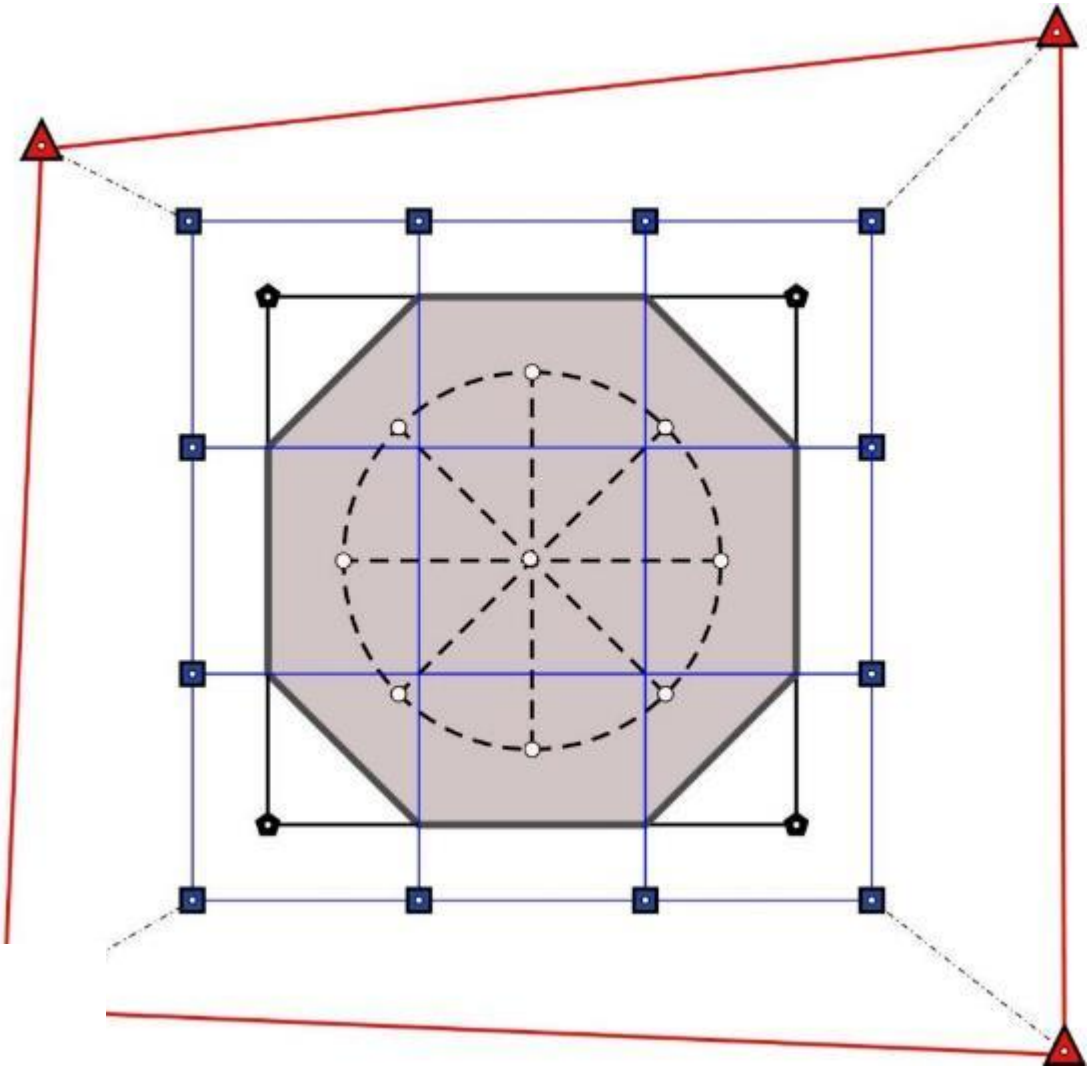
# 4. РОЗМІЧУВАЛЬНІ ІНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧНІ МЕРЕЖІ

# Приклади зовнішньої та внутрішньої мереж



- опорна геодезична мережа;
- привя'зка до опорної мережі;
- зовнішня розмічувальна мережа;
- внутрішня розмічувальна мережа;
- пункти закріплення головних осей будівлі;
- контур будівлі.

# Особливості інженерно-геодезичних мереж:

- часто створюються в місцевій системі координат із прив'язкою до державної системи координат;
- форма мережі визначається ситуацією на об'єкті, його формою;
- мають обмежені розміри, часто з незначним числом фігур або полігонів;
- довжини сторін, як правило, короткі.

# Вимоги до точності розмічувальних мереж

| Характеристика об'єкту будівництва | С. к. п. вимірів | | |
|---|---|---|---|
| | β (“) | S | H (м) |
| Підприємства і групи будівель на ділянках більше 1 км$^2$; окремо стоячі споруди площею забудови більше 100 тис. км$^2$ | 3 | 1/25000 | 4 |
| Підприємства і групи будівель на ділянках площею менше 1 км$^2$; окремо стоячі споруди площею забудови від 10 до 100 тис. км$^2$ | 5 | 1/10000 | 6 |
| Окремо стоячі споруди площею забудови менше 10 тис. км$^2$; дороги, інженерні мережі в межах забудови | 10 | 1/5000 | 10 |
| Дороги, інженерні мережі поза межами забудови; земляні споруди в тому числі вертикальне планування | 30 | 1/2000 | 15 |

# Вимоги до точності розмічувальних мереж

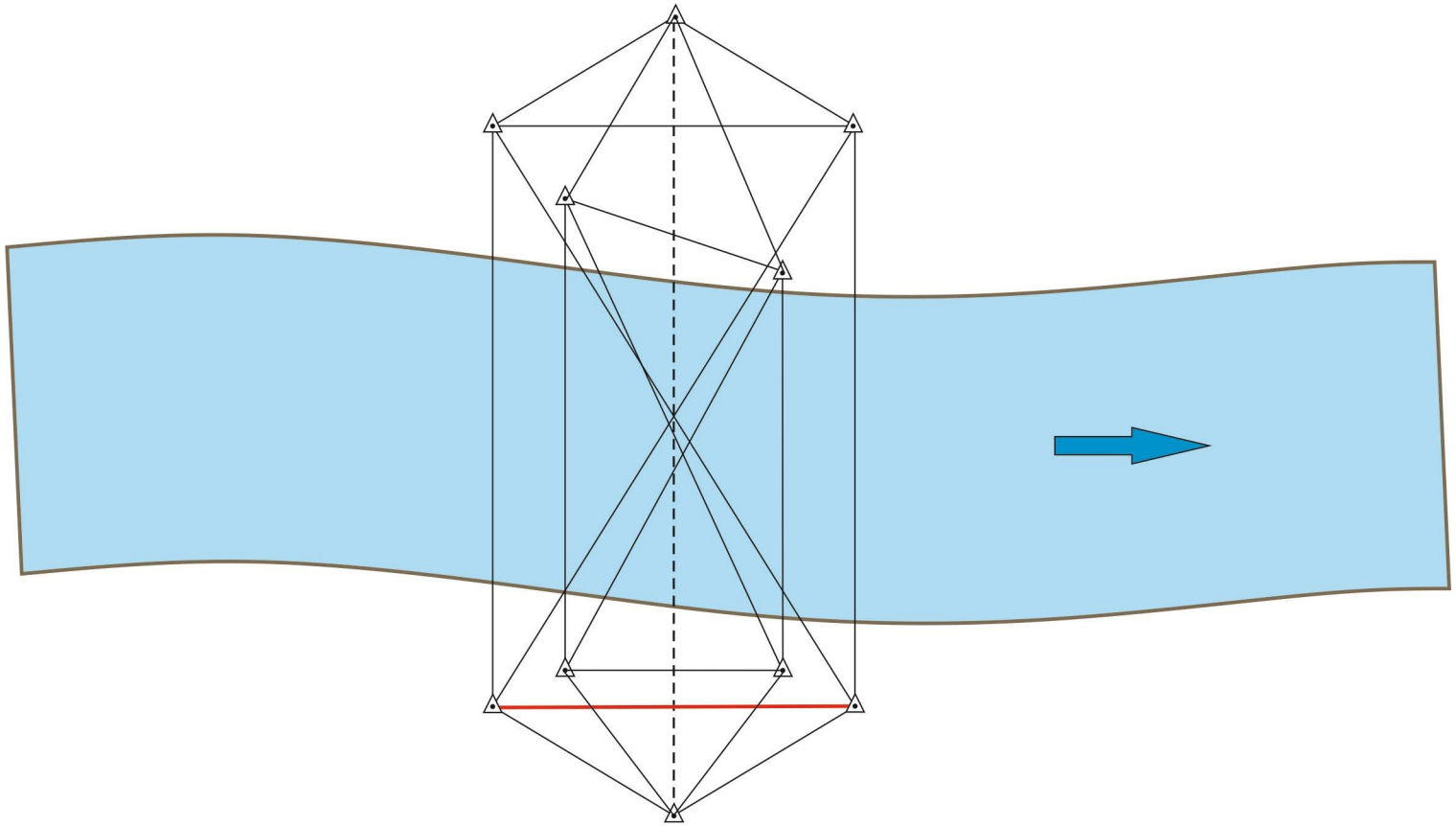
| Характеристика будівель, споруд, будівельних конструкцій | С. к. п. вимірів | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | β (“) | S | H (мм) | передача H на монт. горизонт відносно вих., (мм) | передача точок, осей по вертик/, (мм) |
| Металеві конструкції з фрезерованими контактними поверхнями; збірні залізобетонні конструкції, які монтуються методом самофіксації у вузлах; будівлі та споруди висотою понад 100 м або із прогонами від 30-36 м | 5 | 1 мм *L*<15 м, 1/15000 *L*>15 м | 1 | 2 + 10 × h | 1 +2 × h |
| Будинки вище ніж 15 поверхів; будівлі та споруди висотою від 73,5 м до 100 м або із прогонами від 18 до 30 м | 10 | 2 мм *L*<20 м, 1/10000 *L>20* м | 2 | 4+ 15 × h | 2 + 3 × h |

# Вимоги до точності розмічувальних мереж

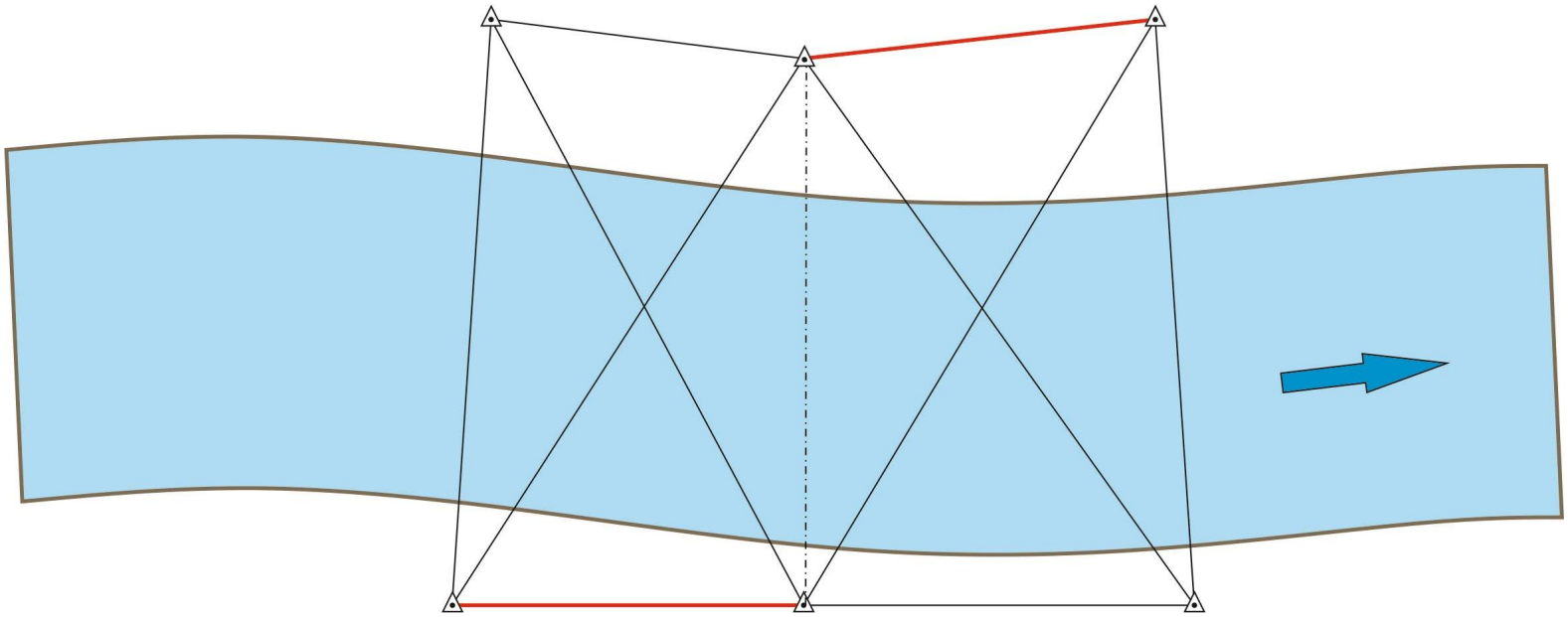
| Характеристика будівель, споруд, будівельних конструкцій | С. к. п. вимірів | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | β (“) | S | H (мм) | передача H на монт. горизонт відносно вих., (мм) | передача точок, осей по вертик/, (мм) |
| Будинки до 15 повер-хів; будівлі та споруди висотою до 73,5 м або із прогонами від 6 м до 18 м | 15 | 3 мм *L*<15 м, 1/5000 *L*>15 м | 3 | 6 + 20 × h | 3 + 5 × h |
| Будинки до 5 поверхів; будівлі та споруди висотою до 15 м | 30 | 4 мм *L*<20 м, 1/5000 *L>20* м | 5 | 10 + 50 × h | 5 + 10 × h |

# 4.2 Методи створення інженерно-геодезичних мереж. Тріангуляція

(*Гідротехнічна тріангуляція*)

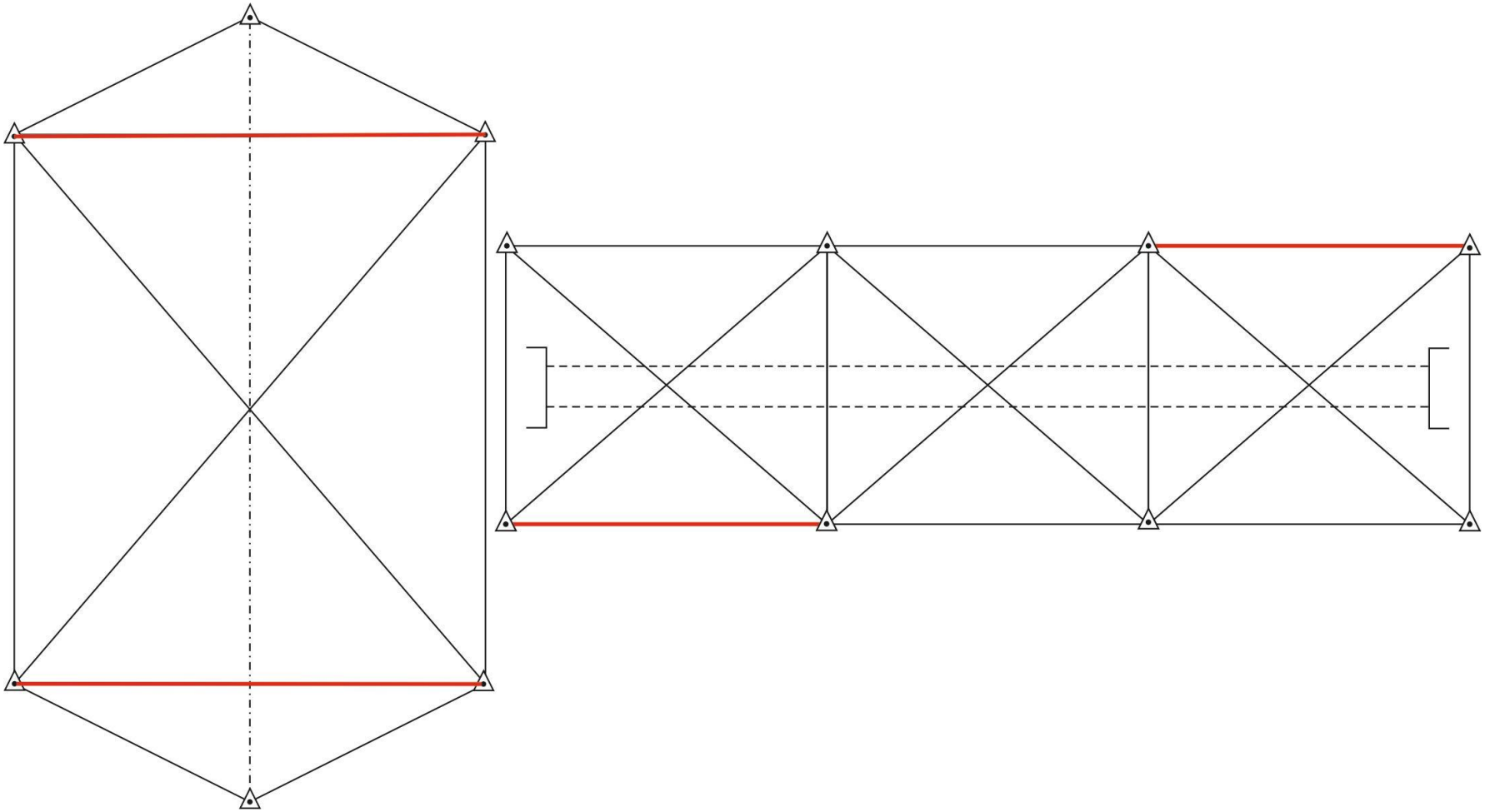


# 4.2 Методи створення інженерно-геодезичних мереж. Тріангуляція (*Мостова тріангуляція*)

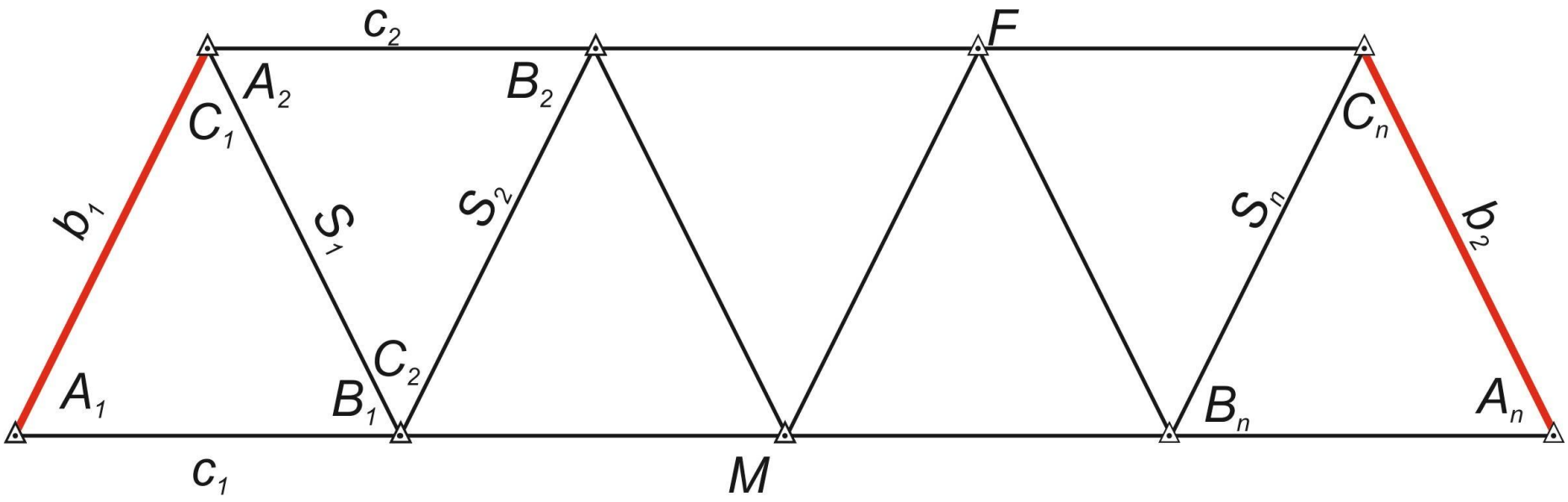


# 4.2 Методи створення інженерно-геодезичних мереж. Тріангуляція

(*Тунельна тріангуляція*)



# 4.2 Методи створення інженерно-геодезичних мереж. Тріангуляція (***Ланцюг трикутників***)



# 4.2 Методи створення інженерно-геодезичних мереж. Лінійно-кутові мережі

*(Бездіагональний чотирикутник)*

$$c = DE + EC =$$

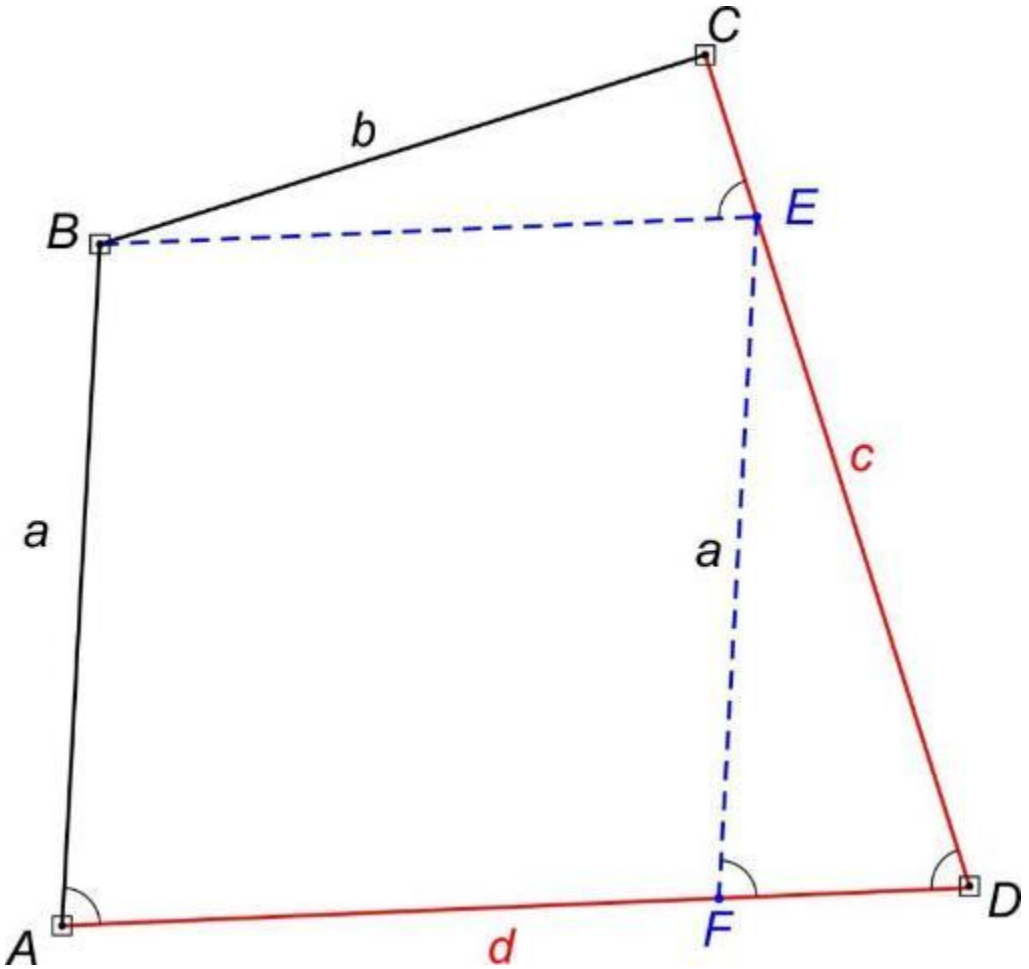
$$= a\frac{\sin A}{\sin D} + b\frac{\sin(C+D)}{\sin D} =$$

$$= \frac{a\sin A + b\sin(C+D)}{\sin D} \quad (4.1)$$

$$d = AF + FD =$$

$$= b\frac{\sin C}{\sin D} + a\frac{\sin(A+D)}{\sin D} =$$

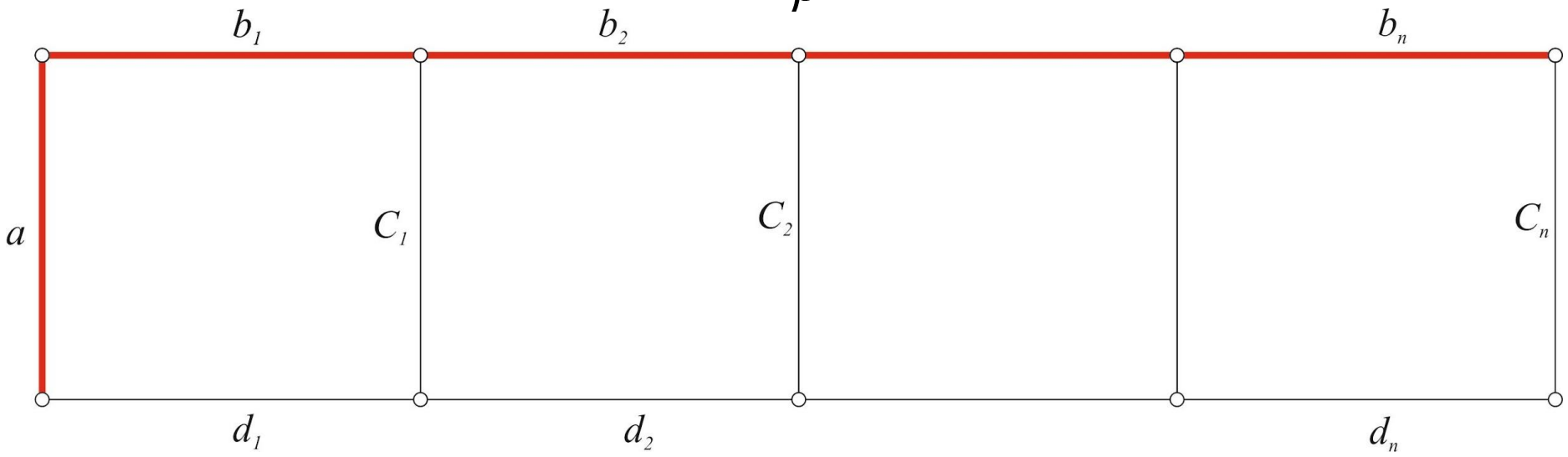
$$= \frac{b\sin C + a\sin(A+D)}{\sin D} \quad (4.2)$$



Середні квадратичні помилки обчислення довжин сторін чотирикутника:

$$m_b^2 = m_a^2 + 2\frac{m_\beta^2}{\rho^2} b^2 \quad (4.3)$$

$$m_d^2 = m_b^2 + 2\frac{m_\beta^2}{\rho^2} a^2 \quad (4.4)$$

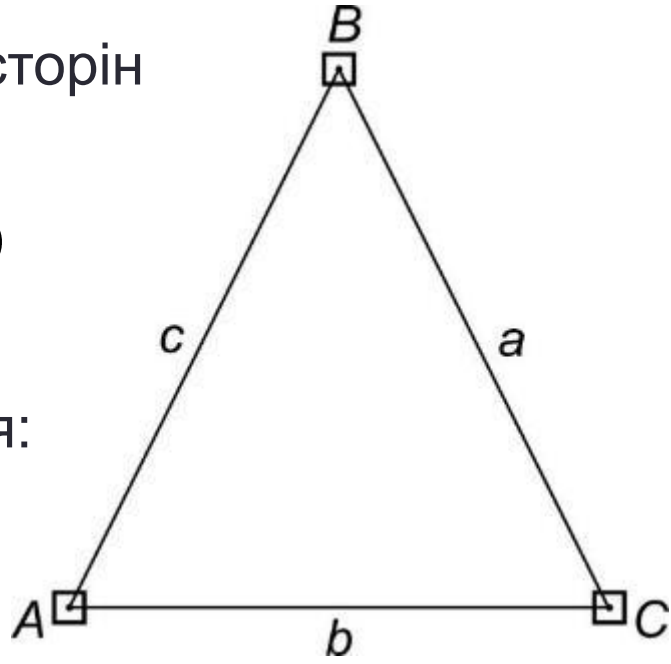



$$m_C^2 = m_a^2 + \sum_1^n S^2 \frac{m_\beta^2}{\rho^2} \quad (59)$$

де $S$ – довжина виміряної бічної сторони, $m_a$ – с.к.п. виміру першої сторони.

Ваги виміряних кутів та довжин сторін приймемо:

$$p_{\beta_i} = \frac{1}{m_{\beta_i}^2} (4.6) \qquad p_{S_i} = \frac{1}{m_{S_i}^2} (4.7)$$




В трикутнику виникають три умовні рівняння:

$$v_A + v_B + v_C + w_1 = 0 (4.8)$$

$$v_a \sin B - v_b \sin A + \frac{a \cos B}{\rho} v_B - \frac{b \cos A}{\rho} v_A + w_2 = 0 (4.9)$$

$$v_b \sin C - v_c \sin B + \frac{b \cos C}{\rho} v_C - \frac{c \cos B}{\rho} v_B + w_3 = 0 (4.10)$$

$$w_2 = a \cos B - b \sin A (4.11)$$

$$w_3 = b \cos C - c \sin B (4.12)$$

# Значення коефіцієнтів вагової функції

| | $a$ | $b$ | $C$ | $\pi$ | $F$ |
|---|---|---|---|---|---|
| $v_A$ | $+1$ | | | | $+1$ |
| $v_B$ | $+1$ | | | | |
| $v_C$ | $+1$ | | | | |
| $v_a$ | | | | | |
| $v_b$ | | | | | |
| $v_c$ | | | | | |

На основі даних таблиці можемо знайти величину оберненої ваги:

$$\frac{1}{P_F} = [\pi ff] - \frac{[\pi ff]^2}{[\pi aa]} - \frac{[\pi bf \cdot 1]^2}{[\pi bb \cdot 1]} - \frac{[\pi cf \cdot 2]^2}{[\pi cc \cdot 2]} \quad (4.13)$$

Та значення с.к.п. кута А:

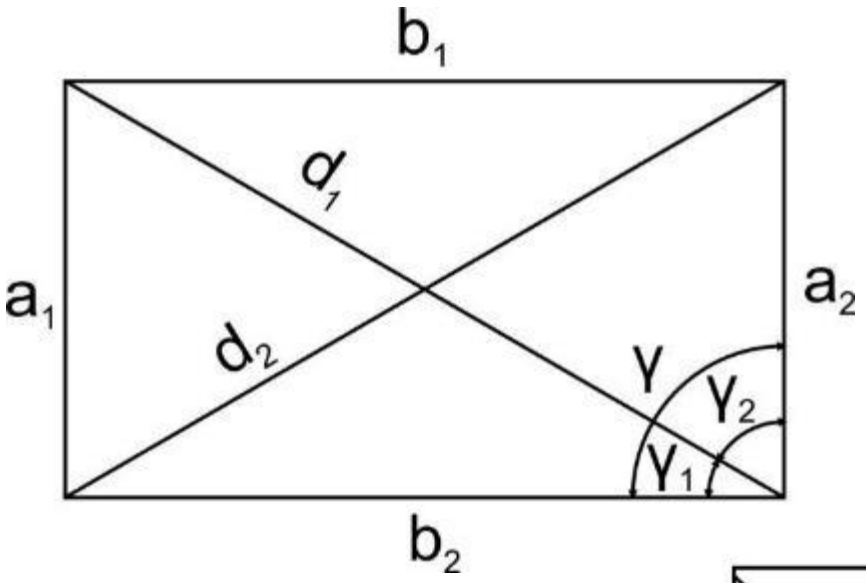
$$m_A^2 = \frac{1}{p_{F_A}} \quad (4.14)$$

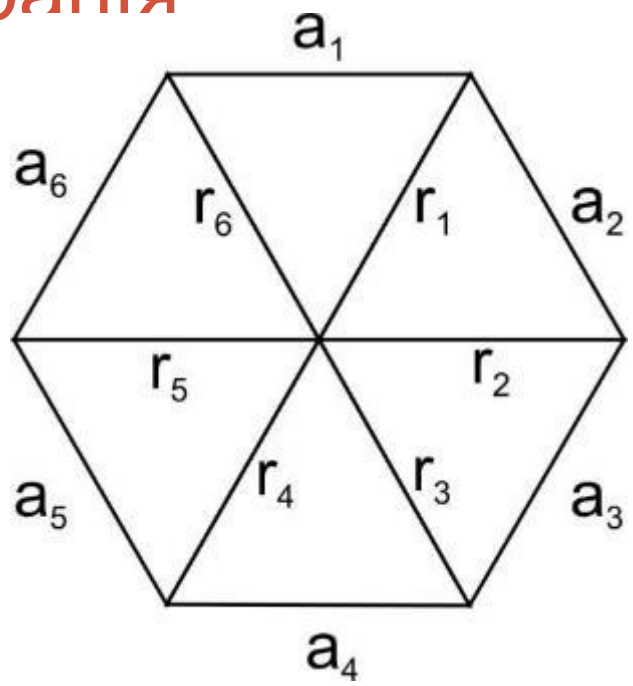
За даними табл. можна перейти до коефіцієнтів, що входять в формулу (4.13)

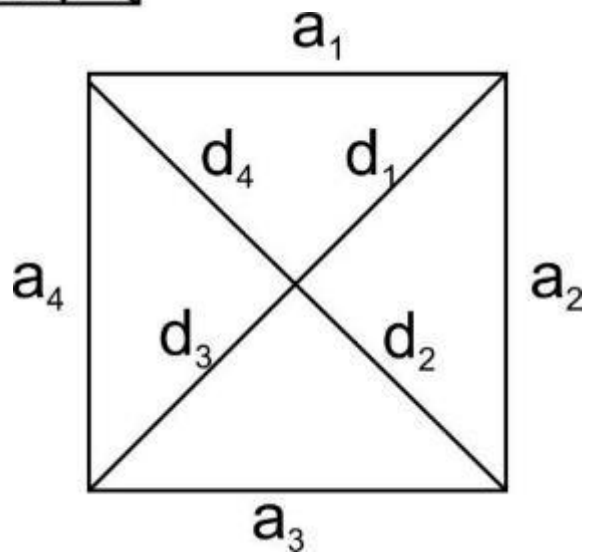
Якщо прийняти, що A=B=C, a=b=c, $m_a=m_b=m_c=m_S$

$$m_A^2 = m_\beta^2 - \frac{m_S^2 + \frac{m_\beta^2}{\rho^2}}{3m_S^2 + \frac{m_\beta^2}{\rho^2} s^2} m_\beta^2 \quad (4.15)$$

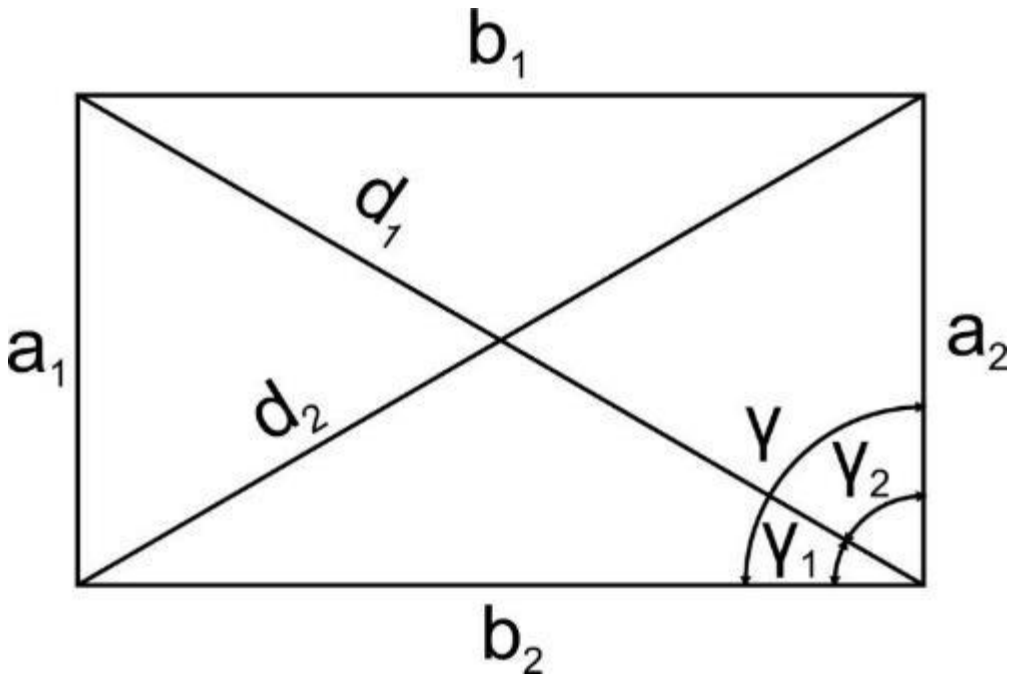
# 4.2 Методи створення інженерно-геодезичних мереж. Трилатерація



Так, для системи трикутників рис. з чотирма виміяними сторонами $a_1$, $a_2$, $b_1$ $b_2$ і діагоналями $d_1$і $d_2$ виникає умовне рівняння виду




$$\frac{\rho}{b}(a_1)+\frac{\rho}{b}(a_1)+\frac{\rho}{a}(b_1)+\frac{\rho}{a}(b_2)-\frac{dp}{ab}(d_1)-\frac{dp}{ab}(d_2)+w=0 \quad (4.16)$$

де

$$w=\gamma_1+\gamma_2-\gamma \qquad d=a\sqrt{1+\frac{b}{2}}$$

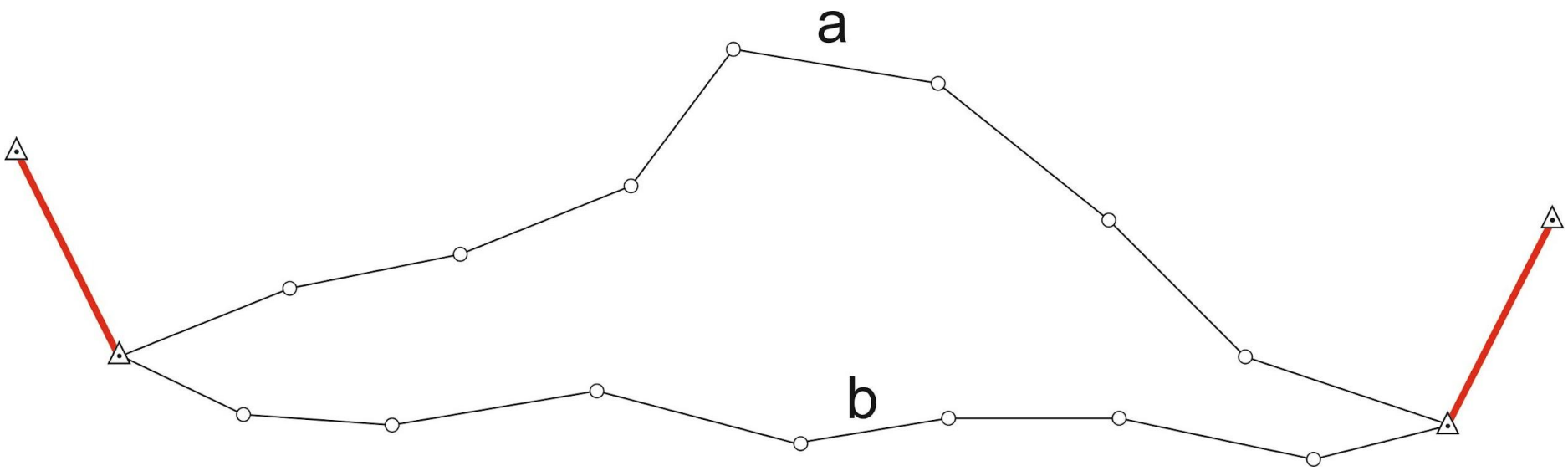
# 4.2 Методи створення інженерно-геодезичних мереж. Полігонометрія

| Показники | 4-й кл. | 1-й р. | 2-й р. |
|---|---|---|---|
| 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 |
| Середня | 0,50 | 0,30 | 0,08 |
| Найменша | 0,25 | 0,12 | 0,20 |
| Кількість сторін у ході, не більше | 15 | 15 | 15 |
| Відносна помилка ходу, не більше | 1:25000 | 1:10000 | 1:5000 |
| С. к. п. виміряного кута (за невязками у ходах і в полігонах), | 3” $\sqrt{n}$ | 5” $\sqrt{n}$ | 10” $\sqrt{n}$ |
| Кутова нев’язка ходу або полігона | 5n | 10n | 20n |
| С. к. п. вимірювання довжини сторони, см | | | |
| До 500 м | 1 | 1 | 1 |
| Від 500 до понад | 2 | 2 | 2 |
| Більше 1000 м | 1:40000 | — | — |

# 4.2 Методи створення інженерно-геодезичних мереж. Полігонометрія

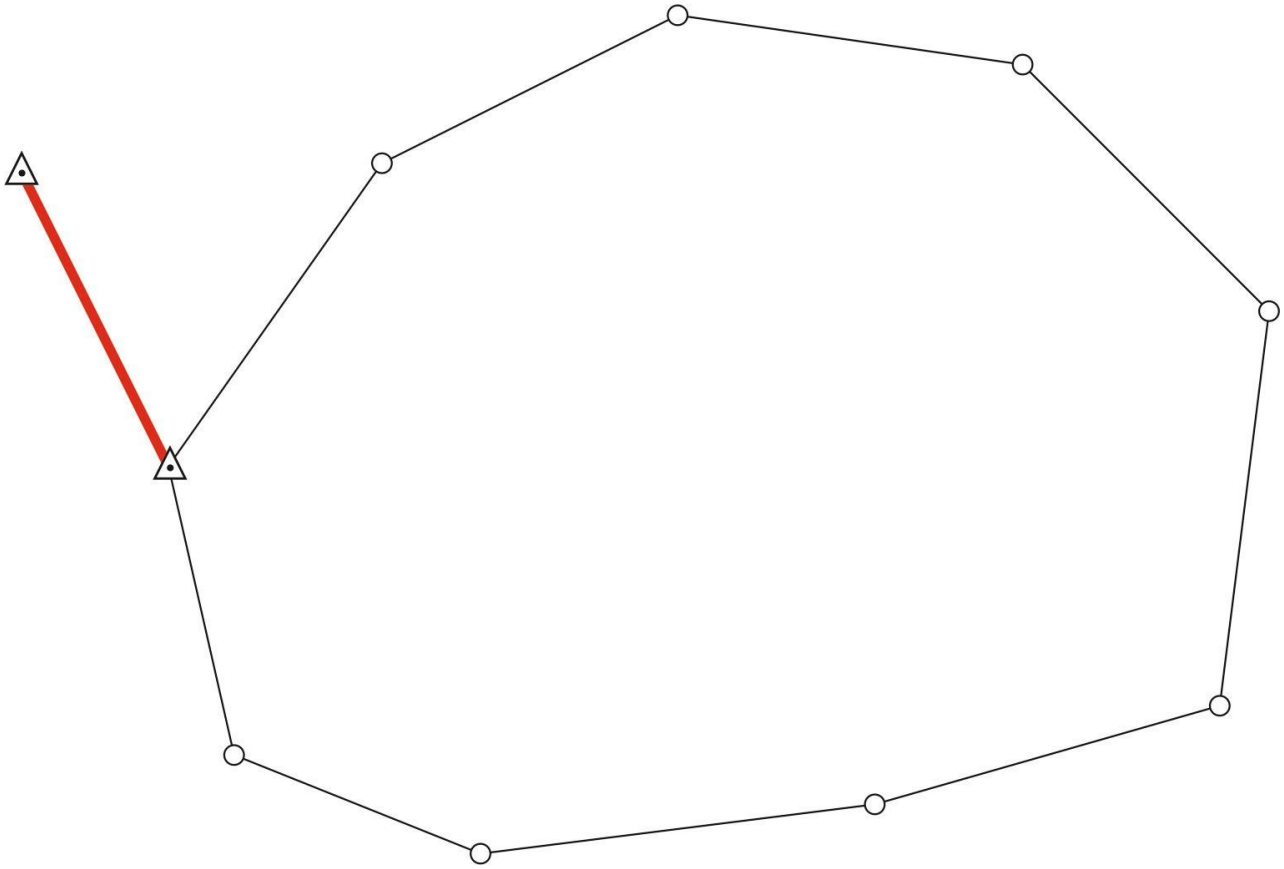
*a) Ламаний хід;*

*b) Витягнутий хід.*



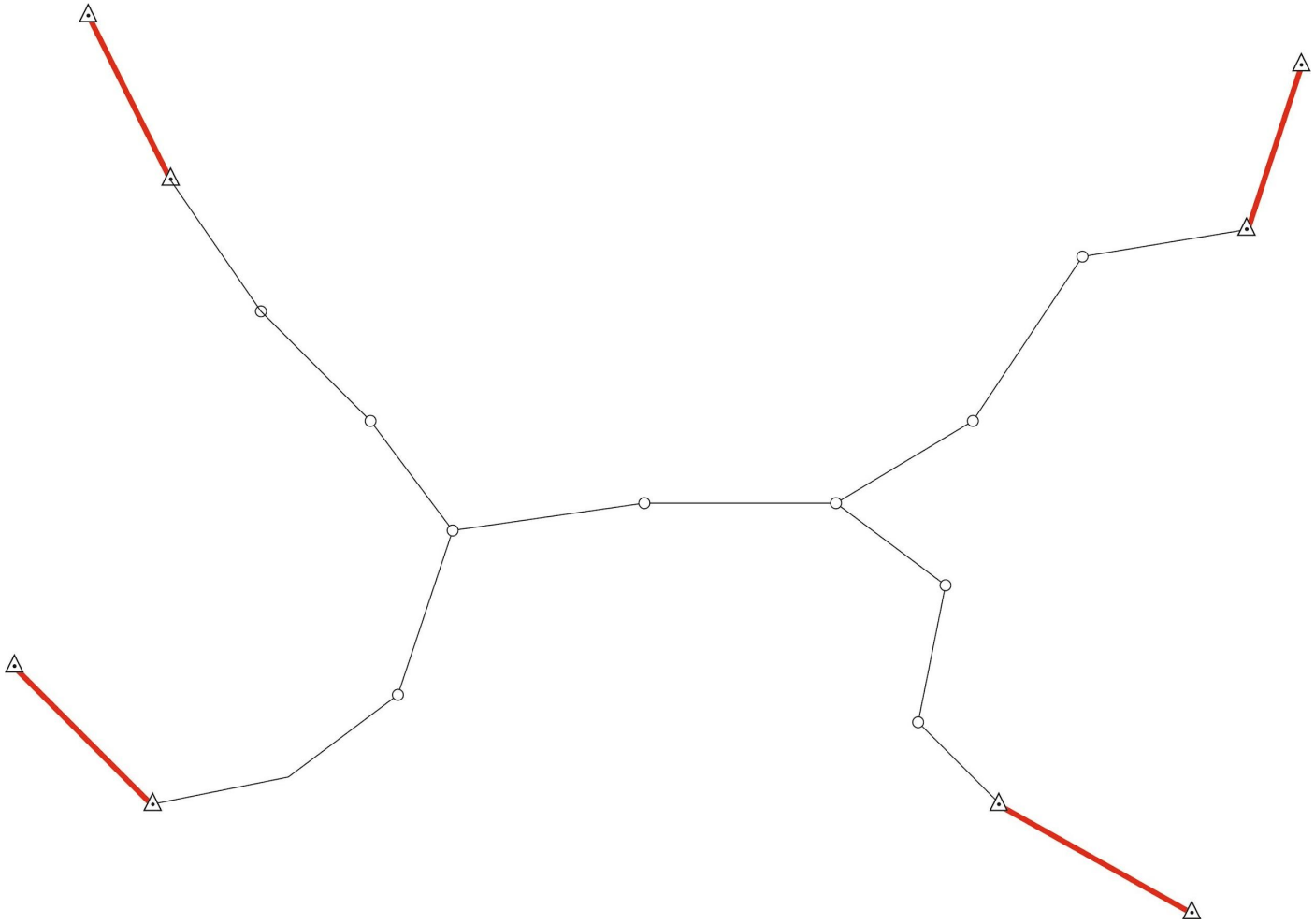
# 4.2 Методи створення інженерно-геодезичних мереж. Полігонометрія

*Замкнутий хід*



# 4.2 Методи створення інженерно-геодезичних мереж. Полігонометрія

*Система ходів з вузловими точками*



С.к.п. кінцевої точки витягнутого ходу:

$$M^2 = m_S^2 \cdot n + \frac{m_\beta^2}{\rho^2} \cdot L^2 \cdot \frac{n+3}{12} (4.17)$$

де ***n*** – к-сть сторін, ***L*** – довжина ходу.

Для вигнутого ходу:

$$M^2 = m_S^2 \cdot n + \frac{m_\beta^2}{\rho^2} \cdot [D_{цт,i}^2] (4.18)$$

де $[D_{цт,i}]$ – віддаль від центру ваги ходу до кожної з його сторін.

Для замкнутого полігона, що опирається на тверду сторону:

$$M^2 = m_S^2 \cdot n + \frac{m_\beta^2}{\rho^2} \cdot L^2 \cdot \frac{n}{40} (4.19)$$

Знайшовши величину ***M*** за одною з формул можна обчислити очікувану відносну помилку запроектованого ходу.

Розрахунок точності кутових та лінійних вимірювань базується на значенні с. к. п. ходів:

$$\frac{M}{L}=\frac{1}{T_C}\ або\ \frac{2M}{L}=\frac{1}{T}\ (4.20)$$

де $T_C$ – знаменник сер. відносної пом. ходу, $T$ – знаменник граничної відносної пом. ходу.

З принципу рівних впливів помилок кутових і лінійних вимірювань для витягнутого полігонометричного ходу:

$$\frac{m_u}{L}=\frac{1}{T_C\sqrt{2}},\frac{m_t}{L}=\frac{1}{T_C\sqrt{2}}\ (4.21)$$

Поперечна помилка кінцевої точки ходу є наслідок помилок кутових вимірів, таким чином згідно (4.17):

$$m_u^2=\frac{m_\beta^2}{\rho^2}\cdot L^2\cdot\frac{n+3}{12}\ (4.22)$$

Звідси: $m_\beta^2=\frac{m_u^2}{L^2}\cdot\rho^2\cdot\frac{12}{n+3}\ (4.23)$

Враховуючи (4.21) отримаємо:

$$m_\beta^2=\frac{1\cdot\rho^2}{T_C\cdot 2}\cdot\frac{12}{n+3}\ (4.24)$$

$$m_ц = m_п = m_{зу} = m_\beta' = m_{вд} = m_{\beta вип} (4.25)\ m_{\beta вип} = \frac{\sqrt{5}}{m_\beta} (4.26)$$

Коли для лінійних вимірювань використовуються світловіддалеміри, систематичними похибками яких можна знехтувати, тоді:

$$m_t^2 = m_S^2 \cdot n (4.27)$$

Залежність с.к.п виміру ліній і коефіцієнтом впливу випадкових помилок $\mu$:

$$m_S^2 = \mu \cdot S (4.28)$$

де $S$ – середня (оптимальна) довжина ліній, м.

Відповідно до (4.27):

$$m_t^2 = \mu^2 \cdot L (4.29)$$

Виходячи з принципу однакових впливів кутових та лінійних вимірювань:

$$\frac{m_t}{L} = \frac{1}{T_C\sqrt{2}} \text{ або } m_t = \frac{L}{T_C\sqrt{2}} (4.30)$$

Прирівнявши (4.28) та (4.30) отримаємо:

$$\frac{L}{T_C\sqrt{2}} = \mu \cdot \sqrt{L} (4.31)$$

Звідки:

$$\mu = \frac{\sqrt{L}}{T_C\sqrt{2}} (4.32)$$

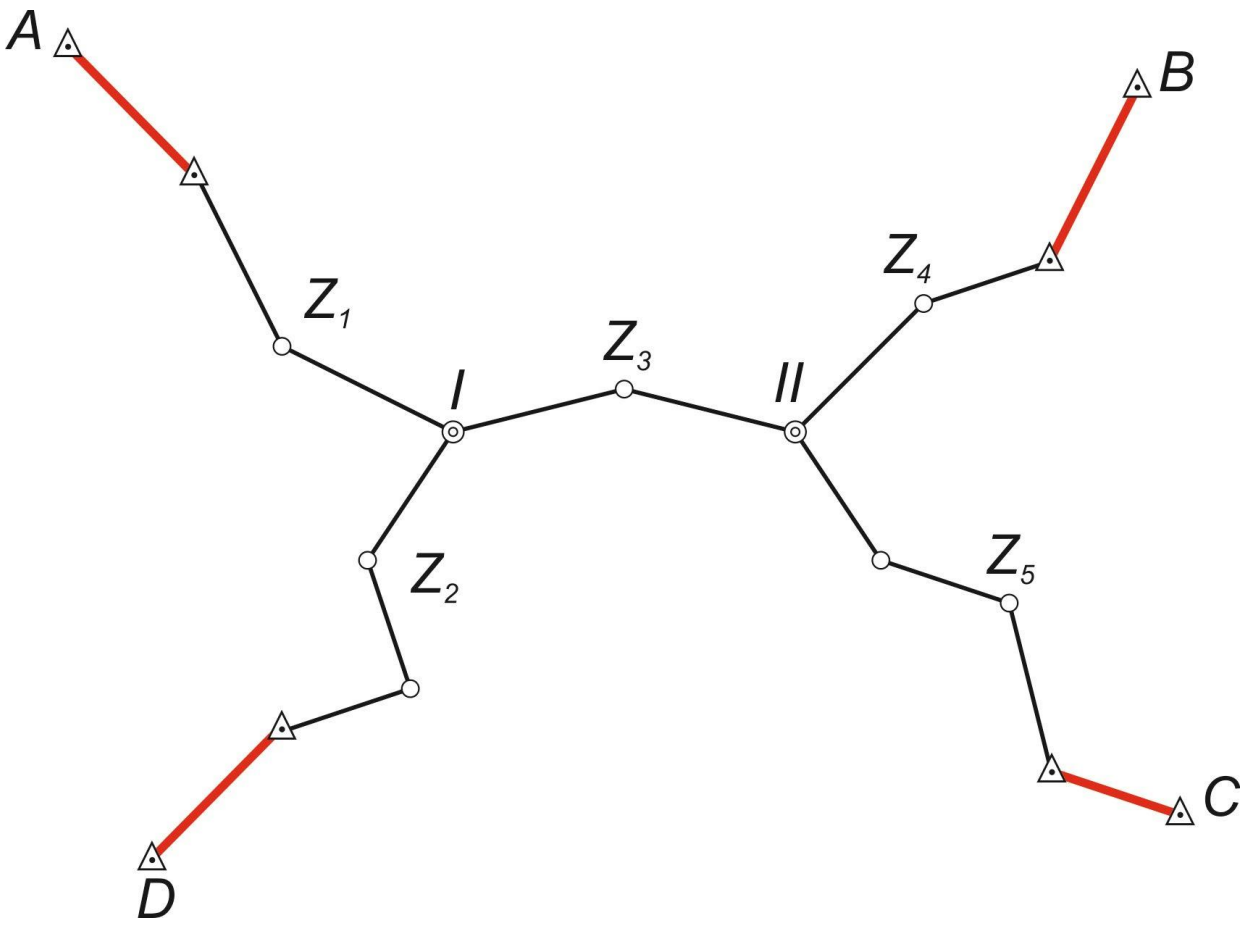
Враховуючи (4.27) отримаємо:

$$m_S = \frac{S \cdot \sqrt{n}}{T_C\sqrt{2}} (4.33)$$

# 4.2 Методи створення інженерно-геодезичних мереж. Полігонометрія

*Оцінка точності полігонометричних мереж*

- $M_{Z1}$, хід Z1 від точки A;
- $M_{Z2}$, хід Z2 від точки D;
- $M_{Z3}$, хід Z3 від точки II;
- $M_{Z4}$, хід Z4 від точки B;
- $M_{Z5}$, хід Z5 від точки C.

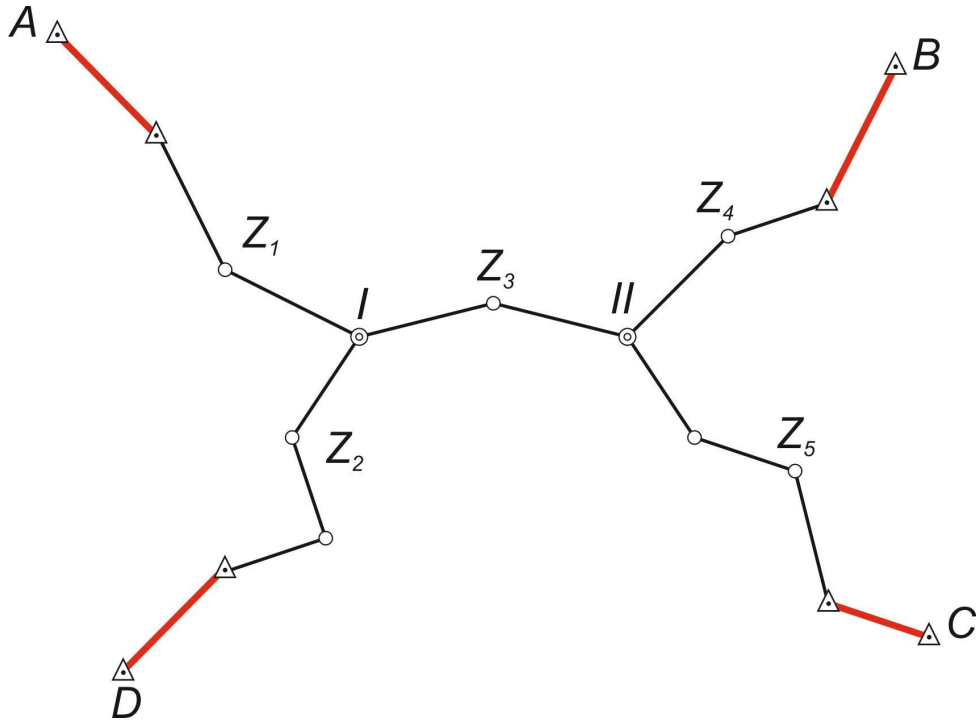


Далі знаходять ваги цих ходів:

$$P'_{Zi} = \frac{C}{M_{Zi}^2} \quad (4.34)$$

Після цього шукають середню квадратичну помилку положення вузлової точки в нашому випадку ***I***:

$$(M_I)_1^2 = \frac{C}{P'_I} \quad (4.35)$$




де: $P'_I = P'_{Z1} + P'_{Z2} + P'_{Z3} \quad (4.36)$

Аналогічно рахуємо середню квадратичну похибку для II вузлової точки:

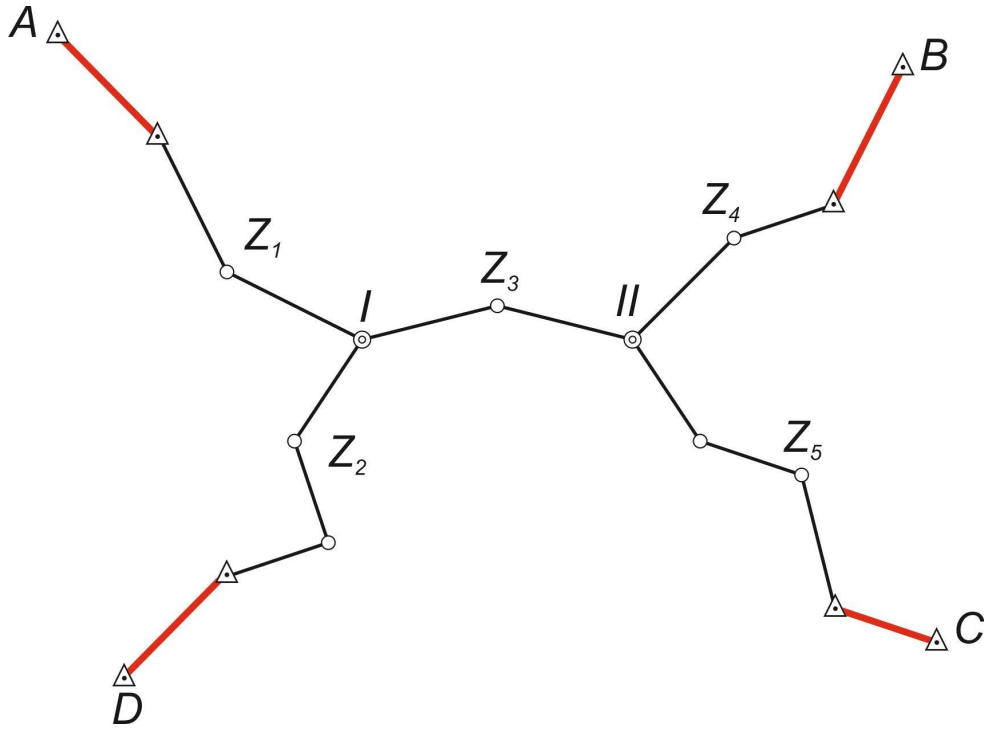
$$(M_{II})_1^2 = \frac{C}{P'_{II}} \quad (4.37)$$

де: $P'_{II} = P'_{Z3} + P'_{Z4} + P'_{Z5} \quad (4.38)$

В II наближенні ваги ходів:

$$P''_{Z1} = P'_{Z1} = \frac{C}{M^2_{Z1}}, P''_{Z2} = P'_{Z2} =$$

$$= \frac{C}{M^2_{Z2}}, P''_{Z3} = \frac{C}{M^2_{Z3} + (M_{II})^2_1}, (86)$$




Для II вузлової точки будемо мати:

$$P''_{Z4} = P'_{Z4} = \frac{C}{M^2_{Z4}}, P''_{Z5} = P'_{Z5} = \frac{C}{M^2_{Z5}},$$

$$P''_{Z3} = \frac{C}{M^2_{Z3} + (M_I)^2_1}, (87)$$

Далі знаходять: $(M_I)^2_2 = \frac{C}{P''_{II}} (88)$ де: $P'_I = P''_{Z1} + P''_{Z2} + P''_{Z3} (89)$

і $(M_{II})^2_2 = \frac{C}{P''_{II}} (90)$ де: $P''_{II} = P''_{Z3} + P''_{Z4} + P''_{Z5} (91)$

$$\frac{M}{L} = \sqrt{\frac{M^2_{вих} + M^2_{Zi}}{L}} (92) \qquad M^2_{вих} = \sqrt{\frac{M^2_{П} + M^2_{k}}{2}} (93)$$

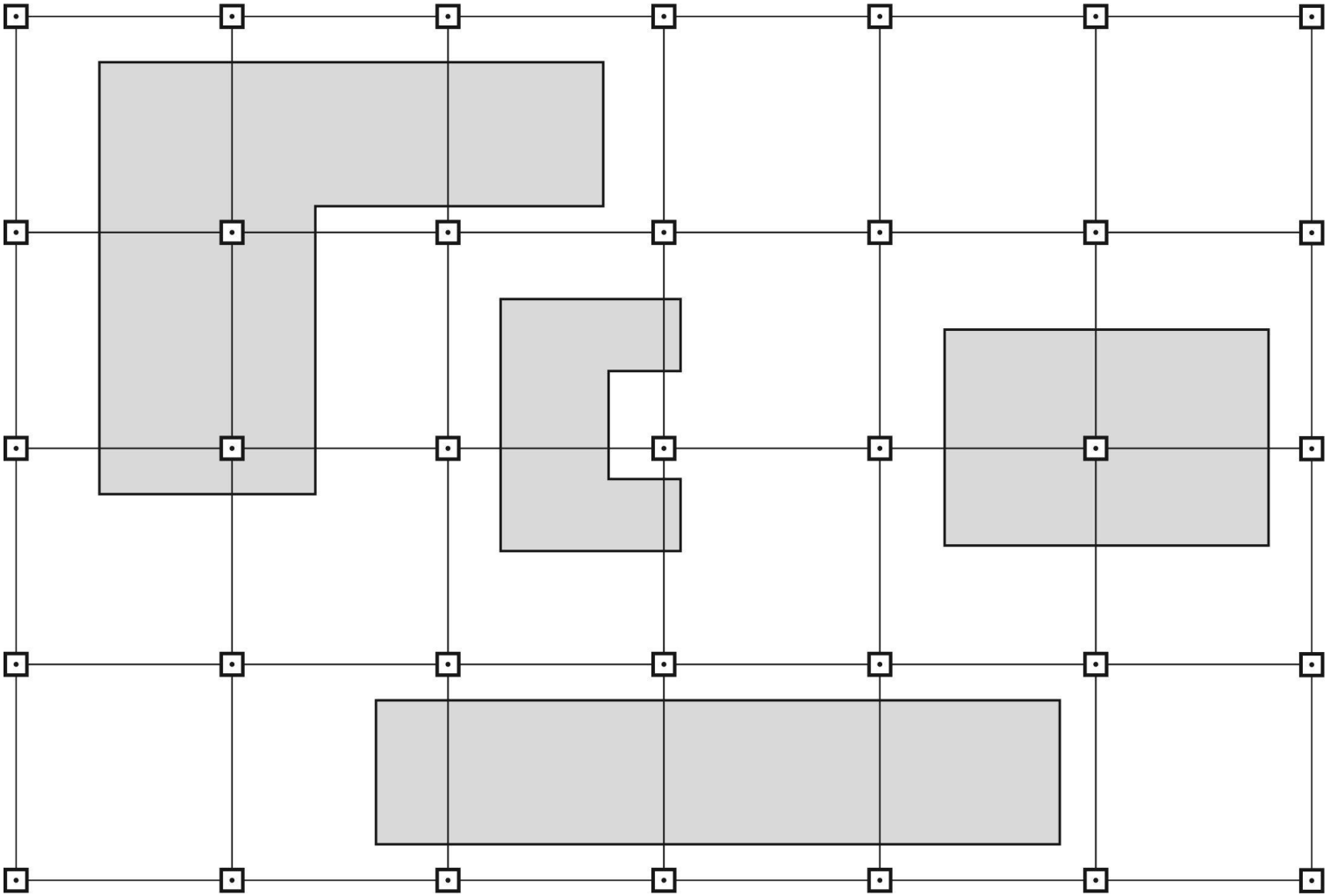
# 4.2 Методи створення інженерно-геодезичних мереж. **Будівельна сітка**

*Етапи створення будівельної сітки*

- Проектування;
- Винесення вихідного напрямку будівельної сітки та пунктів;
- Визначення координат пунктів будівельної сітки;
- Редукування пунктів будівельної сітки;
- Контрольні вимірювання.

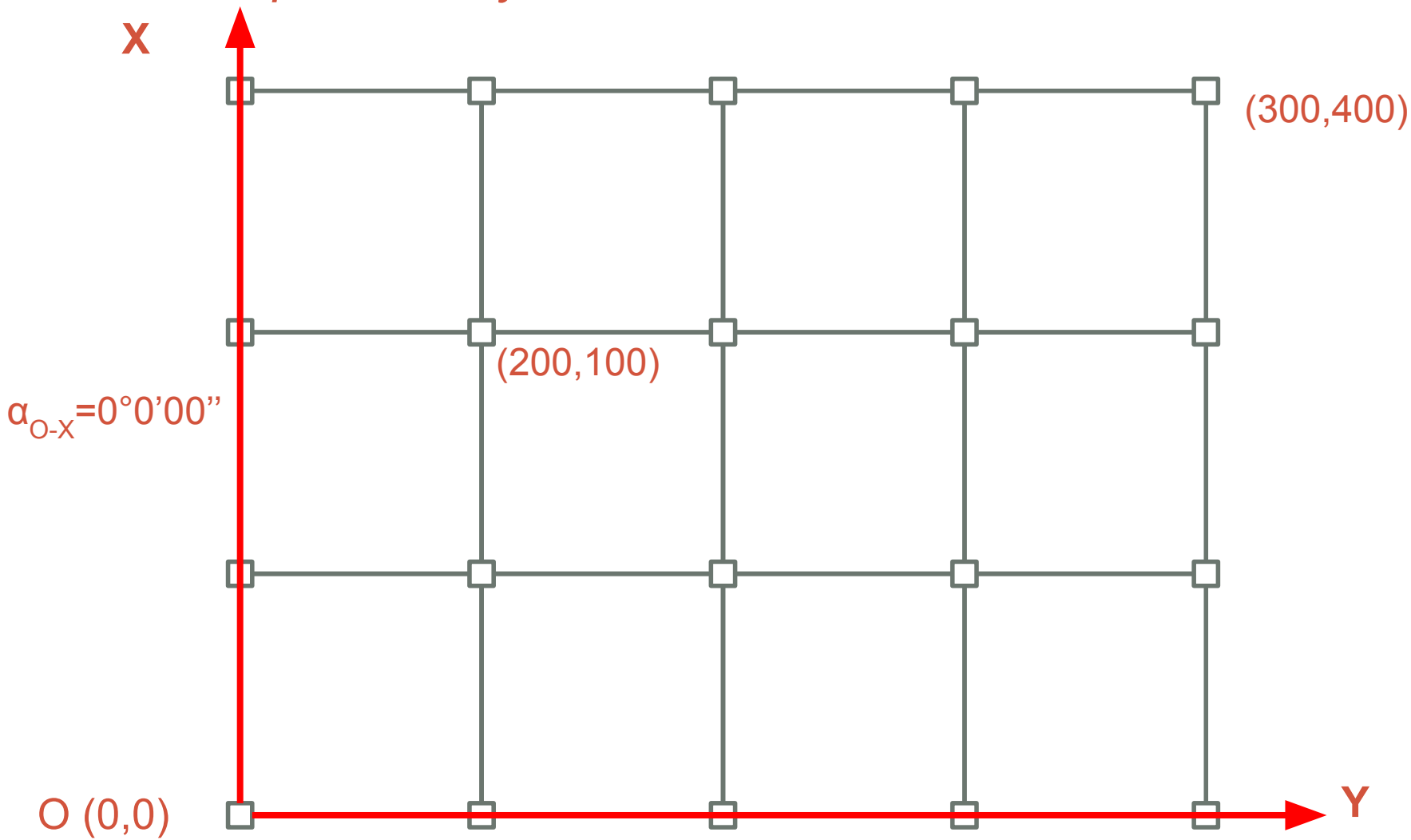
# 4.2 Методи створення інженерно-геодезичних мереж. **Будівельна сітка**

*Проект будівельної сітки*



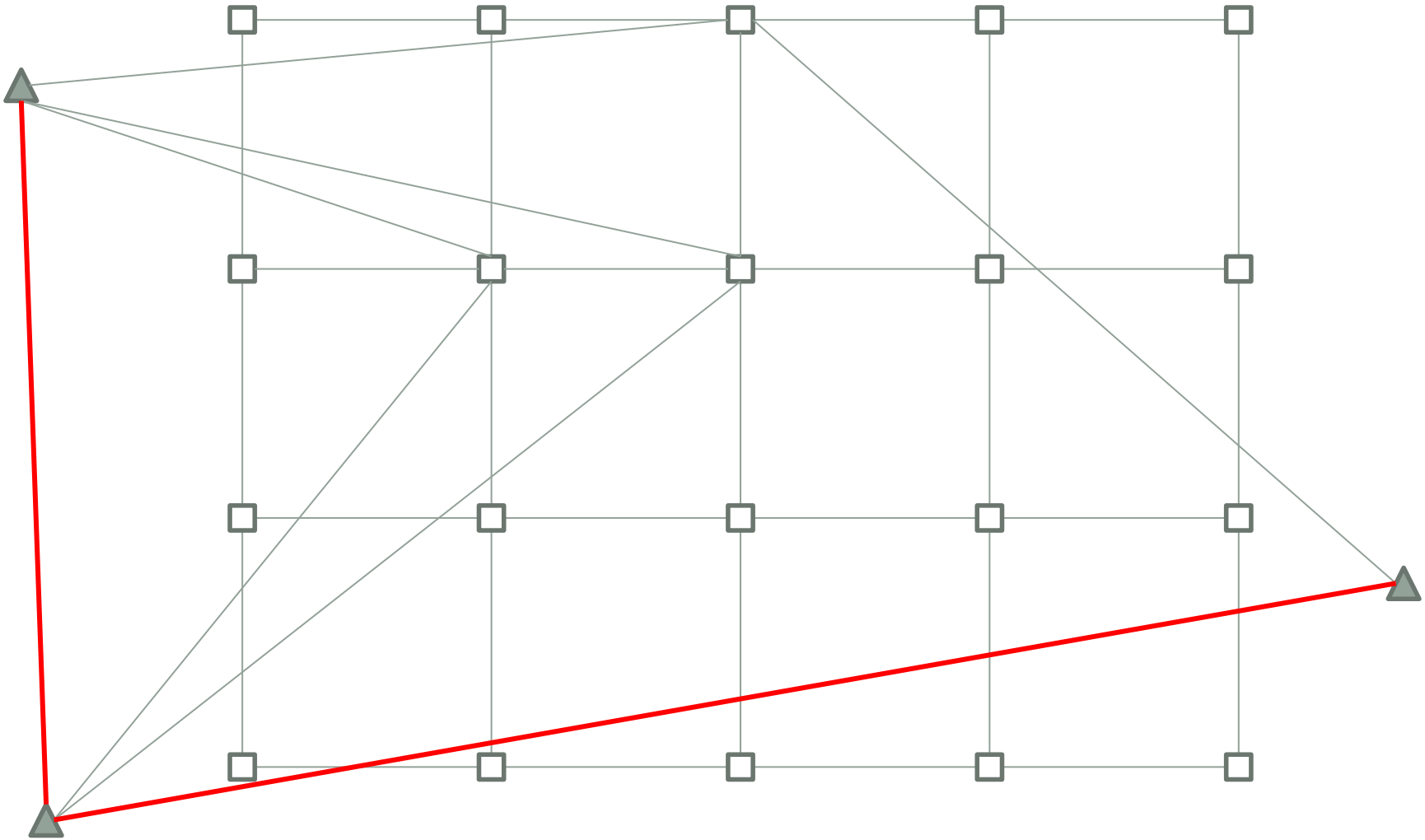
# 4.2 Методи створення інженерно-геодезичних мереж. **Будівельна сітка**

*Система координат будівельної сітки*



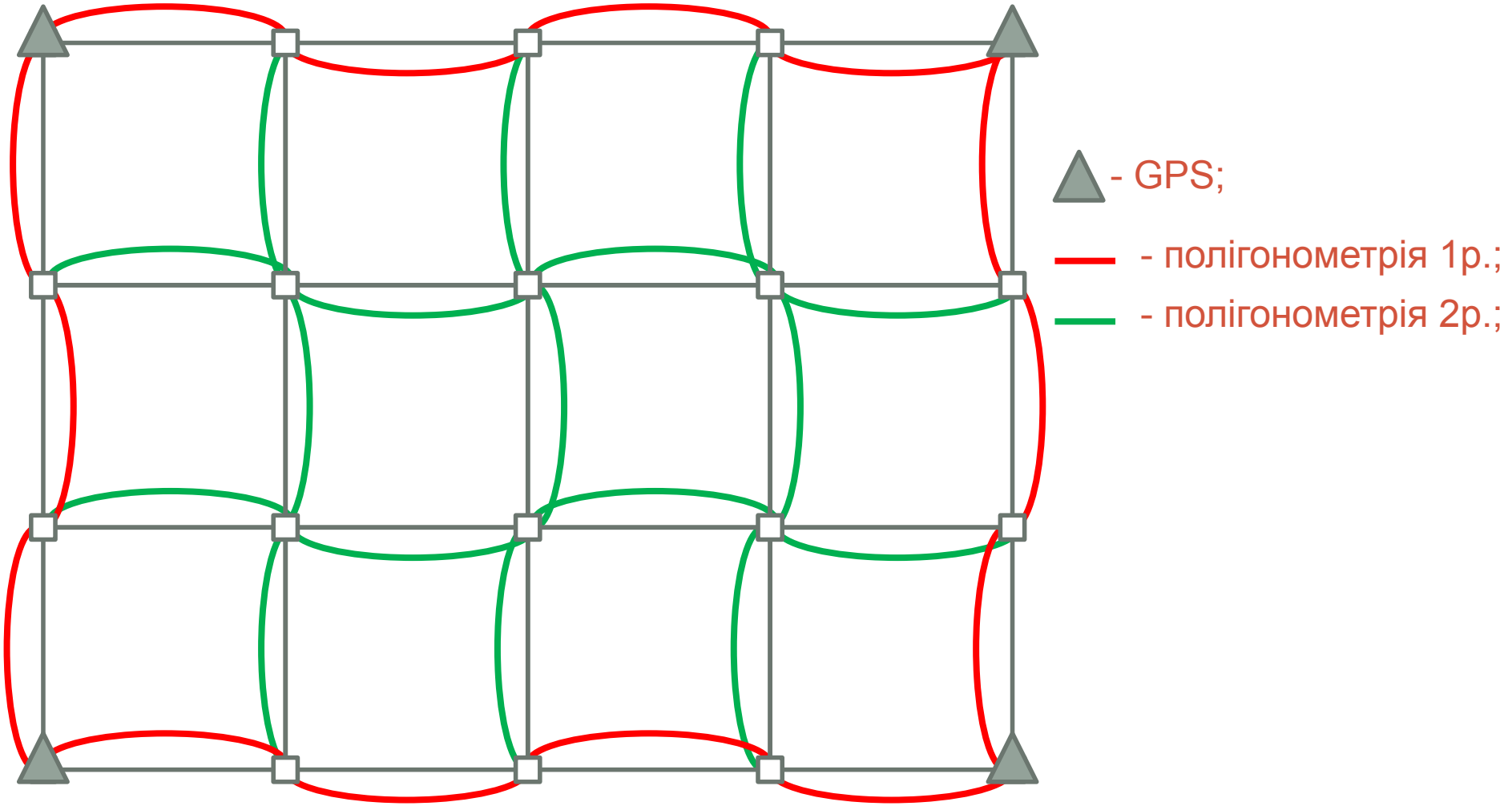
# 4.2 Методи створення інженерно-геодезичних мереж. **Будівельна сітка**

*Осьовий спосіб розміки будівельної сітки*



# 4.2 Методи створення інженерно-геодезичних мереж. **Будівельна сітка**

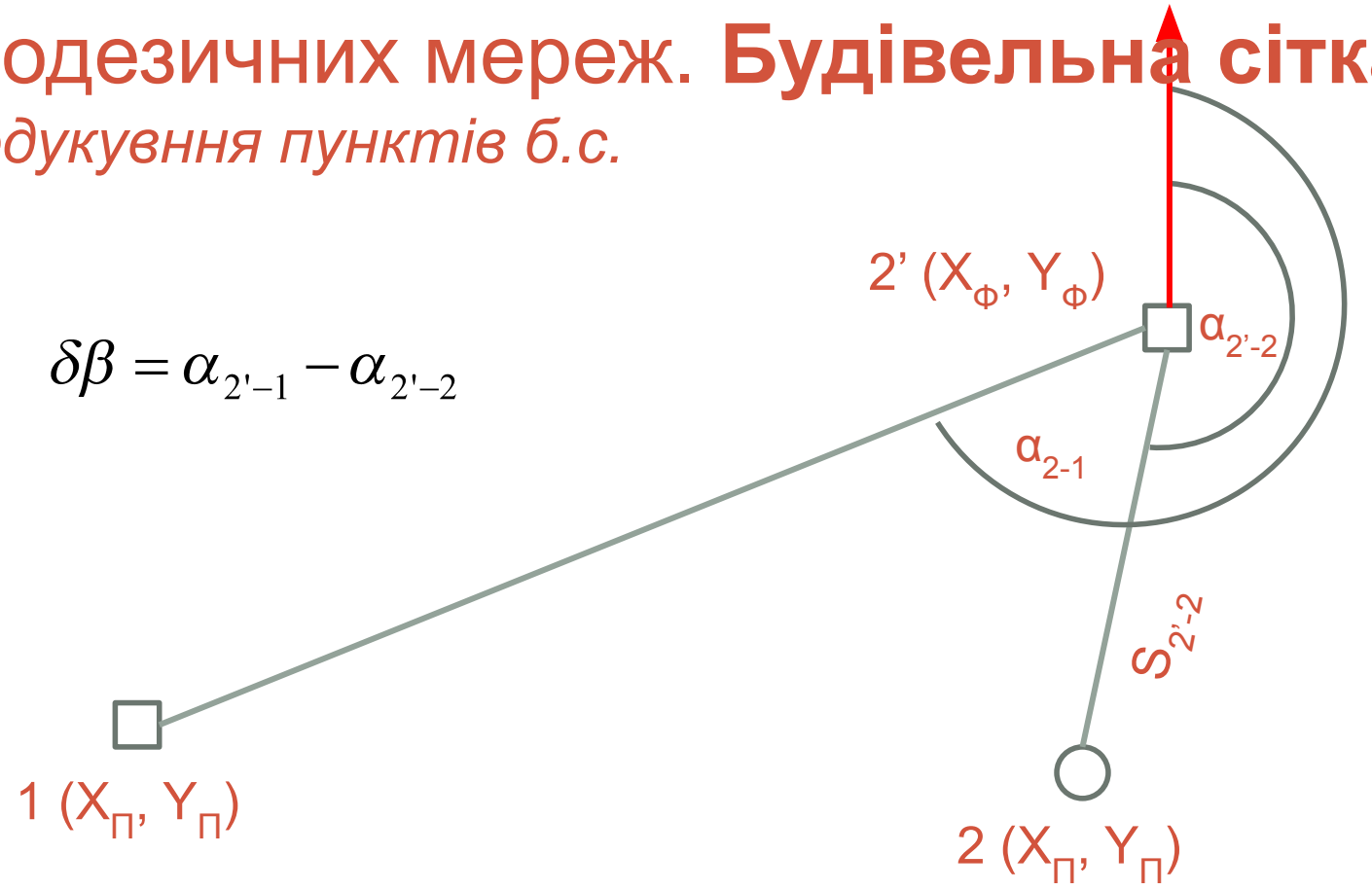
*Визначення координат пунктів б.с.*



# 4.2 Методи створення інженерно-геодезичних мереж. **Будівельна сітка**

*Редукування пунктів б.с.*

$$\delta\beta = \alpha_{2'-1} - \alpha_{2'-2}$$



Критерієм точності розмічувальних робіт граничне відхилення будівельної конструкції від її проектного положення, воно дорівнює потрійній середній квадратичній похибці:

$$\Delta = 3m_0 (4.47)$$

де:

$$m_0^2 = m_k^2 + m_M^2 + m_Д^2 + m_Г^2 (4.48)$$

де $m_k$ – похибка за неточність виготовлення деталей і конструкцій; $m_M$ – помилка за монтування цих конструкцій; $m_Д$ – помилка за вплив довкілля на стан конструкцій; $m_Г$ – помилка геодезичних робіт.

При застосуванні принципу рівних впливів:

$$m_0 = 2m_Г (4.49)$$

Звідки:

$$m_Г = \frac{m_0}{2} = \frac{\Delta}{2 \cdot 3} \approx 0.2\Delta (4.50)$$

С.к.п. геодезичних робітв свою чергу буде складатися з:

$$m_Г^2 = m_П^2 + M^2 (4.51)$$

де $m_П$ – с.к.п. положення пункту б.с. відносно початкового пункту; $M$ – с.к.п. пложення точки споруди відносно данного пункту б.с.

Застосувавши принцип рівних впливів:

$$m_Г^2 = 2m_П^2 = 2M^2 (4.52)$$

З врахуванням (97):

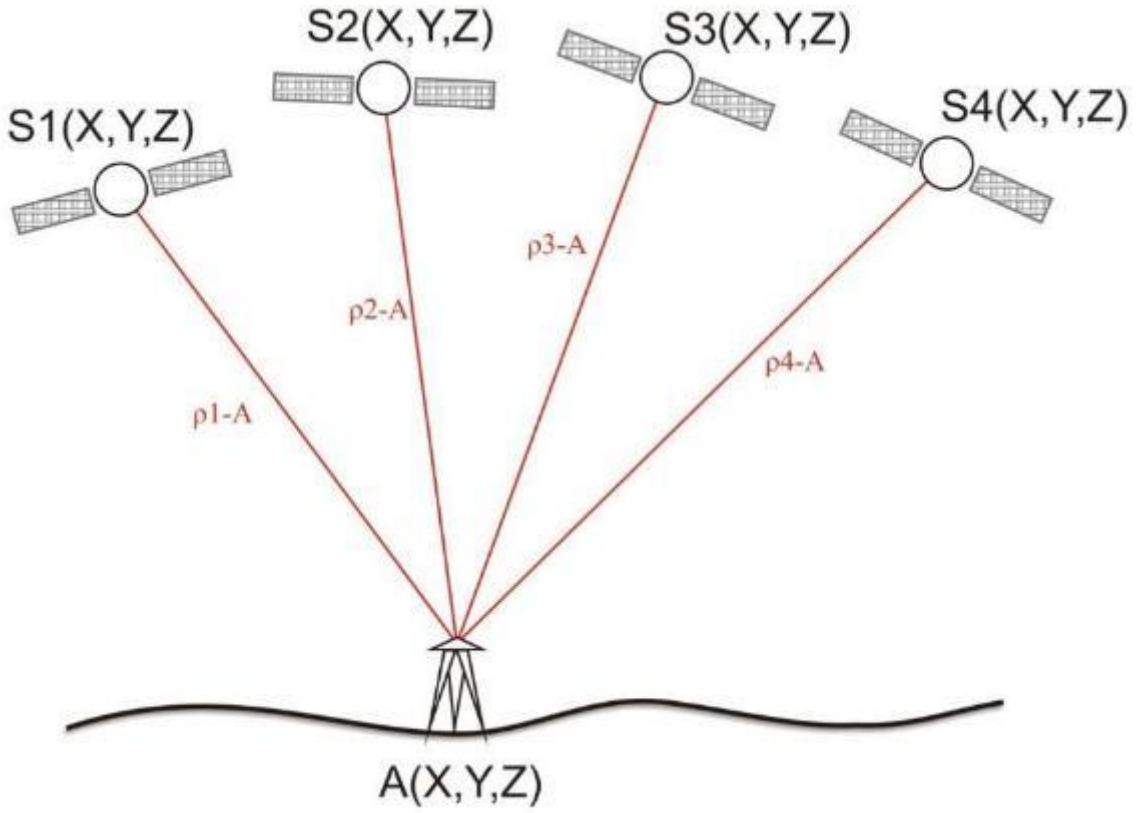
$$M = \frac{m_Г}{6 \cdot \sqrt{2}} = \approx 0.12\Delta (4.53)$$

З такою точністю необхідно побудувати останню ступінь.

Для попередніх розрахунків приймають, що ступені повязані між собою наступними залежнотями:

$$m_I = \frac{m_{II}}{\sqrt{2}}; m_{II} = \frac{m_{III}}{\sqrt{2}}; ...; m_n = \frac{m_{n-1}}{\sqrt{2}} (4.54)$$

# 4.2 Методи створення інженерно-геодезичних мереж. **ГНСС**




$$\rho_{вим} = \sqrt{(X_c - X_{пр})^2 + (Y_c - Y_{пр})^2 + (Z_c - Z_{пр})^2} + c(\delta t_{пр} - \delta t_c) + c\delta t_{атм}$$

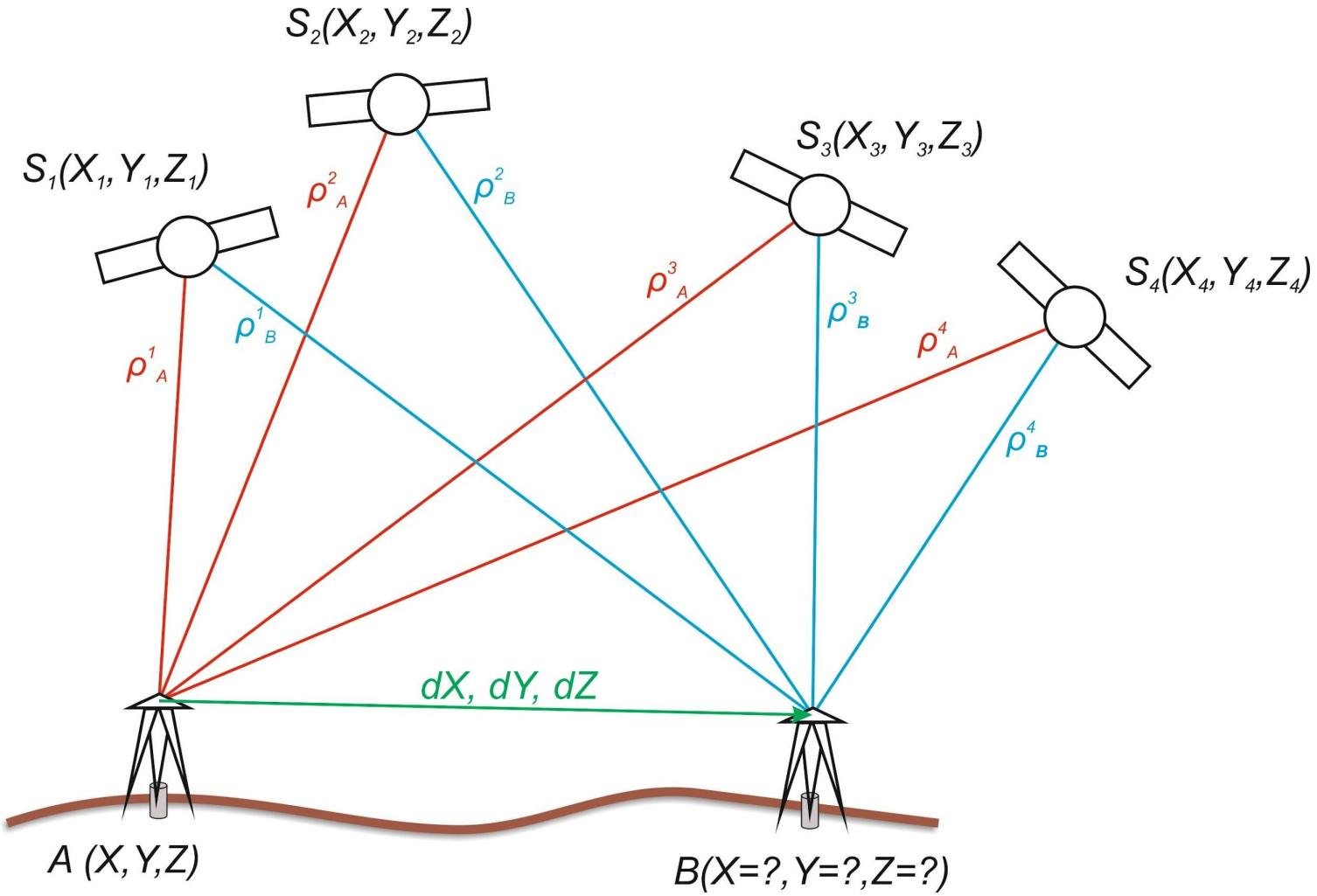
# 4.2 Методи створення інженерно-геодезичних мереж. **ГНСС**

## *Режими ГНСС спостережень*

- статичний режим;
- прискорений статичний режим;
- режим вимірів "стою-йду";
- кінематичний режим вимірів;
- кінематичний режим вимірів в реальному часі.

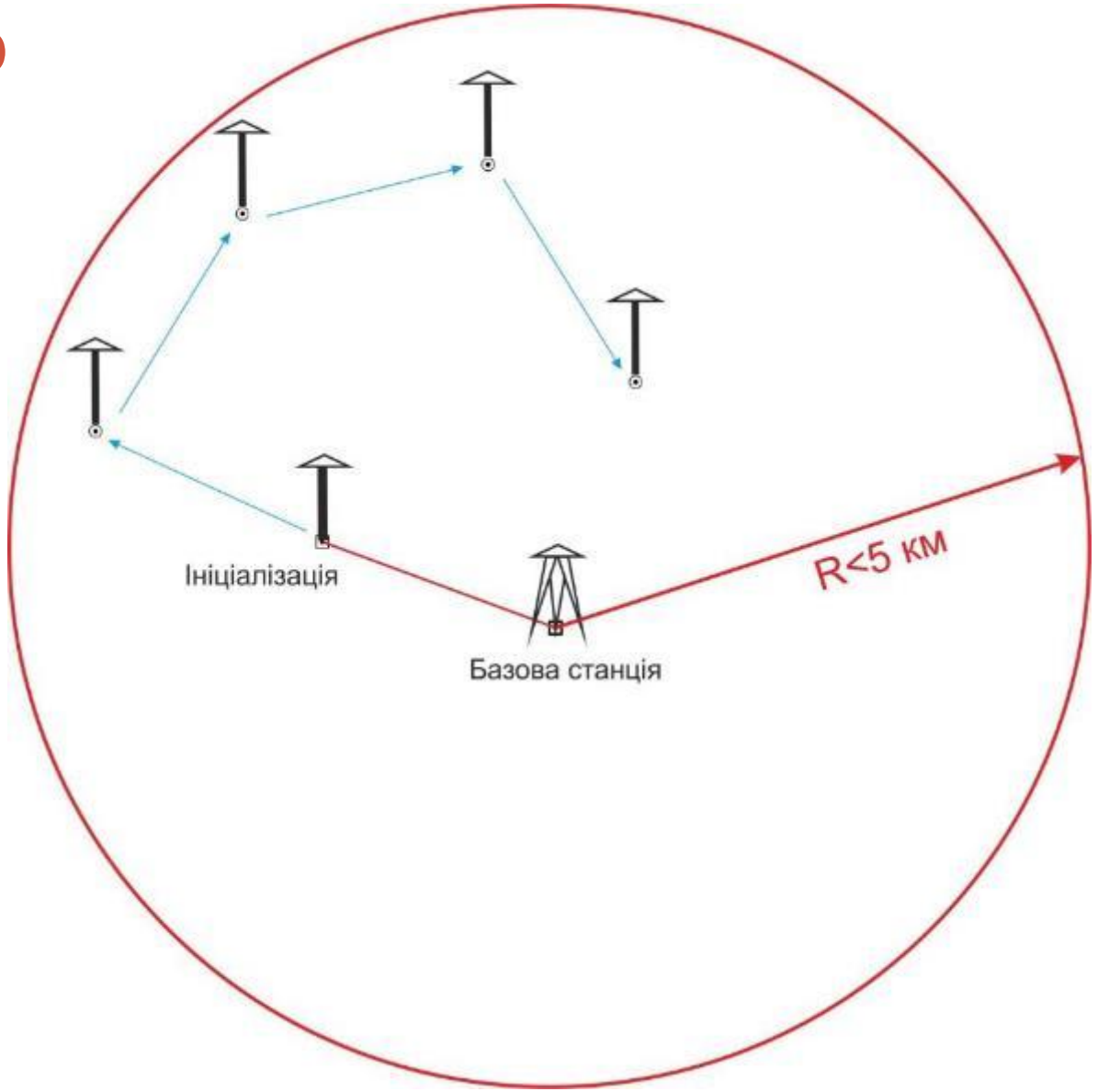
# 4.2 Методи створення інженерно-геодезичних мереж. **ГНСС**

## *Статичний режим*



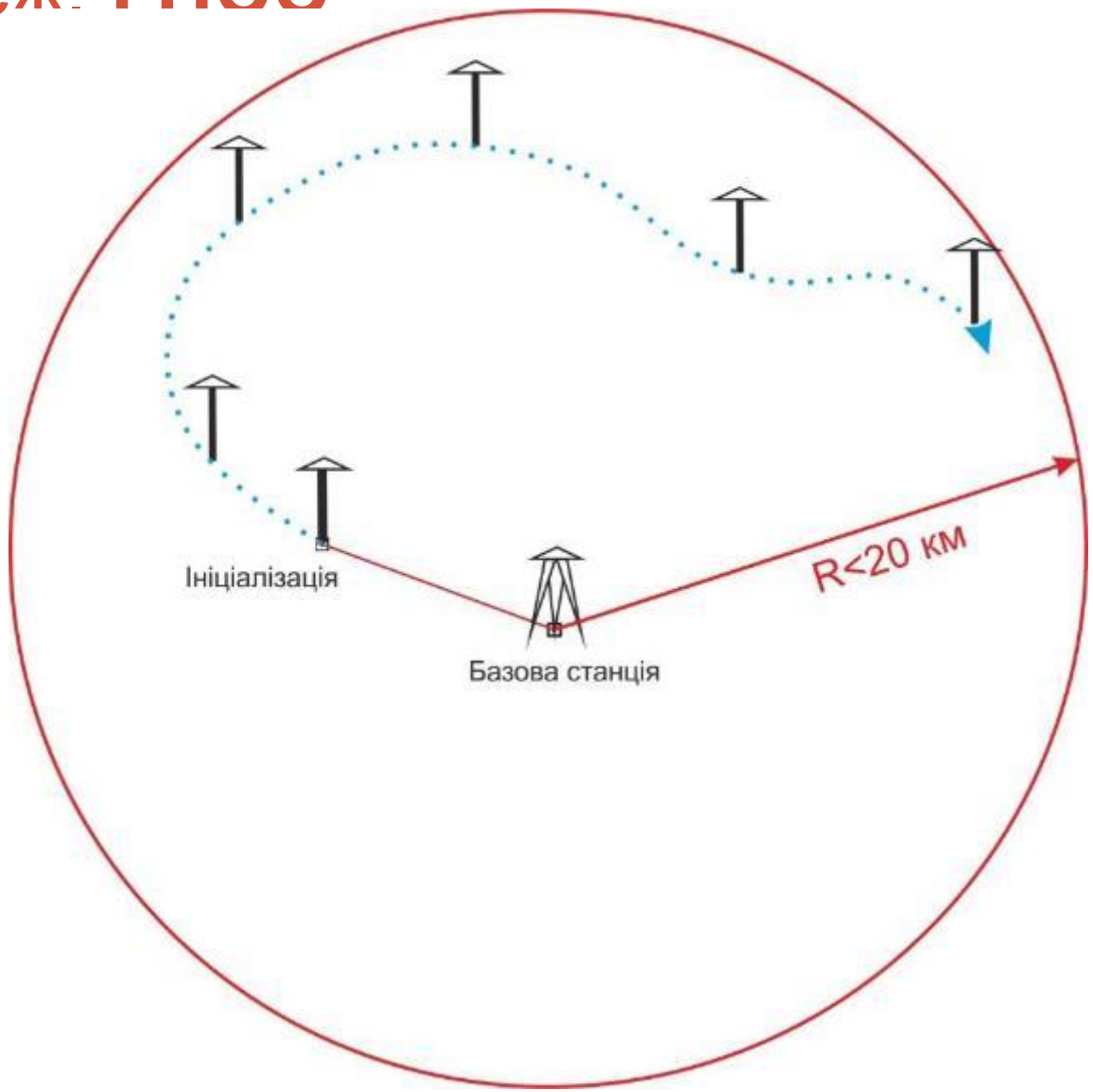
# 4.2 Методи створення інженерно-геодезичних мер

***Режим стою-йду***



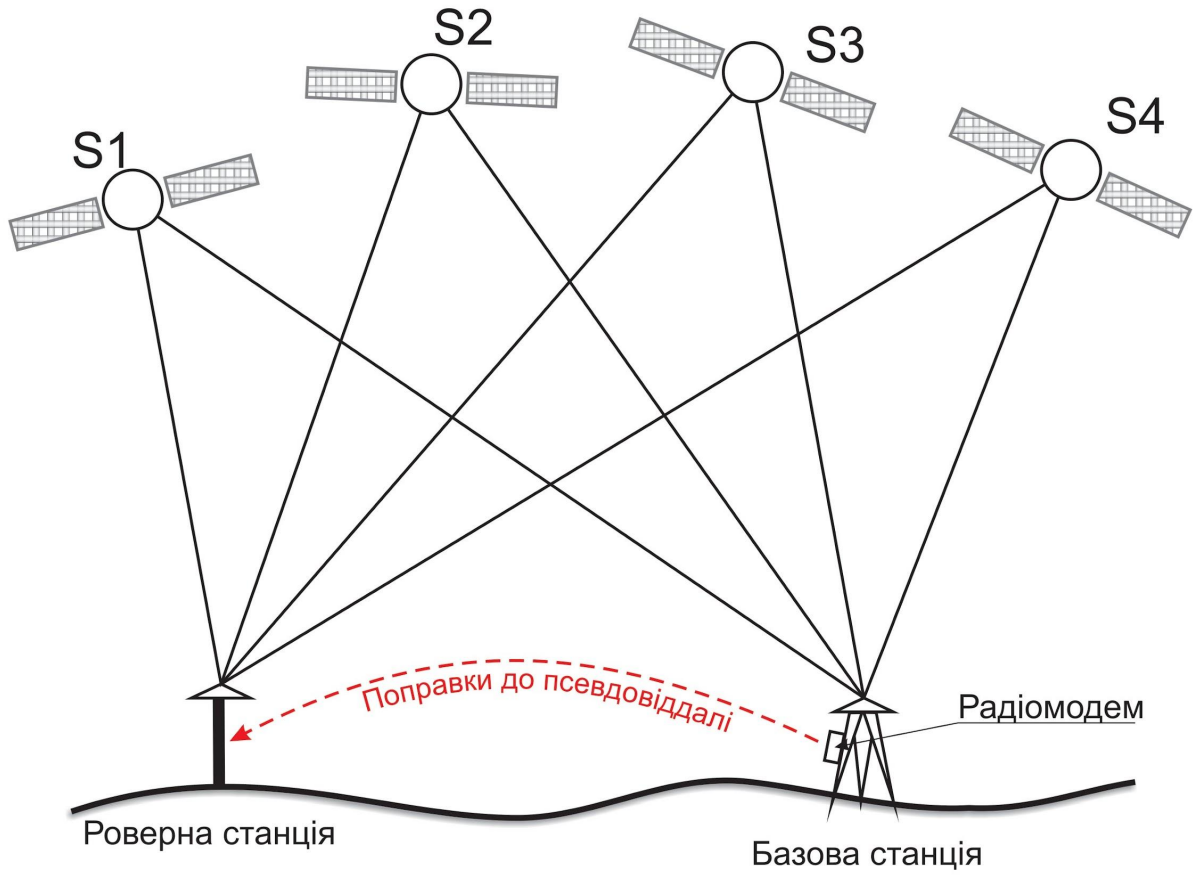
# 4.2 Методи створення інженерно-геодезичних мереж. **ГНСС**

***Кінематичний режим***



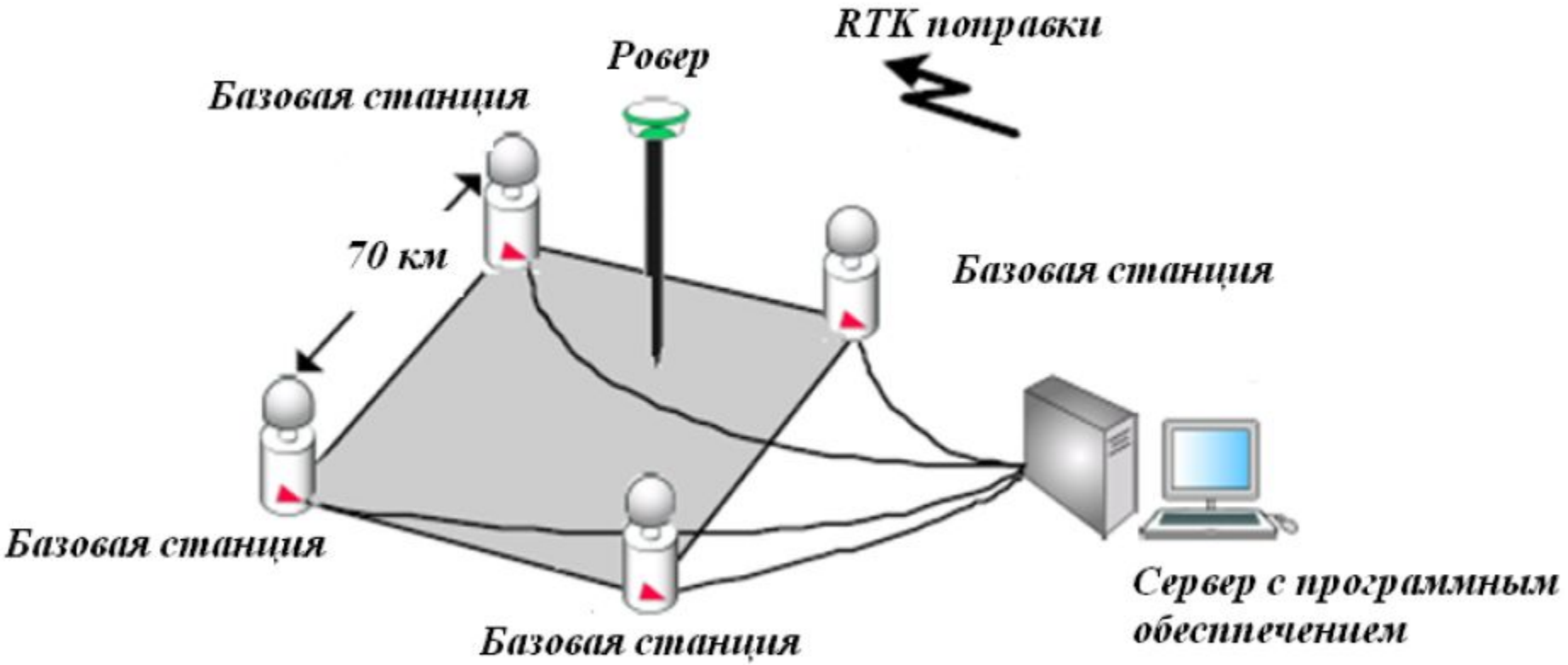
# 4.2 Методи створення інженерно-геодезичних мереж. **ГНСС**

## ***Режим RTK***



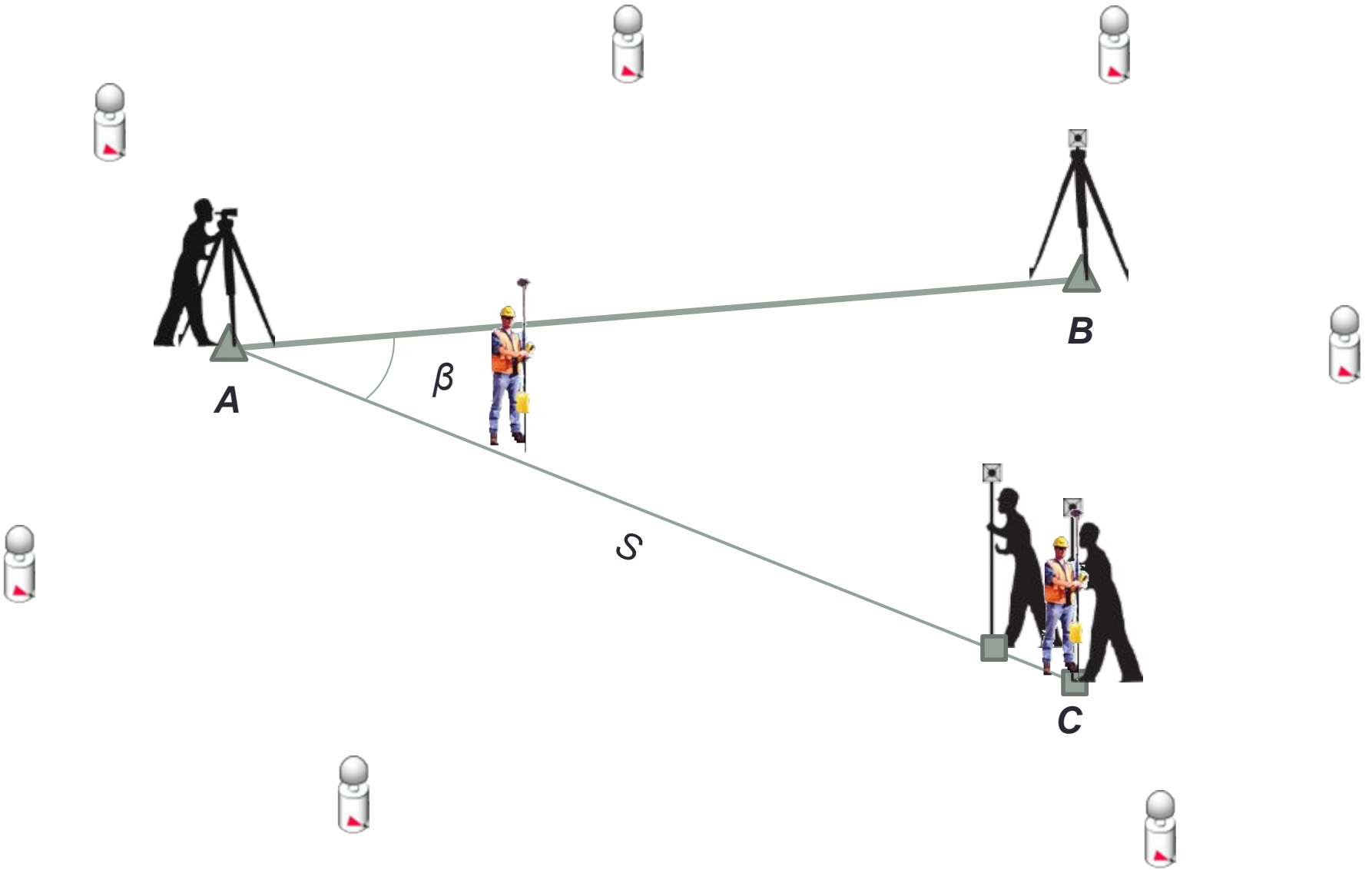
# 4.2 Методи створення інженерно-геодезичних мереж. **ГНСС**

## *Мережі базових станцій*

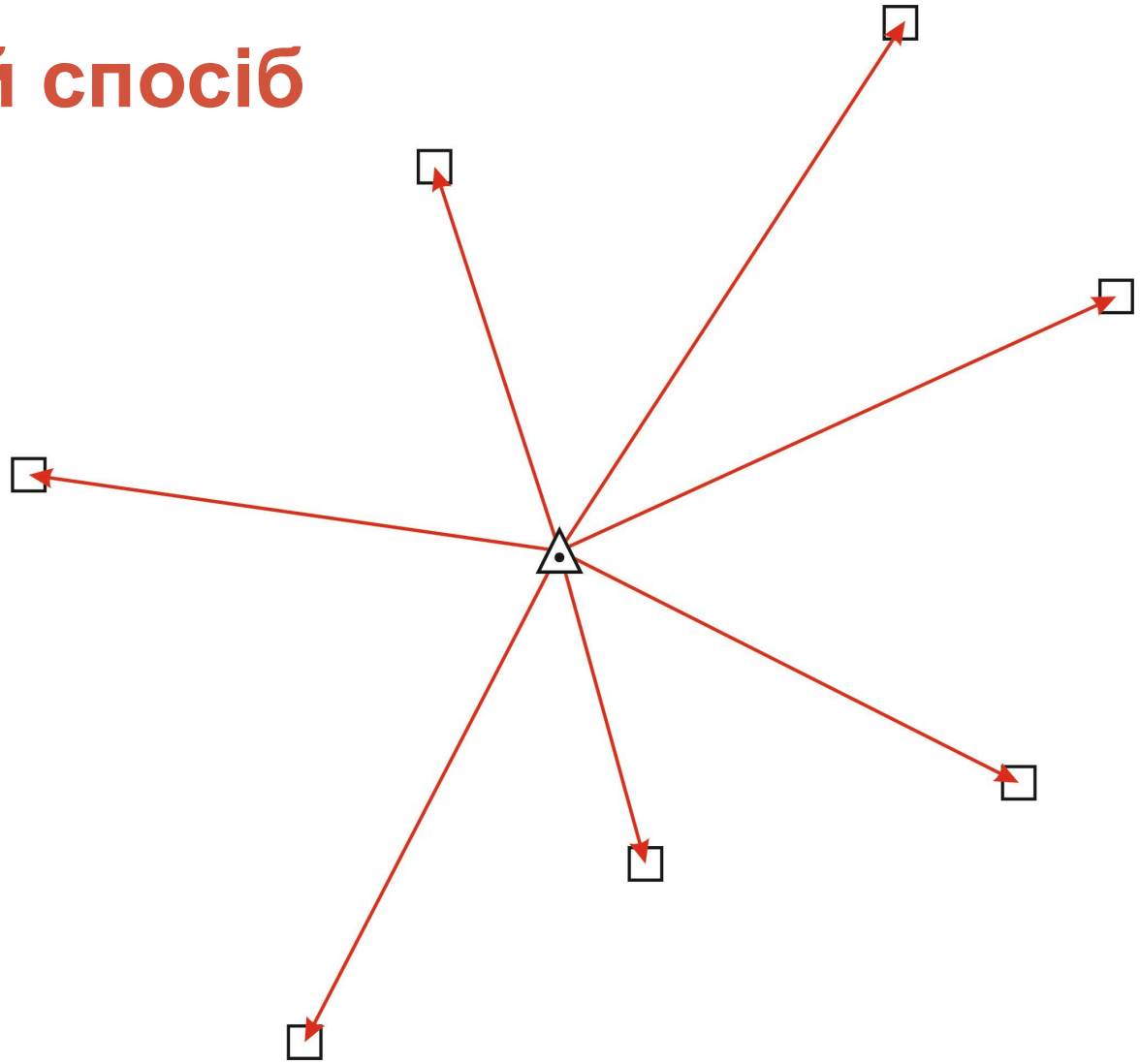


# Топографічне знімання

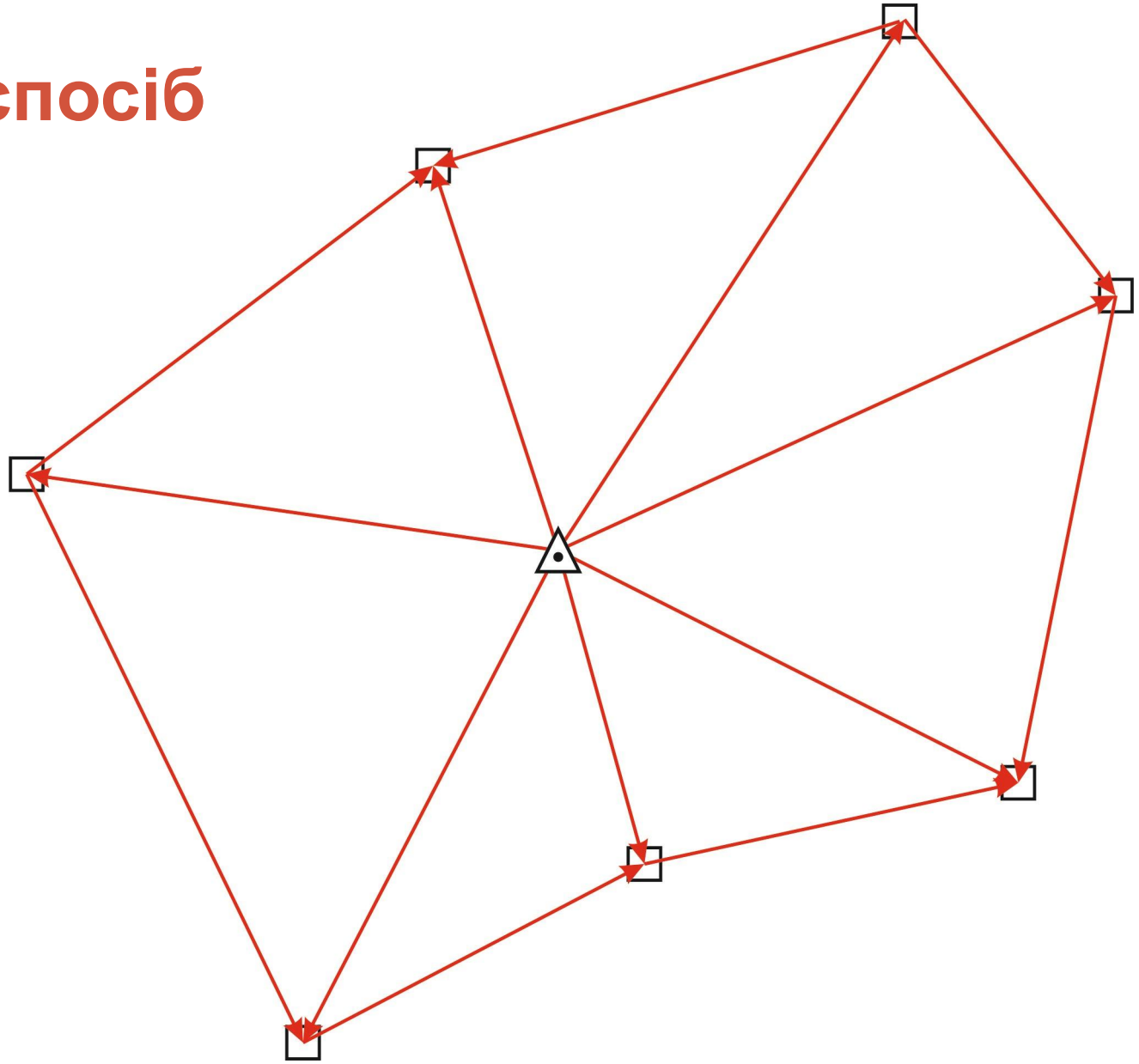
# Винесення точки в натуру



# Радіальний спосіб



# Мережевий спосіб



На практиці знайшли застосування дві основні технології:

- повторних вимірів на пунктах, при яких задається кількість обов'язкових повторних вимірів на кожному пункті мережі;

- обов'язкового виміру кожної лінії мережі.

Мінімальна кількість сеансів спостережень ***N*** для мережі з кількістю пунктів ***S*** при використанні ***R*** приймачів при кількості повторних вимірів ***M*** і кількості спільно використовуваних приймачів у попередньому й наступному сеансах ***O*** визначається для першої технології за формулою:

$$N = \frac{M - S}{R} (101)$$

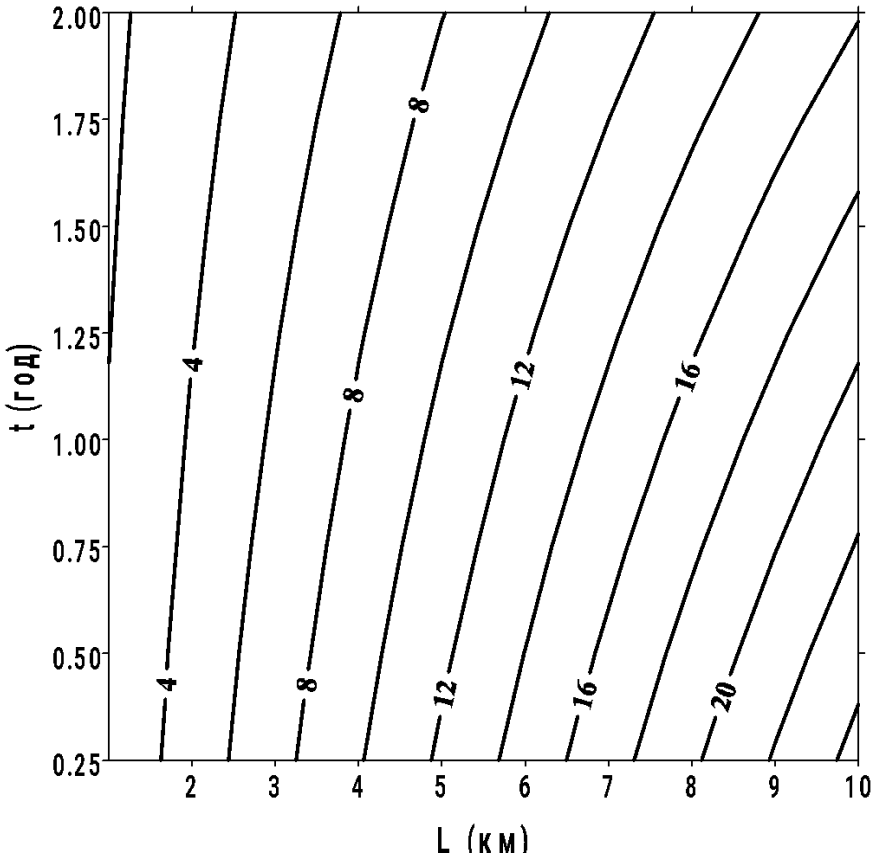
а для другої технології за формулою:

$$N = \frac{S - O}{R - O} (102)$$

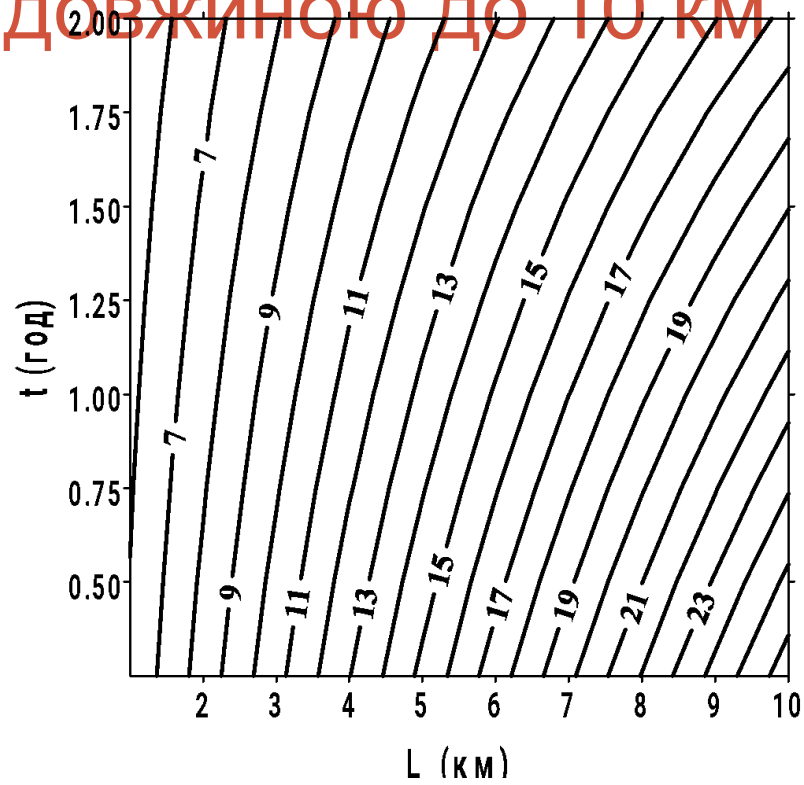
# Тривалість синхронних GPS спостережень окремих векторів для досягнення максимальної точності

| **Відстань між пунктами** ***Км*** | **Тривалість спостережень** ***години*** |
|---|---|
| 10-20 | 12 |
| 5-10 | 6...12 |
| 2-5 | 3...6 |
| до 2 | 1...2 |

# Діаграма розрахунку точності визначення  довжин векторів (мм) від тривалості спостережень двохчастотними приймачами на векторах довжиною до 10 км



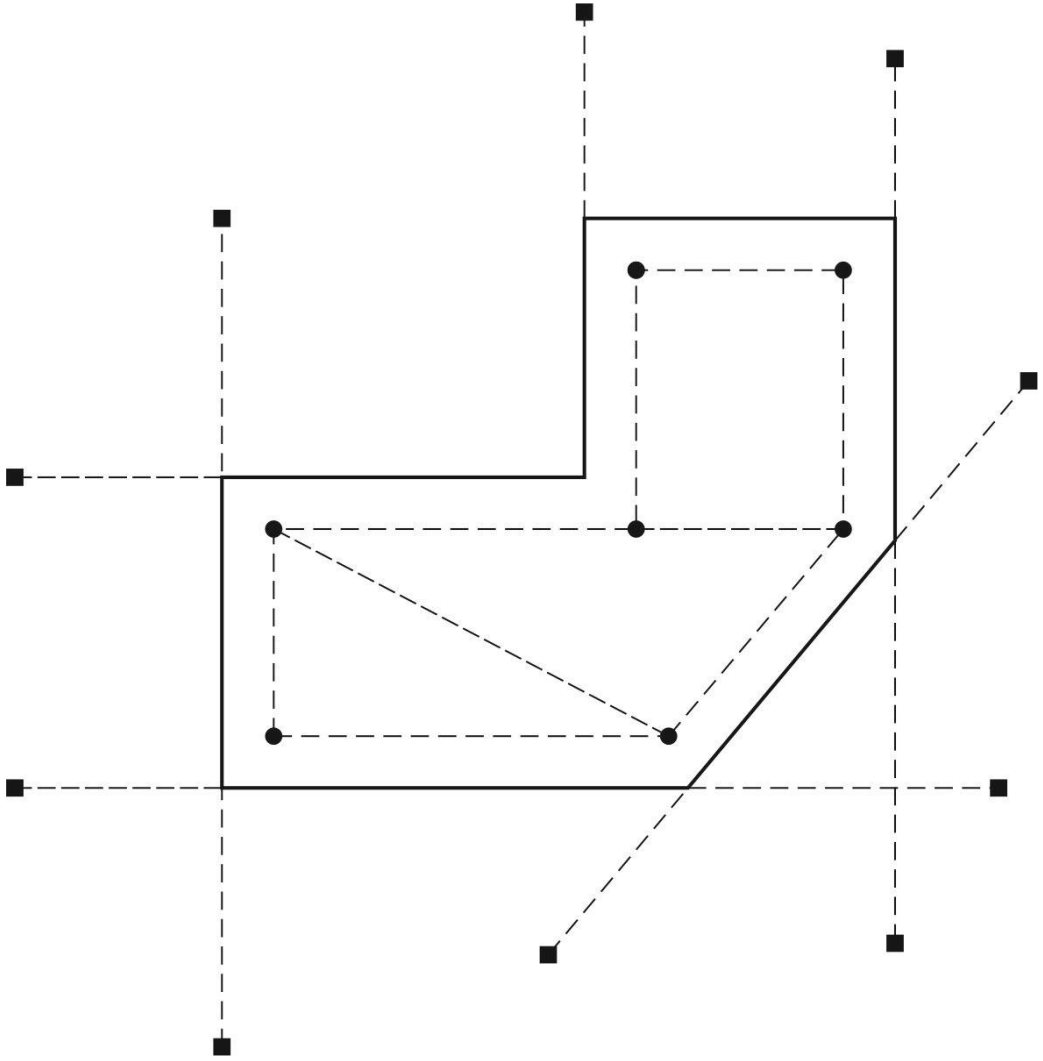
# Діаграма розрахунку точності визначення перевищень (мм) від тривалості спостережень двохчастотними приймачами на векторах довжиною до 10 км



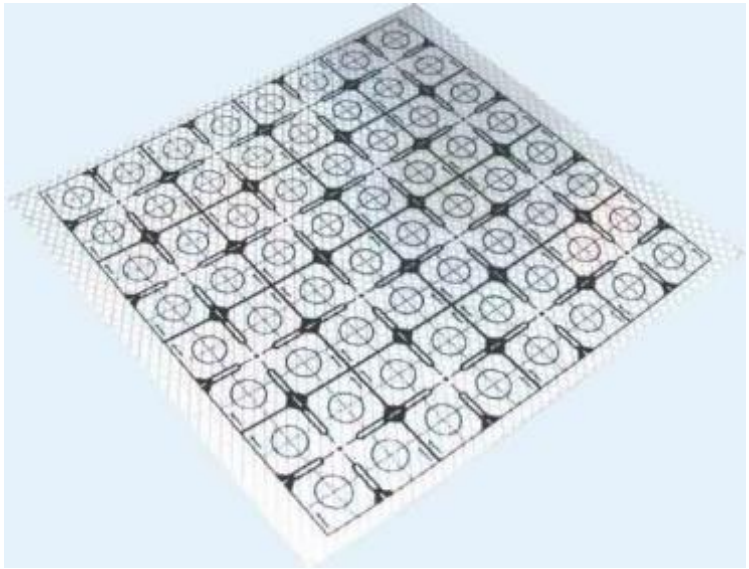
# Інтервали реєстрації навігаційних сигналів

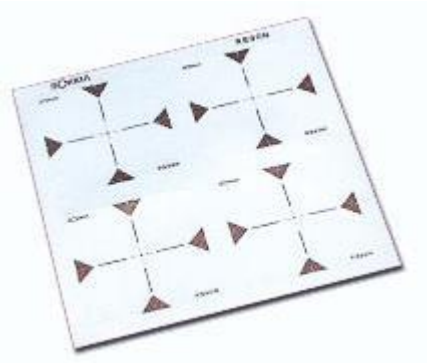
| **Довжина векторів, *км*** | **Інтервал реєстрації навігаційних сигналів, *с*** |
|---|---|
| 10 - 20 | 30 |
| до 10 | 10 - 30 |

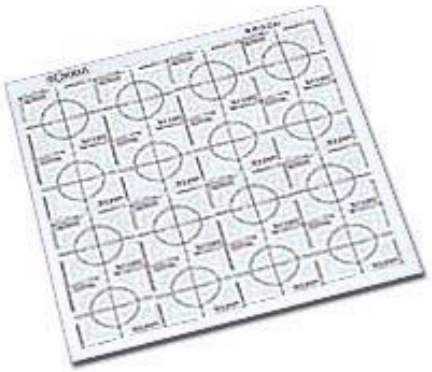
# 4.3 Зовнішня розмічувальна мережа будинку



# Катафоти

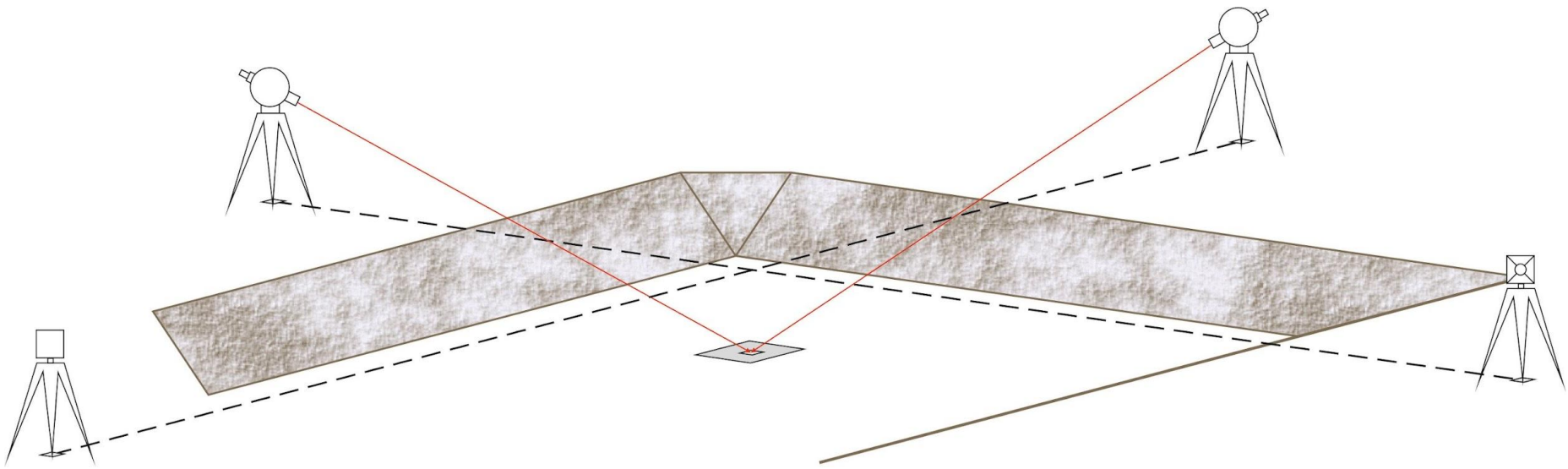




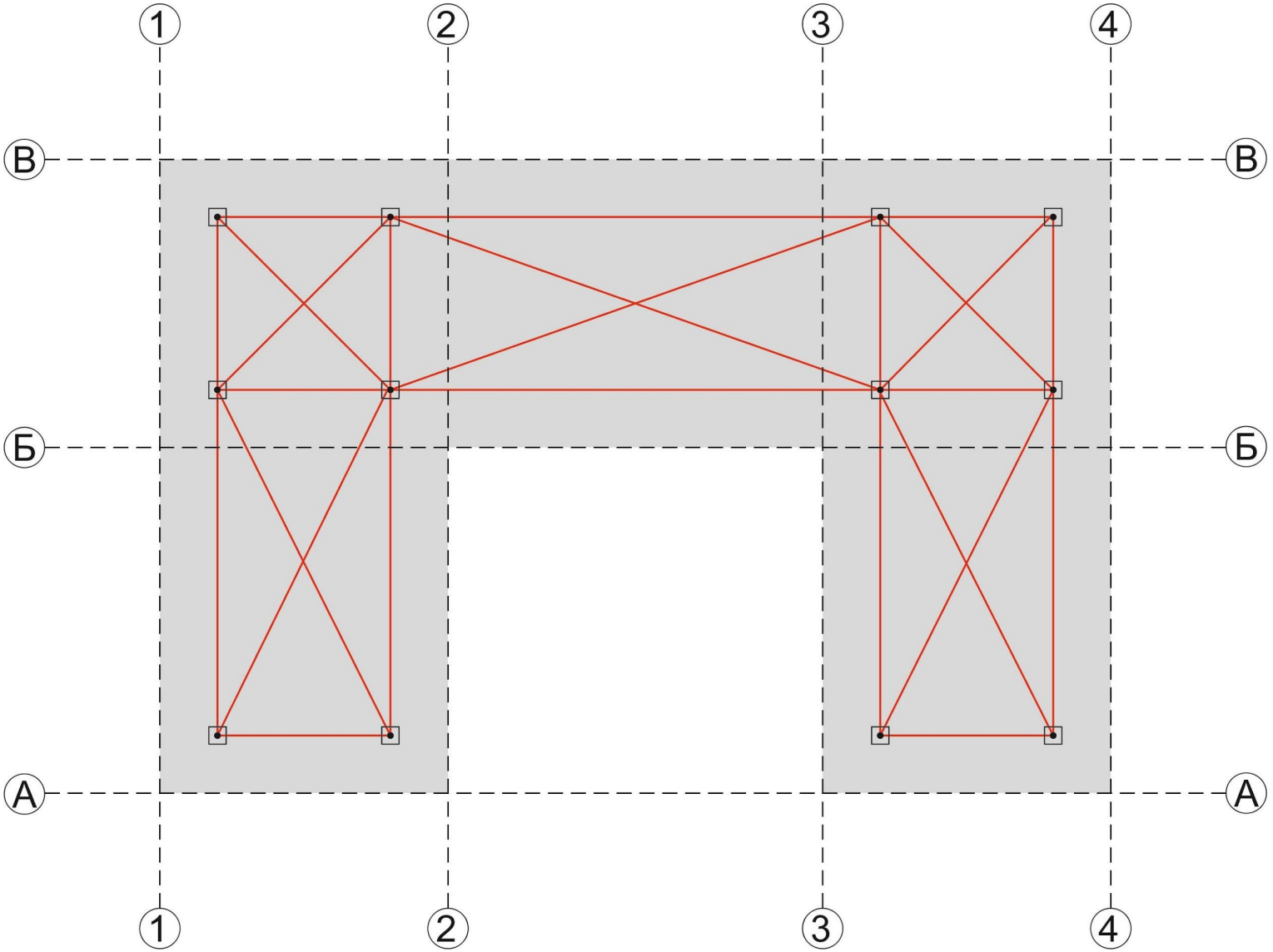


# 4.3 Зовнішня розмічувальна мережа будинку

***(Мережа із знаків закріплення основних осей будинку)***



# 4.4 Внутрішня розмічувальна мережа

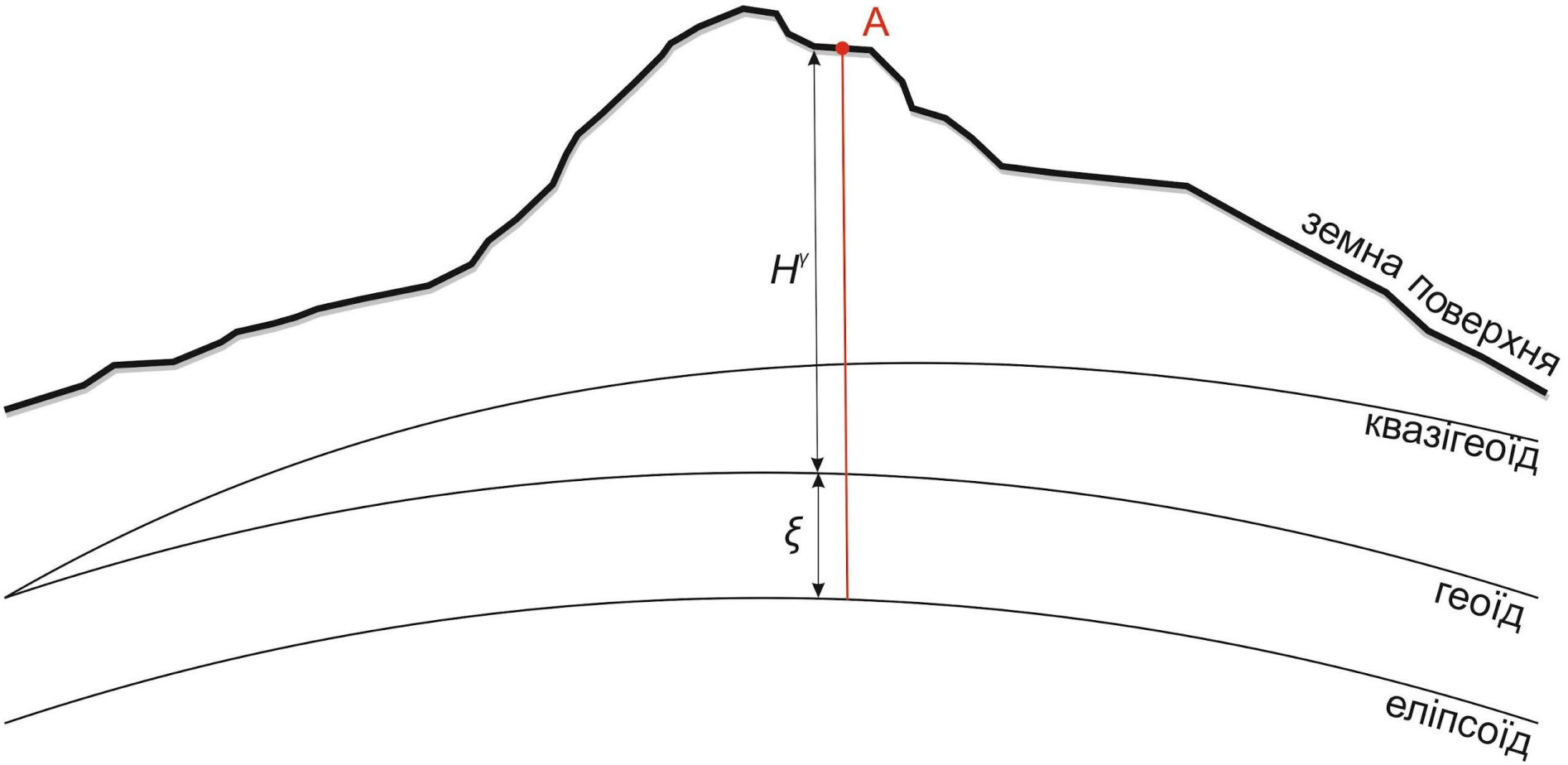


# 4.5 Висотна основа будівельного майданчика

| Показник | II кл. | III кл. | IV кл. |
|---|---|---|---|
| Віддаль між знаками (марками, реперами) в ходах, км:<br>- забудована територія<br>- не забудована територія | <br>2<br>3 | <br>0,3<br>2,0 | <br>0,3<br>2,0 |
| Довжина ходу між вузловими точками, км | 10 | 5 | - |
| Довжина візирного променя, м | 75 | 100 | 150 |
| Нерівність плеч | 1(3) | 2(4) | 5(7) |
| Накопичення нерівності плеч | 2(5) | 5(7) | 10(12) |
| Висота візирного променя над зем. пов., не менше м | 0,5 | 0,3 | 0,2 |
| Різниця перевищень на станції | 0,5 | 3 | 5 |
| Граничні нев'язки в полігонах | $5\sqrt{L}$ | $10\sqrt{L}$ | $20\sqrt{L}$ |
| Випадкова с.к.п. на мм/км | 2 | 5 | 10 |
| Приладова с.к.п. виміру 1 перевищення на 1 км подвійного ходу | 1,5 | 3,0 | 6,0 |

# 4.5 Висотна основа будівельного майданчика

***Система висот***



# 4.5 Висотна основа будівельного майданчика

***Нівелювання II класу***

Спостереження шкал рейок виконують через бісектор сітки ниток на не парній станції у наступній послідовності:

- Задня рейка основна шкала;
- Передня рейка основна шкала;
- Передня рейка додаткова шкала;
- Задня рейка додаткова шкала.

На парній станції наступній послідовності:

- Передня рейка основна шкала;
- Задня рейка основна шкала;
- Задня додаткова додаткова шкала;
- Передня рейка додаткова шкала.

Прилади: Н2, НА-1, НС3 Н05, Ni004, Ni002, Н1, DINI07, DNA03.

# 4.5 Висотна основа будівельного майданчика

***Нівелювання III класу***

Спостереження шкал рейок виконують через бісектор сітки ниток на не парній станції у наступній послідовності:

- Задня рейка основна шкала;
- Передня рейка основна шкала;
- Передня рейка додаткова шкала;
- Задня рейка додаткова шкала.

На парній станції наступній послідовності:

- Передня рейка основна шкала;
- Задня рейка основна шкала;
- Задня додаткова додаткова шкала;
- Передня рейка додаткова шкала.

Прилади: Н3, НС3, НР3, Sprinter.

# 4.5 Висотна основа будівельного майданчика

***Нівелювання IV класу***

Спостереження рейок виконують на не парній станції у наступній послідовності:

- Задня рейка основна шкала;
- Передня рейка основна шкала;
- Передня рейка додаткова шкала;
- Задня рейка додаткова шкала.

На парній станції наступній послідовності:

- Передня рейка основна шкала;
- Задня рейка основна шкала;
- Задня додаткова додаткова шкала;
- Передня рейка додаткова шкала.

Прилади: НС4, Н3, Ni025 та двохсторонні рейки.