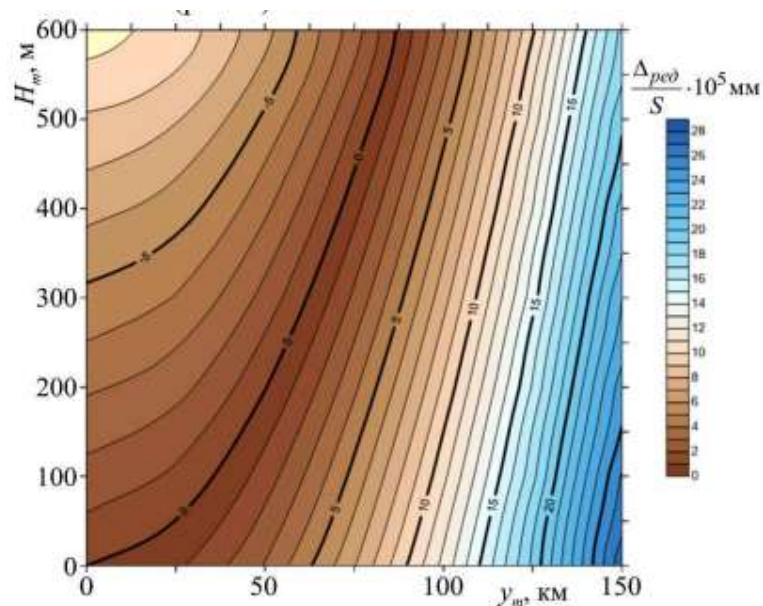


Рисунок 4.3 – Розподіл загальної поправки переходу на площину в проекції Гауса-Крюгера залежно від віддалі до осьового меридіана та середньої висоти вимірної сторони

Графічне представлення сумарної поправки за перехід на площину у проекції Гауса-Крюгера, відповідно до виразу 4.3, наведене на рисунку 4.3. На горизонтальній осі (абсцис) відображено відстань у кілометрах від осьового меридіана до об'єкта, а на вертикальній (ординат) — середню висоту вимірюваного відрізка у метрах. Задля кращої візуалізації результатів усі наведені на діаграмі коефіцієнти розраховані для базової лінії завдовжки 100 м. Зокрема, якщо будівельний майданчик розташований на висоті 300 м та віддалений від осьового меридіана на 100 км, то для 100-метрового відрізка поправка досягне свого піку (і збільшуватиметься лінійно із подовженням ліній). За аналогічних умов для лінії у 300 м поправка становитиме вже 30 мм, хоча гранична відносна помилка все одно залишиться в межах 1/10 000. Аналізуючи рисунок 1, можна зробити висновок, що всередині триградусної зони найбільша відносна похибка не виходить за межі 1/4000. Це дозволяє повністю ігнорувати її під час топографічного знімання великих масштабів (навіть 1:500). Аналогічне правило діє і для стартової стадії розпланувальних робіт, яка передбачає

перенесення та фіксацію головних осей споруди від пунктів геодезичної мережі. Оскільки допуск для цього етапу становить 3–5 см, дані з рис. 1 підтверджують: нормативні вимоги виконуються навіть на периферії зони при довжині полярних напрямків до 100 м. Ба більше, у межах 50 км від центрального меридіана дозволяється розплановувати базові лінії завдовжки до 1 км.

Слід також додати, що під час визначення параметрів трансформації у таких ситуаціях масштабний коефіцієнт m допускається приймати рівним одиниці. Водночас для досягнення міліметрової прецизійності, необхідної на стадії детального розпланування, застосування картографічних координат обмежене доволі вузьким коридором — від 40 до 60 км від осевого меридіана (за умови, що середня висота об'єкта становить близько 300 м).

Проаналізуємо ситуацію, коли неузгодженість між проектними лінійними параметрами та довжинами, що обчислені за картографічними координатами в УСК-2000, стає критичною і потребує обов'язкового врахування. Типовими прикладами є робота на межі триградусної зони із полярними відстанями понад 100 м, а також виконання другого (детального) етапу розпланування.

Нормативна точність другого етапу розпланувальних робіт (винесення основних осей) становить 3-5 мм. За результатами досліджень точності RTK RTN вимірів у мережі, було визначено, що скп виміру кута та віддалі не перевищує

$m_{\text{кут}} = 4,3''$ та $m_{\text{від}} = 3,2\text{мм}$ відповідно. Для статичних, синхронних вимірів досягнута точність навіть більша (Savchyn & Duma, 2016; Medvedskyi, 2010), що дає змогу використовувати GNSS виміри і на другому етапі розмічувальних робіт, або хоча б як контроль вимірів електронним тахеометром.

Для забезпечення високої точності розпланувальних робіт (3-5 мм) рекомендують ще використовувати топоцентричну прямокутну систему координат. Специфікою задачі, а саме використанням GNSS-приймача та порівняно невеликими відстанями між точками (100-200 м), обґрунтовується така необхідність. У цьому випадку виконувати трансформування пунктів потрібно у два етапи: спершу визначаються геоцентричні координати опорних базисів (їхні проектні координати вже відомі з технологічних креслень), а після цього здійснюється перехід до запропонованої координатної площини за допомогою формул (4.10)-(4.16). За таку площину приймається не площина геодезичного горизонту, а горизонтальна площина, аналогічна до генплану, де вісь x спрямована у площині геодезичного меридіана. Для геодезичного забезпечення конкретного будівельного майданчика саме ця математична основа стане найкращим рішенням. Якщо використовувати ортогональну проекцію на горизонтальну площину в прямокутній декартовій системі координат, то поправки для переходу на площину проекції Гауса-Крюгера та на поверхню відносності у виміранні величини не вводяться. Отже, під час аналітичної підготовки будівельного проекту напрямки та довжини, знайдені за плановими координатами у цій проекції, дорівнюватимуть своїм технологічним розмірам. Це дозволяє за відповідними формулами трансформувати проектні координати елементів у ту систему, з якою без урахування масштабного коефіцієнта працює GNSS:

$$\begin{cases} X'_i = X_0 + X_i * \cos Q - Y_i * \sin Q \\ Y'_i = Y_0 + Y_i * \cos Q - X_i * \sin Q \end{cases} \quad (4.9)$$

Де X_i , X'_i і Y_i , Y'_i — координати точки i в топоцентричній системі координат та генплану.

Зважаючи на це, для забудови промислових майданчиків доцільно застосувати таку найбільш ефективну технологію розпланувальних робіт.

1. На основі технологічних габаритів обчислюються проектні координати

$x_{г.п.}$, $y_{г.п.}$ для всіх пунктів наявної геодезичної мережі та крайніх точок базисних ліній. Ці лінії мають бути паралельними до осей генерального плану, від яких здійснюватиметься розмітка будівлі чи комплексу об'єктів зі спільним виробничим циклом. Далі базову лінію АВ переносимо безпосередньо на місцевість і фіксуємо її. Оскільки під час земляних робіт є високий ризик втрати або пошкодження якогось із пунктів, рекомендується перенести та закріпити в натурі принаймні дві такі лінії. Як приклад, у ситуації, що проілюстрована на рис. 3, раціонально використати як базові пункти А, В та С, що лежать на перехресті створів уже збудованої споруди та планових точок головної осі 16-15. При цьому винесення точок А і С цілком можливе навіть із використанням картографічних координат.

2. Щойно базиси будуть надійно закріплені на ділянці, за допомогою методу GNSS встановлюємо геоцентричні координати точок базису- X_A, X_B, Y_A, Y_B , геодезичні координати базисної точки В- B_A, L_A, B_B, L_B , а також, з метою додаткової перевірки, координати точок червоних ліній, що слугували основою для проектування розташування споруд.

3. Отримані дані координат червоних ліній підлягають обов'язковому аналізу на наявність значних похибок. Для цього дистанції між ними, вираховані за геоцентричними GNSS-координатами, зіставляються з технологічними розмірами. Якщо під час перевірки виявляються неточності, такі розбіжності необхідно обов'язково узгодити з проектувальником.

4. Щоб перенести в натуру контури будівлі (її головні осі), необхідно розрахувати топоцентричні координати. Це робиться на основі проектних координат тих точок, що фіксуватимуть межі споруди, та проектних координат базових точок, застосовуючи формули у такому вигляді:

$$x_{т.ц.} = S \cos A, \quad y_{т.ц.} = S \sin A, \quad (4.10)$$

де S – віддаль від початку координат до точки;

A – азимут до точки.

Віддаль від початку координат до точки знаходять за формулою

$$S = \sqrt{\Delta x_{A-1}^2 + y_{A-1}^2}, \quad (4.11)$$

де $\Delta x_{A-1}, \Delta y_{A-1}$ – різниця проектних координат точки A (початку проектної системи координат) і 1 , яку виносять в натуру.

Азимут до точки знаходять за формулою

$$A = A_{\text{поч}} + \beta, \quad (4.12)$$

де β – азимут, що рівний, $\beta = \arctg \frac{\Delta y_{A-1}}{\Delta x_{A-1}}$.

$A_{\text{поч}}$ – геодезичний (від площини геодезичного меридіану) азимут базисної лінії AB , який визначається із результатів GNSS вимірів на точках базису. У даному випадку це можна обчислити за формулами:

$$\begin{vmatrix} x'_B \\ x'_B \end{vmatrix} = P'_B \begin{vmatrix} X_A - X_B \\ Y_A - Y_B \end{vmatrix}, \quad (4.13)$$

де P'_B – матриця перетворення;

X_A, X_B, Y_A, Y_B – геоцентричні координати точок базису;

$$P'_B = \begin{vmatrix} -\sin B_B & -\sin B_B \sin L_B & \cos B_B \\ -\sin L_B & \cos L_B & 0 \\ \cos B_B \cos L_B & \cos B_B \sin L_B & \sin B_B \end{vmatrix}, \quad (4.14)$$

де B_B, L_B – геодезичні координати точки B базису.

Відповідно, за відомими формулами знаходимо геоцентричні координати тих проектних точок, які потрібно винести в натуру за допомогою GNSS-приймача.

$$\begin{vmatrix} X_1 \\ Y_1 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} X_A \\ Y_A \end{vmatrix} + P \begin{vmatrix} x_{T.Ц.} \\ y_{T.Ц.} \end{vmatrix} \quad (4.15)$$

де P – матриця повороту, елементи якої геодезичні координати вихідної точки;

$$P'_B = \begin{vmatrix} -\sin B_A & -\sin L_A & \cos B_A \cos L_A \\ -\sin B_A \sin L_A & \cos L_A & \cos B_A \sin L_A \\ \cos B_A & 0 & \sin A \end{vmatrix}, \quad (4.16)$$

де B_A, L_A – геодезичні координати точки В базису.

Пропонується програмний комплекс для обчислення геоцентричних координат за точками генплану, що дає змогу значно скоротити час на виконання розрахунків.

5. За допомогою GNSS-приймача, спираючись на визначені координати WGS, виносимо та фіксуємо на місцевості основні й головні осі.
6. З метою перевірки ці самі точки виносимо від базових ліній, застосовуючи електронний тахеометр.

Відмінним контролем як для польових, так і для камеральних робіт стане точний збіг на місцевості тих точок, що були винесені GNSS-обладнанням, із тими, які були розплановані від базисної лінії електронним тахеометром.

ВИСНОВОК

У результаті виконання бакалаврської роботи вирішено актуальне науково-практичне завдання щодо дослідження, обґрунтування та вибору оптимальних методів інженерно-геодезичного забезпечення будівництва нового «Регіонального центру реабілітаційного лікування та ментального здоров'я» в м. Івано-Франківськ. Аналіз специфіки об'єкта показав, що територія майбутнього закладу характеризується надзвичайно щільною мережею підземних інженерних комунікацій. Цей фактор суттєво ускладнює виконання геодезичних робіт і вимагає створення опорної геодезичної мережі з підвищеним рівнем точності. На основі вимог чинних нормативних документів (ДБН та ДСТУ) було розраховано технологічні допуски та середні квадратичні похибки для різних прольотів конструкцій споруди (3,6 м, 4,2 м, 12 м). Розрахунки підтвердили, що для забезпечення необхідної точності середньоквадратична похибка (СКП) приладів для створення опорної мережі має складати 3 мм, тому даний етап робіт доцільно виконувати електронним тахеометром із кутовою точністю не менше 5".

У ході дослідження також було проведено порівняльний аналіз класичних (полігонометрія, засічки) та сучасних (ГНСС-вимірювання) методів створення геодезичної основи. Зважаючи на виявлені недоліки традиційних способів, зокрема накопичення похибок при переході від вищого ступеня мережі до нижчого та проблеми з редукуванням пунктів у проектне положення, було обґрунтовано оптимальну методику розпланувальних робіт. Для об'єктів, об'єднаних одним технологічним циклом, запропоновано використовувати як опорну мережу щонайменше два базиси, закладені за допомогою супутникового RTN-методу. При цьому детальні розмічувальні роботи необхідно виконувати електронним тахеометром відносно базової лінії, що дозволяє уникнути успадкування похибок вихідних даних і підвищити загальну точність. Окрему увагу було приділено проблемі вибору

системи координат. Доведено, що застосування Державної системи координат УСК-2000 для детальних розпланувальних робіт є недоцільним через виникнення лінійних спотворень у проекції Гауса-Крюгера, які унеможливають досягнення міліметрової точності (3–5 мм). Відповідно, обґрунтовано необхідність переходу до топоцентричної системи координат, яка дозволяє оперувати натуральними розмірами з робочих креслень без введення додаткових масштабних коефіцієнтів та поправок.

Усі теоретичні напрацювання та обрані методики пройшли успішну практичну апробацію під час безпосереднього винесення в натуру основних осей майбутньої будівлі Регіонального центру. Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що розроблена схема розмічувальних робіт з використанням базових ліній та запропонований алгоритм переходу до топоцентричної системи координат можуть бути впроваджені будівельними й геодезичними організаціями. Це дозволить суттєво оптимізувати геодезичний супровід об'єктів класу наслідків ССЗ, мінімізувати похибки та скоротити загальні терміни виконання робіт.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Івано-Франківська обласна державна адміністрація - Розпочалися підготовчі роботи з будівництва сучасного Регіонального центру реабілітаційного лікування і ментального здоров'я. *Головна | Івано-Франківська обласна державна адміністрація*. URL: <https://www.if.gov.ua/news/rozpochalysia-pidhotovchi-roboty-z-budivnytstva-suchasnoho-rehionalnoho-tsentru-reabilitatsiinoho-likuvannia-i-mentalnoho-zdorovia> (дата звернення: 30.03.2026).
2. Як виглядатиме регіональний центр реабілітації та ментального здоров'я на Прикарпатті. *Західний кур'єр*. URL: <https://www.if.gov.ua/news/rozpochalysia-pidhotovchi-roboty-z-budivnytstva-suchasnoho-rehionalnoho-tsentru-reabilitatsiinoho-likuvannia-i-mentalnoho-zdorovia> (дата звернення: 30.03.2026).
3. Баран П. І. Інженерна геодезія : монографія. Київ : ВІПОЛ, 2012. 618 с.
4. Бурак К. О. Технологія розпланувальних робіт і виконавчих зніманих з використанням TPS. *Геодезія, картографія і аерофотознімання*. 2011. № 75. С. 53–57.
5. Бурак К., Лиско Б. Можливості використання RTN-рішень для розмічувальних робіт на будівництві. *Istcgcap*. 2018. № 87. С. 16–22. URL: <https://doi.org/10.23939/istcgcap2018.01.016> (дата звернення: 18.04.2026).
6. *Останні новини, нормативи та публікації - ДБНУ - Державні будівельні норми України - норми: ДБН, ДСТУ, СНиП, ГОСТ, СН, ВБН*. URL: https://dbn.at.ua/_ld/11/1167_DBNInzhenernivu.pdf (дата звернення: 24.04.2026).
7. Burak K. O., Lysko B. O., Yarosh K. A. Особливості координатного забезпечення розпланувальних робіт на будівництві GNSS методом. *Scientific*

Bulletin of UNFU. 2019. Т. 29, № 7. С. 151–155.

URL: <https://doi.org/10.15421/40290730> (дата звернення: 22.05.2026).

8. Геодезичне забезпечення будівництва. Частина 2. : навч. посіб. / Г. С. Ратушняк та ін. Вінниця : ВНТУ, 2014. 99 с.
9. Геодезичні роботи у будівництві : ДБН В.1.3-2:2010. Київ : Мінрегіонбуд України, 2010. 32 с. (Система забезпечення точності геометричних параметрів у будівництві).