

# ГЕОДЕЗІЯ

УДК 528.48

П. І. БАРАН

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, вул. Карпатська, 15, Івано-Франківськ, Україна, 76019

<https://doi.org/10.23939/istcgcap2019.90.005>

## МЕТОДИ НЕПРЯМОГО ПЕРЕДАННЯ КООРДИНАТ ПУНКТІВ ВНУТРІШНЬОЇ ГЕОДЕЗИЧНОЇ МЕРЕЖІ БУДІВЛІ НА МОНТАЖНИЙ ГОРИЗОНТ

Розглянуто методи непрямого передання координат пунктів внутрішніх геодезичних мереж (ВГМ) будинків на монтажний горизонт (МГ), зокрема вертикального оптичного або лазерного проєціювання, механічної (струнної) вертикалі та створно-обернених лінійно-кутових засічок, які не потребують влаштування зенітних отворів у плитах перекриття будинків та споруд. У методах вертикального проєціювання використовують стаціонарні й переносні навісні металеві консолі або столики, які закріплюють на зовнішніх стінах та плитах перекриття будівлі. Переважно здійснюють передання координат двох-трьох вихідних пунктів, розташованих на продовженні головних або основних осей споруди. Для побудови розмічувальної геодезичної мережі на монтажному горизонті на переданих наверх пунктах встановлюють трипельпризми або візирні марки та прокладають між ними ходи осьової полігонометрії з координатною або азимутальною прив'язками до напрямків на віддалені орієнтирні місцеві об'єкти. За відсутності умов для побудови позабудинкових вертикалей застосовують методи обернених створно-орієнтованих лінійно-кутових засічок (СОЛКЗ) з електронними тахеометрами для визначення планового (або просторового) розміщення пунктів ВГМ на МГ на основі наземних (трансляційних) пунктів зовнішньої геодезичної мережі (ЗГМ) будівельного майданчика або прилеглої до нього території. Проаналізовано різні моделі побудови СОЛКЗ залежно від умов забезпечення спостережень наземних пунктів, розташованих у зоні розміщення об'єкта будівництва. З метою спрощення технології інженерно-геодезичних робіт із передання координат пунктів ВГМ з вихідного на МГ та опрацювання результатів виконавчого знімання несних конструкцій на кожному поверсі координати трансляційних пунктів доцільно визначати в осевій системі координат ВГМ, побудованій на вихідному ярусі. Розрахунки точності вказаних методів свідчать, що середні квадратичні похибки передання координат пунктів та побудови внутрішньої геодезичної мережі на МГ не перевищують 5–9 мм, встановлених ДБН В.1.3.2:2010 для чотирьох категорій споруд.

*Ключові слова:* внутрішня геодезична мережа, оптична, лазерна і струнна вертикалі, монтажний горизонт, навісна консоль, двокоординатний столик, осьова полігонометрія, обернена створно-орієнтована лінійно-кутова засічка, редукування наближених пунктів.

### Вступ

Під час зведення висотних будинків контроль розміщення (співвісності) конструкцій (колон, панелей, блоків ліфтових шахт тощо) впродовж багатьох років ведуть з пунктів внутрішньої геодезичної мережі (ВГМ), яку будують на плиті перекриття вихідного горизонту (ВГ) (переважно 1-го поверху) і потім послідовно передають на монтажний горизонт методом вертикального проєціювання за допомогою оптичних і лазерних приладів типу PZL-100 [Левчук та ін., 1981; Видуев, 1978; Geodezja

inżynieryjna, 1979, 1980; Hennecke, Werner, 1980; Schofield, 2001]. Однак ці роботи пов'язані з необхідністю влаштування в плитах перекриття будинку співвісних зенітних отворів, які, хоч і забезпечують високу точність вимірювань, але ускладнюють процес влаштування отворів через необхідність узгодження місць розташування отворів в панелях перекриття з домобудівними комбінатами, що часто призводить до помилок і вирубування бетону. Крім того, зі збільшенням висоти споруди втрачається видимість шкал координатних палеток, що вимагає або їх

підсвічування, або використання крокового методу передачі координат пунктів [Баран, Борисюк, 2006; Баран, 2012].

Відомо, що на будинках заввишки до 30 м ВГМ не будують, а осі передають на МГ методом похилого проєціювання, який не підходить для висотного будівництва. Тому залишається актуальним пошук методів підвищення ефективності передачі координат пунктів на МГ сучасними методами і технічними засобами, особливо із застосуванням GPS-методу та побудови триангуляційних (ТАЛ)-мереж або лінійно-кутових засічок (ЛКЗ) за допомогою електронних тахеометрів.

GPS-метод надзвичайно перспективний, але точність вимірювань в умовах із насиченим середо-вищем металоконструкцій може істотно зменшуватись через спотворення радіосигналів. Будівельна практика потребує проведення ґрунтовних теоретичних і експериментальних досліджень цього методу для встановлення реальної точності побудови ним розмічувальних мереж на МГ висотних будинків, не відкидаючи цього методу для тривалого моніторингу споруд.

Отже, залишається актуальною проблема модернізації лінійно-геодезичних побудов з вико-

ристанням сучасних електронних тахеометрів і техніки вертикального проєціювання геодезичних пунктів. Зауважимо, що згідно з Державними будівельними нормами [ДБН В.1.3.2:2010] середні квадратичні похибки передачі координат пунктів ВГМ або точок осей на МГ не мають перевищувати таких величин: 1; 2; 3; 5 мм – мінімальні та 2; 4; 6; 11 мм – максимальні відповідно для об'єктів будівництва 1-ї, 2-ї, 3-ї і 4-ї категорій. Очевидно, що для вибору методів передачі необхідно враховувати мінімальну похибку передачі. На рис.1 показано розподіл цих похибок з висотою споруд або кількістю поверхів будинку, які можна забезпечити сучасним електронним інженерно-геодезичним обладнанням.

Аналіз допусків рис. 1 свідчить, що у спорудах 1-ї категорії пункти ВГМ необхідно передавати на МГ приладами вертикального проєціювання типу PZL або методом механічної (струнної) вертикалі з похибкою до 3 і 5 мм на висоту відповідно 100 і 200 м. А на спорудах 2-ї, 3-ї і 4-ї категорій ця похибка не може перевищувати відповідно 5,7 і 9 мм, які забезпечуються методами лінійно-кутових побудов з використанням електронних тахеометрів високої й середньої точності.

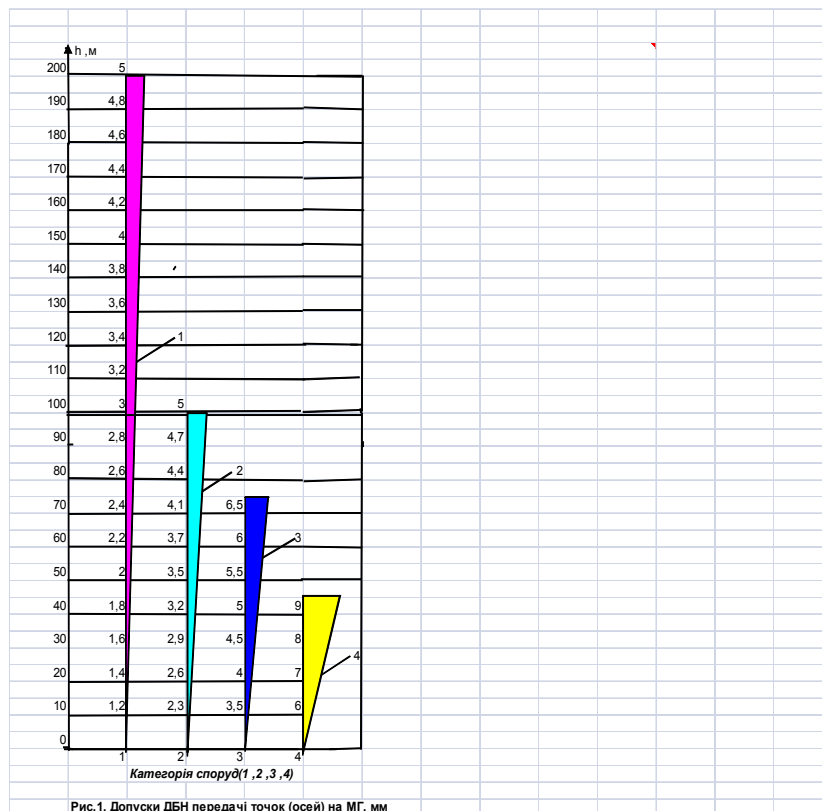


Рис.1. Допуски ДБН передачі точок (осей) на МГ, мм

Рис. 1. Допуски ДБН передачі точок (осей) на МГ, мм

## Мета

З огляду на актуальність проблеми для практики зведення висотних будинків доцільно розглянути непрямі (побічні) методи оптичної, лазерної й механічної вертикалей, осьової поліго-нометрії та обернених створно-орієнтованих лінійно-кутових засічок (СОЛКЗ) із використанням пунктів зовнішньої геодезичної мережі (ЗГМ) будівельного майданчика (або прилеглої до нього території) для трансляції пунктів ВГМ на монтажні горизонти зі збереженням чинної осьової системи координат об'єкта будівництва.

## Методика та результати робіт

**1. Метод вертикалей.** Для реалізації методу наземні опорні пункти ЗГМ необхідно розташувати поруч із цокольною частиною споруди або на стіні 1-го поверху з умовою максимального наближення вертикалі (до 0,5 м) до стін споруди, щоб зменшити довжину навісної консолі з координатною палеткою або іншим приймальним пристроєм. Це пов'язано з необхідністю доступу до них геодезичного персоналу на МГ. Зрозуміло, що не варто розташовувати ці пункти на південній стороні будинку, де можливі рефракційні спотворення візирної або лазерної вертикалі внаслідок сонячного

нагрівання стіни [Баран, 2007, 2012, Левчук та ін., 1981; Hennecke, Werner, 1980]. Наземні опорні пункти, пов'язані з пунктами ЗГМ будівельного майданчика, доцільно обирати на головній осі споруди і закріплювати їх на металевих консолях, укріплених в отворах між цоколем та стіною будинку. Пункти переносять на плиту консолі з наземних пунктів головної осі та закріплюють їх отвором діаметром 16 мм для установаження приладів вертикального проєціювання (ПВП).

На МГ аналогічну консоль з отвором для координатної палетки або надирного оптичного або лазерного ПВП розміщують на надійній опорній металевій рамі з огороженням (рис. 2), яку тимчасово приварюють до закладних плити перекриття. Перекіс ліній палетки відносно осей споруди не повинен перевищувати  $1^\circ$ , що потребує наближеного розмічування головної осі в зоні робіт або вибору на місцевості відповідного орієнтира на продовженні головної (основної) осі споруди. Замість палетки доцільніше використовувати двокоординатний столик (ДКС) [Баран, 2006, 2012] із трипель-призмою  $360^\circ$  (Leica, Trimble), яку за командою знизу виводять штурвалом на вісь. Тут зручніший надирний прилад, який оператор виводить за допомогою ДКС на вертикаль із нижнього пункту.

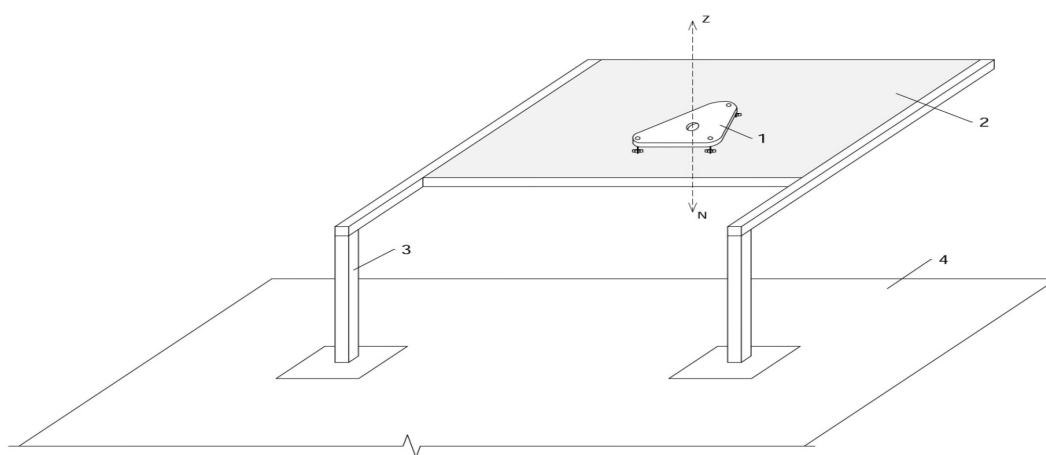


Рис. 2. Конструкція металевого столика з консольною плитою та підставкою для надирного ПВП: 1 – підставка; 2 – столик; 3 – стійка; 4 – плита перекриття

У методі механічної вертикалі використовують прямий або обернений струнні виски.

Останній зручніший, оскільки струна фіксується внизу, а на МГ на консольній плиті з

отвором для струни закріплюють резервуар у формі тороїда (“невиливайки”), заповнений тосолом (оливою) для встановлення поплавка, з’єднаного зі струною [Баран, 2012, с. 143–145]. На осі поплавок встановлюють трипеліпризму для дистанційного вимірювання відстані. Така система продуктивніша, оскільки забезпечує автоматичне встановлення поплавка на вертикалі й простий спосіб перенесення координат пунктів на наступному горизонті, змінюючи тільки довжину струни діаметром 1–1,5 мм внизу на якорі.

**2. Метод осьової полігонометрії.** Можна використати в багатосекційних будинках та спорудах у формі витягнутого полігонометричного ходу з азимутальними та координатними прив’язками [Баран, 2012, с. 177]. На рис. 3 наведено побудову створної (осьової) лінії з двома наземними пунктами  $A$  і  $B$  закріплення головної або розмічувальної осі з трьома проміжними пунктами  $C_1, C_2, C_3$  на МГ, віднесеними від торцевих стін будинку відповідно на відстані  $S_1$  і  $S_4$ .

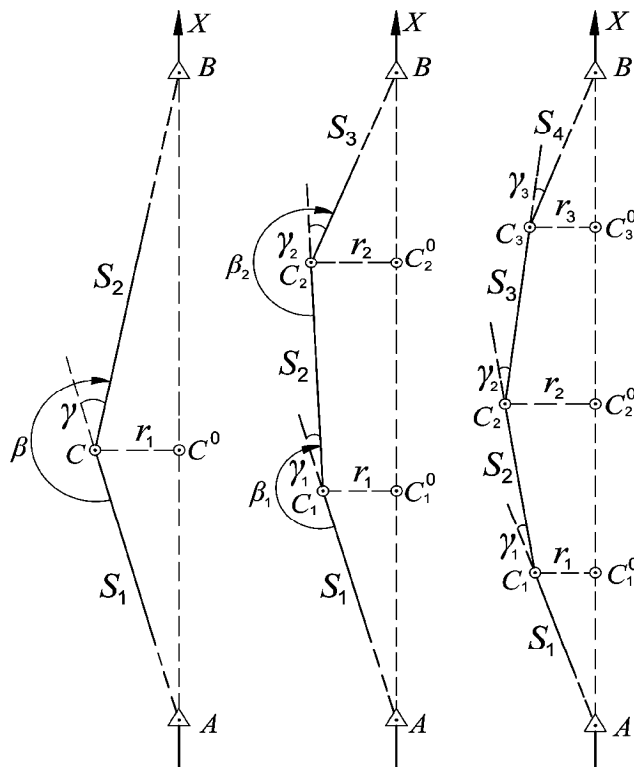


Рис. 3. Редукування точки у способі обернених біполярних засічок

Після вимірювання кутів  $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$  в одному, двох або трьох пунктах їх редукації  $r_i$  ( $i = 1, 2, 3$ ) на створ обчислюють за формулами [Баран, 2012]:

$$\begin{aligned} r_1 &= \frac{S_1 S_2}{[S]} \sin \gamma; \\ r_1 &= \frac{S_1 (S_2 + S_3) \sin \gamma_1 + S_1 S_3 \sin \gamma_2}{[S]}; \\ r_2 &= \frac{S_3 (S_1 + S_2) \sin \gamma_2 + S_1 S_3 \sin \gamma_1}{[S]}; \end{aligned} \quad (1)$$

$$r_2 = \frac{1}{[S]} \{ (S_1 + S_2)(S_3 + S_4) \sin \gamma_2 + S_1 (S_3 + S_4) \sin \gamma_1 + (S_1 + S_2) S_4 \sin \gamma_3 \};$$

$$r_1 = \frac{S_1}{S_1 + S_2} (r_2 + S_2 \sin \gamma_1);$$

$$r_3 = \frac{S_4}{S_3 + S_4} (r_2 + S_3 \sin \gamma_3),$$

де  $[S]$  – довжина сторони  $AB$ .

Похибки визначення редукацій практично залежать від точності вимірювання кутів

нестворності і розраховуються за формулами відповідно для одного, двох і трьох проміжних пунктів:

$$\begin{aligned} 1) m_r &\approx 0,50 \frac{Sm_\gamma}{\rho}; \\ 2) m_{r_1} = m_{r_2} &\approx 0,58 \frac{Sm_\gamma}{\rho}; \\ 3) m_{r_1} = m_{r_3} &\approx 0,61 \frac{Sm_\gamma}{\rho}; m_{r_2} \approx 1,22 \frac{Sm_\gamma}{\rho}, \end{aligned} \quad (2)$$

де  $S$  – середня довжина сторони створного ходу;  $m_\gamma$  – похибка вимірювання кута нестворності.

Методику розрахунку похибок більшої кількості точок створу наведено у праці [Баран, 2012, с. 450].

Описаним методом можна розмічувати проміжні пункти головної осі на основі переданих наверх двох її кінцевих пунктів  $A$  і  $B$  методами оптичної, лазерної або механічної вертикалей. Найпростішим видається метод визначення спочатку однієї точки за вимірними двома довжинами сторін  $S_1$  і  $S_2$  та кута нестворності  $\gamma = \varepsilon$  між ними з обчисленням редуції (перпендикуляра)  $r$  на створ  $AB$  за першою залежністю формули (1). Тоді, змістивши тахеометр на створ, позначають інші пункти головної осі, які потім використовують для розмічування пунктів паралельних осей, будуючи монтажну сітку з паралельними лініями.

Деяко складнішими є способи визначення редуцій для двох і трьох проміжних точок (див. 2 і 3 залежності). Перевагою останніх двох способів можуть бути варіанти, коли проміжні пункти розташовуються на краях МГ, а кінцеві пункти  $A$  і  $B$  є наземними і закріплюють головні осі споруди. Тоді замість передачі цих пунктів методом вертикалей легко будують систему трьох пунктів ВГМ на МГ з їх редуціями до отримання проектних відстаней  $S_2^0 = C_1^0 C_2^0$  і  $(S_2^0 + S_3^0) = C_1^0 C_3^0$ . Недолік способу – координатне пов'язання, яке усувають, використовуючи орієнтирну марку, віддалену від об'єкта на відстань до 2–3 км.

Нижче подано приклад обчислення редуцій для трьох створних точок та їх похибок за

таких вихідних даних:  $S = 20$  м;  $n = 4$ ;  $\gamma_1 = 309''$ ;  $\gamma_2 = -165''$ ;  $\gamma_3 = 227''$ ;  $m_\gamma = 10''$ , а саме:

$$\begin{aligned} r_1 = 20 \text{ мм}; \quad r_2 = 10 \text{ мм}; \quad r_3 = 16 \text{ мм}; \\ m_{r_1} = 0,6 \text{ мм}; \quad m_{r_2} = 1,2 \text{ мм}; \quad m_{r_3} = 0,6 \text{ мм}. \end{aligned}$$

Якщо довжини примикальних сторін до наземних пунктів сягають 100 м, то вказані похибки залишаються незмінними.

**3. Метод створно-орієнтованих лінійно-кутових засічок (СОЛКЗ).** Передання координат пунктів ВГМ з вихідного на монтажний горизонт здійснюють за цим методом через допоміжні пункти-транслятори ЗГМ, розміщені на будівельному майданчику або прилеглий до нього території, за допомогою сучасних електронних тахеометрів. Тоді точність планового положення пунктів-трансляторів має бути вдвічі вищою, ніж ВГМ. Гарантія надійності – передання не менше від трьох пунктів ВГМ, на основі яких на МГ будують систему розмічувальних осей (монтажна сітка) із розрахунку одна лінія на два ряди конструкцій (колон, панелей). Завдяки цьому на 34-поверховому будинку може бути зайвою необхідність влаштування понад 100 зенітних отворів.

Для простої ілюстрації методу взято відому засічку Ганзена визначення двох пунктів 1, 2 ВГМ із двох пунктів-трансляторів  $A$  і  $B$  ЗГМ (рис. 4). Наземні пункти розташовують у безпечних місцях і закріплюють або типовими ґрунтовими знаками або краще трубчастими знаками з гвинтами для примусового центрування приладів. Щоб захистити від руйнування, встановлюють металеву огорожу.

Формально задачу розглядають так, що на вихідному горизонті (ВГ) уже побудована ВГМ, два основних пункти 1 і 2 якої мають координати в системі координат будинку (об'єкта) і підлягають передачі на МГ. Якщо з цих пунктів визначити координати наземних пунктів-трансляторів  $A$  і  $B$ , то потім за ними на МГ можна буде визначити із оберненої лінійно-кутової засічки координати будь-яких пунктів МГ, зокрема й пунктів 1 і 2. Тому, встановивши на МГ тахеометр у наближених точках указаних пунктів, які легко розмічують із використанням лінійних прив'язок до виходів конструкцій, можна буде визначити точні координати вказаних точок за

вимірними горизонтальними відстанями  $S_1^0, S_2^0, S_3^0, S_{12}$  та кутами  $\beta_1, \gamma_1, \beta_2, \gamma_2$ , яких достатньо для якісної засічки пунктів, навіть без контрольних вимірювань із наземних опорних пунктів. Тоді, внаслідок опрацювання засічки на ПК за програмами для ЛКМ типу Топоград, Інвентград, CREDO та ін., стануть відомими дирекційні кути (азимуту)  $\alpha_1^0, \alpha_2^0, \alpha_{12}^0$ .

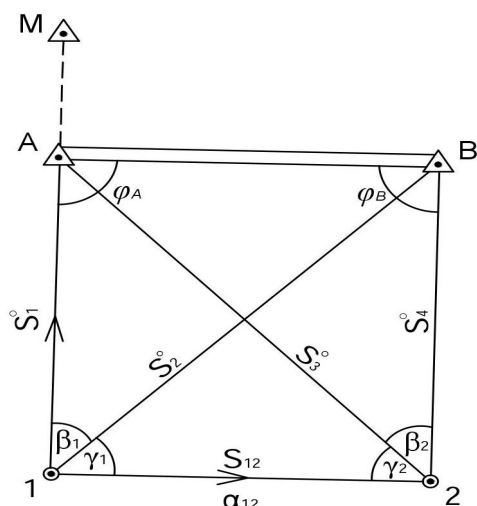


Рис. 4. Створно-орієнтована засічка Ганзена для двох пунктів

Приведення тимчасових точок у проектне положення, яке має відповідати положенню цих пунктів на ВГ, ведуть способом редукування, що дещо ускладнює процес передання. Тому для спрощення цього процесу доцільно користуватися створно-орієнтовною ЛКЗ. Для цього на продовженні одної із ліній засічки, наприклад, 1-А, розміщують візирну марку М, яку додатково для контролю відстаней обладнують трипельпризмою, що забезпечує належні умови для простого зворотного передання координат пунктів розмічувальної осі 1-2 на будь-якому МГ. Тоді тахеометр встановлюють на продовженні створу М-А спочатку в наближеній до пункту 1 точці Т, а потім, після відкладення точної відстані  $S_1^0$ , – у точці 1. Відклавши врівноважені значення різниці азимутів  $(\alpha_{12}^0 - \alpha_1^0)$  та відстані  $S_{12}^0$ , фіксуємо другу точку 2, яка має відповідати аналогічним точкам ВГ.

Зауважимо, що візування з пункту 2 на пункт В може бути обмежене. Тому для контролю розмічування вказаних пунктів треба

обов'язково виміряти відстані  $S_1, S_2, S_3, S_{12}$  і горизонтальні кути  $\beta_1, \gamma_1, \gamma_2$  та врівноважити засічку із залученням додаткових (контрольних) величин  $S_2^0, \gamma_1^0, \gamma_2^0$  з ВГ, тобто зі шістьма вимірними величинами замість 9-ти на вихідному горизонті.

Порівнявши отримані координати з координатами ідентичних пунктів ВГ, можна оцінити якість передання, а за необхідності за різницями координат цих пунктів зредувати їх у проектне положення. Очевидно, цю задачу можна більше спростити, якщо побудувати два орієнтирні створи.

Для контролю правильності вимірювання чотирьох кутів у засічці Ганзена можна використати такі формули для кутів  $\varphi_A$  і  $\varphi_B$  за вихідних пунктів (рис. 4) [Баран та ін., 1986]:

$$\frac{\varphi_A + \varphi_B}{2} = \frac{1}{2}[180^\circ - (\beta_1 + \gamma_1 + \beta_2 + \gamma_2)];$$

$$\frac{\sin \beta_1 \sin(\beta_2 + \gamma_2) \sin(\beta_1 + \gamma_1 + \gamma_2)}{\sin \beta_2 \sin(\beta_1 + \gamma_1) \sin(\beta_2 + \gamma_1 + \gamma_2)} = K;$$

$$M = \frac{K - 1}{K + 1};$$

$$\frac{\varphi_A - \varphi_B}{2} = \text{arctg}[M \text{tg} \frac{\varphi_A + \varphi_B}{2}];$$

$$\varphi_A = \frac{\varphi_A + \varphi_B}{2} + \frac{\varphi_A - \varphi_B}{2};$$

$$\varphi_B = \frac{\varphi_A + \varphi_B}{2} - \frac{\varphi_A - \varphi_B}{2}.$$

Нагадаємо, що у засічці у прямокутної форми коефіцієнт  $K \approx 1, M \approx 0$  і  $\varphi_A \approx \varphi_B$ .

Якщо виміряти довжину сторони 1-2, то ці кути визначають простіше за формулами

$$\sin \varphi_A = \frac{S_{12} \sin \beta_1 \sin(\beta_2 + \gamma_2)}{b \sin(\beta_2 + \gamma_1 + \gamma_2)},$$

$$\sin \varphi_B = \frac{S_{12} \sin \beta_2 \sin(\beta_1 + \gamma_1)}{b \sin(\beta_1 + \gamma_1 + \gamma_2)},$$
(4)

де  $b$  – довжина вихідної сторони АВ.

Якість виконання робіт гарантують трансляцією на МГ не менше, ніж трьох пунктів ВГМ, які слугують основою для розмічування монтажних осей конструкцій або монтажної сітки. Впровадженням такої технології у практику усувають процес влаштування zenітних отворів у панелях перекриття, але вона потребує забезпечення спостережень наземних пунктів з

найвищого поверху споруди. Це означає, що за висоти будинку понад 100 м і можливого куті нахилу зорової труби тахеометра  $\nu = -45^\circ$  горизонтальна відстань до опорного пункту також має бути більшою за 100 м. Очевидно, щоб збільшити цю відстань вказані опорні пункти бажано відвести вбік від торцевих стін будинку. Проте це стосується тільки одного опорного пункту, наприклад,  $A$ , який розташований у створі 1-М на віддаленій місцевий орієнтир (шпиль, антена, хрест, або візирна марка з рефлектором, закріплена на стіні надійної невисокої будівлі

через можливе відхилення будинку від вертикалі під впливом осідання його фундаменту або бокового сонячного нагрівання).

Для передання координат трьох пунктів ВГМ, що технологічніше за умовами контролю передання, доцільно використовувати конструкцію мережі, наведену на рис. 5. Вона є модифікацією попередньої (СОЛКЗ), в якій пункт 3 разом із двома пунктами 1 і 2 має належати одній прямій. На ВГ розташування пунктів 1, 2 і 3 визначають із наземних пунктів  $A$  і  $B$  із вимірюванням 8 сторін і 6 кутів.

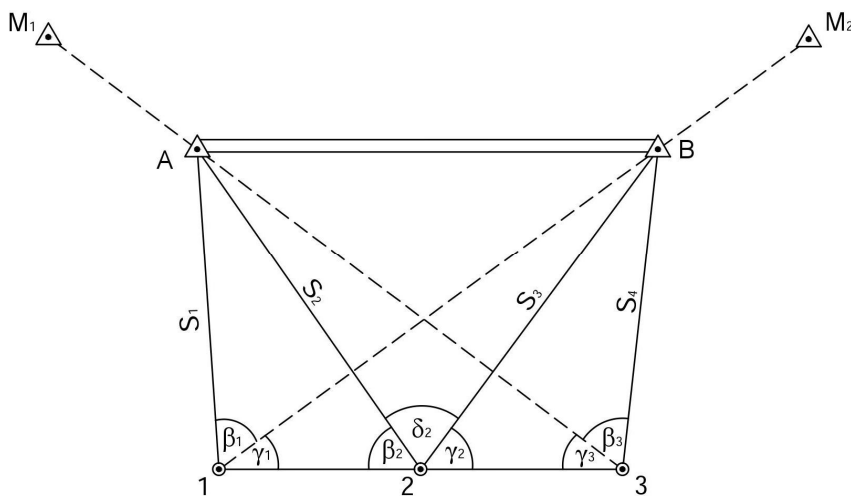


Рис. 5. Обернена створно-орієнтована засічка трьох пунктів ВГМ

На МГ першим розмічують середній пункт 2 за допомогою створу  $A-M$ , марку з рефлектором (катафотова плівка) якого можна розмістити на стіні будівлі. Але якщо тоді неможливі спостереження пункту  $A$ , то за основний можна взяти інший створ, наприклад,  $I-B-M_2$  (обидва створи ефективні для контролю розмічування). У разі довіри до стабільності пунктів  $A$  і  $B$  базову засічку можна розширити на визначення положення чотирьох і більше пунктів ВГМ.

З метою підвищення надійності передач кількість наземних трансляційних пунктів можна довести до трьох (рис. 6). Тоді на МГ достатньо виміряти тільки 7 сторін і 6 кутів.

Треба зазначити, що для точного встановлення тахеометра на продовженні базового створу  $M-A$  у наближеній точці  $T$  можна виміряти кут  $\varepsilon$  нестворності (рис. 7,  $a$ ) і обчислити її лінійну величину  $a$  (перпендикуляра до сторони  $I-A$ ) за формулою [Баран, 2012, с. 254]

$$\begin{aligned} \varepsilon &= N_M - N_A; \quad \gamma = \varepsilon + \delta; \\ a &= S \sin \gamma = S \cdot S_M \sin \varepsilon / L, \end{aligned} \quad (5)$$

де  $S, L, S_M$  – виміряні тахеометром відстані (остання – контрольна з виміром напрямку  $N_M = TM$ ).

Якщо  $a$  має знак “мінус”, то перпендикуляр відкладають ліворуч від обраного створу, а якщо “плюс” – то праворуч. Для відстані  $S = 100$  м та малому куті  $\varepsilon = 6'$  нестворність  $a = -174$  мм, яку відкладають у напрямку створу, фіксують тимчасову точку  $i$ , установивши в ній тахеометр, вимірюють відстань до точки  $A$ . Після порівняння її з проектною відстанню  $S_2$  зміщують тахеометр у проектний пункт 2.

Похибка нестворності

$$m_a = \frac{(L + s)m_\varepsilon}{L\rho} \approx s\left(1 + \frac{s}{L}\right) \frac{m_\varepsilon}{\rho} \quad (6)$$

є поперечною складовою похибки пункту ВГМ, яка зменшується у разі збільшення  $L$ . Але якщо створну марку  $M$  використовувати для контролю відкладання проектної відстані  $s$ , то цю відстань треба зменшувати. Тому в практиці доцільно брати  $L=2s$ , коли вираз в дужках наближається до 1,5. Тоді при  $s=100$  м і  $m_\varepsilon=5''$  похибка  $m_a \approx 3,6$  мм.

Із збільшенням кута нестворності лінійний елемент редуції зростає й ускладнюється процес виведення тахеометра на створ, особливо тоді, коли контрольна марка  $M$  розташована поза створом 2- $A$  (рис. 7, б). У такому разі необхідно виміряти сторони

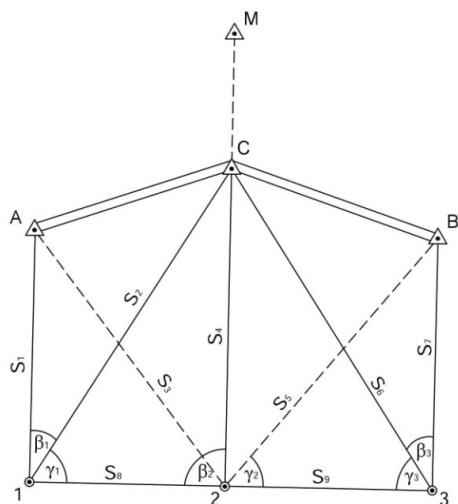


Рис. 6. Орієнтована засічка Ганзена для трьох пунктів

Потім, відклавши полярний кут  $\omega$  і редуцію  $r$ , в отриманій точці встановлюють тахеометр і, перевіряючи орієнтування приладу по створу, вимірюють відстань до опорного пункту  $A$  або марки  $M$  та, порівнявши її з проектною, за необхідності зміщують прилад у проектний пункт 2. Далі за відповідними кутами і довжинами сторін ВГ розмічують пункти 1 і 3, а потім за контрольними вимірами кутів та відстаней із використанням проектних величин вихідного ярусу врівноважують мережу і, порівнявши отримані координати з проектними, редукують пункти у проектне положення та остаточно закріплюють їх на МГ.

Відносну похибку вимірювання кута нестворності можна визначити за наближеною формулою

трикутника нестворності, кут  $\varphi$  та обчислити елементи редуції  $\omega$  і  $r$  за формулами:

$$\begin{aligned} \sin \delta &= \frac{S}{L} \sin \varepsilon; \\ \gamma &= \varepsilon + \delta - \varphi; \\ a &= S \sin \gamma; \\ q &= S_2 - S \cos \gamma; \\ r &= \sqrt{a^2 + q^2}; \end{aligned} \quad (7)$$

$$\text{Якщо } S_2 \leq S, \text{ то } \omega = \arcsin\left(\frac{S \sin \gamma}{r}\right),$$

$$\text{інакше } \omega = 180^\circ - \arcsin\left(\frac{S \sin \gamma}{r}\right).$$

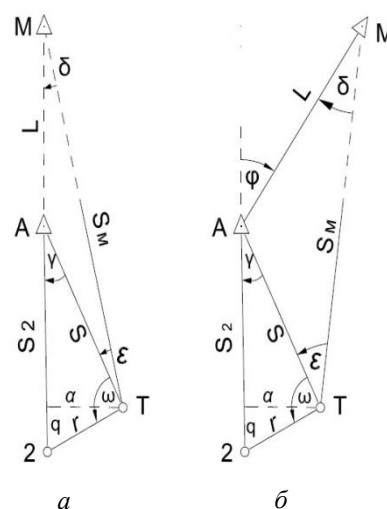


Рис. 7. До редуції тахеометра на створ у проектну точку

$$\begin{aligned} m_\delta &\approx \sqrt{2} \frac{m_L}{L} \rho \operatorname{tg} \delta; \\ m_r &\approx \frac{S_2 S \sin \gamma m_\delta}{r \rho}; \\ m_\omega &\approx \frac{S \sin \gamma m_r \rho}{r^2 \cos \omega}, \end{aligned} \quad (8)$$

де  $m_r/r$ ,  $m_L/L$  – відносні похибки вимірювання редуції та віддалення орієнтирної марки від опорної точки створу.

Якщо довжини всіх сторін трикутника нестворності становлять приблизно 100 м, наприклад, 100 і 95 м, а кути  $\varepsilon = \delta = 10'$  і  $\gamma = 20'$ , то при  $r \leq 5$  м і  $m_r \leq 1$  мм похибки вимірювання і визначення кутів  $\varepsilon$  і  $\delta$  не можуть перевищувати величин  $m_\varepsilon \leq 4''$  і  $m_\delta \leq 20''$ . Із збільшенням  $L$  похибку вимірювання цього



кута треба зменшувати. Тому орієнтирні пункти не обирають на великих відстанях від будівельного майданчика.

У разі великих кутів нестворності, наприклад,

$$\varepsilon = \delta = \varphi = 30^\circ; m_\varphi = m_\varepsilon = 5''; m_L / L = 1 : 5000;$$

$$m_\gamma = m_\delta \approx 24'' \text{ і } r \approx 5 \text{ м} \quad \text{похибка}$$

$$m_r = (24/108000) \cdot 5000 = 1 \text{ мм.}$$

Отже, для поліпшення умов забезпечення точності редукування тимчасових пунктів у проектне положення треба зменшувати кути  $\varphi$  і  $\gamma$ , тобто наближувати орієнтирну марку до створу і зменшувати величину редукації до 5 м.

Точність методу СОЛКЗ передання координат пунктів на МГ можна підвищити завдяки використанню деяких кутів та відстаней, вимірених на ВГ, але не вимірених за умовами видимості з МГ. Проте доцільність їх використання, як додаткових контрольних вимірювань, може підтвердити тільки практика. Дещо складнішими можуть бути конструкції мереж, які ґрунтуються на використанні комбінацій обернених лінійно-кутових засічок з комп'ютерним опрацюванням, але основним і ефективним елементом таких систем будуть базові орієнтирні сторони.

Для закріплення пунктів ВГМ на МГ доцільно використовувати металеві (дюралюмінієві) плашки розміром 50×50×2 мм, які приклеюють до чистої поверхні бетону синтетичним клеєм типу “Секунда”, або дюбелями на клею. Остаточне положення пункту на плашці фіксують отвором діаметром 2 мм за допомогою мініелектродрелі. Перевага такого закріплення – легкість пошуку пункту, зручність центрування приладів і висока точність вимірювань.

На завершення розгляду методу СОЛКЗ варто звернути увагу спеціалістів на те, що пункти ЗГМ технологічно можна обирати після побудови ВГМ на вихідному горизонті, а умовні координати цієї мережі передавати на наземні пункти методом координування за допомогою електронних тахеометрів, враховуючи визначення їх висотного розміщення у системі висот будівельного майданчика. Тоді, задаючи **координати пунктів** ВГМ і центрів конструкцій в умовній і єдиній осьовій системі координат споруди, можна істотно спростити

технологію розмічувальних робіт та виконавчого знімання конструкцій. Одночасно в процесі визначення планового положення пунктів ВГМ необхідно передавати висотні позначки методом тригонометричного нівелювання від пунктів-трансляторів ЗГМ будівельного майданчика [Баран, 1997, 2012].

Зауважимо, що в обох цих процесах необхідно зважати на температурну деформацію споруди, зумовлену зміною її температури, що може впливати на зміну координат і висотних позначок ярусних пунктів через відхилення споруди від вертикалі та зміну її висоти [Баран, 2007, 2012; Hennecke, Werner, 1980]. Для тривалих моніторингових спостережень доцільно використовувати три основних пункти ВГМ, встановлюючи в них приймачі GPS.

Завершуючи, варто звернути увагу читача на те, що наведені тут методи передання координат пунктів на МГ не вичерпують можливих конструкцій мереж і за кількістю окремих вихідних пунктів, і конструкцій їх осьових систем (для багатьох рядів колон або панелей чи створених з використанням ліфтових шахт і вентиляційних каналів). Обзорність території з монтажного горизонту дає змогу вільно обирати опорні та орієнтирні пункти ЗГМ будмайданчика поза його межами.

## Висновки

1. На основі аналізу методів передання координат пунктів внутрішньої геодезичної мережі (ВГМ) на монтажні горизонти під час будівництва висотних будинків встановлено, що метод вертикального проєціювання (МВП) пунктів, незважаючи на його високу точність, втрачає свою економічну і технічну привабливість через потребу влаштування zenітних отворів у панелях перекриття споруд, особливо на спорудах заввишки до 100 м.

2. Технологічні переваги МВП можна успішно реалізувати у зовнішніх способах передавання координат пунктів на монтажні горизонти за допомогою оптичних і лазерних приладів або струнних висків, розміщених на стаціонарних і переносних консолях із координатними палетками.

3. За відсутності умов для реалізації зовнішніх МВП пункти ВГМ доцільно передавати

методами створно-орієнтованих обернених лінійно-кутових засічок (СОЛКЗ), які не потребують влаштування зенітних отворів у панелях перекриття будівлі. Техно-логічно ці методи можуть бути реалізовані в системі координат ЗГМ майданчика, але найпростіше – в умовній осьовій системі координат споруди, коли в ній визначають координати пунктів ВГМ і центри будівельних конструкцій.

4. У найближчій перспективі серйозною альтернативою цим методам може стати GPS-метод, вільний від негативного впливу метало-конструкцій об'єкта будівництва на приймання радіосигналів.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- Баран П. И., Мицкевич В. И., Полищук Ю. В. Применение геодезических засечек, их обобщенные схемы и способы машинного решения. М.: Недра, 1986. 166 с.
- Баран П. І., Соловійов Ф. Ф., Чорнокінь В. Я. Тригонометричне нівелювання в інженерно-геодезичних роботах, за ред. проф. П. І. Барана. К.: Укргеодезкартографія, 1997. 130 с.
- Баран П. І., Борисюк Л. В. Модернізація приладів та обладнання для виконання інженерно-геодезичних робіт у висотному будівництві. *Вісник геодезії та картографії*. 2006. № 1. С. 13–16.
- Баран П. І. Врахування температурної деформації при вимірюванні горизонтальних і вертикальних зміщень інженерних споруд. *Вісник геодезії та картографії*. 2007. №4. С. 14–20.
- Баран П. І. Інженерна геодезія: Монографія / П. І. Баран. К.: ПАТ “ВІПОЛ”, 2012. 618 с.
- Видуев Н. Г. Справочник по инженерной геодезии. К.: “Вища школа”, 1978. 376 с.
- ДБН В.1.3.2:2010. Система забезпечення точності геометричних параметрів у будівництві. Геодезичні роботи у будівництві. К.: Мінрегіонбуд України. 2009. 69 с.
- Левчук, Г. П., Новак В. Е., Конусов В. Г. Прикладная геодезия. Основные методы и принципы инженерно-геодезических работ. М.: Недра, 1981. 438 с.
- Geodezja inzynieryjna. Tom 1, 2. Warszawa: PPWK. T. 1, 1979, 638 с.; T. 2, 1980, 602 с.
- Hennecke F., Werner H. Ingenieurgeodäsie. Anwendungen im Bauwesen und Anlagenbau Verlag für Bauwesen. 1980. 534 s.
- Schofield, W. (2001). Engineering surveying: theory and examination problems for students. Elsevier.

P. BARAN

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, 15, Karpatska str., Ivano-Frankivsk, Ukraine, 76019

#### METHODS OF INDIRECT TRANSFER OF INTERNAL GEODETIC NETWORK POINTS COORDINATES OF A BUILDING TO AN ASSEMBLY HORIZON

The paper presents the analysis of the methods of indirect transfer of internal geodetic network points of buildings to an assembly horizon. Method of vertical, optical or laser projection, method of mechanical (string) line and method of inverse linear-angular intersection which do not require zenith holes in the slabs are considered. Either fixed and portable hinged metal consoles or tables which are fixed on outer walls and floor slabs of the building are used in the methods of vertical projection. Two or three output points placed on the extensions of the principal axes of buildings are mostly transferred. To build a layout network on an assembly horizon light range finders or sighting marks are placed at the points transferred to the elevation. Ground-surveying traverse with coordinate or azimuth binding to the direction of the distanced checking objects is plotted. In the absence of conditions for building vertical lines behind the buildings, methods of inverse linear-angular intersections with equipments (Total Stations) are used to determine the horizontal (or spatial) position of the internal geodetic network points on an assembly horizon on the basis of the terrestrial (transferring) points of the external geodetic network of the building site or the surrounding area. Different models of construction of the inverse linear-angular intersections are analysed depending on the conditions of observation of ground points located within the boundaries of the construction object. In order to simplify the technology of geodetic engineering for the transfer of internal geodetic network points from the source to the assembly horizon and to study the results of executive survey of bearing structures on each floor, the coordinates of the translation points should be determined in the axial coordinate system of the internal geodetic network built on the output tier. Accuracy calculations of the indicated methods show that the mean square errors of the transfer of points and the construction of the internal geodetic network at the assembly horizon do not exceed 5–9 mm, established by the State Building Standards (DBN) V.1.3.2:2010 for four categories of structures.

*Key words:* internal geodetic network; optical, laser and string vertical lines; assembly horizon; hinged console; two-coordinate table; axial ground surveying; inverse linear-angular intersection; reduction of approximate points.

Надійшла 15.02.2019 р.