**1. Вступ**

Одним із основних завдань геодезії є створення опорних геодезичних мереж, які забезпечують вихідні дані (координати та висоти) для виконання топографічних знімків, інженерно-геодезичних робіт, землевпорядних та інших проектів. До методів створення (або згущення) опорних мереж належать:

* Тріангуляція;
* трилатерація;
* Полігономерія (теодолітні, або теодолітно-електронні ходи);
* GNSS-мережі тощо.

**Полігономерія** (теодолітні ходи) є одним із традиційних і водночас достатньо точних методів згущення та розвитку геодезичної мережі. У цій лекції розглянемо методику закладення пунктів опорної мережі **шляхом прокладання теодолітного ходу 1 розряду** .

**2. Загальні поняття про полігономерію**

**2.1. Визначення полігономерії**

**Полігономерія** — це сукупність геодезичних методів, які полягають у вимірі контурів кутів та відстаней у закритому або розімкненому ході (ланцюзі), з призначенням визначення координат пунктів цих ходів. Для побудови такої мережі без обмежень:

* **Теодоліти** (або електронні тахеометри) для вимірювання горизонтальних кутів;
* **Електронні або оптичні дальноміри** (разом з відбивачами) чи розмірні стрічки (в деяких випадках) для вимірювання лінійних розмірів (відстаней).

**2.2. Класифікація полігономерії за точністю**

Полігономерні мережі виділено на розряди (1-й, 2-й, 3-й і т. д.) або класи (залежно від нормативної бази), які починаються допустимими похибками вимірювань:

* **1 розряд** — найбільша точність у межах полігономерних побудов (допустимі відносні помилки навколишніх до тріангуляцій 1-го та 2-го класів);
* **2 розряд** і далі — менш жорсткі вимоги щодо точності кутових і лінійних вимірювань.

Мережа 1-го розряду часто використовується як база для згущення вищих (у сенсах точності) мережа або як референтна опорна мережа для території середніх розмірів (наприклад, району, міста тощо).

**3. Призначення та вимоги до полігономерії 1 розряду**

**3.1. визначення**

1. Створення опорної мережі високої точності для визначення планових координат (X, Y).
2. Згущення мережі вищих класів або прилягання до пунктів Державної геодезичної мережі.
3. Забезпечення вихідного геодезичного обґрунтування для топографічних та інженерно-геодезичних робіт великого масштабу (1:500, 1:1000, 1:2000 тощо).

**3.2. Основні вимоги до ходу 1 розряду**

1. **Схема полігоноходу** має бути спланована так, щоб:
	* забезпечити простоту та надійність спостережень;
	* лінії ходу не були затіненими для приладдя (мінімальна кількість перешкод, вільний візування);
	* ходи (полігон) не мали надто великі довжини без проміжного контролю;
	* була можливість перевірки результатів вимірювань (наприклад, закритий хід, неможливість помилок шляхом “контрольних” вимірів).
2. **Довжини сторінки** (у полігономерії 1 розряду) постійно становлять від 300 до 800 м (часто й більше, залежно від місцевості та вимог), а **середня відстань** між пунктами не має бути надто великою через накопичення похибок при вимірюванні.
3. **Точність кутових вимірювань** :
	* Застосовують високоточні теодоліти (2″, 1″), або електронні тахеометри з відповідними характеристиками;
	* Середня квадратична похибка вимірювання одного кута має відповідати вимогам першого розряду (як правило, не більше 3″).
4. **Точність лінійних вимірювань** :
	* Приму електронні вимірювання (лазерними, оптичними чи радіодальними) відносна похибкаΔdd\frac{\Дельта d}{d}dΔ d​має бути в межах1:200 0001:200\0001:200000або й краща (залежно від умов і приладів).
	* При використанні сталевої стрічки (що для 1 розряду майже не практикується) — це дуже ретельна вимога до натягу, температурних поправок, врахування ухилу тощо. Однак у сучасних умовах зазвичай працюють з електронними тахеометрами.
5. **Допустимі нев'язки** (лінійні та кутові) при обробці результатів мають відповідати нормам на 1 розряд:
	* Сума алгебраїчних нев'язок у виміряних кутах (для замкнутого полігону) не повинна перевищувати допустимих нормативів (зазвичай кілька секунд на одній вершині).
	* Допустима лінійна нев'язка при замиканні ходу — в межах кількох сантиметрів на кілометр ходу (залежить від нормативних документів, але часто це 1:20000…1:50000 для 1 розряду).

**4. Прилади та обладнання**

**4.1. Теодоліт (або електронний тахеометр)**

* **Механічні (оптичні) теодоліти** високого класу точності (Т2, Т1, ідеально — Т0, згідно з колишніми радянськими стандартами).
* **Електронні тахеометри** із точністю вимірювання кута 1″–3″ та точністю вимірювання відстані 1–2 мм + 1–2 ppm (або точніше).

**4.2. Додаткове обладнання**

* **Штативи** стабільні, з можливістю регулювання, щоб уникати коливань при вимірюваннях.
* **Рейкові відбивачі** (призми) або **відбивачі-мішені** для електронних тахеометрів;
* **Сигнальні віхи** , **відбиваючі плівки** (за потреби);
* **Приладдя для вимірювання висоти приладу та відбивача** (рулетки, лінійки тощо);
* **GPS/GNSS-приймачі** (за наявності) для контролю або зв'язку з державною геодезичною мережею.

**5. Технологія прокладання теодолітного ходу**

Процес можна розділити на основні етапи:

**5.1. Рекогносцировка і планування ходу**

1. **Виїзд на місцевість** , попереднє оглядове вивчення.
2. **Вибір і розмітка** пунктів та ліній ходу, з урахуванням:
	* доступності та видимості ліній;
	* Мінімізація перешкод (дерева, будівлі, лінії електропередач, рельєф);
	* безпечності розміщення пунктів (віддаленість від зони руху транспорту тощо);
	* Зручність для вимірювання і транспорту.
3. **Складання схем** : визначення пунктів, їх нумерації, передбачення елементів сторінки, кутів, місць замикання та відомих пунктів вищого порядку.

**5.2. Закладення (монументування) пунктів**

1. **Створення центрів пунктів** (бетонних марок, центрів зі спеціальними знаками, металевих труб, реперів тощо) або тимчасового закладення, якщо потрібна менша довговічність.
2. **Визначення надземних знаків** (простих або спеціальних), якщо пункт має працювати протягом тривалого часу, і потрібно використовувати для подальших знімків.
3. **Встановлення** на кожному пункті центрів, щоб легко та точно можна було встановити пристрій або відбивач.

**5.3. Кутові вимірювання**

1. **Підготовка теодоліту** : перевірка та юстування (горизонтальність осі, співвісність).
2. **Вимірювання кутів** :
	* Метод “кругу лівого” і “кругу правого” (для оптичного теодоліту);
	* При роботі з електронним тахеометром виконують 2–4 серії вимірювань, змінюючи круг (або проводячи подвійне орієнтування) відповідно до інструкції;
	* Вписувати результати в **польовий журнал** .
3. **Обробка кутів** у польових умовах — попередній контроль:
	* Перевірка розходження між окремими серіями кутових вимірювань (не перевищують допустиму різницю, наприклад 5″ для 1-го розряду);
	* Усереднення результатів у межах кожної серії з результатом відмови грубих помилок.

**5.4. Лінійні вимірювання**

1. **Підготовка приладу** для вимірювання відстаней (налаштування тахеометра, калібрування при потребі).
2. **Встановлення відбивача** на потрібній висоті, реєстрація висоти приладу та висоти відбивача.
3. **Вимірювання відстані** :
	* Повторіть 2–3 рази, щоб виключити випадкові помилки;
	* При роботі зі стрічкою (якщо така методика використовується в особливих випадках) — обов’язкова перевірка температури, натягу, ухилу, внесення відповідних поправок.
4. **Попередній контроль** : відмінність між окремими вимірюваннями має вписуватися в допустиму частину (звичайно 2–3 мм на вимір).

**5.5. Оцінка та усунення грубих помилок**

* У **процесі польових робіт** забезпечуються контрольні вимірювання: дублюють відстань, вимірюють напрямки, додають контрольні діагоналі.
* Якщо виявлені значні розходження, виконуються **повторні вимірювання** або виконуються додаткові прийоми перевірки.

**6. Камеральна обробка**

Після завершення польових вимірювань дані передаються для **обчислення координат** пунктів. Основні кроки:

1. **Складання відомостей полігоноходу** :
	* Кути, довжини, дирекційні кути (за потреби);
	* Список пунктів з початковими координатами (наприклад, якщо відомі координати двох пунктів вищого порядку).
2. **Обчислення дирекційних кутів і румбів** :
	* Якщо вихід закритий, вибирають початковий напрямок із відомих напрямних кутів або з орієнтуванням на точки вищого класу (1–2 точки).
	* Для розімкнення ходу потрібні дві вихідні лінії (на двох мінімальних, відомих за координатами точок) для забезпечення необхідної точності орієнту.
3. **Визначення нев'язок** :
	* Кутова нев'язкаΔα\Дельта \альфаΔ αтака з нормативами (наприклад, перевіркаΔαдоп=±(10п)\Дельта \alpha\_{\mathrm{доп}} = \pm (10 \sqrt{n})Δ αдоп​=± ( 10п​)секунд, деппп— кількість кутів);
	* Лінійна нев'язка (по X і Y), загальна нев'язка по довжиніΔС\Дельта СΔ S, а відноснаΔСΣС\frac{\Delta S}{\Sigma S}Σ SΔ S​порівнюється з нормою (для 1-го розряду зазвичайΔСΣС≤1:20000\frac{\Delta S}{\Sigma S} \leq 1:20000Σ SΔ S​≤1:20000або жорсткіша).
4. **Компенсація (урівнювання)** :
	* Використовують схему вибіркової компенсації або метод найменших квадратів для рівномірного розподілу нев’язок по всім виміряним елементам;
	* В результаті підтримуються **уточнені координати** всіх пунктів ходу.
5. **Аналіз точності** :
	* Обчислюють середні квадратичні похибки координат точок (m\_x, m\_y), а також максимальне значення похибки положення точок;
	* Перевіряють відповідність вимогам для 1-го розряду.

**7. Документування результатів**

Після завершення всіх обчислень формується **технічний звіт** (або виконавча схема), до якого входять:

1. **Графічний матеріал** :
	* Схема полігономерного ходу;
	* Місцезнаходження пунктів (плани, космонімки чи схема на місцевості).
2. **Таблиці з результатами** :
	* Відомості виміряних кутів (з відміткою кількість серії);
	* Відомості виміряних відстаней;
	* Компенсовані дирекційні кути, румбі;
	* Обчислення координат пунктів та оцінка їх точності.
3. **Пояснювальна записка** із описом:
	* Методики, приладів, використаних програм;
	* Перевірок та нев'язок;
	* Виснову про відповідність результатів розрядним нормативам.
4. **Інформація про закріплення пунктів** :
	* тип і конструкція центрів;
	* Координати і висоти пунктів;
	* Фотографії пунктів (за потреби).

**8. Висновки**

1. **Полігономерія 1 розряду** дозволяє утримувати координати пунктів з високою точністю, достатньою для найвідповідальніших інженерно-геодезичних робіт.
2. При розвитку супутникових технологій (GNSS) **теодолітна полігономерія** залишається актуальним, контрольним і часто незамінним методом у місцевості з обмеженим доступом до відкритих супутникових сигналів або для додаткової верифікації результатів.
3. Якісне закладення (монументування) пунктів і дотримання всіх **нормативів точності** дає змогу збудувати мережу, стійку в часі та надійно прив’язану до вже існуючих державних чи регіональних систем координат.
4. Грамотне **камерне рівняння** і контроль результатів забезпечує гарантовану якість та однозначність кінцевих координатних пунктів.

**Таким чином, прокладання теодолітного ходу (полігономерії 1 розряду) є комплексним завданням, що включає** :

* ретельне польове планування, вибір пунктів та приладів,
* вимірювання кутів та відстаней з високою точністю,
* камеральну обробку з перевіркою нев'язок і компенсацією,
* складання технічного звіту з точнісними показниками та належним оформленням результатів.

Це забезпечує створення або уточнення опорної геодезичної мережі, необхідної для подальших робіт з топографічного знімання, проектування та будівництва різноманітних об'єктів.