

ДВНЗ «Донецький Національний Технічний Університет»  
(повне найменування вищого навчального закладу)

Гірничий факультет

(повне найменування інституту, назва факультету)

Кафедра геотехнічної інженерії

(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

В.о. завідувача кафедри

В. І. Альохін

(підпис)

(ініціали, прізвище)

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2023 р.

## Випускна кваліфікаційна робота

магістр

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему: Проект геодезичного обґрунтування для будівництва блоку №12  
ПРАТ «Шахтоуправління «Покровське»

Виконала: студентка 2 курсу, групи ГКЗм-22

напряму підготовки (спеціальності) 193 «Геодезія та землеустрій»

(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

Ковтун Д.С.

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Керівник доц. каф. ГТІ, к.т.н. Кодунов Б.О.

(посада, наук. ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Рецензент

Зав. кафедри гірничої справи ТОВ "ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
"МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА"

канд. техн. наук, доцент Каменець В.І.

(посада, наук. ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

*Засвідчую, що у цій кваліфікаційній  
роботі немає запозичень з праць інших  
авторів без відповідних посилань.*

Студентка Ковтун Д.С. \_\_\_\_\_  
(підпис)

Покровськ – Луцьк – 2023

## ДВНЗ «Донецький Національний Технічний Університет»

Факультет ГірничийКафедра Геотехнічної інженеріїОсвітньо-кваліфікаційний рівень (освітній ступінь) магістрНапрямок підготовки (спеціальність) 193 «Геодезія та землеустрій»

ЗАТВЕРДЖУЮ

В. о. завідувача кафедри

/В. І. Альохін/

“ ” 2023 року

**З А В Д А Н Н Я**  
**НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**Ковтун Дарині Святославівні

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Проект геодезичного обґрунтування для будівництва блоку №12 ПРАТ «Шахтоуправління «Покровське»керівник роботи Кодунов Борис Олексійович, к.т.н, доц.

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

затверджені наказом №479 від “22” 09 2023 року2. Строк подання студентом роботи 22 грудня 2023 року

3. Вихідні дані до проекту (роботи):

- матеріали переддипломної практики;
- опрацьовані дані з літературних джерел;
- результати математичних розрахунків;
- фактичні дані з підприємства у напрямку досліджень.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Загальні відомості про підприємство.
2. Характеристика методів створення геодезичних опорних мереж.
3. Створення геодезичного обґрунтування для будівництва блоку №12 ПРАТ «Шахтоуправління «Покровське».
4. Заходи з техніки безпеки при виконанні геодезичних робіт.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

## 6. Консультанти розділів проекту (роботи)

| Розділ        | Прізвище, ініціали та посада<br>Консультанта | Підпис, дата      |                     |
|---------------|----------------------------------------------|-------------------|---------------------|
|               |                                              | завдання<br>видав | завдання<br>прийняв |
| 1-4           | Кодунов Б.О., доц., к.т.н.                   |                   |                     |
| Нормоконтроль | Альошін В.І., доц., д.г.н.                   |                   |                     |

7. Дата видачі завдання 22.09.23 р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| №<br>з/п | Назва етапів дипломного<br>проекту (роботи)                                                             | Строк виконання етапів<br>проекту<br>(роботи) | При<br>мітка |
|----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|--------------|
| 1        | Ознайомлення з темою випускної роботи                                                                   | 22.09.2023-01.10.2023                         |              |
| 2        | Мета і завдання досліджень                                                                              | 02.10.2023-09.10.2023                         |              |
| 3        | Загальні відомості про підприємство                                                                     | 10.10.2023-22.10.2023                         |              |
| 4        | Характеристика методів створення<br>геодезичних опорних мереж                                           | 23.10.2023-03.11.2023                         |              |
| 5        | Створення геодезичного обґрунтування для<br>будівництва блоку №12 ПРАТ<br>«Шахтоуправління «Покровське» | 04.11.2023-02.12.2023                         |              |
| 6        | Заходи з техніки безпеки при виконанні<br>геодезичних робіт                                             | 03.12.2022-10.12.2023                         |              |
| 7        | Оформлення роботи                                                                                       | 11.12.2023-16.12.2023                         |              |

Студент

\_\_\_\_\_ **Ковтун Д. С.**  
( підпис ) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

\_\_\_\_\_ **Кодунов Б. О.**  
( підпис ) (прізвище та ініціали)

## АНОТАЦІЯ

Ковтун Д. С. Проект геодезичного обґрунтування для будівництва блоку №12 ПРАТ «Шахтоуправління «Покровське» / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 193 «Геодезія та землеустрій». – ДВНЗ ДонНТУ, Луцьк, 2023.

Будівництво об'єктів потребує геодезичної основи, за допомогою якої визначається просторове положення будівель та споруд. Для цього поблизу будівельного майданчика створюється геодезична опорна мережа у вигляді геодезичних пунктів, які мають планові та висотні координати. Точність визначення даних координат впливає на точність і якість будівництва об'єктів. Тому вибір методів створення опорної геодезичної мережі для будівництва, які забезпечують необхідну точність, є актуальною задачею.

У роботі розглянуті основні методи створення планових опорних геодезичних мереж: триангуляція, трилатерація, полігонометрія, лінійно-кутових побудов, супутникового позиціонування; визначені їх особливості, переваги та недоліки.

Для умов будівництва промислового майданчика блоку №12 ПРАТ «Шахтоуправління «Покровське» виконано розрахунки середніх квадратичних похибок визначення координат для різних методів створення планових опорних геодезичних мереж.

На основі отриманих результатів та їх порівняння обрано відповідні методи, технології і прилади для виконання геодезичних робіт.

Також обґрунтовано та обрано технологію створення висотної опорної мережі для будівництва.

Ключові слова: опорна геодезична мережа, промисловий майданчик шахти, триангуляція, трилатерація, полігонометрія, середня квадратична похибка, супутниковий приймач.

## ABSTRACT

Kovtun D.S. Geodetic substantiation project for the construction of block №12 of PJSC "Mining Management "Pokrovske" / Graduation qualification work for obtaining the educational degree "master" in specialty 193 "Geodesy and land management". – DVNZ DonNTU, Lutsk, 2023.

The construction of objects requires a geodetic basis, which is used to determine the spatial position of buildings and structures. For this, a geodetic reference network is created near the construction site in the form of geodetic points that have plan and elevation coordinates. The accuracy of determining these coordinates affects the accuracy and quality of construction of objects. Therefore, the choice of methods of creating a reference geodetic network for construction, which provide the necessary accuracy, is an urgent task.

The work considers the main methods of creating planned reference geodetic networks: triangulation, trilateration, polygonometry, linear and angular constructions, satellite positioning; their features, advantages and disadvantages are defined.

For the conditions of the construction of the industrial site of block #12 of PJSC Shakhtoupravlinnia Pokrovske, calculations of mean squared errors of coordinate determination for various methods of creating planned reference geodetic networks were performed.

Based on the obtained results and their comparison, appropriate methods, technologies and devices were chosen for performing geodetic works.

The technology of creating a high-altitude support network for construction is also substantiated and selected.

Key words: reference geodetic network, mine industrial site, triangulation, trilateration, polygonometry, root mean square error, satellite receiver.

## ЗМІСТ

|                                                                                                            |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ВСТУП.....                                                                                                 | 8  |
| 1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ПІДПРИЄМСТВО .....                                                                | 10 |
| 1.1 Загальна характеристика об'єктів поверхневого комплексу<br>ПРАТ «Шахтоуправління «Покровське» .....    | 10 |
| 2 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА МЕТОДІВ СТВОРЕННЯ<br>ГЕОДЕЗИЧНИХ ОПОРНИХ МЕРЕЖ.....                              | 13 |
| 2.1 Метод триангуляції.....                                                                                | 13 |
| 2.2 Метод полігонометрії .....                                                                             | 16 |
| 2.3 Метод трилатерації.....                                                                                | 20 |
| 2.4 Метод лінійно-кутових побудов.....                                                                     | 22 |
| 2.5 Метод супутникового позиціонування.....                                                                | 23 |
| 3 ПРОЕКТ СТВОРЕННЯ ОПОРНОЇ ГЕОДЕЗИЧНОЇ МЕРЕЖІ ДЛЯ<br>БУДІВНИЦТВА ПРОМИСЛОВОГО МАЙДАНЧИКА БЛОКА<br>№12..... | 29 |
| 3.1 Мета, технічні умови та склад проекту.....                                                             | 29 |
| 3.2 Вихідні дані для проектування.....                                                                     | 30 |
| 3.3 Проект лінійно-кутової геодезичної мережі.....                                                         | 34 |
| 3.3.1 Нормативні характеристики лінійно-кутової мережі.....                                                | 34 |
| 3.3.2 Схема лінійно-кутової мережі.....                                                                    | 36 |
| 3.3.3 Оцінка точності проекту схеми лінійно-кутової мережі.....                                            | 37 |
| 3.4 Складання проекту мережі полігонометрії 1 розряду.....                                                 | 43 |
| 3.4.1 Нормативні характеристики полігонометрії.....                                                        | 43 |
| 3.4.2 Схема проекту полігонометричного ходу.....                                                           | 44 |
| 3.4.3 Підготовка вихідних даних для оцінки точності проекту<br>полігонометрії.....                         | 48 |
| 3.4.4 Оцінка точності елементів проекту мережі полігонометрії.....                                         | 49 |
| 3.5 Типи центрів для закріплення пунктів мережі .....                                                      | 55 |
| 3.6 Вибір приладів для кутових та лінійних вимірювань мережі...                                            | 57 |

|      |                                                                    |    |
|------|--------------------------------------------------------------------|----|
| 3.7  | Проект створення опорної мережі супутниковим методом.....          | 62 |
| 3.8  | Порівняння точності методів створення планової опорної мережі..... | 69 |
| 3.9  | Створення висотної опорної мережі.....                             | 70 |
| 3.10 | Створення геодезичної розбивочної основи .....                     | 72 |
| 4    | ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ ПРИ ВИКОНАННІ ГЕОДЕЗИЧНИХ РОБІТ ....               | 75 |
|      | ВИСНОВКИ.....                                                      | 83 |
|      | ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....                                              | 85 |

## ВСТУП

Створення геодезичного обґрунтування для будівництва є важливим завданням, від якості виконання якого залежить якість самого будівництва. Це обумовлює актуальність питань, пов'язаних з підготовкою проектних рішень щодо вибору методів створення опорних геодезичних мереж та їх точності.

У практиці виконання геодезичних робіт застосовують такі основні методи створення планових опорних геодезичних мереж: триангуляція, трилатерація, полігонометрія, лінійно-кутових побудов, супутникового позиціонування. Кожен з цих методів має свої особливості, переваги та недоліки. Для обґрунтованого вибору методу для створення опорної мережі необхідно виконати їх аналіз та порівняння. При цьому повинні бути враховані фізико-географічні умови розташування об'єкту, що будується, а також його технологічне призначення.

Виконуючи аналіз методів створення опорних мереж необхідно обрати основний критерій для порівняння. В якості такого критерію, як правило, обирається точність визначення положення пункту мережі, яка характеризується середньою квадратичною похибкою визначення його координат.

При проектуванні опорної мережі необхідно обрати технологію виконання робіт, яка б забезпечувала встановлену точність у положенні пунктів. Виходячі з необхідної точності визначення координат обираються необхідні інструменти і прилади для виконання геодезичних робіт.

З метою отримання достатньої інформації для порівняння різних методів, у даній роботі передбачається виконати аналіз точності визначення координат наступними методами створення опорних геодезичних мереж: лінійно-кутових побудов, полігонометрії та супутникового позиціонування.

Мета роботи полягає в обґрунтуванні та виборі методів створення геодезичної опорної та розбивочної мережі для будівництва поверхневого комплексу промислового майданчика блока №12 ПРАТ «Шахтоуправління «Покровське».

Для досягнення поставленої мети передбачено виконати наступні завдання:

1. Виконати аналіз умов виконання робіт, визначити склад проекту створення геодезичної основи для будівництва, обґрунтувати необхідну точність робіт.

2. Запроектувати схеми створення опорної геодезичної мережі методами лінійно-кутових побудов, прокладанням полігонометричного ходу та супутниковим методом. Розрахувати точність визначення координат пунктів даними методами.

3. Обрати геодезичні прилади, застосування яких забезпечує отримання необхідної точності визначення положення пунктів.

Об'єктом дослідження є методи створення опорних геодезичних мереж.

Предметом дослідження є точність визначення координат пунктів опорної геодезичної мережі різними методами.

Дослідження проводилось шляхом:

- аналізу технічної літератури;
- вивчення та узагальнення практики геодезичних робіт;
- порівняння;
- класифікації.

Практичне значення роботи полягає у вирішенні основних питань розробки проекту створення опорної геодезичної мережі для будівництва поверхневого комплексу промислового майданчика блока №12 ПРАТ «Шахтоуправління «Покровське».

Робота складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, списку

використаних джерел, викладена на 85 сторінках.

## 1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ПІДПРИЄМСТВО

### 1.1 Загальна характеристика ПрАТ «Шахтоуправління «Покровське»

ПрАТ «Шахтоуправління «Покровське» є лідером з видобутку вугілля в Україні, щорічно видаючи на поверхню близько 6 млн. т. цінної сировини для виготовлення коксу.

Підприємство працює з 1990 року після введення в експлуатацію першої частини проекту – шахти «Красноармійська – Західна №1». Проект будівництва виконав інституту «Дондіпрошахт». Шахта була побудована силами шахтобудівельних організацій промислового об'єднання «Донецькшахтобуд», генеральним підрядником був трест «Красноармійськшахтобуд».

Основний промисловий майданчик підприємства знаходиться в 15 км на захід від м. Покровськ.



Рисунок 1.1 – Основний промисловий майданчик

На момент здачі шахти в експлуатацію до складу поверхневого комплексу входили 3 промислові майданчики: скіпового та допоміжного стволів (основний проммайданчик) і проммайданчики повітряподавального ствола №1 та вентиляційного ствола №1. Але підприємство постійно розвивалось, частина шахтного поля, яку обслуговували названі стволи, була відроблена і виникла необхідність у відробці запасів вугілля в інших його частинах. Для цього було пройдено нові стволи і побудовано комплекси будівель і споруд у складі нових проммайданчиків для обслуговування цих стволів.

На даний час до складу поверхневого комплексу ПрАТ «Шахтоуправління «Покровське» входить 6 промислових майданчиків, з яких чотири повністю побудовані (основний проммайданчик, проммайданчики повітряподавального ствола №1, вентиляційного ствола №1 та проммайданчик повітряподавального ствола №2), один знаходиться в завершальній стадії будівництва (проммайданчик блока №11 з повітряподавльним стволом №3 і вентиляційним стволом №3). На шостому проммайданчику ведуться підготовчі роботи. Це промисловий майданчик блока №12 (рис. 1.2).



Рисунок 1.2 – Місцезоположення проммайданчика блока №12

Проектом будівництва планується розмістити на промисловому майданчику блоку №12 повітряподавальний ствол №4 та скіповий ствол №4. Вугілля буде видаватись на поверхню і по галереї передаватись на шахтну залізничну станцію, яка буде збудована на розташованому поряд залізничному шляху (рис. 1.3).

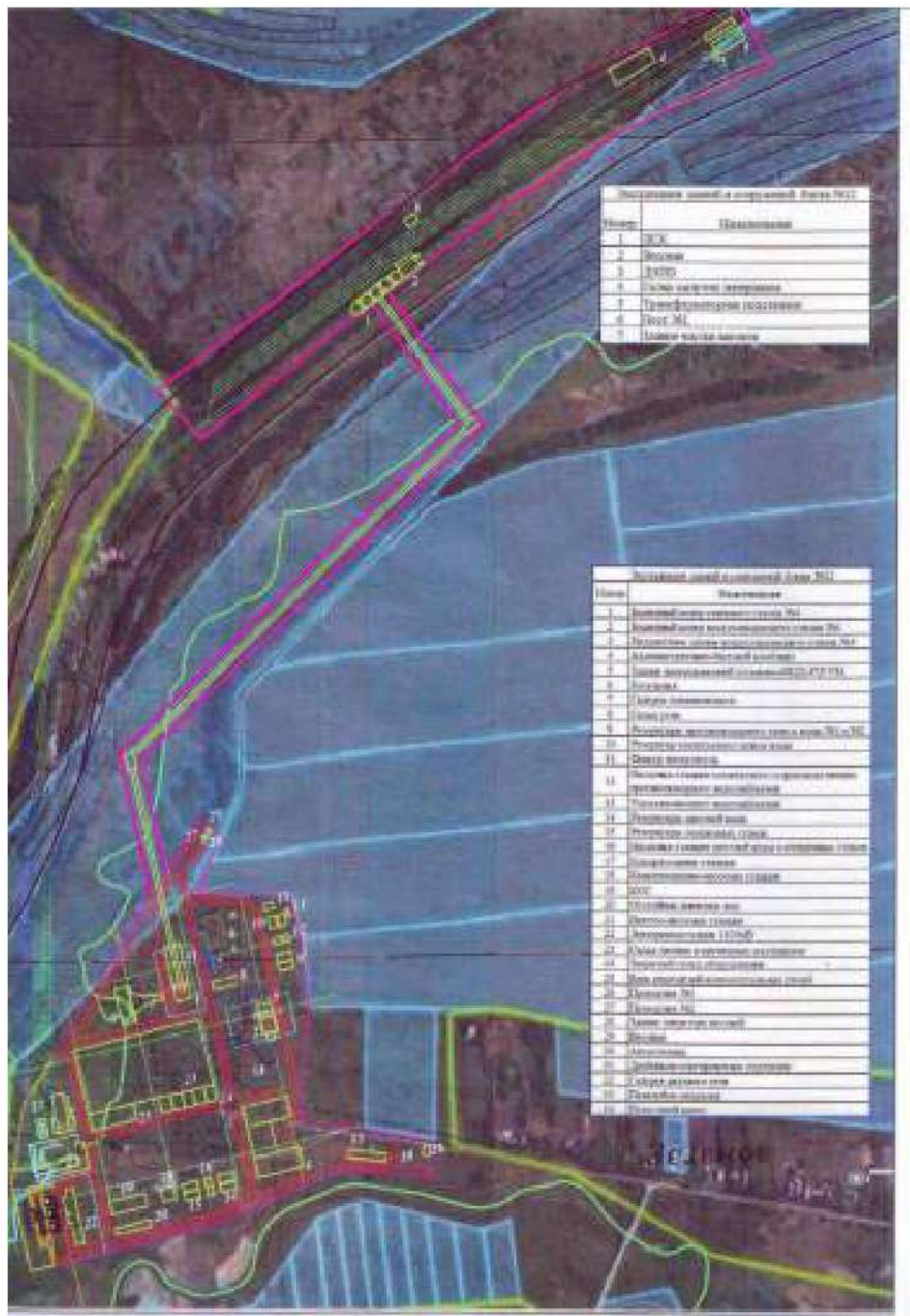


Рисунок 1.3 – Поверхневий комплекс блоку №12

## 2 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА МЕТОДІВ СТВОРЕННЯ ГЕОДЕЗИЧНИХ ОПОРНИХ МЕРЕЖ

### 2.1 Метод триангуляції

Триангуляція – один із методів створення планових геодезичних мереж на основі побудови та розв'язання трикутників за вимірними кутами. Триангуляція являє собою систему трикутників, що примикають або перекривають один одного, які можуть утворювати триангуляційний ряд або триангуляційну мережу (рис. 2.1) Сторону одного з трикутників вимірюють безпосередньо або одержують непрямым шляхом, побудувавши так звану базисну мережу, що складається, як правило, з ромбів з різними діагоналями по довжині. Інші сторони триангуляційного ряду або мережі знаходять шляхом послідовного розв'язання трикутників по кутах та стороні, використовуючи теорему синусів.

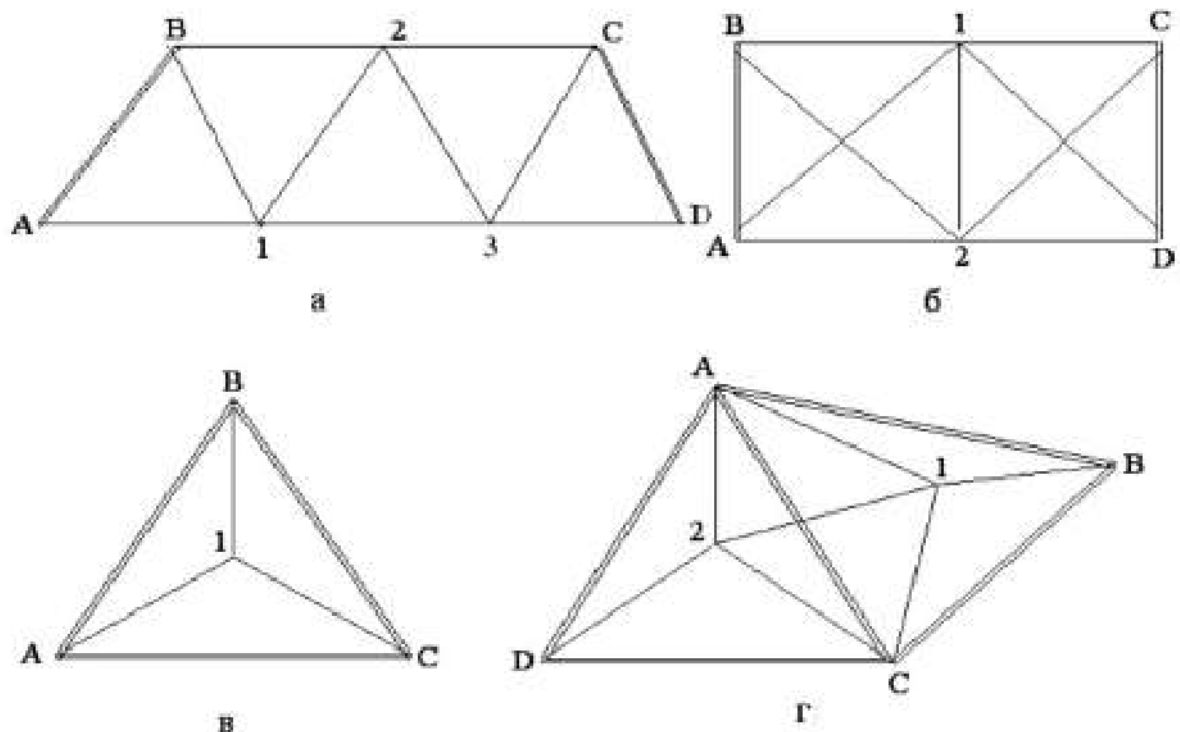


Рисунок 2.1 – Типові схеми триангуляції: а – ланцюг трикутників; б – ланцюг геодезичних чотирикутників; в – вставка пункту в трикутник; г – вставка

Відомо, що для вирішення трикутника достатньо виміряти в ньому, крім сторони, два кути. Однак при побудові тріангуляції у кожному трикутнику вимірюють усі три кути.

Це дозволяє проконтролювати результати кутових вимірювань і, крім того, у результаті спеціальних зрівняльних обчислень дещо підвищити точність кінцевого результату. З цією ж метою вимірюють довжину не однієї сторони ряду або сітки, а двох і більше. У разі потреби у схемі тріангуляції передбачають перекриття трикутників, що також покращує якість побудови. Після того, як будуть обчислені довжини сторони трикутників, знаходять координати вершин. Для цього як вихідні дані необхідно мати координати однієї з точок і дирекційний кут (азимут) однієї зі сторін мережі. Потім з цих сторін послідовно вирішують прямі геодезичні задачі і таким чином визначають планове положення вершин мережі.

Наприклад в трикутнику  $ABP$  (рис. 2.2) відомі координати пунктів  $A$  ( $x_A, y_A$ ) та  $B$  ( $x_B, y_B$ ). Це дозволяє шляхом вирішення зворотної геодезичної задачі визначити довжину сторони  $AB = b$  та дирекційний кут  $\alpha_{AB}$  на пряму з пункту  $A$  на пункт  $B$ .

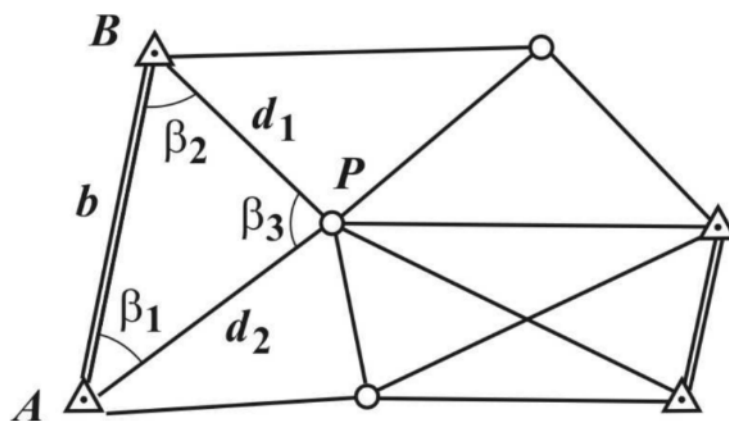


Рисунок 2.2 – Схема розрахунку координат точок тріангуляційної мережі

Довжини двох інших сторін трикутника  $ABP$  можуть бути обчислені за теоремою синусів:

$$d_1 = \frac{b \cdot \sin \beta_1}{\sin \beta_3};$$

$$d_2 = \frac{b \cdot \sin \beta_2}{\sin \beta_3};$$

Продовжуючи так, обчислюють довжини всіх сторін мережі.

Якщо крім базису  $b$  відомі інші базиси (на рис. 2.2 базиси показані подвійною лінією), то довжини сторін мережі можна обчислити з контролем.

Дирекційні кути сторін  $AP$  та  $BP$  трикутника  $ABP$  розраховуються за формулами:

$$\alpha_{AB} = \alpha_{AP} + \beta_1;$$

$$\alpha_{BP} = \alpha_{AB} \pm 180^\circ - \beta_2;$$

Координати пункту  $P$  визначаються за формулами прямої геодезичної задачі:

$$x_p = x_A + d_2 \cdot \cos \alpha_{AP};$$

$$y_p = y_A + d_2 \cdot \sin \alpha_{AP};$$

Аналогічно обчислюють координати всіх інших пунктів.

Тріангуляція має велике наукове та практичне значення. Вона служить для: визначення фігури та розмірів Землі методом градусних вимірів; вивчення горизонтальних рухів земної кори; обґрунтування топографічних зйомок у різних масштабах та цілях; обґрунтування різних геодезичних робіт при вишукуванні, проектуванні та будівництві великих інженерних споруд, при плануванні та будівництві міст і т. д.

При побудові тріангуляції в державній геодезичній мережі виходять із принципу переходу від загального до приватного, від великих трикутників до дрібніших. У зв'язку з цим тріангуляція поділяється на класи, що відрізняються точністю вимірювань та послідовністю їх побудови.

Вважають, що метод тріангуляції винайшов і вперше застосував В. Снелліус в 1615-17 рр. під час прокладання ряду трикутників у Нідерландах для градусних вимірів.

## 2.2 Метод полігонометрії

Полігонометрія – один із методів визначення взаємного положення точок земної поверхні для побудови опорної геодезичної мережі, що служить основою топографічних зйомок, планування та будівництва міст, перенесення проектів інженерних споруд у натуру і т. п. Положення пунктів у прийнятій системі координат визначають шляхом вимірювання на місцевості ліній, що послідовно з'єднують ці пункти та утворюють полігонометричний хід, та горизонтальних кутів між ними.

Пункти полігонометрії закріплюються на місцевості закладкою підземних бетонних монолітів чи металевих труб з якорями.

Кути в полігонометрії вимірюють теодолітами та електронними тахеометрами, причому об'єктами візування, як правило, служать спеціальні марки (або відбивачі), що встановлюються на пунктах, що спостерігаються. У разі використання теодоліту, довжини сторін полігонометричних ходів і мереж вимірюють сталевими або інварними мірними стрічками, а також світлодалекомірами. Результати вимірювань довжин і кутів у полігонометрії після введення в них відповідних поправок використовують для розрахунку координат. Залежно від точності та черговості побудови ходи та мережі полігонометрії діляться на класи, які мають відповідати класам тріангуляції.

Полігонометричний хід прокладають шляхом вимірювання на місцевості довжин ліній, що послідовно з'єднують пункти ходу, та

горизонтальних кутів між ними. Так, обравши на місцевості точки 1, 2, 3, ...,  $n$ ,  $n + 1$  вимірюють довжини  $s_1, s_2, \dots, s_n$  ліній між ними та кути  $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \dots, \beta_n$  між цими лініями (рис. 2.3).

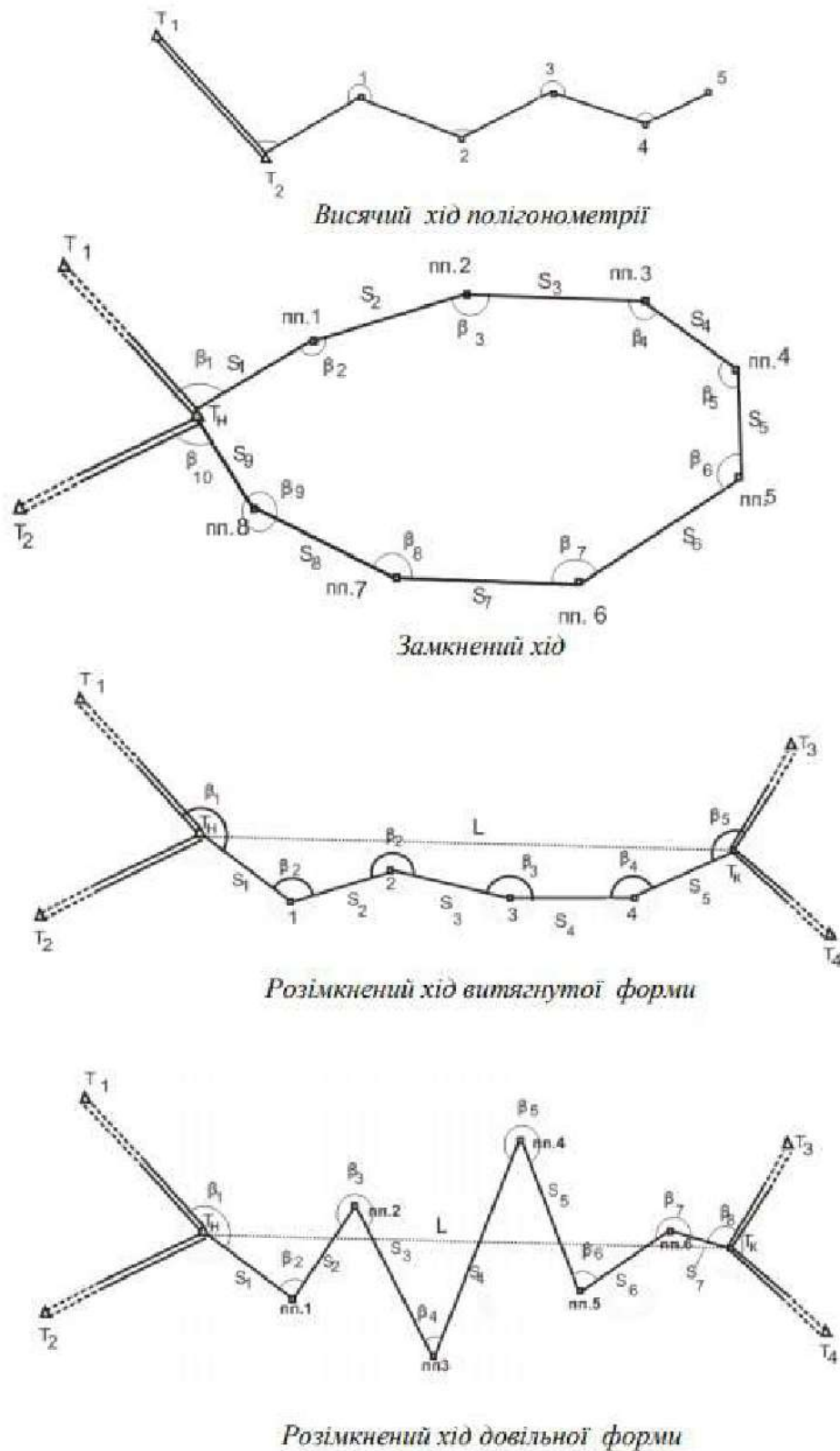


Рисунок 2.3 – Типи полігонометричних ходів

Існують наступні типи полігонометричних ходів:

- висячий (опирається на одну точку та сторону);
- замкнений (починається і закінчується тією ж самою точкою);
- розімкнений (опирається на дві точки та сторони).

За ступенем відхилення від лінії, що з'єднує початкову і кінцеву точки ходи можуть бути витягнутими та довільної форми.

Як правило, початкову точку полігонометричного ходу поєднують з опорним пунктом, який вже має відомі координати  $x_n, y_n$  і в якому відомий також вихідний дирекційний кут  $\alpha$  напрямку на якусь суміжну точку. У початковій точці полігонометричного ходу вимірюють примичний кут  $\beta_1$  між першою стороною ходу та вихідним напрямком.

Обчислення виконуються у такій послідовності.

1. Обчислюються дирекційні кути сторін ходу за формулою:

$$\alpha_i = \alpha_{i-1} + \beta_i \pm 180^\circ;$$

2. Прирошення координат  $\Delta x, \Delta y$  між парами суміжних пунктів ходу обчислюються за наступними формулами:

$$\Delta x_i = S_i \cdot \cos \alpha_i$$

$$\Delta y_i = S_i \cdot \sin \alpha_i$$

3. Обчислюються координати  $x$  та  $y$  пунктів ходу за формулами:

$$x_i = x_{i-1} + \Delta x_i$$

$$y_i = y_{i-1} + \Delta y_i$$

Для контролю та оцінки точності вимірювань у полігонометричному ході його кінцеву точку  $n + 1$  поєднують з опорним пунктом  $T_k$ , координати

$x_k$ ,  $y_k$  якого відомі і в якому відомий також дирекційний кут  $\alpha_k$  напрямку на суміжну точку. Це дає змогу обчислити так звану кутову та координатні нев'язки в полігонометричному ході, що залежать від похибок вимірювання довжин ліній та кутів і виражаються формулами:

$$f_{\alpha} = \alpha_{n+1} - \alpha_k$$

$$f_x = x_{n+1} - x_k$$

$$f_y = y_{n+1} - y_k$$

Ці нев'язки усувають шляхом виправлення вимірних кутів і довжин сторін поправками.

При значних розмірах території, на якій повинна бути створена опорна геодезична мережа, прокладаються полігонометричні ходи, що взаємно перетинаються, утворюють полігонометричну мережу (рис. 2.4).

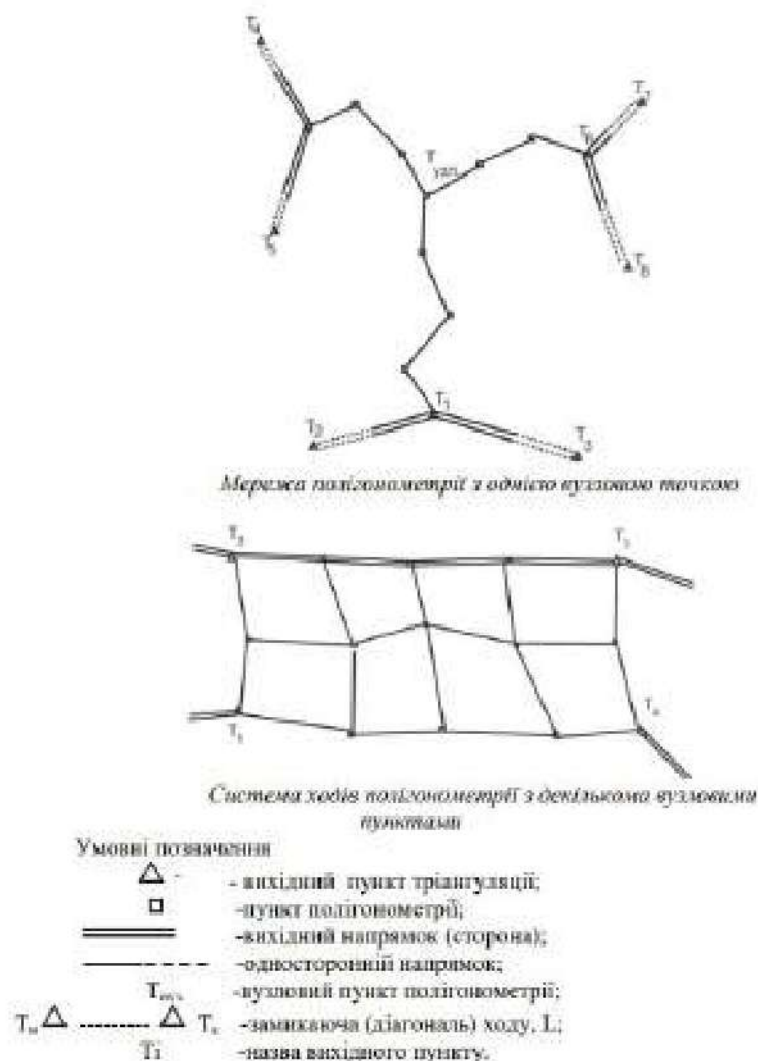


Рисунок 2.4 – Мережі полігонометричних ходів

У тих випадках, коли умови місцевості несприятливі для безпосереднього вимірювання ліній, довжини сторін полігонометричних ходів та мереж визначають опосередковано паралактичним методом (так звана паралактична полігонометрія). Цей спосіб заснований на рішенні трикутника ABC, в якому для визначення відстані  $S$  з високою точністю вимірюють перпендикулярну лінії вимірювання малу сторону  $l$ , звану базисом, і протилежний їй гострий паралактичний кут  $\beta$  (рис. 2.5). Відстань  $S$  обчислюють за формулою

$$S = \frac{l}{2} \cdot \operatorname{ctg} \frac{\beta}{2}$$

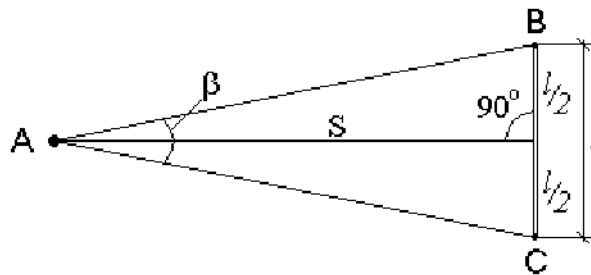


Рисунок 2.5 – Паралактичний спосіб вимірювання відстаней

Вимірюючи відстань цим способом, відразу одержують горизонтальне прокладання, тому введення поправок за нахил лінії не потрібно.

Залежно та умовами місцевості застосовують також інші схеми непрямого виміру сторін полігонометричних ходів.

### 2.3 Метод трилатерації

Трилатерація – як і триангуляція, є побудовою, що складається з трикутників. Однак у цих трикутниках вимірюють не кути, а довжини сторін. Мережі трилатерації, створювані на вирішення інженерно-геодезичних задач,

часто будують у вигляді вільних мереж, що складаються з окремих типових

фігур: геодезичних чотирикутників, центральних систем чи комбінацій з трикутниками. Вирішуються трикутники за формулами тригонометрії, знаходяться кути трикутників аналогічно до обчислень елементів системи трикутників.

Трилатерація являє собою суцільну мережу трикутників, що примикають один до одного, в яких вимірюють довжини всіх сторін; два пункти, як мінімум, повинні мати певні координати (рис. 2.6).

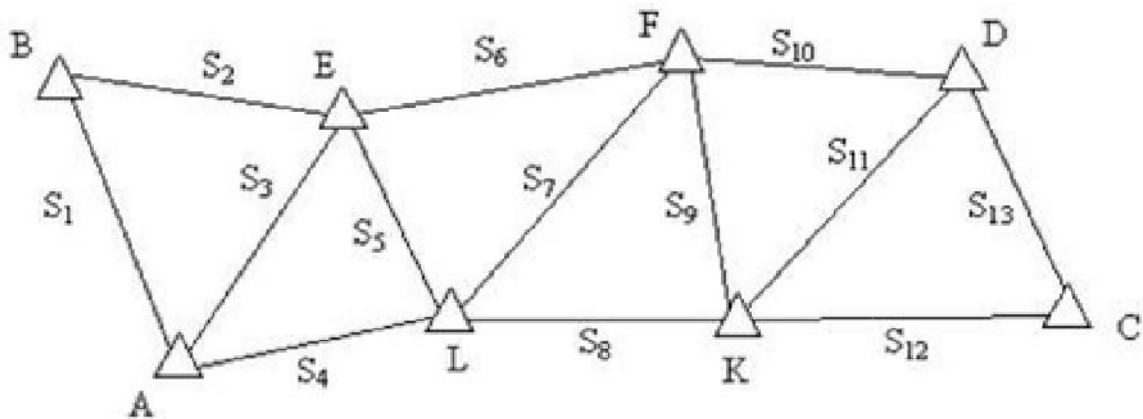


Рисунок 2.6 – Схема суцільної мережі трилатерації

Рішення першого трикутника трилатерації, в якому відомі координати двох пунктів і виміряні дві сторони, можна виконати за формулами лінійної засічки, причому потрібно вказувати: праворуч або ліворуч від опорної лінії АВ розташовується пункт Е. У другому трикутнику також виявляються відомими координати двох пунктів і довжини двох сторін; його рішення теж виконується за формулами лінійної засічки і таке інше.

Можна зробити і по-іншому: спочатку обчислити кути першого трикутника по теоремі косинусів, потім, використовуючи ці кути і дирекційний кут сторони АВ, обчислити дирекційні кути сторін АЕ та ВЕ і розв'язати пряму задачу від пункту А на пункт Е і від пункту В на пункт Е.

Таким чином, у кожному окремому трикутнику "чистої" трилатерації немає надмірних вимірювань і немає можливості виконати контроль вимірювань, зрівняння та оцінку точності; практично крім сторін трикутників

доводиться вимірювати деякі додаткові елементи і будувати мережу те щоб у ній виникали геометричні умови.

Широке поширення мережі трилатерації набули при будівництві високоповерхових будівель, димових труб, атомних електростанцій. Удосконалення та підвищення точності світло- та радіодалекомірів збільшує роль трилатерації, особливо в інженерно-геодезичних роботах. Триангуляцію та трилатерацію застосовують у тих випадках, коли існує видимість на великі відстані.

## **2.4 Метод лінійно-кутових побудов**

Лінійно-кутові мережі визначаються як побудовані на місцевості, що примикають одна до одної геометричні фігури з трикутників, чотирикутників і центральних систем в яких виміряні всі сторони і всі кути або частина кутів і всі сторони або ряд сторін і всі кути.

Звісно, вершини фігур закріплюються на місцевості підземними центрами і позначаються зовнішніми знаками.

При побудові інженерно-геодезичних розбивальних мереж суттєвим є не лише високі вимоги до точності планового положення пунктів, але й рівномірного розподілу помилок по мережі. У цьому світлі описані раніше способи побудови мереж розбивок мають деякі специфічні недоліки. Так, головним недоліком триангуляції є різке падіння точності визначення довжин сторін при збільшенні відстані між базисом і стороною, що визначається, особливо при різко нерівносторонній формі трикутників, що часто зустрічається в інженерно-геодезичних мережах.

Основний недолік трилатерації у тому, що й форма трикутників значно відрізняється від рівносторонньої, то кути, обчислені з виміряними сторонами, мають суттєву нерівноточність.

Лінійно-кутові мережі позбавлені цих недоліків і є найбільш точними

геодезичними побудовами на місцевості, що вбирають у собі переваги, як

триангуляції, так і трилатерації. Лінійно-кутова мережа в 1,3 -1,5 рази точніше триангуляції та трилатерації. У такій мережі точність її елементів практично не залежить від форми трикутників, суттєво зменшується залежність між поздовжнім та поперечним зсувами, забезпечується вельми жорсткий контроль кутових та лінійних вимірів.

Вигляд та конфігурація інженерно-геодезичних планових мереж залежать від форми та розмірів території міста чи селища, будівельного майданчика чи об'єкта будівництва.

Для лінійно-кутової мережі геометричні параметри, схема побудови, вимоги до точності вимірювання кутів аналогічні мережі триангуляції 4 класу.

Вимоги до точності вимірювання довжин сторін можуть бути прийняті як для трилатерації. Так само як і для трилатерації, оцінка проекту лінійно-кутової мережі може бути виконана двояко: на комп'ютері із застосуванням існуючих програм обробки інженерно-геодезичних вимірювань або за наближеними формулами.

## **2.5 Метод супутникового позиціонування**

У практиці топографічних та інженерно-геодезичних робіт на зміну традиційним приладам і технологіям прийшла нова і, перш за все, електронна супутникова приймаюча апаратура глобальних навігаційних систем позиціонування (ГНСС), яка використовується як визначник положення в плані і за висотою точки, що спостерігається. Застосування GPS-приймачів геодезичного класу призвело практично до революції в геодезії. Ці технології мають ряд переваг: насамперед не потрібна пряма видимість між пунктами, а точність тут – на порядок вища за традиційну.

Сутність супутникової технології розвитку знімального обґрунтування полягає у використанні ГНСС та системи обчислювальної обробки

(електронної обчислювальної техніки та програмного забезпечення) для отримання координат та висот точок місцевості.

Розташування точки може бути отримане з використанням ГНСС, як з абсолютних, так і з відносних визначень.

Абсолютні визначення виконуються за принципом просторової зворотної лінійної засічки, утвореної вимірними псевдодальностями чотирьох і більше супутників з однієї точки, де розміщений супутниковий приймач. Точність абсолютних визначень розташування обмежена низкою факторів, серед яких основним є вплив похибок ефемерид супутників.

Методи відносних визначень засновані на принципі компенсації сильно корелюваних похибок (до яких відносяться і ефемеридні похибки) при одночасному визначенні кодових і фазових псевдодальностей до супутників одного і того ж сузір'я з двох точок. Відносні методи забезпечують високу точність визначення планових координат та висот у системі координат та висот пунктів геодезичної основи.

Для супутникового позиціонування застосовують супутникові радіонавігаційні системи (СРНС). Основні характеристики мережі навігаційних супутників СРНС ГЛОНАСС (глобальна навігаційна супутникова система) та GPS (global navigation system) наведені у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1

| ПАРАМЕТРИ                            | ГЛОНАСС                               | GPS                             |
|--------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------|
| Проектна кількість супутників        | 24                                    | 24                              |
| Число орбітальних площин             | 3                                     | 6                               |
| Висота орбіт відносно центру мас, км | 25 500                                | 26 600                          |
| Спосіб поділу сигналів               | частотний                             | кодовий                         |
| Несуча частота L-1 мгц               | 1602,6-1615,5                         | 1575,4                          |
| L-2 мгц                              | 1246,4-1256,5                         | 1227,6                          |
| Система просторових координат        | ПЗ-90                                 | WGS-84 (МГС-84)                 |
| Тип ефемерид                         | Геоцентричні координати та їх похідні | Модифіковані кеплерові елементи |

Схема орбіт супутників ГЛОНАСС та GPS показана на рисунку 2.7.

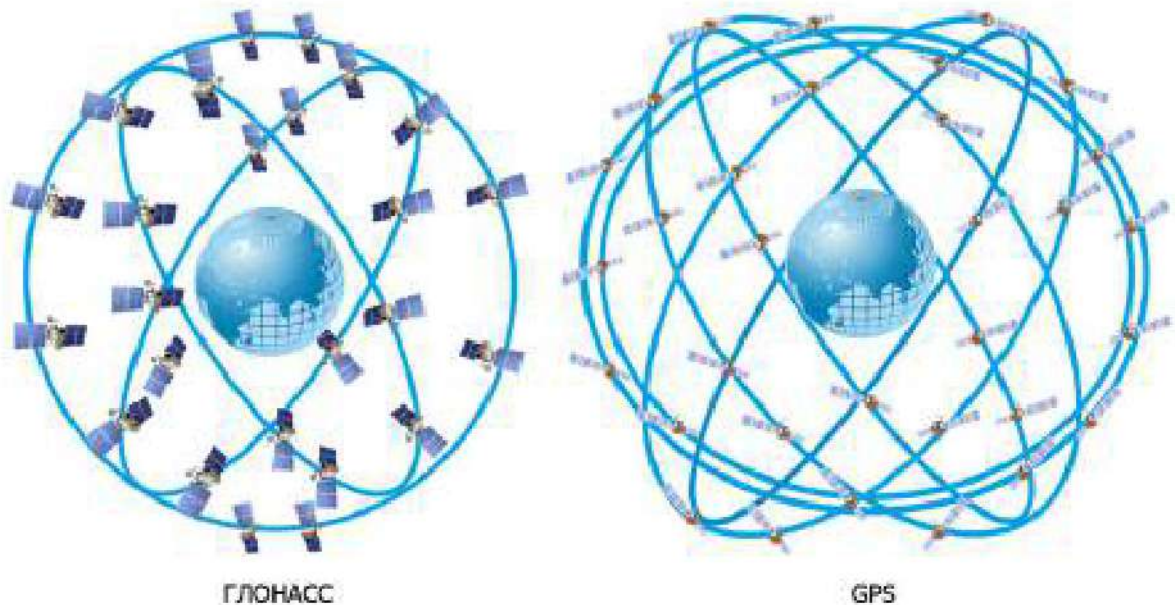


Рисунок 2.7 – Схема орбіт навігаційних супутників ГЛОНАСС та GPS

Підсистема наземного управління мережі навігаційних супутників є комплексом наземних засобів, призначених для контролю за працездатністю супутників, систематичного уточнення ефемерид кожного супутника, синхронізації годин супутників, періодичного оновлення змісту навігаційних повідомлень та їх трансляцію супутникам.

Підсистема апаратури споживачів представлена різними типами приймачів та програмного забезпечення обробки супутникових вимірювань. Типи та групи геодезичних супутникових приймачів наведені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2

| Тип приймача                      | Група | Число каналів не менше | Частоти                          | Точність                        |
|-----------------------------------|-------|------------------------|----------------------------------|---------------------------------|
| Двосистемні двочастотні та більше | 1     | 24                     | L1/L2(GPS)+<br>L1/L2(ГЛОНАСС)    | 3 мм+<br>$1 \cdot 10^{-6}D$     |
| Односистемні двочастотні          | 2     | 9                      | L1/L2(GPS) або<br>L1/L2(ГЛОНАСС) | (3-5) мм+<br>$1 \cdot 10^{-6}D$ |
| Односистемні одностотні           | 3     | 9                      | L1(GPS) або<br>L1(ГЛОНАСС)       | 10 мм+<br>$2 \cdot 10^{-6}D$    |

Перешкоди, такі як будівлі та споруди, густа рослинність та великі предмети, при їх знаходженні на прямій, що з'єднує супутник та приймач (незалежно від тривалості знаходження), виключають можливість спостереження цього супутника. При виконанні супутникових визначень не рекомендується спостерігати супутники, піднесення яких над горизонтом становить менше  $15^\circ$ , тому що в іншому випадку отримані дані значно спотворюватимуться впливом атмосферної рефракції.

Об'єкти, що відбивають радіосигнал, що знаходяться поблизу приймача (на відстанях менше 50 м), більшою чи меншою мірою, залежно від відстані та площі поверхні об'єкта, створюють ефект багатьох шляхів, що знижує точність супутникових визначень. До таких об'єктів належать штучні споруди та великі предмети, особливо металеві. Щоб уникнути появи ефекту багатьох шляхів, в процесі робіт необхідно стежити, щоб точки знімального обґрунтування не потрапляли до зон, близьких до великих металевих об'єктів (опорів високовольтних ліній електропередач, нафтоналивних баків тощо).

Радіоперешкоди, створювані джерелами радіосигналів (потужними радіостанціями), що знаходяться на відстані менше 1 км від приймача, а також підвісними високовольтними лініями електропередач, що знаходяться на відстані менше 50 м від приймача, знижують точність супутникових термінів. Необхідно уникати розміщення супутникових приймачів поблизу цих об'єктів.

Точність супутникових визначень залежить від зміни супутникового сузір'я під час виконання прийому.

Вплив зміни супутникового сузір'я на точність супутникових визначень характеризується чинником зниження точності DOP (dilution of precision), що є ставлення середньої квадратичної похибки позиціонування до середньої квадратичної похибки вимірювання відстаней до супутників, що спостерігаються. Фактор DOP має кілька видів, основні з яких наведені у табл. 2.3.

Таблиця 2.3 - Види фактора зниження точності (DOP)

| Вид DOP        | Обозначение | Параметри, що визначаються |
|----------------|-------------|----------------------------|
| Геометричний   | GDOP        | координати, висота, час    |
| Позиційний     | PDOP        | координати, висота         |
| Горизонтальний | HDOP        | координати                 |
| Вертикальний   | VDOP        | висота                     |

Фактор DOP характеризується безрозмірною величиною, що змінюється не більше перших десятків.

Найвища точність супутникових визначень досягається за найменших значень DOP

Ідеальна для супутникових визначень конфігурація супутникового сузір'я досягається у випадку, коли один із супутників знаходиться в зеніті, а інші рівномірно розподілені по колу з центром у точці, що визначається, що їх піднесення над горизонтом становить  $20^\circ$ . Ситуація, коли супутники згруповані у невеликій частині неба, є несприятливою.

Для визначення періоду часу, сприятливого до виконання супутникових спостережень, на стадії проектування робіт виконується прогнозування супутникового сузір'я. Супутникові визначення не рекомендується виконувати за значеннями фактора PDOP більше 7.

У процесі виконання супутникових визначень значення фактора PDOP відображається на дисплеї приймача. Якщо значення фактора PDOP перевищує допустиме, необхідно спланувати та провести новий сеанс.

Для реалізації відносних супутникових визначень використовують два або більше приймачів, один з яких є базовою станцією, а інші - рухомими. Найбільш точним є статичний – метод, у якому спостереження станцією на точці виконують одним прийомом тривалістю щонайменше 1 година.

Можливі схеми побудови геодезичної мережі за допомогою супутникових вимірів показано на рис. 2.8. Кожна лінія на схемі вказує, що

на кінцях лінії встановлені супутникові приймачі, за допомогою яких

виконують синхронні вимірювання, що визначають приращення координат  $DX$ ,  $DY$ ,  $DZ$  по даній лінії.

Геодезична мережа може бути побудована із застосуванням променевого та мережевого методів.

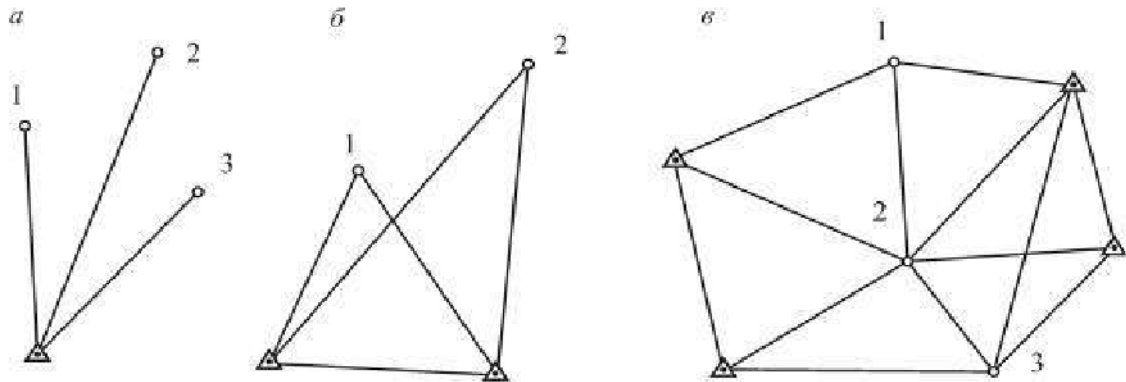


Рисунок 2.8 – Схеми побудови супутникових геодезичних мереж:

а, б – променевий метод; в – мережевий метод

При променевому методі координати пункту, що визначається, одержують (рис. 2.8а), вимірявши вектор, що з'єднує його з опорним пунктом. Для контролю координати визначають двічі, тобто за результатами вимірювань, що зв'язують пункт, що визначається, з двома опорними пунктами (рис. 2.8 б).

При мережному методі (рис. 2.8 в) пункти, що визначаються, пов'язують вимірюваннями не тільки з опорними пунктами, але і між собою.

Можливі мережі, де одну частину пунктів мережі визначають мережним, іншу – променевим методом.

## **3 ПРОЕКТ СТВОРЕННЯ ОПОРНОЇ ГЕОДЕЗИЧНОЇ МЕРЕЖІ ДЛЯ БУДІВНИЦТВА ПРОМИСЛОВОГО МАЙДАНЧИКА БЛОКА №12**

### **3.1 Мета, технічні умови та склад проекту**

Метою проекту є створення геодезичної опорної мережі для будівництва промислового майданчика блока №12 підприємства ПРАТ «Шахтоуправління «Покровське».

Дана опорна мережа буде використовуватись для створення будівельної сітки, за допомогою якої будуть виноситись в натуру вісі і висотні позначки будівель та споруд промислового майданчика. Крім того, враховуючи, що на майданчику будуть розташовані вертикальні шахтні стволи, дана мережа буде служити вихідною основою для передачі з поверхні у шахту планових координат, висотної позначки і дирекційного кута, тобто для виконання сполучних зйомок. Тому вимоги до опорної мережі визначаються інструкцією «Маркшейдерські роботи на вугільних шахтах та розрізах» [8].

Згідно з вказаною інструкцією на поверхні вугільної шахти повинна бути створена маркшейдерська опорна мережа, яка включає підхідні пункти, розташовані на промисловому майданчику.

Для визначення координат підхідних пунктів можуть використовуватись методи супутникового позиціонування, трилатерації, тріангуляції, полігонометрії та їх комбінацією.

В якості вихідних для створення маркшейдерської опорної мережі використовуються пункти державних геодезичних мереж.

Розташування підхідних пунктів повинно забезпечувати пряму видимість на стволи та на відстані, яка не має бути більшою 300 м. Кількість підхідних пунктів – не менше 4-х, у тому числі 2 пункти повинні розташовуватись неподалік від надшахтної будівлі.

Підхідні пункти призначаються для виконання робіт з центрування та орієнтування підземних маркшейдерських мереж, закріплення осей стволів, виносу в натуру осей будівель і споруд та ін.

Закріплення підхідних пунктів передбачається постійними знаками.

Точність визначення координат підхідних пунктів обумовлюється середньою квадратичною похибкою, яка не повинна перевищувати 0,1 м при середній квадратичній похибці взаємного положення пунктів не більше 0,03 м.

У якості вихідних для створення планової опорної мережі необхідно використовувати не менше трьох пунктів, або двох пунктів та двох вихідних сторін.

Точність вимірювань при створенні опорної планової мережі повинна відповідати точності мереж 4-го класу, або 1-го та 2-го розрядів.

Абсолютні відмітки опорної висотної мережі необхідно визначати методом геометричного нівелювання III та IV класів. В якості вихідних використовують не менше трьох реперів. На промисловому майданчику повинно бути не менше трьох реперів та в надшахтній будівлі два стінні репери.

### **3.2 Вихідні дані для проектування**

Вивчення району майбутніх геодезичних робіт здійснено за картою масштабу 1:25000 (рис. 3.1).

В адміністративному відношенні промисловий майданчик блоку №12, де проектується виконувати геодезичні роботи зі створення опорної мережі для будівництва, знаходиться в Покровському районі Донецької області.

Ділянка промислового майданчика знаходиться в 4 км південніше м. Покровськ та в 1,5 км на схід від с.м.т Шевченко. У безпосередній близькості до промислового майданчика знаходиться с. Зелене.

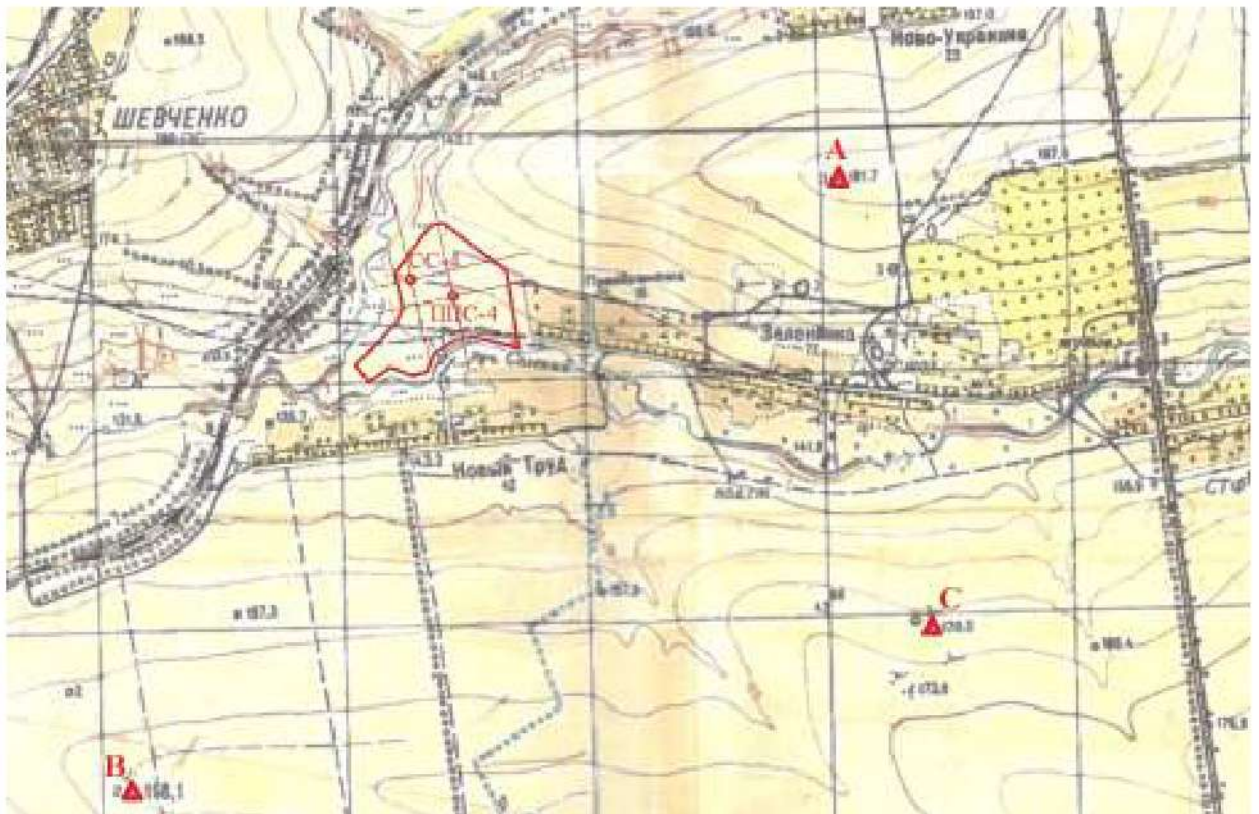


Рисунок 3.1 – Фрагмент карти М 1:25000 з вихідними даними для проектування

Площа промислового майданчика становить близько 25 га. Загальна площа ділянки для виконання геодезичних робіт має розміри 4 км у напрямку Захід – Схід та 3 км у напрямку Південь – Північ, що складає 12 км<sup>2</sup>.

Рельєф місцевості в основному рівнинний, спокійний, але в деяких частинах площі, що розглядається, є зміни напрямків нахилу з утворенням балок. Напрямки зниження рельєфу у північній частині ділянки: з північного сходу на південний захід; у південній частині ділянки: з півдня на північ. Максимальна відмітка становить +183 м, мінімальна – (уріз води струмка Солоненький) +133 м. Максимальний перепад висот становить 50 м. Крутизна схилів, визначена по закладенням горизонталей, змінюється від мінімальної 0,6° до максимальної 5°.

Район виконання робіт відноситься до частково забудованих.

Безпосередньо на ділянці виконання робіт знаходяться наступні населені

пункти: Зелене – 180 жителів, Новий Труд – 70 жителів. За межами ділянки розташовані Даченське – 220 жителів, Ново-Українка – 20 жителів. Розглядаємий район відноситься до сільськогосподарських. Промислові об'єкти відсутні.

Рослинність району виконання робіт представлена в основному лісосмугами вздовж сільськогосподарських полів, а також луками, садами, гаями. Сад плодово-ягідних культур є в населеному пункті Зелене – 64 га.

Землі пасовищ та сіножатей розташовані вздовж балок та струмків.

Поблизу ділянки проходять лінії електропередач. На відстані від ділянки 1 км на схід проходять 2 лінії ЛЕП-150 Кв у напрямку з півдня на північ.

У східній частині ділянки з півдня на північ проходить шосе Донецьк-Покровськ, що має на карті позначену характеристику 8(10)А, тобто – ширина проїзної частини 8 м, загальна ширина з кюветами 10 м, покриття – асфальт. Від даного шосе прокладені асфальтовані дороги до населеного пункту Зелене. Крім асфальтованих доріг на ділянці зйомок є ґрунтові покращені та польові дороги. У північно-західній частині ділянки проходить залізничний шлях місцевого сполучення Покровськ-Курахове з відгалуженням у напрямку селища міського типу Шевченко. За проектом будівництва промислового майданчика даний залізничний шлях буде використано для створення шахтної залізничної станції.

У північно-південному напрямку через ділянку протікає струмок "Солоненький". Він впадає у струмок "Солоний", який протікає південніше промислового майданчика. Струмки знаходяться у безпосередній близькості до ділянки промислового майданчика. Струмок "Солоний" впадає у річку "Солона", яка протікає на південному заході від ділянки зйомок. Струмки мають запруды, що утворюють ставки.

Згідно з картою (див. рис. 3.1) на ділянці виконання геодезичних робіт розташовані пункти тріангуляції 4-го класу А, В, С, які прийняті в якості вихідних (табл. 3.1).

Таблиця 3.1 – Характеристика вихідних пунктів

| Назва пункту | Клас | Н, м  |
|--------------|------|-------|
| А            | 4    | 181,7 |
| В            | 4    | 168,1 |
| С            | 4    | 170,0 |

Приблизні відстані між пунктами складають: від А до В – 3,9 км, від В до С – 3,4 км, від С до А – 1,9 км. Від найближчого пункту А до промислового майданчика – 1,4 км.

Вздовж східної границі земельного відводу промислового майданчика блока №12 проектом передбачається розташувати пункти планової геодезичної мережі (рис. 3.2).

Розташування пунктів за границею земельного відводу обумовлене необхідністю їх збереження від дії будівельних робіт на майданчику, які ще не розпочалися. На південній та західній границях пункти не розташовуються, тому що в цих частинах протікають струмки Солоний і Солоненький, створюючи заболочені ділянки місцевості.

Кількість пунктів прийнята рівною 4-м згідно з вимогами інструкції «Маркшейдерські роботи на вугільних шахтах та розрізах». Дані пункти будуть використані у якості підхідних пунктів при виконанні спеціальних маркшейдерських робіт. Згідно з вимогами інструкції з пунктів забезпечується пряма видимість на стволи, а відстань до стволів складає не більше 300 м.

Нумерація пунктів (3, 4, 5, 6) відповідає нумерації, що прийнята для полігонометричного ходу, який планується прокласти між пунктами тріангуляції 4-го класу А і В.

Між пунктами планової опорної мережі забезпечується пряма видимість. Відстань між пунктами становить близько 200 м, що задовольняє вимоги для полігонометричних ходів 1-го розряду.

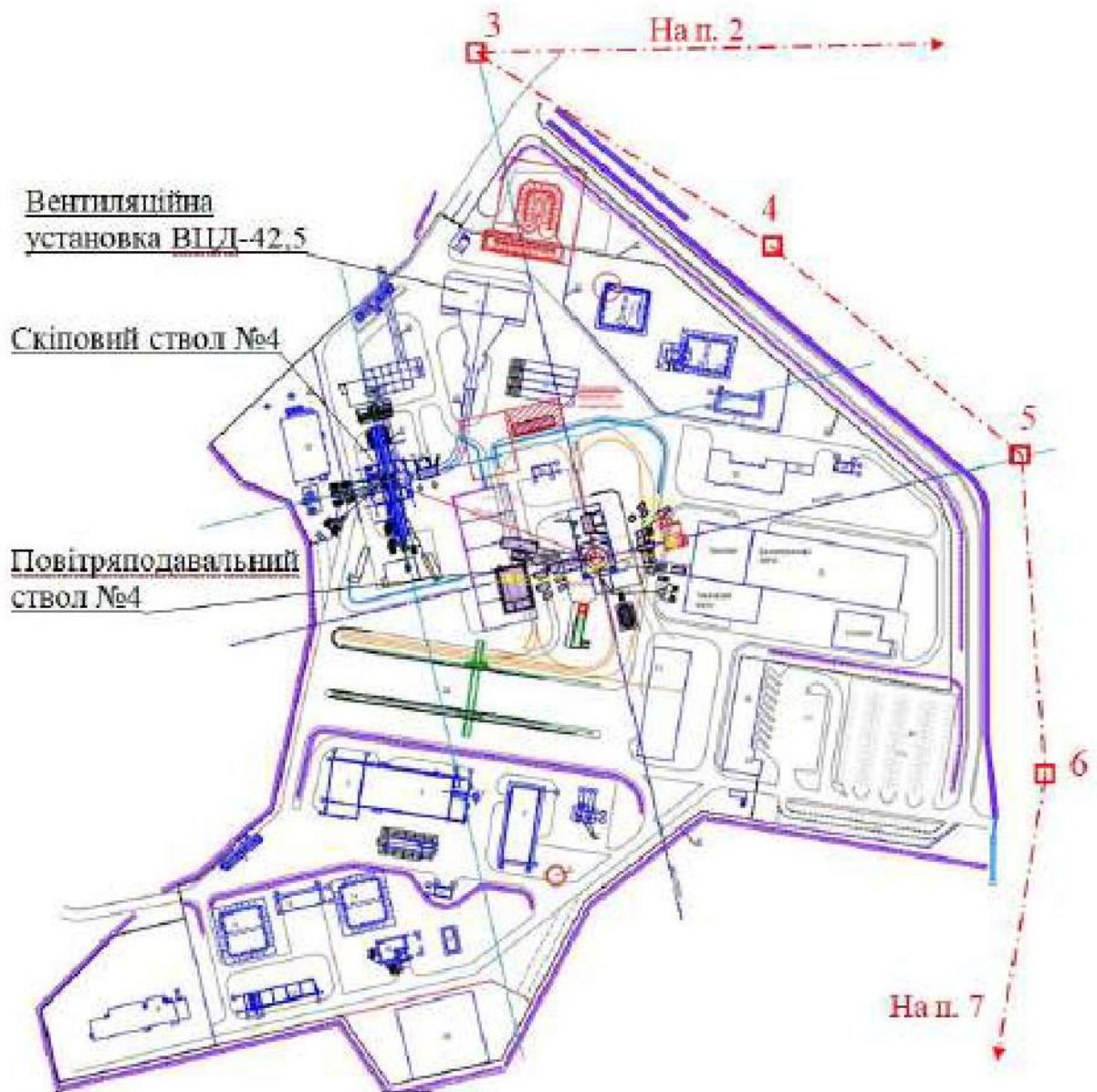


Рисунок 3.2 – Схема розташування пунктів опорної планової мережі для будівництва промислового майданчика блока №12

### 3.3 Проект лінійно-кутової геодезичної мережі

#### 3.3.1 Нормативні характеристики лінійно-кутової мережі

Для лінійно-кутової мережі геометричні параметри, схема побудови, вимоги до точності вимірювання кутів аналогічні мережі триангуляції 4

Вимоги до точності вимірювання довжин сторін можуть бути прийняті як трилатерації.

Тріангуляцію 4 класу, 1 і 2 розрядів проектують з метою згущення геодезичних мереж до щільності, що забезпечує розвиток знімальної основи великомасштабних зйомок на відкритій та гірській місцевостях або, коли застосовувати інший метод неможливо або недоцільно. Вимоги до мереж тріангуляції наведено у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Вимоги до тріангуляції

| Показники                                                                                  | 4 клас   | 1 розряд | 2 розряд |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|----------|----------|----------|
| Довжина сторони трикутника, км                                                             | 5        | 5        | 3        |
| Мінімально допустима величина кута, град                                                   |          |          |          |
| – у суцільній мережі                                                                       | 20       | 20       | 20       |
| – сполучного ланцюга трикутників                                                           | 30       | 30       | 30       |
| – у вставці                                                                                | 30       | 30       | 20       |
| Кількість трикутників між вихідними сторонами або між вихідним пунктом і вихідною стороною | 10       | 10       | 10       |
| Мінімальна довжина вихідної сторони, км                                                    | 2        | 1        | 1        |
| Граничне значення (СКП) кута, що обчислена за нев'язками у трикутниках, с                  | 2        | 5        | 10       |
| Гранична допустима нев'язка в трикутнику, с                                                | 8        | 20       | 40       |
| Відносна похибка вихідної сторони (базисної), не більше                                    | 1/200000 | 1/50000  | 1/20000  |
| Відносна похибка визначення довжини сторони в найбільш слабкому місці, не більше           | 1/50000  | 1/20000  | 1/10000  |

Нормативні вимоги до мережі згущення 4 класу, 1 і 2 розрядів, створеної методом трилатерації зазначені в «Інструкції...» [1]. Основними показниками їх є: довжина сторони трикутника, мінімально допустима величина кута, відносна середня квадратична похибка вимірювання сторони мережі (табл. 3.3).

Таблиця 3.3 – Характеристики трилатерації

| Показники                                                                                                     | 4 клас   | 1 розряд | 2 розряд |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|----------|----------|
| Довжина сторони трикутника, км                                                                                | 2 – 5    | 0,5 – 5  | 0,25 – 3 |
| Мінімально допустима величина кута, град                                                                      | 30       | 20       | 20       |
| Гранична довжина ланцюга трикутників між вихідними сторонами або між вихідним пунктом і вихідною стороною, км | 14       | 7        | 4        |
| Мінімальна довжина вихідної сторони, км                                                                       | 2        | 1        | 1        |
| Граничне значення (СКП) кута, що обчислена за нев'язками у трикутниках, с                                     | 2        | 5        | 10       |
| Гранична допустима нев'язка в трикутнику, с                                                                   | 8        | 20       | 40       |
| Відносна середня квадратична похибка вимірювання сторони мережі                                               | 1/120000 | 1/80000  | 1/40000  |

### 3.3.2 Схема лінійно-кутової мережі

Вихідними пунктами для розвитку геодезичної мережі служать пункти триангуляції 4 класу А, В, С. Запроектована схема лінійно-кутової мережі має вигляд двох суміжних трикутників з основами ВС і СА та спільною вершиною, що являє собою один із пунктів опорної мережі (3, 4, 5, 6). Таким чином, утворюється чотири варіанти мережі з різними пунктами у якості вершин трикутників.

Для побудови приймаємо геометричні параметри для триангуляції та трилатерації, наведені у таблицях 3.2 і 3.3.

У результаті вимірювань у лінійно-кутовій мережі визначаємо координати пунктів 3, 4, 5, 6 з точністю, що відповідає 1 розряду.

Схема лінійно-кутової мережі приведена на рисунку 3.3, де показано варіант побудови лінійно-кутової мережі для визначення координат пункта 6. Для визначення координат пунктів 5, 4, 3 будуються аналогічні мережі.

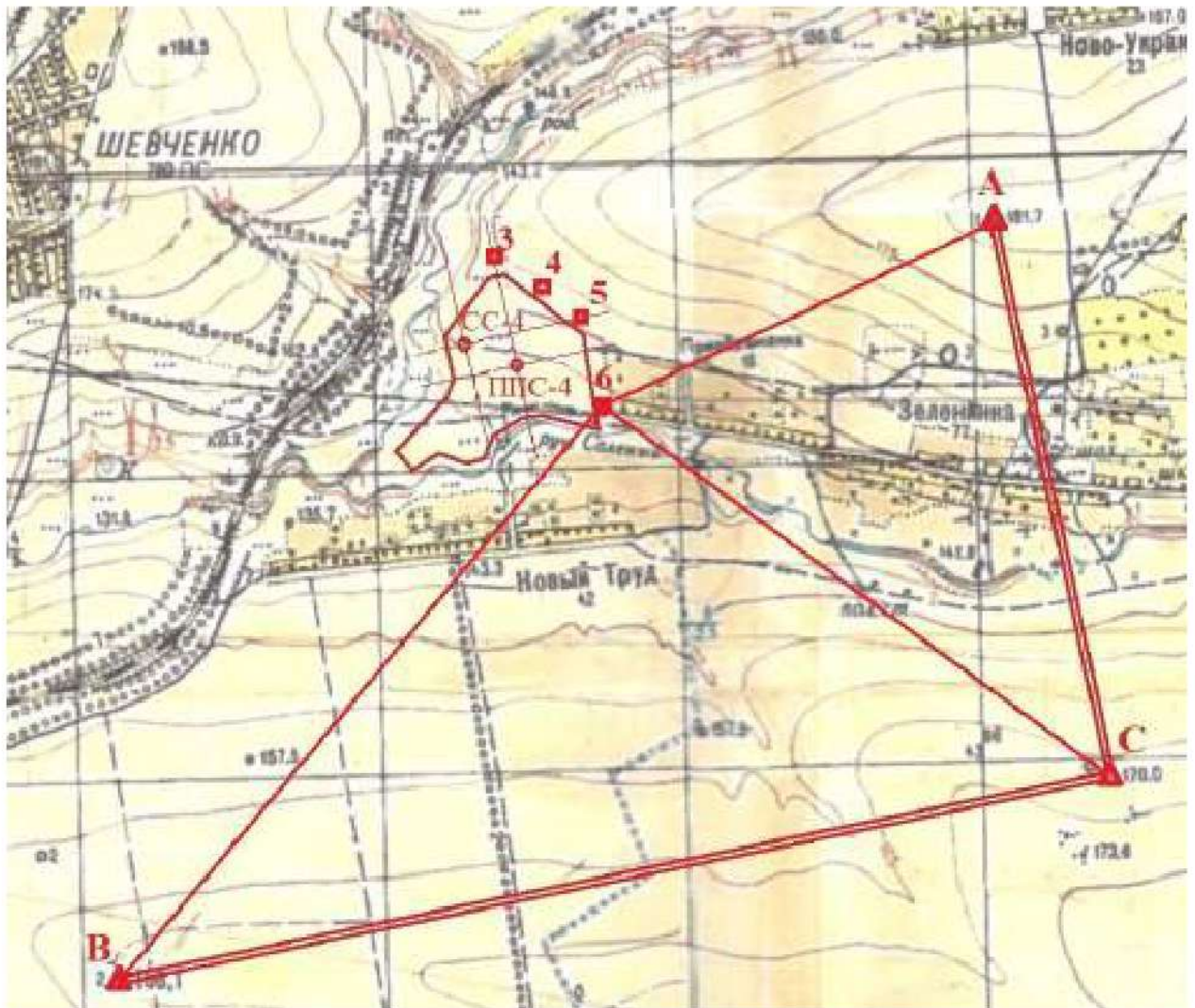


Рисунок 3.3 – Схема лінійно-кутової мережі для визначення координат пункту 6 опорної мережі

Запроектована лінійно-кутова мережа складається з 2-х трикутників.

Довжини сторін мережі дорівнюють:  $B-C = 3420$  м;  $B-6 = 2575$  м;  $C-6 = 2125$  м;  $C-A = 1950$  м;  $A-6 = 1450$  м. Середня довжина сторони мережі дорівнює 2400 м.

### 3.3.3 Оцінка точності проекту схеми лінійно-кутової мережі

Одним із суттєвих моментів оцінки точності лінійно-кутової мережі є правильне співвідношення похибок кутових та лінійних вимірів. Оптимальне

співвідношення похибок кутових і лінійних вимірів має забезпечити рівність по модулю поперечного та поздовжнього зрушень кінця будь-якої сторони геодезичної мережі, тобто  $|m_L| = |m_q|$ . Це спостерігатиметься тоді, коли середні квадратичні похибки вимірювання довжин  $m_S$  та кутів  $m_\beta$  однакові. Щоб порівняти ці похибки, що вимірюються в різних одиницях (лінійних та кутових) необхідно перейти до відносних похибок:

$$\frac{m_\beta}{\rho}; \quad \frac{m_S}{S}.$$

Отже, повинна виконуватись рівність:

$$\frac{m_\beta}{\rho} = \frac{m_S}{S}.$$

Щоб кількісно виразити ступінь виконання умови рівності похибок кутових і лінійних вимірювань знаходять їх відношення

$$\frac{m_\beta}{\rho} / \frac{m_S}{S} \quad (3.1)$$

Очевидно, що умова рівності похибок буде виконуватись у тому разі, коли їх відношення дорівнюватиме одиниці [5]:

$$\frac{m_\beta}{\rho} / \frac{m_S}{S} = 1$$

Встановлено, що ця рівність може бути порушена в межах до 3 разів у ту чи іншу сторону:

$$\frac{1}{3} \leq \frac{m_{\beta}}{\rho} / \frac{m_S}{S} \leq 3 \quad (3.2)$$

Якщо відношення (3.2) не виконується, можливі два варіанти:

$$1) \quad \frac{m_{\beta}}{\rho} / \frac{m_S}{S} \leq \frac{1}{3} \quad \text{У цьому разі лінійна похибка значно перевищує}$$

кутову, тому застосування методу трилатерації для підвищення точності триангуляційної мережі, недоцільно.

$$2) \quad \frac{m_{\beta}}{\rho} / \frac{m_S}{S} \geq 3 \quad \text{У цьому разі кутова похибка значно перевищує лінійну,}$$

тому додаткове вимірювання кутів у мережі, створеній методом трилатерації, не підвищить її точність.

Виконаємо перевірку доцільності застосування методу лінійно-кутових побудов для створення опорної мережі, яка згідно з технічними умовами повинна відповідати за точністю 1-му розряду.

У триангуляції 1 розряду згідно з даними табл. 3.2 становить  $m_{\beta} = 5''$ .

Згідно з даними табл. 3.3 у трилатерації 1 розряду відносна похибка вимірювання довжини становить  $\frac{m_S}{s} = \frac{1}{80000}$ .

Виконавши перевірку за формулою (3.1), отримаємо:

$$\frac{m_{\beta}}{\rho} = \frac{5''}{206265''} = \frac{1}{41253}; \quad \frac{m_{\beta}}{\rho} / \frac{m_S}{s} = \frac{80000}{41253} = 1,94$$

Отже, вимога щодо застосування лінійно-кутових мереж, визначена виразом (3.1), виконується:

$$\frac{1}{3} < 1,94 < 3$$

Середня квадратична похибка вимірювання сполучної сторони після зрівнювання  $m'_s$  може бути використана для оцінки проекту лінійно-кутової мережі, яку складають рівносторонні трикутники:

$$m'^2_s = m_s^2 - \frac{6m_s^4}{9m_s^2 + 2\frac{s^2}{\rho^2}m_\beta^2} \quad (3.3)$$

За умови вимірювання усіх кутів і сторін середня квадратична похибка проміжної сторони розраховується за формулою

$$m'^2_s = m_s^2 - \frac{2m_s^4}{3m_s^2 + \frac{s^2}{\rho^2}m_\beta^2} \quad (3.4)$$

Якщо в лінійно-кутовій мережі сторона безпосередньо вимірюватися не буде:

$$m'^2_s = \frac{m_s^2}{3} - \frac{2(n-3)s^2}{3n\rho^2}m_\beta^2 \quad (3.5)$$

За умови вимірюванні всіх елементів в рівносторонньому трикутнику середня квадратична похибка  $m'_\beta$  кута після зрівнювання визначається за формулою:

$$m'^2_\beta = m_\beta^2 - \frac{m_\beta^2 \left( m_s^2 + \frac{s^2}{\rho^2} m_\beta^2 \right)}{3m_s^2 + \frac{s^2}{\rho^2} m_\beta^2} \quad (3.6)$$

Для визначення точності положення кінцевої точки сторони при застосуванні метода лінійно-кутових побудов необхідно знайти середні квадратичні похибки, які характеризують поздовжній та поперечний зсуви цієї точки.

Поздовжній зсув кінцевої точки сторони:

$$m_L^2 = \frac{n+1}{4} m_s^2 + \frac{n}{8} \cdot \frac{s^2}{\rho^2} m_\beta^2 - \frac{3(m_s^4 + \frac{s^2}{\rho^2} m_\beta^2 m_s^2 + \frac{m_\beta^2 \cdot s^4}{\rho^4 \cdot 4})(n-1)}{8(3m_s^2 + \frac{s^2}{\rho^2} m_\beta^2)} \quad (3.7)$$

Поперечний зсув кінцевої точки сторони:

$$m_q^2 = \frac{3(n+1)}{4} m_s^2 + \frac{n(n^2-1)}{72} \cdot \frac{s^2}{\rho^2} m_\beta^2 - \frac{108(n-1)m_s^4 - 34(n-1)\frac{s^2}{\rho^2} m_\beta^2 m_s^2 + (n-1)\frac{s^4}{\rho^4} m_\beta^2}{8(3m_s^2 + \frac{s^2}{\rho^2} m_\beta^2)} \quad (3.8)$$

Загальний зсув кінцевої точки сторони відносно її початку:

$$M = \sqrt{m_L^2 + m_q^2} \quad (3.9)$$

де у формулах (3.1) – (3.9)  $m_s$  – СКП вимірювання сторони;  
 $m_\beta$  – СКП вимірювання кута;  
 $\rho$  – кількість секунд у радіані,  $\rho = 206265''$ ;  
 $s$  – довжина сторони рівностороннього трикутника;  
 $n$  – кількість трикутників у ланці.

Виконаємо розрахунки:  $n = 2$ ;

$$\frac{m_s}{s} = \frac{1}{80000}. \text{ Звідси } m_s = \frac{s}{80000}.$$

При середній довжині сторони  $s = 2400$  м  $m_s = \frac{2400}{80000} = 0,03$  м

СКП сполучної сторони  $m'_s$ , формула (3.3):

$$m_s'^2 = 0,03^2 - \frac{6 \cdot 0,03^4}{9 \cdot 0,03^2 + 2 \cdot \frac{2400^2}{206265^2} \cdot 5^2} = 0,00057 \text{ м}^2$$

$$m'_s = 0,024 \text{ м.}$$

СКП проміжної сторони  $m'_s$ , формула (3.4):

$$m_s'^2 = 0,03^2 - \frac{2 \cdot 0,03^4}{3 \cdot 0,03^2 + \frac{2400^2}{206265^2} \cdot 5^2} = 0,00063 \text{ м}^2$$

$$m'_s = 0,025 \text{ м.}$$

Поздовжній зсув кінцевої точки сторони, формула (3.7):

$$m_L^2 = \frac{3}{4} \cdot 0,03^2 + \frac{2}{8} \cdot \frac{2400^2}{206265^2} \cdot 5^2 - \frac{3(0,03^4 + \frac{2400^2}{206265^2} 5^2 0,03^2 + \frac{5^2 \cdot 2400^4}{206265^4 \cdot 4})}{8(3 \cdot 0,03^2 + \frac{2400^2}{206265^2} 5^2)} =$$

$$= 0,001276 \text{ м}^2. \quad m_L = 0,036 \text{ м.}$$

Поперечний зсув кінцевої точки сторони, формула (3.8):

$$m_q^2 = \frac{3 \cdot 3}{4} 0,03^2 + \frac{2(2^2 - 1)}{72} \cdot \frac{2400^2}{206265^2} 5^2 - \frac{108 \cdot 1 \cdot 0,03^4 - 34 \cdot \frac{2400^2}{206265^2} 5^2 0,03^2 + \frac{2400^4}{206265^4} 5^2}{8(3 \cdot 0,03^2 + \frac{2400^2}{206265^2} 5^2)}$$

$$= 0,002621 \text{ м}^2. m_q = 0,051 \text{ м.}$$

Загальний зсув кінцевої точки сторони відносно її початку:

$$M = \sqrt{0,036^2 + 0,051^2} = 0,062 \text{ м}$$

Допустима відносна похибка визначення довжини сторони в найбільш слабкому місці (табл. 3.1) - 1/20000, а фактична похибка:

$$\frac{M}{s} = \frac{0,062}{2400} = \frac{1}{38710} < \frac{1}{20000};$$

Отже, умова точності для схеми лінійно-кутової мережі виконується.

### 3.4 Складання проекту мережі полігонометрії 1 розряду

#### 3.4.1 Нормативні характеристики полігонометрії

Полігонометричні ходи 4 класу, 1-го і 2-го розрядів прокладаються для згущення державної геодезичної мережі 1-го, 2-го і 3-го класів.

Вимоги до полігонометрії представлені у табл. 3.4.

Таблиця 3.4 – Вимоги до полігонометрії

| Показники                                                           | 4 клас      | 1 розряд     | 2 розряд     |
|---------------------------------------------------------------------|-------------|--------------|--------------|
| Гранична довжина ходу, км:                                          |             |              |              |
| – окремого                                                          | 14,0        | 7,0          | 4,0          |
| – між вихідною і вузловою точками                                   | 9,0         | 5,0          | 3,0          |
| – між вузловими точками                                             | 7,0         | 4,0          | 2,0          |
| Граничний периметр полігону, км                                     | 40          | 20           | 12           |
| Довжини сторін ходу, км:                                            |             |              |              |
| – найбільша                                                         | 3,00        | 0,80         | 0,50         |
| – найменша                                                          | 0,25        | 0,12         | 0,08         |
| – середня                                                           | 0,50        | 0,30         | 0,20         |
| Кількість сторін у ході                                             | 15          | 15           | 15           |
| Відносна похибка ходу                                               | 1:25000     | 1:10000      | 1:5000       |
| Середня квадратична похибка вимірювання кутів, с                    | 3           | 5            | 10           |
| Кутова нев'язка ходу або полігона, с,<br>n – кількість кутів у ході | $5\sqrt{n}$ | $10\sqrt{n}$ | $20\sqrt{n}$ |
| Середня квадратична похибка вимірювання довжини сторони, см:        |             |              |              |
| до 500 метрів                                                       | 1           | 1            | 1            |
| від 500 до 1000 метрів                                              | 2           | 2            | 2            |

### 3.4.2 Схема проекту полігонометричного ходу

До початку проектування необхідно визначити межі забезпечуваного району; зібрати дані про умови робіт у ньому: відомості про шляхи та засоби сполучення, метеорологічні відомості, фізико-географічні та геоморфологічні описи, дані гідрологічних досліджень тощо; зібрати топографічні карти масштабу 1 : 25000 і крупніше, схеми раніше виконаних тріангуляційних та полігонометричних мереж, щоб встановити наявність та придатність

вихідних пунктів (топографо-геодезичну вивченість). Крім того, до початку робіт треба з'ясувати необхідну густоту забезпечення території геодезичними пунктами з урахуванням перспектив розвитку територій згідно з генеральним планом і планом освоєння земель, а також точність визначення положення пунктів, дирекційних кутів та довжин ліній.

Полігонометричні ходи проектують у вигляді окремих розімкнутих ходів, що спираються на два вихідні пункти. При забезпечення геодезичними пунктами значних площ проектують полігонометричні мережі. При цьому слід враховувати, що ходи та мережі 4 класу мають спиратися на пункти триангуляції та полігонометрії вищих класів. Ходи та мережі 1 розряду прокладатися між пунктами 4 класу, ходи та мережі 2 розряду - між пунктами ходів 1 розряду.

При складанні проекту спочатку задаються найбільш доцільною схемою побудови мережі, точністю вимірювання кутів і ліній і розраховують очікувані помилки за формулами. Якщо очікувана точність не задовольняє вимогам, то змінюють схему побудови і повторюють розрахунок.

Детальне проектування полігонометричних ходів 4 класу, 1 та 2 розрядів для незабудованої території виконують на топографічних картах масштабу 1: 25000, а для забудованої території - масштабу 1: 10000. На картах спочатку наносять вихідні пункти на територію об'єкта та на суміжні ділянки, після чого намічають напрями окремих ходів відповідно до прийнятої схеми розвитку мережі. Ходи намічають у тих місцях, де вони з максимальною ефективністю можуть бути використані, проте при цьому враховують і характер місцевості, та наявні прилади для лінійних вимірів.

Ходи повинні прокладатися місцевістю, найбільш сприятливою для виконання кутових та лінійних вимірювань.

Нормативні вимоги до полігонометрії 4 класу, 1 та 2 розрядів зазначені в «Інструкції...» [1, п. 4.1]. Основними показниками є гранична довжина ходу, допустимі довжини сторін, гранична відносна похибка ходу, середні

квадратичні похибки кутових та лінійних вимірів тощо (табл. 3.4).

Мережі полігонометрії 1 розряду створюються у вигляді окремих ходів або систем ходів з вузловими точками, довжини сторін яких задаються рівними 0,3 км, середня квадратична похибка вимірювання кутів – 5 ", відносна похибка ходу – 1:10000 (табл. 3.4).

Проект полігонометрії 1 розряду розробляється на картах масштабу 1:25000 та 1:10000 (для забудованих територій), на яких нанесені пункти раніше створеної державної геодезичної мережі та мережі згущення.

При складанні проекту полігонометрії керуються нормативами [1, 2] і дотримуються наведених далі вимог.

1. Лінії ходів розташовують уздовж вулиць, доріг, річок, по просіках, тобто на ділянках зручних для кутових і лінійних вимірів; пункти намічають у місцях, що забезпечують їх збереження.

2. Ходи полігонометрії проектують по можливості витягнутими і рівносторонніми з довжиною сторін, рекомендованою інструкцією [1]; короткі сторони не слід розташовувати поруч з довгими сторонами; запроектовані ходи повинні бути по можливості витягнутими, без крутих поворотів, щоб відношення довжини ходу до його замикаючої не перевищувало  $K \leq 1,3$  ( $K$  – ступінь прямолінійності).

3. Між суміжними пунктами необхідно забезпечити взаємну видимість.

4. У місцях розташування пунктів мають бути створені безпечні умови проведення робіт при закладанні центрів пунктів та вимірюваннях.

5. Усім запроектованим пунктам присвоюють номери, які не повторюються, і визначають пункти постійного закріплення.

6. Розраховують необхідну точність кутових і лінійних вимірів у запроектованих ходах [4].

7. Підготовляють вихідні дані для розрахунку точності проекту полігонометрії (визначають за картою координати пунктів, довжини та дирекційні кути ходів).

8. Розраховують точність очікуваних середніх квадратичних похибок,

оцінюємих елементів наближеним способом

9. Підраховують очікувану лінійну нев'язку  $M$  та відносну нев'язку за формулою  $\frac{1}{T} = \frac{2M}{[s]}$ . Якщо відносна нев'язка виявиться більше допустимої, проект ходу змінюють [5].

10. Обирають спосіб закладки та тип центрів геодезичних пунктів планової геодезичної мережі.

На рис. 3.4 зображена схема полігонометричного ходу, складена відповідно до зазначених вище вимог.

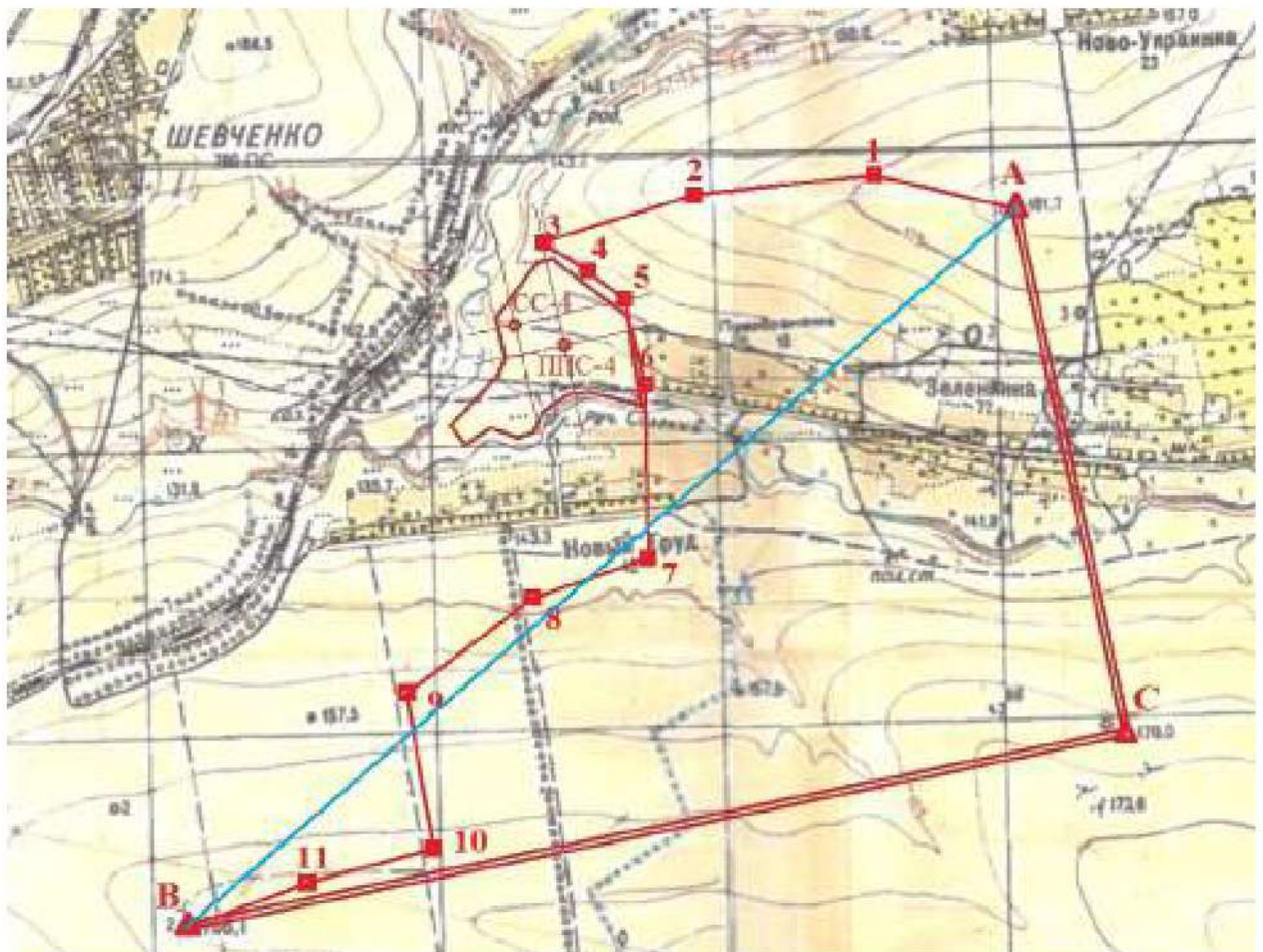


Рисунок 3.4 – Схема полігонометричного ходу 1 розряду

### 3.4.3 Підготовка вихідних даних для оцінки точності проекту полігонометрії

Для оцінки точності проекту полігонометрії необхідно підготувати вихідні дані, а саме: середньоквадратичні похибки вимірювань довжини сторін  $m_s$  та кутів  $m_\beta$ , кількість сторін  $n$ , загальну довжину ходу, середню довжину сторони, довжину замикаючої ходу  $L$ . Інші необхідні для розрахунків визначаємо при проведенні оцінки точності.

Визначені графічно елементи ходу заносимо у таблицю 3.5.

Таблиця 3.5 – Елементи полігонометричного ходу

| Номер пункту | Довжина сторони, м | Координати пунктів, м |       |
|--------------|--------------------|-----------------------|-------|
|              |                    | X                     | Y     |
| A            |                    | 2800                  | 3125  |
| 1            | 525                | 2925                  | 2600  |
| 2            | 537,5              | 2875                  | 1950  |
| 3            | 575                | 2700                  | 1425  |
| 4            | 212,5              | 2600                  | 1600  |
| 5            | 200                | 2500                  | 1750  |
| 6            | 287,5              | 2200                  | 1775  |
| 7            | 625                | 1600                  | 1775  |
| 8            | 425                | 1475                  | 1350  |
| 9            | 575                | 1150                  | 900   |
| 10           | 562,5              | 600                   | 1000  |
| 11           | 475                | 475                   | 550   |
| B            | 450                | 325                   | 125   |
| Сума         | 5450               | 24225                 | 19925 |
|              | $s_{cp} = 454$ м   |                       |       |

Вихідні дані:

Згідно з таблицею 3.4  $m_s = 0,01$  м;  $m_\beta = 5''$ .

Кількість сторін  $n = 12$  (рис. 3.4).

Загальну довжину ходу  $[s] = 5450$  м, середню довжину сторони  $s_{cp} = 454$  м, довжину замикаючої ходу  $L = 3940$  м визначено графічно по карті (рис. 3.4).

### 3.4.4 Оцінка точності елементів проекту мережі полігонометрії

За геометричною формою ходи поділяються на видовжені, близькі за формою до прямолінійних, зігнуті і замкнені.

Використовуючи критерії зігнутості полігонометричних ходів, визначаємо форму ходу. Хід вважається витягнутим, якщо виконуються співвідношення:

$$\frac{[s]}{L} \leq 1,3, \quad (3.10)$$

де  $[s]$  – периметр ходу;  $L$  – довжина замикаючої ходу.

$$h_{\max} \leq \frac{1}{3}L, \quad (3.11)$$

де  $h_{\max}$  – найбільша віддаль пунктів ходу від замикаючої;

$$\alpha_{\max} \leq 24^{\circ}, \quad (3.12)$$

де  $\alpha_{\max}$  – найбільше кутове відхилення сторін ходу від замикаючої.

Середня квадратична похибка положення кінцевого пункту полігонометрії з приблизно однаковими сторонами визначається за формулами:

а) для витягнутого ходу

$$M^2 = n \cdot m_s^2 + \frac{m_{\beta}^2}{\rho^2} [s]^2 \frac{n+3}{12} \quad (3.13)$$

б) для вигнутого ходу

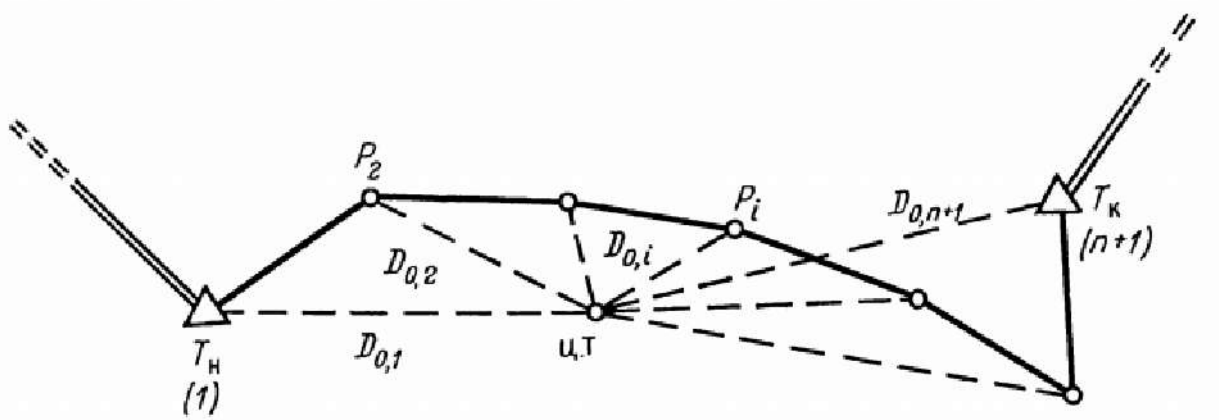
$$M^2 = n \cdot m_s^2 + \frac{m_{\beta}^2}{\rho^2} [D^2_{0,i}] \quad (3.14)$$

$$M^2 = n \cdot m_s^2 + \frac{m_{\beta}^2}{\rho^2} [D^2_{n+1,i}] \quad (3.15)$$

де  $m_s$  – середня квадратична похибка вимірювання кожної сторони;  
 $m_\beta$  – середня квадратична похибка вимірювання кутів;  $[s]$  – довжина ходу полігонометрії;  $n$  – кількість сторін у ході;  $D_{0,i}$  – відстань між центром ваги та  $i$ -ю точкою ходу (рис. 3.5 а);  $D_{n+1,i}$  – відстань між  $i$ -ю точкою та кінцевою (вузловою) точкою ходу полігонометрії (рис. 3.5 б).

Формулу (3.14) застосовують для ходів з попередньо зрівноваженими кутами. Формула (3.15) дає дещо більше значення похибки і застосовується для ходів, прокладених до вузлової точки.

а)



б)

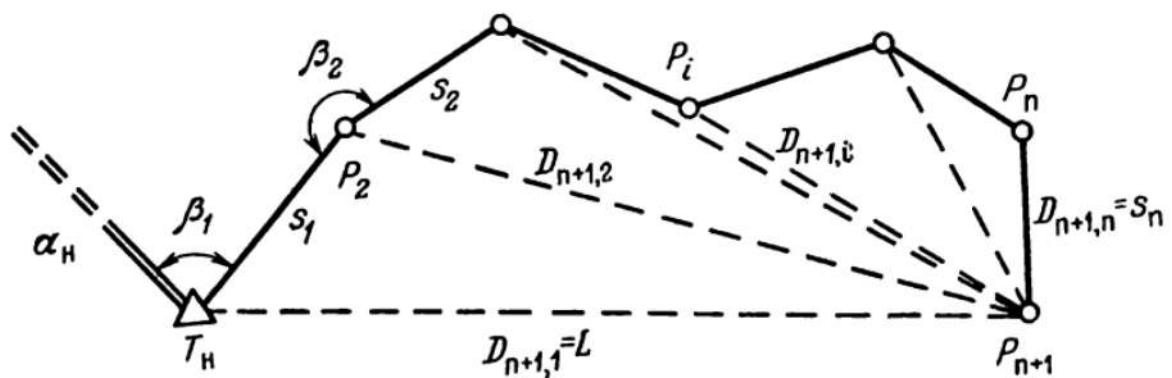


Рисунок 3.5 – Схеми до визначення точності ходу

Виконаємо розрахунки. Перевірка витягнутості ходу показує, що хід не є витягнутим, тобто не всі умови, приведені у формулах (3.10) – (3.12), виконуються:

$$\frac{[s]}{L} \leq 1,3, \quad \frac{5450}{3940} = 1,38, \quad - \text{умова не виконується};$$

$$h_{\max} \leq \frac{1}{3}L, \quad 1000 < \frac{1}{3}3940, \quad - \text{умова виконується};$$

$$\alpha_{\max} \leq 24^0, \quad \alpha_{\max} = 105^0, \quad - \text{умова не виконується}.$$

Для розрахунку середньої квадратичної похибки положення кінцевого пункту полігонометрії застосовуємо формулу (3.14) для вигнутого ходу.

Положення центру ваги ходу  $O$  при проектуванні може бути визначено аналітичним або графічним способом. При аналітичному способі на карті визначаються прямокутні координати  $X_i$ ,  $Y_i$  всіх вершин ходу ( $n + 1$ ). Система координат може бути умовною.

Координати центру ваги обчислюють за формулами:

$$X_O = \frac{\sum_{i=1}^{n+1} X_i}{n+1}, \quad Y_O = \frac{\sum_{i=1}^{n+1} Y_i}{n+1}, \quad (3.16)$$

де  $X_O$ ,  $Y_O$  – координати центру ваги ходу полігонометрії;  $n$  – число сторін.

Розрахунок  $X_O$ ,  $Y_O$  (координати  $X_i$ ,  $Y_i$  беремо з табл. 3.5):

$$X_O = \frac{24225}{13} = 1863,46 \text{ м}; \quad Y_O = \frac{19925}{13} = 1533,08 \text{ м};$$

За координатами вершин ходу і центру тяжіння обчислюється квадрати відстаней від пунктів до центру тяжіння

$$D_{o,i}^2 = (X_i - X_O)^2 + (Y_i - Y_O)^2. \quad (3.17)$$

Результати обчислення заносимо у табл. 3.6.

При графічному способі положення центру ваги ходу визначається наступним чином (рис. 3.6).

Центр ваги першої сторони ходу  $O^I$  відповідає її середині. Отриману точку з'єднують з вершиною 3. Центр ваги  $O^{II}$  для ходу з трьох пунктів знаходиться на проведеній лінії на відстані  $1/3$  її довжини від центра ваги  $O^I$ .

Отриманий центр ваги  $O^{\text{II}}$  з'єднують з вершиною 4, новий центр ваги  $O^{\text{III}}$  знаходиться на відстані  $1/4$  довжини відрізка  $O^{\text{II}}4$  від  $O^{\text{II}}$ . Потім  $O^{\text{III}}$  з'єднують з кінцевим пунктом 5 і знаходять остаточне положення центру ваги ходу  $O^{\text{IV}}$  на відстані  $1/5$  відрізка  $O^{\text{III}}5$ .

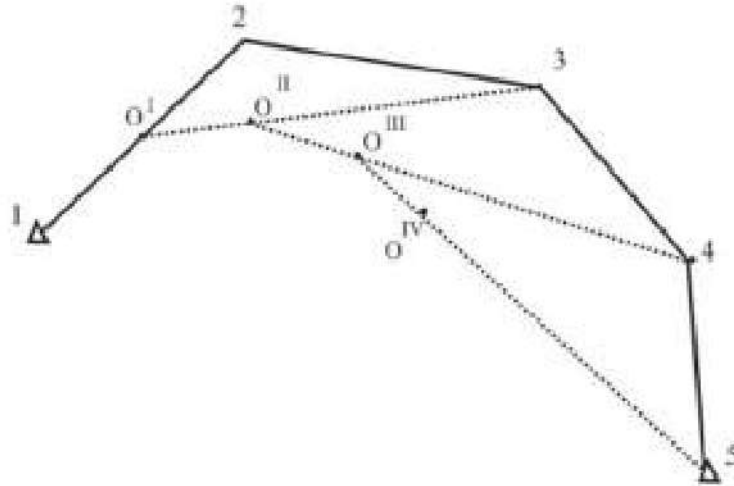


Рисунок 3.6 – Схема графічного способу визначення центру ваги ходу

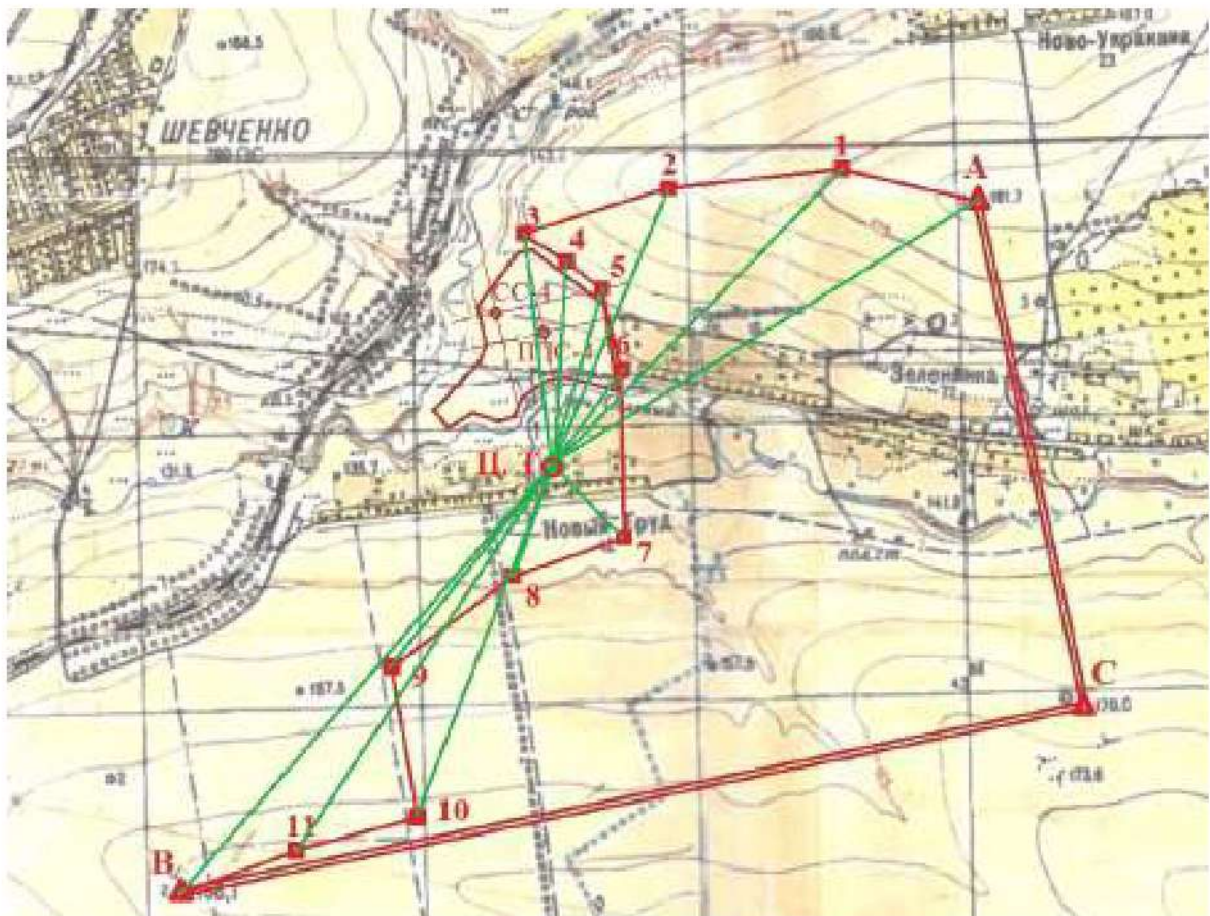


Рисунок 3.7. Визначення відстаней від центру ваги ходу

Розрахунки суми квадратів відстаней від пунктів до центру ваги ходу  $D_{o,i}^2$  зводимо в таблицю 3.6.

Таблиця 3.6 – Визначення  $[D_{o,i}^2]$

| Номер пункту  | $(X_i - X_o)^2$ | $(Y_i - Y_o)^2$ | $D_{o,i}^2$ |
|---------------|-----------------|-----------------|-------------|
| A             | 2396304         | 1760929         | 4157233     |
| 1             | 2798929         | 643204          | 3442133     |
| 2             | 2634129         | 23104           | 2657233     |
| 3             | 2096704         | 139129          | 2235833     |
| 4             | 1817104         | 39204           | 1856308     |
| 5             | 1557504         | 2304            | 1559808     |
| 6             | 898704          | 529             | 899233      |
| 7             | 121104          | 529             | 121633      |
| 8             | 49729           | 200704          | 250433      |
| 9             | 10404           | 806404          | 816808      |
| 10            | 425104          | 636804          | 1061908     |
| 11            | 603729          | 1557504         | 2161233     |
| B             | 859329          | 2798929         | 3658258     |
| $[D_{o,i}^2]$ |                 |                 | 24878054    |

Виконуємо розрахунки за формулою (3.14)

$$M^2 = 12 \cdot 0,01^2 + \frac{5^2}{206265^2} [24878054] = 0,0158 \text{ м}^2$$

$$M = 0,126 \text{ м.}$$

Точність ходів полігонометрії різного призначення при їх певних параметрах в переважній більшості діючих нормативних документів характеризується і регламентується граничними відносними похибками ходу.

Приймається, що  $M_{гран} = 2M$ .

Відносна похибка ходу визначається за формулою

$$\frac{1}{T} = \frac{2M}{[s]} \quad (3.18)$$

Для запроектованого ходу

$$\frac{1}{T} = \frac{0,252}{5450} = \frac{1}{21627}$$

Порівнюємо отриману відносну похибку з граничною відотною похибкою полігонометричного ходу (для 1-го розряду гран.  $\frac{1}{T} = \frac{1}{10000}$ ):

$\frac{1}{21627} < \frac{1}{10000}$  отже, запроектований полігонометричний хід за якістю відповідає нормативним вимогам полігонометрії 1 розряду.

Надійною оцінкою точності положення окремих пунктів і ходу в цілому є середня квадратична похибка положення точки ходу після його зрівнювання в самому слабкому місці ходу – його середині.

Встановлено, що середня квадратична похибка положення точки в середині ходу  $M_{сер}$  дорівнює половині СКП положення кінцевої точки  $M_{гран}$  до зрівнювання ходу:

$$M_{сер} = 1/2 M_{гран} . \quad (3.19)$$

Для запроектованого ходу

$$M_{сер} = 1/2 * 0,252 = 0,126 \text{ м.}$$

Приймаючи до уваги, що пункти полігонометричного ходу проектуємої опорної мережі 3, 4, 5, 6 знаходяться від початкового пункту А приблизно на відстані 1/3 загальної довжини ходу, у формулі (3.19) коефіцієнт 1/2 можна замінити на 1/3. Тоді  $M_{сер} = 1/3 * 0,252 = 0,084 \text{ м.}$

### 3.5 Типи центрів для закріплення пунктів мережі

Пункти мереж полігонометрії закріплюються на місцевості центрами. Центрами служать для точного позначення місця розташування пункту і довготривалого його збереження. При побудові геодезичної мережі в містах, селищах та на промислових майданчиках всі пункти полігонометрії закріплюють постійними центрами типів У15, У15К, У15Н, У16, 143, 160.

Зокрема, вузлові пункти мереж полігонометрії закріплюються центрами типу 160 (рис. 3.8).

Ці центри закладаються на глибину нижчу від межі промерзання ґрунту на 50 см. Таким чином, висота залізобетонного моноліту становить не менше 120 см. Інші типи пунктів мереж полігонометрії 4 класу ( тобто не вузлові і не суміжні з вузловими ), а також пункти полігонометрії 1 і 2 розрядів закріплюються менш капітальними монолітами, висота яких становить 70-75 см. На незабудованих територіях закладають цент типу У 15Н (рис.3.9), на забудованих – типу У15 або У15к (рис. 3.10).

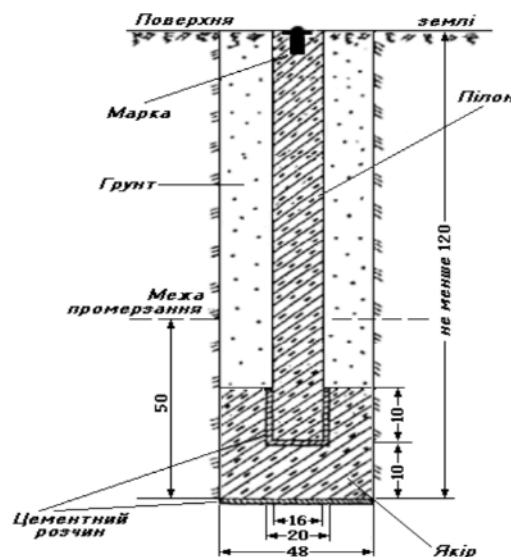


Рисунок 3.8 – Центр пункту полігонометрії, трилатерації і тріангуляції 4 класу, 1 і 2 розрядів та ґрунтового реперу (тип 160)

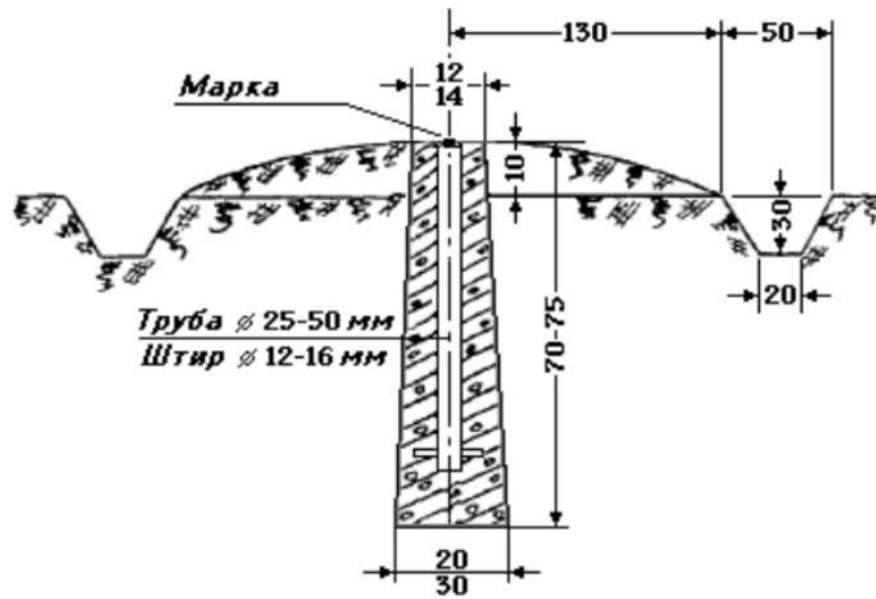


Рисунок 3.9 – Центр пункту полігонометрії, трилатерації і тріангуляції 4 класу, 1 і 2 розрядів для незабудованої території (тип У15н)



Рисунок 3.10 – Центр пункту полігонометрії, трилатерації і тріангуляції 4 класу, 1 і 2 розрядів для забудованих територій, райцентрів, міст, селищ, сільських населених пунктів (тип У15)

Інструкція [1] допускає в сільській місцевості закріплення в ходах 1-го і 2-го розрядів постійними центрами тільки окремих сторін (не рідше ніж через 1 км в 1-м розряді і 0,5 км - в ходах 2-го розряду). У таких випадках на інших точках ходу встановлюються знаки тимчасового (довготривалого) закріплення різних конструкцій (рис. 3.11).

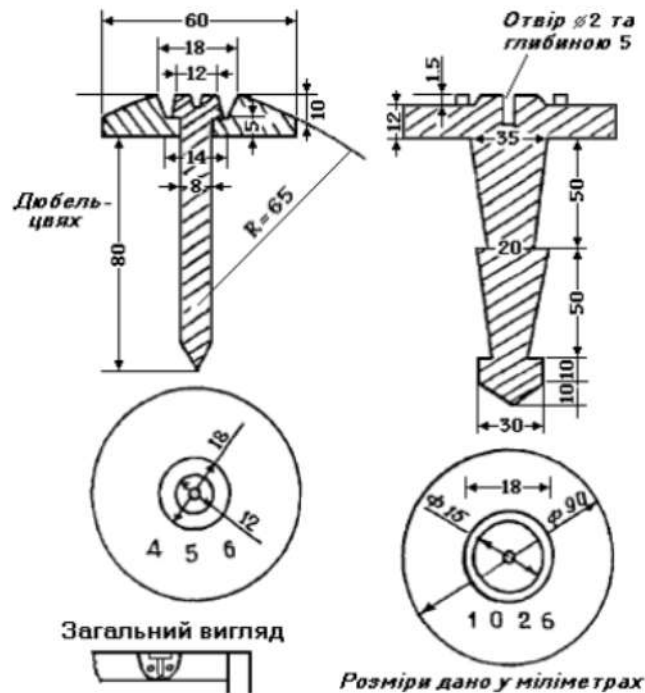


Рисунок 3.11 – Тимчасовий (робочий) центр пункту полігонометрії, 4 класу, 1 і 2 розрядів на ділянках з твердим покриттям

### 3.6 Вибір приладів для кутових та лінійних вимірювань мережі

Розрахунок необхідної точності вимірювання кутів і ліній для запроектованого ходу виконуємо у зворотному порядку.

Знаходимо значення СКП кінцевої точки ходу за нормативним значенням граничної відносної похибки з формули (3.18):

$$M = \frac{[s]}{2T} = \frac{5450}{2 \cdot 10000} = 0,273 м$$

Застосовуючи принцип рівних впливів похибок лінійних і кутових вимірювань, з формули (3.14) можна записати

$$\frac{M^2}{2} = n \cdot m_s^2;$$

$$\frac{M^2}{2} = \frac{m_\beta^2}{\rho^2} [D^2_{0,i}]$$

Звідси середня квадратична похибка вимірювання кутів  $m_\beta$  для зігнутого ходу

$$m_\beta = \frac{M \cdot \rho}{\sqrt{2 \cdot [D^2_{0,i}]}}$$

$$m_\beta = \frac{0,273 \cdot 206265}{\sqrt{2 \cdot 24878054}} = 8''$$

За визначеною величиною  $m_\beta$  обираємо тип теодоліта або електронного тахеометра.

Розрахунок точності лінійних вимірювань. Для ходу будь-якої форми середня квадратична похибка вимірювання сторони визначається за формулою

$$m_s = \frac{M}{\sqrt{2 \cdot n}}$$

$$m_s = \frac{0,273}{\sqrt{2 \cdot 12}} = 0,056 м$$

За знайденою величиною  $m_s$  обираємо тип світлодалекоміра або електронного тахеометра.

Виконаними розрахунками точності побудови проектної опорної

геодезичної мережі методами лінійно-кутових побудов та полігонометрії 1

розряду встановлено, що точність кутових вимірювань для лінійно-кутової мережі становить  $m_\beta = 5''$ , для полігонометрії –  $m_\beta = 5''$  (нормативна),  $m_\beta = 8''$  (розрахована).

Точність лінійних вимірювань: лінійно-кутова мережа -  $m_S = 0,03$  м; полігонометрія –  $m_S = 0,01$  м (нормативна),  $m_S = 0,056$  м (розрахована).

Наведені вимоги щодо необхідної точності вимірів можна задовольнити, застосувавши універсальний геодезичний інструмент – електронний тахеометр.

Обираємо тахеометр з показниками точності:  $m_\beta \leq 5''$  ,  $m_S \leq 0,01$ м.



Рисунок 3.12 – Зовнішній вигляд електронного тахеометра  
SOKKIA SET550RX

Технічні можливості тахеометрів даної серії показано на рис. 3.13.

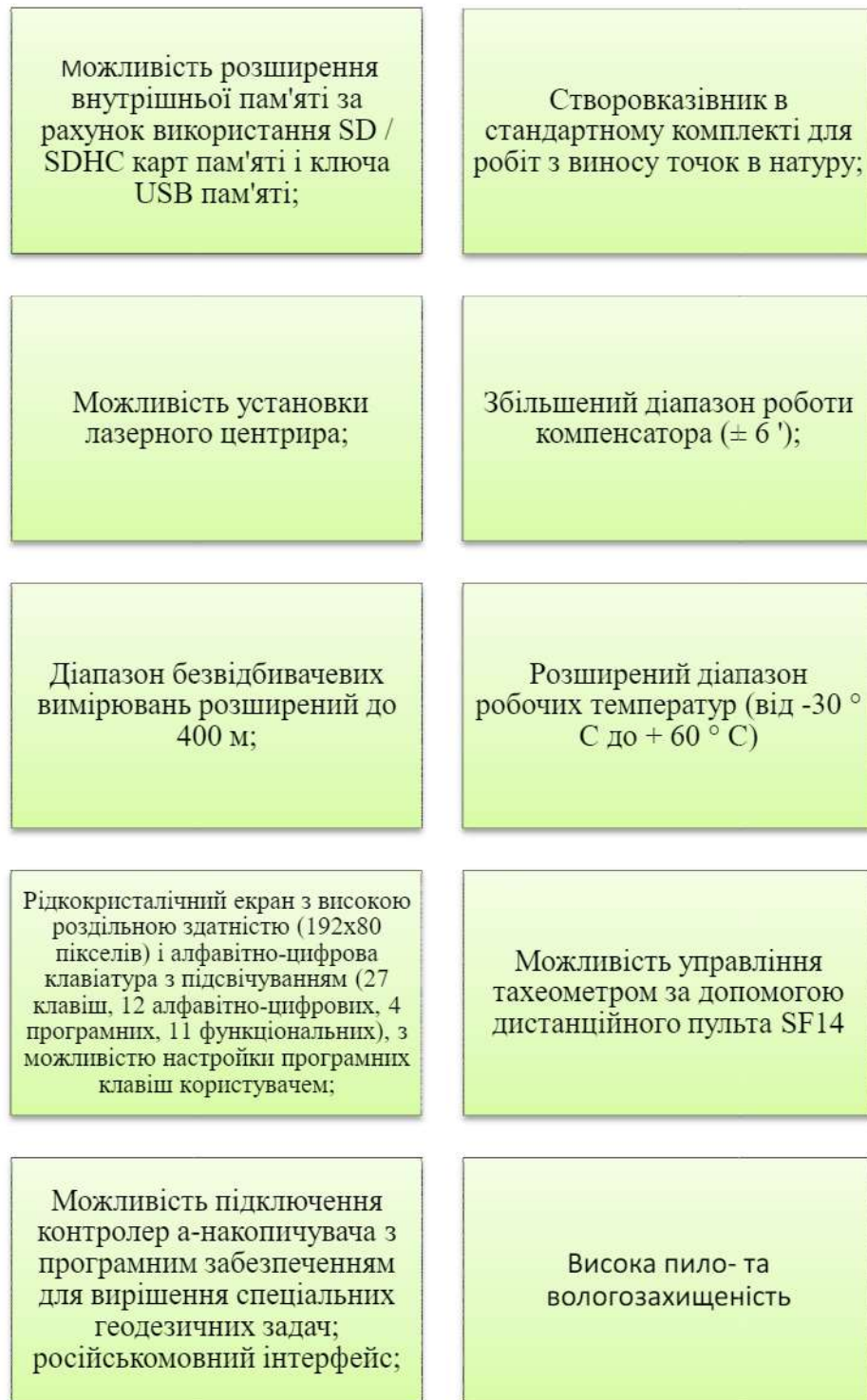


Рисунок 3.13 – Технічні можливості тахеометрів SOKKIA

Технічні характеристики тахеометрів SOKKIA показано на рис. 3.14.

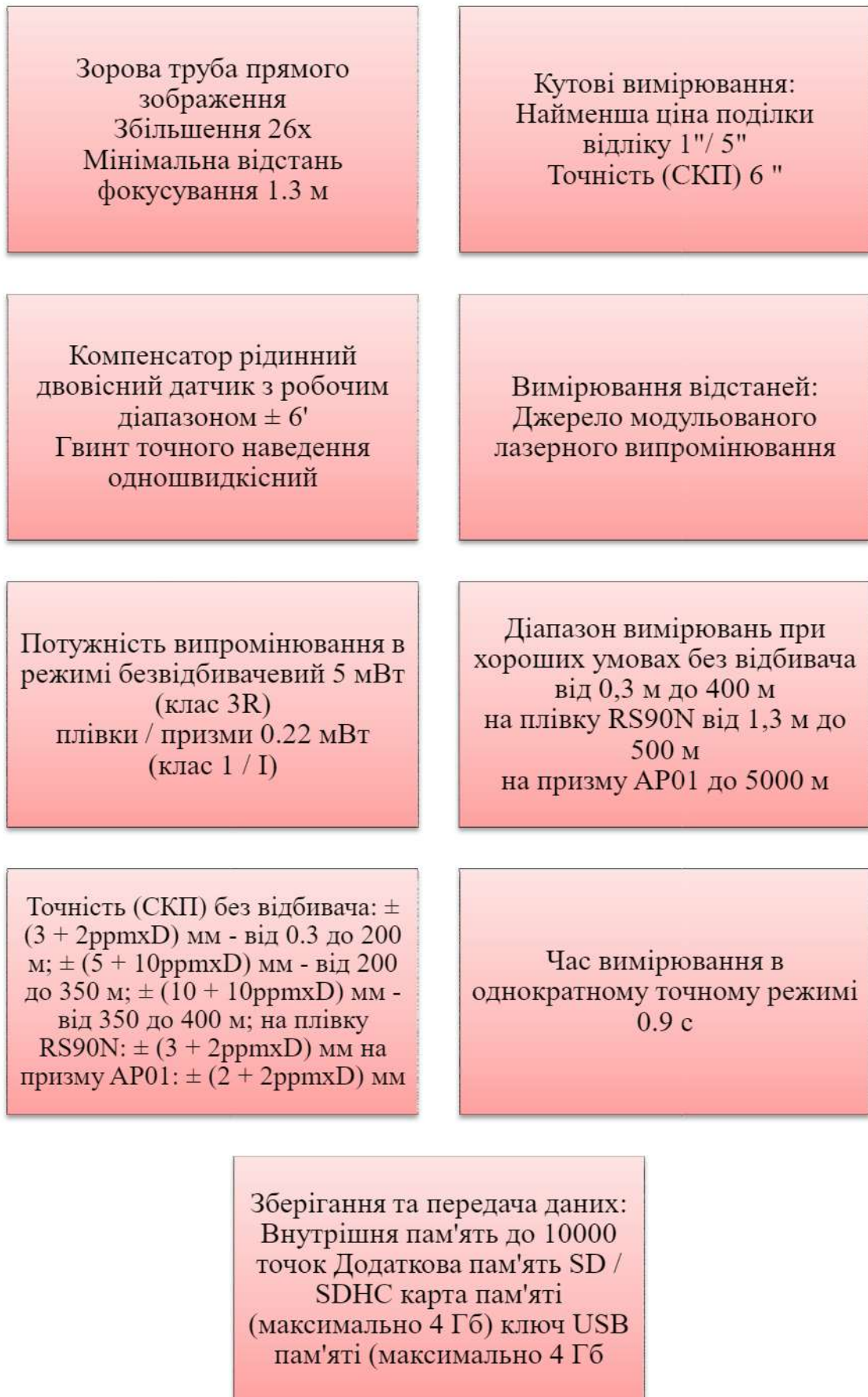


Рисунок 3.14 – Технічні характеристики тахеометрів SOKKIA

### 3.7 Проект створення опорної мережі супутниковим методом

Роботи із визначення координат пунктів супутниковим методом виконуються у наступному порядку.

Підготовчий етап:

1. Затвердження проекту робіт.
2. Складання програми вимірювань.
3. Ознайомлення з проектом будівництва.
4. Ознайомлення з даними зйомки, картами і схемами.
5. Тестування і укладання інструменту.
6. Рекогносцировка району робіт, вихідних і намічених до визначення пунктів.

Під час проведення рекогносцировки з метою освоєння технології та забезпечення надійності проведення робіт рекомендується виконувати пробні супутникові визначення у таких випадках:

- якщо приймач цього типу чи метод супутникових визначень використовується виконавцем робіт вперше;
- якщо технічним проектом передбачено виконання супутникових визначень за таких відстаней між базовою та рухомою станціями, які раніше не реалізовувалися супутниковою апаратурою даного типу або даним виконавцем;
- якщо приймач цього типу застосовується вперше при даному характері місцевості або якщо виконавець вперше проводить супутникові спостереження в оточенні перешкод, характерних для даної місцевості;
- якщо приймач цього типу застосовується вперше або якщо виконавець вперше проводить супутникові спостереження в реалізованій за технічним проектом організаційної структури.

Одним із етапів підготовки до проведення супутникових визначень є прогнозування супутникового сузір'я. Мета його - визначення дат, моментів

та інтервалів часу, у яких параметри конфігурації супутникового сузір'я оптимальні для супутникових визначень.

Вихідними даними для прогнозування супутникового сузір'я є координати об'єкта робіт та ефемеридна інформація про супутників. У разі, якщо в районі розташування пунктів геодезичної основи, знімального обґрунтування або топографічних зйомок є предмети або споруди, що перешкоджають проходженню радіосигналів від супутників, то як вихідну інформацію при прогнозуванні необхідно використовувати також значення висот та азимутів меж знаходження перешкод.

Як вихідні координати об'єкта робіт використовують географічні координати, взяті з точністю до  $1^\circ$ .

Ефемеридну інформацію у вигляді файлу, званого в експлуатаційній документації альманахом, отримують або з супутникових визначень, що спеціально для цього виконуються, або використовують ефемеридну інформацію, що утворилася в процесі будь-яких раніше виконаних супутникових визначень. У будь-якому випадку супутникові визначення для отримання альманаху повинні бути виконані в дату, що не перевищує 30 діб від дати, на яку виконують прогнозування.

Для об'єкта робіт або його частини, де перешкоди проходженню радіосигналів, що передаються супутниками, відсутні, прогнозування виконують відразу для всіх пунктів та ділянок об'єкта, що знімаються.

У разі, якщо на об'єкті робіт перешкоди є, прогнозування має бути виконане з урахуванням цієї обставини. Воно має бути здійснене окремо для кожного пункту.

Протягом прийому необхідно безперервно спостерігати як базовою, так і рухомою станціями щонайменше 4 супутників одночасно.

У процесі рекогносцировки вирішують такі завдання:

Обстежують пункти геодезичної основи та встановлюють їхню фактичну придатність для спостережень супутників. Пункти, непридатні для робіт, повинні бути відбраковані. У разі обмеженості кількості придатних для

спостережень супутників пунктів геодезичної основи, наявних на об'єкті, намічають заходи щодо забезпечення можливості виробництва спостережень на цих пунктах (підйом антени приймача, винесення точки установки антени із визначенням елементів приведення).

Перевіряють можливість виконання супутникових термінів на пунктах знімального обґрунтування. При цьому повинні бути виявлені зони можливих перешкод, спотворень та радіоперешкод та прокориговано розстановку пунктів, заплановану раніше в процесі проектування. Уточнюють описи розташування пунктів.

Для створення опорної геодезичної мережі методом супутникового позиціонування пропонується використовувати приймач SOUTH S86S -2013 (рис. 3.15).



Рисунок 3.15 – Загальний вигляд приймача SOUTH S86S -2013

Приймач призначений для точних визначень координат у статичному режимі. Характеристики приймача наведено у таблиці 3.7.

Таблиця 3.7 – Технічні Характеристики S86S-2013

|                                                         |                                                                            |
|---------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| Можливості GNSS:                                        |                                                                            |
| 72 канали                                               |                                                                            |
| GPS                                                     | Одночасне відстеження сигналів L1C, L2C L2E і L5                           |
| GLONASS                                                 | Одночасне відстеження сигналів L1C/A, L1P, L2C/A(тільки GLONASS M) L2P, L3 |
| Відстеження сигналу                                     | за двома частотами L1/L2                                                   |
| Вимірювання:                                            |                                                                            |
| Статика-точність у плані                                | $\pm 2.5\text{мм}+1\text{ppm}$                                             |
| Статика-точність за висотою                             | $\pm 5\text{мм}+1\text{ppm}$                                               |
| Автономний режим-точність позиціонування                | 1.5 м (CEP)                                                                |
| Час ініціалізації                                       | <10 сек                                                                    |
| Достовірність ініціалізації                             | >99.9%                                                                     |
| Комунікація і зберігання даних:                         |                                                                            |
| Комунікації                                             | USB 2.0\COM Порт (RS-232)                                                  |
| Пам'ять                                                 | Внутрішня 4 Гб, ( з можливістю розширення до 32 Гб)                        |
| Живлення:                                               |                                                                            |
| Батарея                                                 | Вбудована, подвійна, літій-іонна ємність 8800 мАг                          |
| Час роботи акумулятора                                  | Більш-20 годин при повної зарядці                                          |
| Вольтаж                                                 | 7.2 V                                                                      |
| Потужність споживання                                   | 2 Вт                                                                       |
| Час зарядки                                             | 9 годин                                                                    |
| Вхід зовнішнього живлення                               | 12В ~ 15В постійного струму                                                |
| Вольтаж зарядки                                         | 110В~240В змінного струму                                                  |
| Інші параметри:                                         |                                                                            |
| один 7-ми штирковий порт для передачі даних             |                                                                            |
| один 5-ти штирковий порт для блоку зовнішнього живлення |                                                                            |
| один 2-х штирковий порт для зовнішньої батареї          |                                                                            |

При роботі з приймачем S86S-2013 необхідно дотримуватись наступних правил.

Вимоги до місця установки приймача:

- станції вимірювань повинні розташовуватися подалі від потужних радіопередавачів і високовольтних ліній електропередачі для уникнення впливу перешкод магнітних полів на супутникові GPS сигнали. Відстань від антени приймача до таких об'єктів не має бути менше 200 м;

- станції вимірювань не повинні розташовуватися поблизу великих водойм або об'єктів, які можуть сильно відбивати (або поглинати) електромагнітні хвилі, послаблюючи багатопроменеві сигнали ;

- станції вимірювань повинні бути розташовані в місцях, де приймач можна легко встановити і де є гарна видимість довкола. Кути піднесення на перешкоди, як правило, повинні бути від  $10^{\circ}$  до  $15^{\circ}$  для того, щоб послабити вплив рефракції тропосфери;

- станції вимірювань повинні бути обрані у зручному місці, в якому можна легко використовувати і інші засоби вимірювання для наступних робіт;

Статичні GPS-вимірювання проводяться шляхом встановлення трьох (або більше) GNSS-приймачів, для одночасних спостережень і визначення відносного положення між станціями для:

- Створення національних геодезичних мереж (другого або меншого класу);

- Створення точних локальних мереж для інженерних робіт при будівництві мостів, тунелів і т.д.;

- Створення різних опорних міських мереж, визначення розташування окремих точок на плані, при зйомці доріг або демаркації кордонів;

- При GPS-вимірювання малих і середніх міст, селищ, а також для цілей картографування, ведення кадастру, ГІС, геофізичних досліджень,

проведенні пошуків для будівництва і інших роботах, відповідальних

вимогам точності D і E-класу для GPS-вимірювань.

Послідовність виконання вимірювань наступна:

- Планування виїзду на станції.
- Складання прогнозу стану супутників на станціях.
- Планування вимірювань
- Розташування на станціях і виконання одночасних сеансів

вимірювань.

Після вимірювань:

- Передача даних на комп'ютер, архівування
- Розрахунок векторів і оцінка точності
- Зрівняння мережі (обробка даних, аналіз) і контроль якості

отриманих результатів, складання технічного звіту.

*Польові роботи слід виконувати у наступному порядку.*

Приймач повинен перебувати в статичному режимі; перевірте об'єм вільної пам'яті та налаштування Maskangle (Кут відсічки) та samplinginterval (інтервал запису).

Встановити штатив над контрольною точкою, згоризонтуйте та відцентруйте його над вимірюваної точкою.

Виміряйте висоту інструменту тричі, різниця результатів не повинна бути понад 3 мм. Висота інструменту має бути виміряна від центру контрольної точки (репера) до спеціальної пластини, розташованої між приймачем та адаптером трегера.

Запишіть номер приймача, ім'я точки, висоту інструменту та час початку сесії.

Увімкніть прилад, підтвердіть статичний режим, приймач почне шукати супутники. Коли умов зйомки досягнуто, пристрій починає запис даних у внутрішню пам'ять приймача, індикатор стану (REC) буде блимати в відповідно з заданим інтервалом записи, кожне миготіння вказує на запис епохи.

Після завершення сеансу вимкніть приймач, а потім почніть передачу

даних і обробку.

### *Побудова GPS-мереж*

GPS-мережа зазвичай представляє собою замкнуту фігуру в формі трикутника, багатокутника (полігону) і також може містити додаткові вектори, що з'єднують вершини полігону, для додаткового контролю та підвищення надійності мережі.

Точки мережі GPS повинні якнайбільше збігатися з пунктами вихідної геодезичної мережі. Збігаються точок має бути не менше трьох (слід виконати нівелювання для визначення висот пунктів геодезичної мережі, якщо їх не вистачає), і вони мають бути рівномірно розподілені у спільній мережі для того, щоб надійно визначити параметри переходу між GPS та вихідною наземний геодезичною мережею.

Слід обов'язково включати в мережі GPS, пункти нівелірної мережі, які збігаються з точками GPS-мережі. Якщо точка не збігається з нівелірною мережею, то потрібно прив'язати її, виконавши нівелювання (або іншим методом еквівалентної точності). або встановити певну густину висотних точок в мережі для надання інформації про вивченні геоїду.

Для того, щоб полегшити спостереження та виконати нівелювання, GPS-точки повинні перебувати у просторах і доступних місцях.

Для того щоб виконати класичне нівелювання або зробити додатковий вимір, потрібно забезпечити хорошу видимість напрямку на точку. Відстань між точкою і станцією, як правило, повинно бути більше, чим 300 метрів.

Залежно від різних цілей GPS-вимірювань, GPS-мережа повинна мати певну геометрію. Основними формами мережі є: мережа трикутників, мережа замкнутих полігонів і радіальні (променеві) мережі (рис. 3.16).

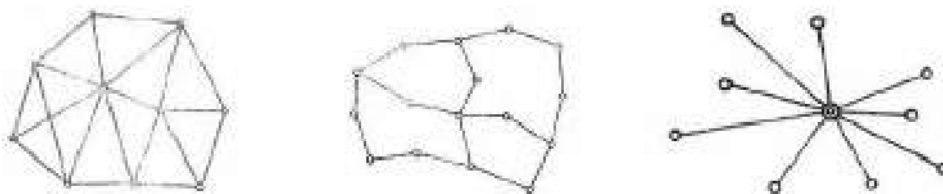


Рисунок 3.16 – Види супутникових мереж

### 3.8 Порівняння точності методів створення планової опорної мережі

Порівняння нормативних вимог з проектними даними для планової опорної геодезичної мережі, створеної методами полігонометрії та лінійно-кутових побудов приведено у табл. 3.8.

Таблиця 3.8 – Технічні характеристики проекту планової опорної мережі

| Показники                                                                  | Проектні дані | Нормативні вимоги |
|----------------------------------------------------------------------------|---------------|-------------------|
| <b>Технічні характеристики проекту полігонометрії 1 розряду</b>            |               |                   |
| Гранична довжина ходу між вихідними точками, км                            | 5,4           | 7,0               |
| Довжини сторін ходу, км:                                                   |               |                   |
| – найбільша                                                                | 0,625         | 0,80              |
| – найменша                                                                 | 0,425         | 0,12              |
| – проектна для розрахунків                                                 | 0,454         | 0,30              |
| Найбільша кількість сторін у ході                                          | 12            | 15                |
| Відносна похибка ходу                                                      | 1:21627       | 1:10000           |
| Середня квадратична похибка вимірювання кутів, с                           | 5             | 5                 |
| Середня квадратична похибка вимірювання довжини сторони, см:               |               |                   |
| – до 500 метрів                                                            | 1             | 1                 |
| – понад 500 метрів                                                         | 1             | 2                 |
| Ступінь прямолінійності ходів полігонометрії, К                            | 1,38          | 1,3               |
| <b>Технічні характеристики проекту лінійно-кутової мережі 1-го розряду</b> |               |                   |
| Довжина сторони трикутника, км                                             | 1,4-3,4       | 0,5 – 5           |
| Мінімально допустима величина кута, град                                   | 38            | 30                |
| Максимальна кількість трикутників між вихідними сторонами                  | 2             | 7                 |
| Мінімальна довжина вихідної сторони, км                                    | 1,9           | 1                 |
| Граничне значення (СКП) кута, с                                            | 2             | 5                 |
| Відносна середня квадратична похибка вимірювання сторони мережі            | 1/80000       | 1/80000           |

Результати порівняння показують, що задані у проекті параметри відповідають встановленим нормативним умовам та допускам.

Розраховані середні квадратичні похибки визначення планових координат наступні:

- для лінійного методу  $M = 0,062$  м;
- для методу полігонометрії  $M = 0,084$  м;

- для супутникового методу  $M = 0,007$  м.

Вимоги до опорної мережі на промислових майданчиках вугільних шахт визначаються інструкцією «Маркшейдерські роботи на вугільних шахтах та розрізах» [8], згідно з якою похибка у положенні підхідних пунктів не повинна перевищувати в плані 0,1 м. Таким чином будь який із розглянутих методів може бути використаний для створення планової опорної мережі для будівництва промислового майданчика блока №12.

### 3.9 Створення висотної опорної мережі

Головна будівельна основа має забезпечити створення на будівельному майданчику робочої висотної основи для розбивочних робіт із середньою квадратичною похибкою її знаків не більше 10 мм та можливість спостереження за величинами деформацій із середньою квадратичною помилкою 2-5 мм залежно від об'єктів промислового будівництва.

При монтажі сталевих конструкцій та технологічного обладнання визначення висот реперів має бути зроблено з точністю 1-2 мм. Тому висотною основою для таких монтажних робіт може бути геометричне нівелювання III класу.

Додаткову нівелірну мережу на будівельному майданчику необхідно розвинути з метою створення такої густоти пунктів, при якій будь-яку точку будівництва можна було б передати позначку при одній постановці нівеліра. Додаткова нівелірна мережа створюється прокладання нівелірних ходів IV класу. Пункти висотної основи поєднуємо з пунктами планової основи розбивки.

Організація робіт з нівелювання включає такі етапи: складання проекту; рекогносцировку; закладку нівелірних знаків; перевірки та дослідження приладів; виконання польових робіт; обчислювальну обробку результатів польових спостережень; складання каталогу висот пунктів нівелювання.

Державна нівелірна мережа розвивається за принципом від загального до приватного та складається з IV класів. Нівелірна мережа I та II класу створюється з метою поширення єдиної системи висот на території всієї держави та вирішення інших наукових завдань. Нівелірна мережа III та IV класу призначена для забезпечення висотною основою топографічних зйомок усіх масштабів та інженерно-геодезичних робіт. Проект на виконання робіт складається з урахуванням вимог Інструкції з нівелювання I, II, III та IV класів для забезпечення зйомок масштабів 1:5000 та більше. Враховують також вимоги основних положень щодо створення топографічних планів масштабів 1:5000, 1:2000, 1:1000 та 1:500 та відповідних інструкцій.

Згідно з інструкцією «Маркшейдерські роботи на вугільних шахтах та розрізах» на промисловому майданчику кожного ствола повинно бути не менше трьох реперів, висотні відмітки яких визначають нівелюванням III і IV класів. Крім реперів висотні відмітки повинні передаватись на всі пункти планової опорної мережі нівелюванням IV класу, а також на осьові пункти шахтних стволів – технічним нівелюванням.

Інструкціями [1, 6] встановлено граничні значення СКП  $m_{\text{км}}$  і значення допустимих відхилень по лініях – допустиме  $f_h$ .

Для ходів IV класу гранична СКП  $m_{\text{км}}$  становить 5 мм, допустима нев'язка в ході визначається за формулою

$$\partial \text{оп.} f_h = \pm 20 \sqrt{L}, \text{ мм}$$

де  $L$  - довжина лінії, км.

$$m_{\text{км}} = \frac{\partial \text{оп.} f_h}{L}, \text{ мм/км}$$

Для технічного нівелювання гранична СКП  $m_{\text{км}}$  становить 15-20 мм, гранична нев'язка по лінії визначається за формулою

$$\partial \text{оп.} f_h = \pm 50 \sqrt{L}, \text{ мм}$$

Середня квадратична похибка точки в середині ходу розраховується за формулою

$$m_{сер} = \frac{1}{4} \partial on. f_h$$

Нівелювання III і IV класів має виконуватися нівеліром Н-3 або рівноточними йому нівелірами, що забезпечують визначення перевищень із середньою квадратичною похибкою не більше ніж 3 мм на 1 км подвійного ходу. Для зняття відліків необхідно використовувати триметрові шашкові рейки з двосторонньою розграфкою з круглим рівнем. Рейки при нівелюванні III і IV класу встановлюються на черевики чи милиці.

Технічні характеристики нівеліра Н3 приведені в таблиці 3.9.

Таблиця 3.9 – Основні характеристики нівеліра Н3

|                                             |          |
|---------------------------------------------|----------|
| Збільшення зорової труби, крат              | 30       |
| Зображення                                  | Обернене |
| Кут поля зору                               | 1° 16'   |
| Найменша відстань для візування, м          | 2,0      |
| Середня квадратична похибка 1 км ходу, мм   | 3,0      |
| Середня квадратична похибка перевищення, мм | 1,6      |
| Ціна ділення круглого рівня, хв             | 10       |
| Ціна ділення циліндричного рівня, с         | 15       |
| Маса, кг                                    | 1,8      |

### 3.10 Створення геодезичної розбивочної основи

Для виконання розбивочних робіт при будівництві будинків і споруд на поверхні шахти необхідно мати достатню кількість опорних геодезичних точок, близько розташованих до об'єктів будівництва. Існуюча мережа

опорних геодезичних пунктів для цієї цілі недостатня.

На проммайданчику шахти положення кожного будинку і споруди в плані визначається відстанню його характерних точок від осей ствола. Враховуючи цю обставину, після розбивки осей ствола шахти в межах проммайданчика шахти створюється спеціальна разбивочна (будівельна) мережа пунктів.

Одним із видів геодезичної основи є будівельна сітка. Вона являє собою мережу пунктів, закріплених постійними знаками, розташованих у вершинах квадратів чи прямокутників, сторони яких паралельні осям головного шахтного ствола. Розміри сторін прямокутників 80–350 м. Додаткові пункти задають у створах між основними.

Осьові пункти головного шахтного ствола включають у систему разбивочної мережі. Їх розміщують у місцях, що забезпечують довгострокову збереженість, а додаткові пункти – у місцях, що дозволяють робити безпосередню розбивку осей прилягаючих до пунктів будинків і споруд.

Роботи, які пов'язані з розбивкою і закріпленням будівельної сітки дуже трудомісткі та відповідальні і вимагають підвищеної точності лінійних і кутових вимірів, а також строгої орієнтації по осях ствола. Кути повинні вимірятися із середньою похибкою  $\pm 20''$ , а сторони – з відносною похибкою не менш 1:20000.

Будівельна сітка особливо ефективна, якщо всі будівлі і споруди на проммайданчику розташовані паралельно осям ствола. Для проммайданчика блоку №12 ця умова не виконується – деякі будівлі розташовані паралельно осям ствола, а більшість – під кутом. Тому у якості геодезичної разбивочної основи обирається метод опорних ліній.

Для промислового майданчика блоку №12 проектом передбачається створення системи опорних ліній, які опираються на пункти опорної мережі та закріплюються не менш, ніж двома пунктами. Опорні лінії паралельні осям стволів. Схема розташування опорних ліній показана на рис. 3.17

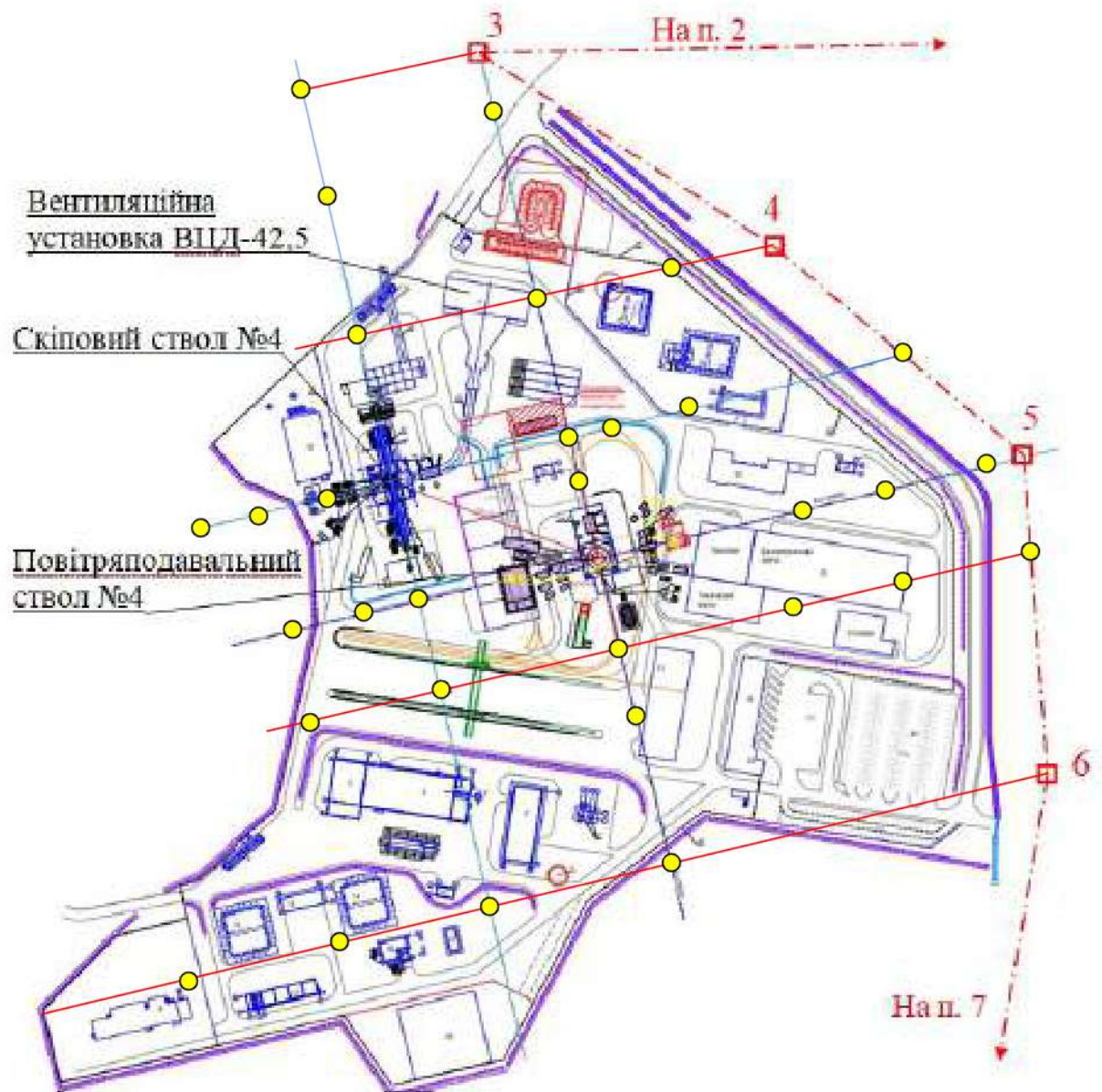


Рисунок 3.17 – Схема опорних ліній геодезичної розбивочної мережі промислового майданчика блока №12

#### **4 ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ ПРИ ВИКОНАННІ ГЕОДЕЗИЧНИХ РОБІТ**

Охорона праці є системою законодавчих актів, соціально-економічних, організаційних, технічних, гігієнічних та лікувально-профілактичних заходів та засобів, що передбачають безпеку, збереження здоров'я та працездатності людини у процесі праці.

Один із основних обов'язків адміністрації – забезпечити належне технічне обладнання робочих місць та створити умови, що відповідають правилам та нормам з охорони праці (техніці безпеки, виробничої санітарії, електробезпеки та іншим правилам). Особлива відповідальність лягає на адміністрацію щодо забезпечення здорових умов праці при виконанні польових топографо-геодезичних робіт, що характеризуються специфічними особливостями: великою різноманітністю фізико-географічних умов місцевості; проживанням у польових умовах; загально-котловим харчуванням; проведенням робіт та постійним переміщенням окремих виробничих підрозділів невеликим складом; знаходження їх на відкритому повітрі, найчастіше в несприятливих та суворих кліматичних умовах, а в окремих випадках у районах поширення інфекційних захворювань, малообжитих та важкопрохідних місцевостях; організація переправ та руху через водні перешкоди та по небезпечних ділянках місцевості; відсутністю швидкої медичної допомоги та ін.

Рівні вимог, необхідних для забезпечення безпеки праці на виробництві, встановлюються шляхом розробки та прийняття науково-обґрунтованих стандартів, правил та норм охорони праці, навколишнього середовища. Також розробляються цільові програми щодо покращення умов праці, попередження виробничого травматизму, професійних захворювань.

Адміністрація підприємства або уповноважений ним орган управління забезпечує на підприємстві виконання вимог стандартів, правил та норм з охорони праці, а також зобов'язань, передбачених колективним договором.

Працівники підприємства зобов'язані дотримуватись вимог правил та норм з охорони праці, встановлених відповідними законодавчими та нормативними актами, колективними договорами.

Загальний посібник з охорони праці здійснюється за галузями, міністерствами та відомствами.

Основним напрямом роботи з охорони праці міністерства, відомства є постійне вдосконалення організації роботи зі створення здорових та безпечних умов праці працюючих, запобігання виробничому травматизму та професійним захворюванням.

З цією метою міністерством, відомством створюється та постійно вдосконалюється служба охорони праці та нормативна документація з охорони праці. Проводиться аналіз причин нещасних випадків на виробництві та професійних захворювань. На підставі такого аналізу розробляються заходи щодо запобігання травматизму.

Міністерства та відомства вивчають, узагальнюють та поширюють передовий досвід з охорони праці на підлеглих підприємствах.

Для вирішення питань, що потребують наукової розробки, залучаються науково-дослідні та проектно-конструкторські організації та провідні фахівці.

Крім цього, міністерства, відомства здійснюють внутрішньовідомчий контроль за дотриманням законодавства та правил з охорони праці та техніки безпеки щодо підлеглих їм підприємств.

На підприємствах створюються служби (вводяться посади) з охорони праці серед осіб, які мають спеціальну підготовку. Служби охорони праці за своїм статусом прирівнюються до основних служб підприємства та підпорядковуються його керівнику.

Спеціалісти служб охорони праці мають право контролювати дотримання всіма працівниками правил та норм з охорони праці, видавати керівникам структурних підрозділів обов'язкові для виконання приписи про

усунення виявлених порушень, а також вносити подання керівникам

підприємств щодо притягнення до відповідальності осіб, які порушують законодавство про охорону праці.

Основними обов'язками працівників служби охорони праці є:

організація забезпечення своєчасного проведення навчання та інструктажів з техніки безпеки, здійснення контролю за їх якістю, а також наявністю у відповідних посвідчень, що працюють, на право ведення робіт;

організація пропаганди щодо дотримання вимог охорони праці, техніки безпеки та виробничої санітарії, а також забезпечення підрозділів необхідними інструкціями, плакатами, літературою та ін.;

здійснення контролю за дотриманням вимог та норм з охорони праці, техніки безпеки, пожежної безпеки та електробезпеки, промислової санітарії, а також своєчасне надання робітникам пільг з охорони праці та забезпечення їх лікувально-профілактичним харчуванням та ін.

Працівники служби охорони праці та техніки безпеки мають право:

безперешкодно відвідувати підлеглі підрозділи, оглядати виробничі, службові та побутові приміщення, ознайомлюватися зі звітами, матеріалами розслідувань нещасних випадків та іншою документацією з охорони праці та техніки безпеки;

забороняти експлуатацію технологічного та допоміжного обладнання, проведення робіт на окремих ділянках та процесах, транспортних та вантажопідйомних засобів та механізмів та інше, якщо це загрожує життю чи здоров'ю працюючих, з обов'язковим повідомленням про це керівника чи головного інженера підприємства;

залучати за погодженням з керівництвом підрозділу відповідних спеціалістів технічних служб або інших підрозділів до перевірок стану охорони праці; вимагати та отримувати від підлеглих підрозділів матеріали з охорони праці та техніки безпеки, а також вимагати від осіб, які допустили порушення вимог безпечних та здорових умов праці, письмових пояснень;

Велике місце у системі заходів відводиться складання проектів безпечної організації польових робіт з експедиції, польових партій та бригад, незалежно від району та видів робіт.

Початкові проекти безпечної організації польових робіт, що розробляються керівниками бригад, є складовою частиною проектів організації безпечних робіт партій, експедиції і відображають такі основні питання:

дати початку, закінчення та порядок ліквідації польових робіт, опис особливостей ділянок та умов праці на закріпленому об'єкті, що впливають на складність та організацію робіт;

заплановані заходи щодо охорони праці;

кількість бригадо-місяців, необхідне виконання виробничого завдання за нормами з урахуванням продуктивності праці, та інші питання виробничої діяльності.

При складанні проекту викреслюється у довільному масштабі схема робіт, а в необхідних випадках схема безпечного пересування складною ділянкою із зазначенням місць та термінів переправ через водні перешкоди; елементи місцевості, що негативно впливають на організацію робіт, маршрут руху діляницею робіт; бази та склади.

Наступним етапом роботи є складання календарного плану заходів з техніки безпеки, який має передбачати:

дати проходження працівниками підрозділів медичного огляду;

проведення профілактичних щеплень, навчання та інструктажів з техніки безпеки;

отримання необхідного спорядження та обладнання для забезпечення безпечного проведення робіт, продуктів харчування;

складання актів готовності бригад і автотранспорту, що виділяється для польових робіт.

Підготовлені робочі проекти з безпеки організації польових робіт подаються на розгляд та укладання до спеціальної комісії експедиції, яка призначається щорічно наказом з експедиції.

Завершальним етапом підготовки до польових робіт є робочий проект із безпечної організації робіт експедиції, який має складатися з робочих проектів польових партій та бригад. До проекту експедиції прикладаються пояснювальна записка, оглядова схема, план та графік оргтехзаходів з підготовки до польових робіт. Захист проекту організації робіт експедиції провадиться у центральній комісії підприємства, яка розглядає ці питання за затвердженим графіком.

Відповідно до вимог передбачається навчання працюючих безпеки праці проводити на всіх підприємствах, незалежно від характеру та ступеня небезпеки виробництва.

Особ, що входять до складу комплексних бригад, навчають безпечним методам праці в повному обсязі за їхньою основною та сумісною професіями.

Загальне керівництво та організація навчання на підприємстві покладається на керівника підприємства, а в підрозділах - на керівника підрозділу.

Контроль за своєчасністю та якістю навчання працюючих безпеки праці у підрозділах підприємства здійснює відділ (бюро, інженер) охорони праці (техніки безпеки) або інженерно-технічний працівник, на якого покладено ці обов'язки наказом керівника підприємства.

За характером та часом проведення інструктаж працюючих поділяється на:

- вступний;
- первинний на робочому місці;
- повторний;
- позаплановий;
- поточний.

Вступний інструктаж проводять з усіма прийнятими працювати, незалежно від своїх освіти, стажу роботи з даної професії чи посади, і навіть з відрядженими, учнями і студентами, які прибули на виробниче навчання чи практику.

Первинний інструктаж на робочому місці проводять з усіма знову прийнятими на підприємство, що переводяться з одного підрозділу до іншого, відрядженими, учнями та студентами, які прибули на виробниче навчання або практику, з працівниками, які виконують нову для них роботу, а також з будівельниками під час виконання будівельно-монтажних робіт на території підприємства, що діє. Первинний інструктаж на робочому місці проводять із кожним працівником із практичним показом безпечних прийомів та методів праці.

Усі робітники після первинного інструктажу на робочому місці та перевірки знань протягом 2-5 змін (залежно від стажу, досвіду та характеру роботи) виконують роботу під наглядом майстра чи бригадира, після чого оформляється допуск їх до самостійної роботи. Допуск до самостійної роботи фіксується датою та підписом інструктуючого в журналі реєстрації інструктажу на робочому місці (особистій картці інструктажу).

Повторний інструктаж проходять усі працюючі незалежно від кваліфікації, освіти та стажу роботи не рідше, ніж за шість місяців.

Повторний інструктаж проводять з метою перевірки та підвищення рівня знань правил та інструкцій з охорони праці індивідуально або з групою працівників однієї професії за програмою інструктажу на робочому місці.

Позаплановий інструктаж проводять при:

зміну правил охорони праці;

зміну технологічного процесу, заміну або модернізацію обладнання, пристроїв та інструменту, вихідної сировини, матеріалів та інших факторів, що впливають на безпеку праці;

порушення працівниками вимог безпеки праці, які можуть призвести до травми, аварії, вибуху або пожежі;

перервах у роботі: для робіт, яких пред'являються додаткові (підвищені) вимоги безпеки праці, – більш як 30 календарних днів, а інших робіт – 60 днів.

Позаплановий інструктаж проводять індивідуально чи з групою працівників однієї професії обсягом первинного інструктажу робочому місці.

Поточний інструктаж проводять із працівниками перед виконанням робіт, на які оформляється наряд-допуск. Проведення поточного інструктажу фіксують у наряді-допуску виробництва робіт.

Про проведення первинного, повторного та позапланового інструктажу на робочому місці особа, яка проводила інструктаж, робить запис у журналі реєстрації інструктажу на робочому місці (в особистій картці інструктажу) за підписом інструктованого та особи, яка проводила інструктаж. Під час реєстрації позапланового інструктажу вказують причину, що викликала його проведення.

Подальше підвищення робітниками рівня знань з безпеки праці здійснюють:

- на курсах підвищення кваліфікації;

- на курсах безпеки праці.

Підвищення знань інженерно-технічних працівників з безпеки праці здійснюється ними у разі підвищення кваліфікації:

- на спеціальних курсах (семінарах) з охорони праці;

- в інститутах підвищення кваліфікації;

- на курсах при науково-дослідних інститутах та підприємствах;

- на факультетах та курсах підвищення кваліфікації при вищих навчальних закладах.

Після закінчення навчання інженерно-технічних працівників в інститутах, на факультетах та курсах підвищення кваліфікації має бути передбачено перевірку знань з охорони праці.

Під час виконання топографічних робіт слід приділяти велику увагу

питанням охорони навколишнього середовища. При цьому необхідно

прагнути максимальної безпеки лісових і орних земель, пасовищ та інших сільськогосподарських угідь. Прокладку опорних ходів потрібно виконувати по можливості вздовж доріг та стежок, розташовуючи центри та реperi в місцях відсутності лісонасаджень та сільськогосподарських культур. При пересуванні транспорту необхідно звести до мінімуму пошкодження цінних угідь та проведення лісових вирубок; із цією метою слід прагнути до ширшого використання аерогеодезичних методів вимірів. При розвитку знімального обґрунтування потрібно по можливості використовувати природні контури та місцеві об'єкти для розміщення опорних точок, щоб запобігти завданню шкоди природі.

За виконання робіт у населених пунктах забороняється проводити вимірювання на газонах, в городах та інших місцях штучних насаджень, рубати дерева та чагарники, ламати гілки. Не можна засмічувати територію та водоймища побутовими відходами, викидати папір, пакувальні матеріали, банки, пляшки тощо; вони повинні бути складені в ящики та контейнери для збирання сміття. При роботі в парках та скверах забороняється ушкоджувати багаторічні та однорічні насадження.

У процесі роботи необхідно вживати заходів, що унеможливають забруднення водних джерел та навколишнього середовища, зберігати та охороняти ліси, торфовища та сільськогосподарські посіви від пожеж. Правилами пожежної безпеки забороняється розводити багаття біля нафтопродуктів та інших легкозаймистих речовин, поблизу дерев, чагарників та стиглих посівів, у місцях із підсохлою травою, на торфовищах. Вогнища слід обкопувати канавою і ретельно гасити, засипаючи піском, землею чи заливаючи водою. Не можна кидати на землю сірники, що горять, і недопалки в сухому лісі або на лузі з висохлою травою. Працівники польових партій у разі виявлення вогнища поблизу місця їх роботи повинні негайно вжити заходів щодо найшвидшої його ліквідації.

## ВИСНОВКИ

При виконанні випускної кваліфікаційної роботи отримано наступні результати.

1. Обрано раціональну схему розташування пунктів опорної геодезичної мережі з урахуванням особливостей рельєфу та положення об'єктів промислового майданчика.

2. Проведеним аналізом встановлена відповідність лінійно-кутової мережі умові оптимального співвідношення точності лінійних та кутових вимірювань та отримані середні квадратичні похибки визначення довжини сторін мережі та зсуву кінцевої точки.

3. З використанням топографічної карти масштабу 1:25000 складено схему прокладання полігонометричного ходу з урахуванням нормативних вимог до його елементів та особливостей ситуації. Виконана перевірка конфігурації ходу на предмет витягнутості та обрана відповідна формула для розрахунку середньої квадратичної похибки положення кінцевого пункту, що враховує положення центру тяжіння ходу.

4. Виконано розрахунок необхідної точності вимірювання кутів і ліній та на його основі зроблено вибір геодезичних приладів. За результатами розрахунку для отримання встановлених результатів точності необхідно застосовувати прилади, якими виконуються виміри кутів з похибкою не більше 5", та довжини 10 мм. Таку точність має електронний тахеометр SOKKIA SET550RX, який і пропонується використовувати. Для визначення координат пунктів опорної мережі супутниковим методом пропонується застосовувати супутниковий приймач SOUTH S86S -2013, який дає похибку визначення планових координат у статичному режимі 2,5 мм + 1мм на 1 км відстані між пунктами.

5. Для забезпечення будівництва об'єктів на проммайданчику запроектована геодезична розбивочна основа у вигляді системи опорних ліній, що паралельні осям стволів.

6. Практичне значення роботи полягає у вирішенні основних питань розробки проекту створення геодезичної основи для будівництва поверхневого комплексу промислового майданчика блока №12 ПРАТ «Шахтоуправління «Покровське».

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Інструкція з топографічного знімання у масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 та 1:500. (ГКНТА 2.04-02-98). – Київ, 1999. – 155 с.
2. Основні положення створення Державної геодезичної мережі України: пост. Кабінету Міністрів України № 844 від 8.06.1998. – 15 с.
3. Математичне оброблення геодезичних вимірів: підручник / С.П. Войтенко, Р.В. Шульц, О.Й. Кузьмич, Ю.В. Кравченко; за ред. С.П. Войтенка. – Київ: Знання, 2015. – 654 с.
4. Высшая геодезия / В.Г. Зданович, А.Н. Белоликов, Н.А. Гусев и др. Москва: – Недра, 1970. – 512 с.
5. Селиханович В.Г. Геодезия: учеб. для вузов: в 2 ч. / В.Г. Селиханович. – Москва: Недра, 1981. – Ч. II. – 344 с.
6. Инструкция по нивелированию I, II, III, и IV классов. – Москва: Недра, 1990. – 176 с.
7. Інструкція про типи центрів геодезичних пунктів (ГКНТА-2.01,02-01-93). – Київ: ГУГКіК, 1994.
8. Маркшейдерські роботи на вугільних шахтах та розрізах. Інструкція. – Київ: Мінтопэнерго України, 2001. – 264 с.
9. Бачишин Б. Д. Інженерна геодезія : навчальний посібник. Рівне: НУВГП, 2020. 193 с.
10. Баран П. І. Інженерна геодезія: Монографія. К.: ПАТ «Віпол», 2012. 618 с.: іл.
11. Геодезичне забезпечення будівництва. Частина 2: навчальний посібник / [Ратушняк Г. С., Панкевич О. Д., Бікс Ю. С., Вовк Т. Ю.] – Вінниця : ВНТУ, 2014. – 99 с.
14. ДКІНП (ГНТА) 03-010-02. Інструкція з нівелювання I, II, III та IV класів. – М., 2003. – 135 с.
15. ДКНТА-2.04-02-98. Інструкція з топографічної зйомки у масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 та 1:500.-К., 1998.- 152 с.