

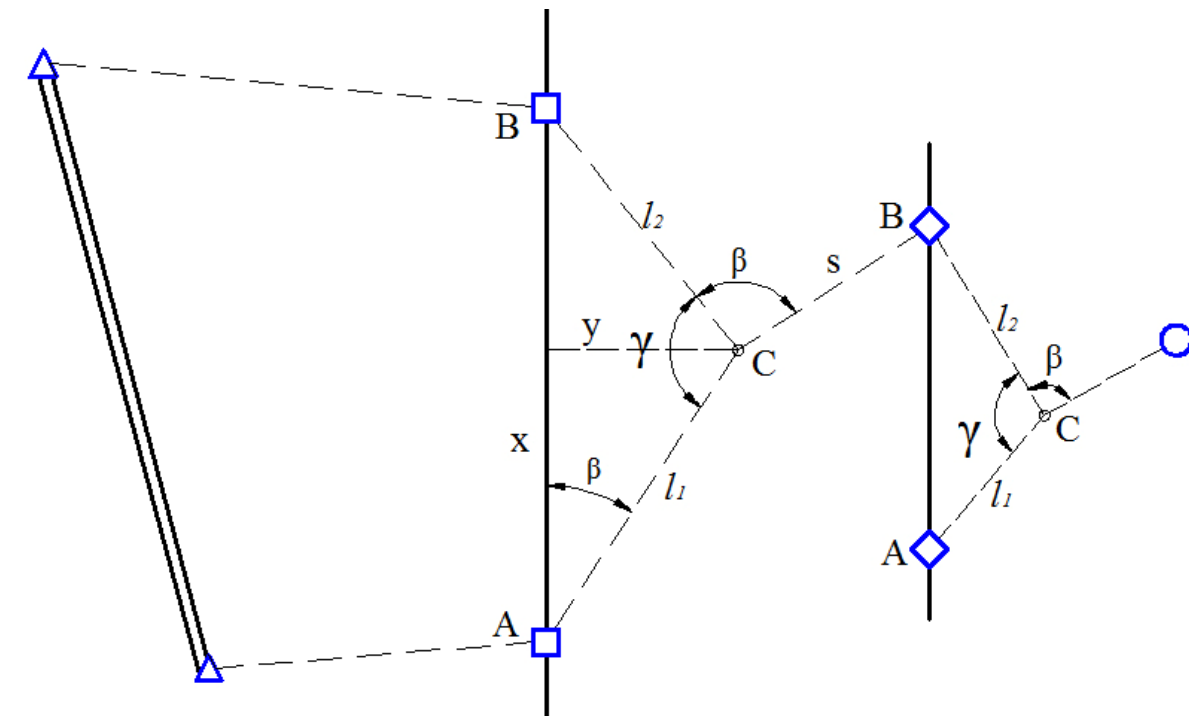
## ТЕХНОЛОГІЯ РОЗПЛАНУВАЛЬНИХ РОБІТ І ВИКОНАВЧИХ ЗНІМАНЬ З ВИКОРИСТАННЯМ TPS

© Бурак К.О., 2011

*Впервые получены формулы для оценки точности разбивки точек способом измерений относительно базовой линии. Научно обоснованы сфера применения предлагаемого способа и методика работ.*

*First obtained the formula for estimating the accuracy of stakeout points with the baseline easurement. Using their scientifically valid scope of the proposed method and the technique works.*

**Постановка проблеми.** Теорію розпланувальних [1], чи, згідно з новим нормативним документом [2], розмічувальних робіт розроблялись і вдосконалювались протягом останніх ста років.



- △ – пункти опорної геодезичної мережі
- – пункти розмічувальної геодезичної мережі будівельного майданчика (пункти будівельної сітки)
- ◇ – точки закріплення основних осей споруди ( на обносці)
- – точки закріплення будівельних осей ( внутрішня геодезична розмічувальна мережа)

Рис. 1. Типова схема розмічувальних робіт з використанням TPS-вимірів відносно базової лінії

Сформульовано основний принцип побудови спеціальних інженерно-геодезичних розпланувальних мереж, який докорінно відрізнявся від основного принципу побудови геодезичних мереж тим, що точність вимірів не знижується, а підвищується у разі переходу від вищого ступеня до нижчого.

На жаль, в новому нормативному документі [2] цей принцип чітко не прописаний. Тому наведемо в дослідному перекладі цитату з [3] “...Якщо в загальному випадку головні осі можуть бути визначені на місцевості з похибкою 3–5 см, а іноді і менш точно, то основні і детальні осі розмічаються з точністю 2–3 мм, а то і точніше.... Після завершення будівництва фундаментів

розмічають і закріплюють монтажні (технологічні) осі...Цей етап вимагає найвищої точності геодезичних вимірів (1–0,1 мм і точніше)". Що стосується особливо останнього етапу, то монтажні осі обов'язково розмічаються тільки від однієї осі, прийнятої за вихідну.

Повністю дотримуючись цього принципу, а також враховуючи можливості сучасних TPS, пропонується розпланувальні роботи на будь-якій стадії вести за типовою схемою (у режимі вимірів відносно базової лінії), яка дає змогу позбутися похибок вихідних даних. У бібліотеках прикладних програм деяких сучасних ЕТ є відповідне програмне забезпечення, яке цей режим підтримує. Проте в літературі відсутні формули для оцінювання точності таких вимірів і, відповідно, наукове обґрунтування сфери і методики їх використання.

**Виклад основного матеріалу.** Суть схеми, яка пропонується, в такому. На місцевості або на вихідному чи монтажному горизонті розмічається і закріплюється мінімум двома точками А і В вихідна вісь (базова лінія), яка збігається з віссю Х чи Y системи координат, в якій відомі проектні координати точок осей, що необхідно закріпити в натурі (див. рис. 1). Залежно від того, який вид робіт ми виконуємо, це може бути як одна із осей будівельної сітки, так і одна з головних осей будівлі, закріплена на обносці чи основна розмічувальна вісь на вихідному чи монтажному горизонті. У першому випадку ми будемо вести розпланування головних осей споруди, в другому – розмічування будівельних чи монтажних осей.

Оскільки точність взаємного розміщення проектних точок, (точок, що розмічаються) вимагається набагато більшою, ніж точність взаємного положення точок А і В, задаємося координатами тільки точки А і дирекційним кутом лінії АВ, що дорівнює  $0^0$  або  $90^0$  залежно від того, як пораховано проектні координати точок. Як правило, початок координат знаходиться в точці А. ЕТ встановлюємо в точці С, найзручнішій для роботи з розмічування об'єкта, і виміряємо відстані  $l_1$  і  $l_2$  та кут  $\gamma$ . Це мінімальна кількість вимірів, за якими ми можемо знайти умовні координати (з початком в точці А) точки С, і саме в такій орієнтації вони подаються в робочих кресленнях :

$$y = l_1 \sin \beta, \quad x = l_1 \cos \beta. \quad (1)$$

Кут  $\beta$  можемо знайти, використовуючи аналітичну залежність, наведену (для розв'язання задачі винесення точки на створ АВ за відсутності видимості по створу):

$$\beta = \arccos \frac{l_1 \sin \gamma}{l_2} - \gamma \quad (2)$$

За формулами (1) і (2) знаходимо координати станції, де встановлено ЕТ. Далі, використовуючи стандартні можливості ЕТ розмічуємо за проектними координатами потрібні точки (осі).

Для доказу того, що і потрібної точності розмічування на всіх стадіях досягають практично з одноразових вимірів, знайдемо СКП визначення величин –  $m_x$  і  $m_y$  залежно від СКП визначення відстаней  $m_l$  та кута  $m_\gamma$ .

Після очевидних, хоча і доволі громіздких перетворень, які ми тут не наводимо з огляду обсягу статті, на основі (1) і (2) одержали:

$$m_y = \sqrt{(l_1 \cos \beta m_l / \rho)^2 + (m_l \sin \beta)^2}, \quad (3)$$

$$m_x = \sqrt{(l_1 \sin \beta m_l / \rho)^2 + (m_l \cos \beta)^2}, \quad (4)$$

де

$$m_l = \sqrt{\frac{a^2}{l_1^2 \sin^2 \gamma} + \frac{a^2 l_1^2}{l_2^2 \sin^2 \gamma} \rho^2 + \frac{l_2^2 (l_2 - l_1 \cos \gamma)^2}{l_1^2 \sin^2 \gamma} m_\gamma^2}, \quad (5)$$

$$a = \frac{1}{1 + \frac{l_1}{l_2 \sin \gamma} - \cos \gamma}. \quad (6)$$

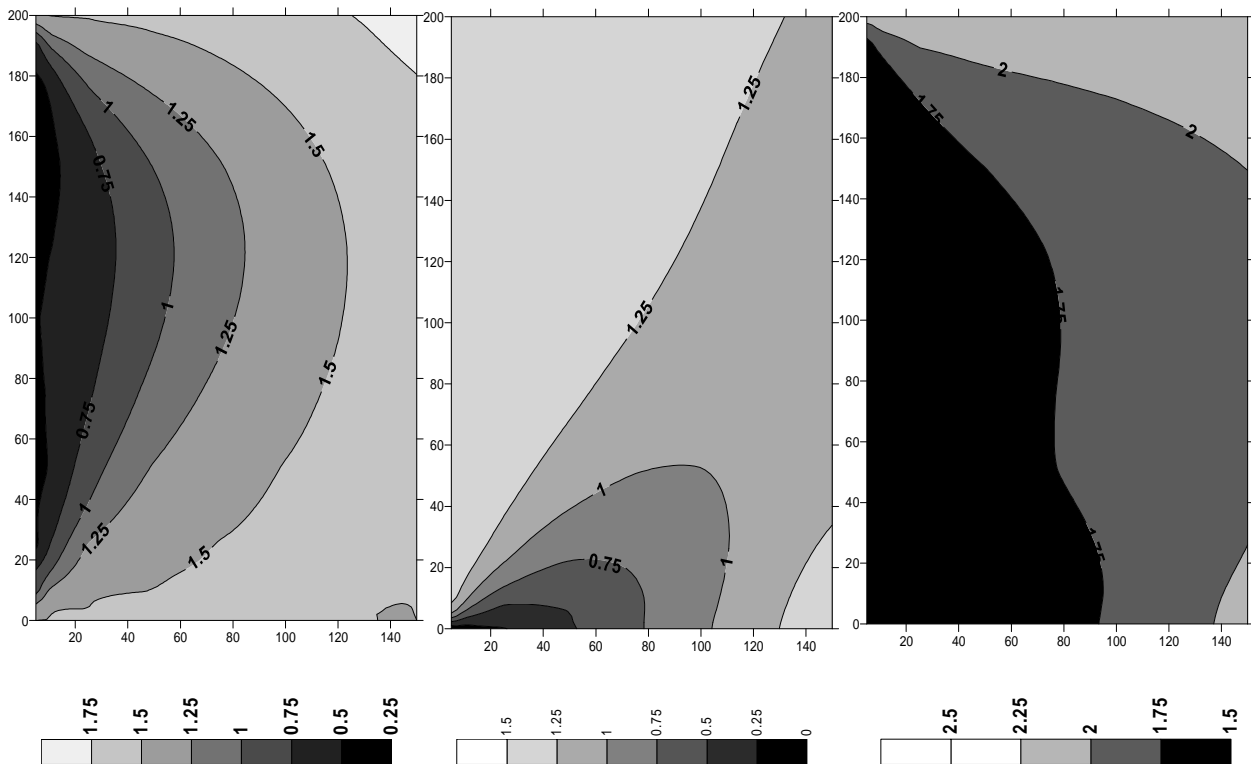


Рис. 2. Значення  $m_y$ ,  $m_x$  і  $m$  залежно від положення т.С на будівлі за довжини вихідної осі 200 м

Припустимо, що А і В – пункти, які закріплюють в природі головну вихідну вісь споруди або комплексу споруд, пов’язаних єдиним технологічним циклом, відносно якої розмічуємо і закріплюємо за координатами основні і додаткові осі, знаходяться на віддалі навіть 200м, тобто  $X_{т.А}=Y_{т.А}=Y_{т.В}=0$  і  $X_{т.В}=200$  м. Значення  $m_x$  і  $m_y$ , обчислені за формулами (4) і (3) залежно від положення т.С на будівельному майданчику, наведено на рис. 2.

Для побудови рис. 2 використовували таку методику. Для кожного вузла квадратної сітки з кроком 10 м за прямокутними координатами вузла підраховували відстані  $l_1$  і  $l_2$  та кут  $\gamma$ . Потім для знайдених значень за формулами (6), (5), (4), (3) і (7) знаходили відповідні значення  $m_x$ ,  $m_y$  і  $m$ . При підрахунку приймали  $m_l=0,0015$  м і  $m_\gamma=2''$ . За одержаним grid файлом в графічному редакторі SURFER будували відповідні контурні карти, використовуючи апроксимацію методом Kriging ( див. рис. 2 і 3).

Наприклад, якщо т.С має координати  $x = 100$  м і  $y = 60$  м, то за рис. 2 знайдемо, що точність визначення  $m_y = 1,1$  мм і  $m_x = 1,3$  мм і відповідно  $m = 1,7$  мм, де

$$m = \sqrt{m_x^2 + m_y^2}. \quad (7)$$

Розрахунки показали, що залежно від положення т.С мінімальні і максимальні значення СКП становлять відповідно

$$m_{y \max} = 1,8 \text{ мм}, m_{y \min} = 0,3 \text{ мм}, m_{x \max} = 1,5 \text{ мм}, m_{x \min} = 0,06 \text{ мм}, m_{\max} = 2,19 \text{ мм}, m_{\min} = 1,50 \text{ мм}.$$

Аналіз також показує, що спосіб забезпечує порівняно високу точність виставлення точок у створі осі, перевірки прямолінійності осі за контрольними точками тощо. Так, якщо інструмент встановлено на відстані до 15м від створу, то за винятком 20-метрової області поблизу точок А і В, можна досягти значень  $m_y$  в границях навіть  $0,3 \div 0,5$ мм.

Загальна СКП розмічування точок –  $Mp$  запропонованим способом дорівнює:

$$Mp = \sqrt{m_{cm}^2 + m_{ET}^2}, \quad (8)$$

де  $m_{cm}$  – СКП визначення планового положення станції, з якої розмічують осі, яка знаходиться за формулою (7);  $m_{ET}$  – СКП розмічування точки ET способом полярних координат, або в режимі вимірів зі зміщенням. Її відповідні складові визначаються за відомими [2] формулами

$$m_{\Delta x}^2 = \cos^2(\alpha - \beta)m_s^2 + s^2 \sin^2(\alpha - \beta) \frac{m_\beta^2}{\rho^2} \quad (9)$$

$$m_{\Delta y}^2 = \cos^2(\alpha - \beta)m_s^2 + s^2 \cos^2(\alpha - \beta) \frac{m_\beta^2}{\rho^2}, \quad (10)$$

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

Для максимального значення, на основі (10) і (9) після нескладних, очевидних перетворень одержимо:

$$m_{ET}^2 = m_s^2 + \frac{m_\beta^2}{\rho^2} S^2. \quad (11)$$

Для того самого двосекундного ET і відстані навіть 100 м,  $m_{ET} = 1,8$  мм. Тобто реально навіть з одноразових вимірів розмічувати осі з точністю в границях 2–3 мм. Тому запропонована схема (одна вихідна вісь, закріплена 2 точками) в переважній більшості випадків може повністю замінити зовнішню і внутрішню розмічувальну мережу (за термінологією, прийнятою в [2]) будівлі або комплексу будівель, пов'язаних єдиним технологічним циклом.

У разі відповідальної роботи досвідченого виконавця метрологічно повіреним ET нормативна точність забезпечується автоматично, можливі тільки грубі помилки, спричинені неправильним наведенням на точки А або В (“прострілами”). Для надійного контролю і апріорної оцінки точності слід перевіряти роботи з виносу в натуру точок А і В, виконувати розмічування точок осей мінімум з двох станцій (С) на кожній за даними вимірів, визначати (за теоремою косинусів) довжину лінії АВ, а також обов'язково виконувати контрольні вимірювання відстаней між розміченими точками.

На рис. 3 наведено також дані з визначення  $m_x$ ,  $m_y$  і  $m$  залежно від положення т. С на будівельному майданчику за довжини вихідної осі 1000 м. При підрахунку приймали  $m_1=0,004$  м і  $m_2=2''$ . Залежно від положення т.С на майданчику мінімальні і максимальні значення СКП становлять відповідно:

$$m_{y \max} = 4,0 \text{ мм}, m_{y \min} = 0,7 \text{ мм}, m_{x \max} = 4,0 \text{ мм}, m_{x \min} = 0,05 \text{ мм}, m_{\max} = 4,7 \text{ мм}, m_{\min} = 4,0 \text{ мм}.$$

Якщо вважати, що СКП визначення координат точок будівельної сітки у найслабшому місці можуть дорівнювати 10 см, то на будівельних майданчиках розміром до 1 км<sup>2</sup> будувати будівельну сітку недоцільно, достатньо від пунктів ДГМ винести в натуру одну вісь, закріпивши її 2–4 точками залежно від рельєфу місцевості (враховуючи необхідність забезпечення видимості).

Запропонована схема вже повністю реалізована в ET серії NTS фірми “SOUTH” – прикладна програма “Виміри відносно базової лінії”. Звернемо увагу ще раз на те, що умовні координати точки, в якій встановлено прилад (т. С), можна знайти, не знаючи координат точки В, яка задає вихідну вісь (базисну лінію), а тільки задавшись дирекційним кутом лінії АВ (0°). Це, на нашу думку, робить ідеальним використання такої методики на всіх стадіях розпланувальних робіт, оскільки точність розпланування точки В не впливає на геометричні параметри, а тільки на орієнтування споруди, що виноситься в натуру.

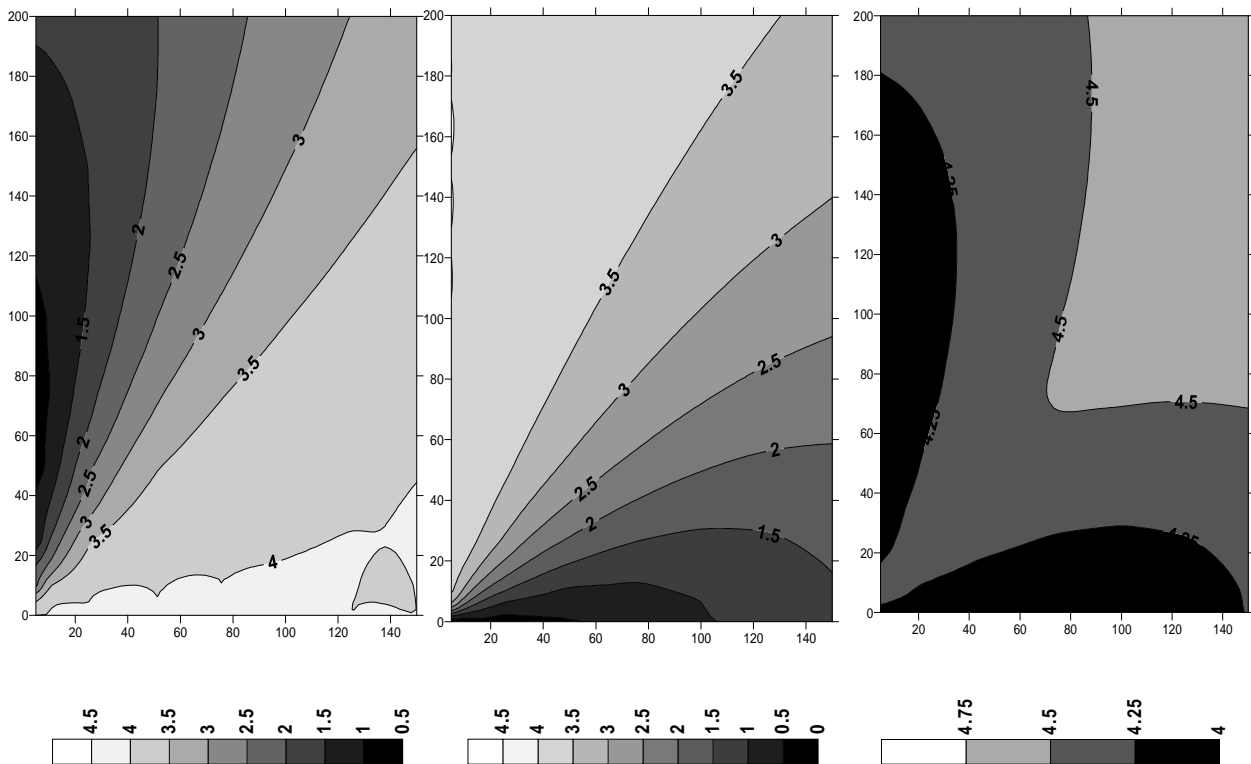


Рис. 3. Значення  $t_x$ ,  $t_y$  і  $t$  залежно від положення  $t.C$  на будівельному майданчику за довжини вихідної осі 1000 м

Зазначимо також, що ET серії SET фірми “SOKKIA”, на жаль, поки що не мають стандартної програми, яка розв’язує розглядувану задачу, на відміну від серії NTS фірми “SOUTH”. У стандартній програмі ET серії SET базисна лінія повинна задаватись координатами двох станцій, тому необхідно попередньо виміряти відстань АВ з точністю не нижчою, ніж роботи з розмічування і ввести координати  $X_t.A=Y_t.B=Y_t.A=0$  і  $X_t.B=S_{AB}$ , що загалом не складно. Точність одержимо ще більшу, з автоматичним контролем, оскільки ET цього типу вирішують обернену засічку за допомогою прикладної програми, яка урівнює лінійно-кутову мережу.

**Висновки.** Результати математичного моделювання і експериментальні дослідження підтвердили, що спосіб, в основу якого покладено виміри відносно базової лінії ET, забезпечує потрібну точність розпланування як основних, так і будівельних та монтажних осей, не вимагає створення класичних будівельних сіток.

1. Відуєв М.Г. Інженерна геодезія / М.Г. Відуєв, Д.І. Ракітов. – К.: Держбудвидав УРСР, 1959. – 251 с. 2. ДБН Б В.1.3-2:2010 Система забезпечення точності геометричних параметрів у будівництві Геодезичні роботи у будівництві. 3. Левчук Г.П. Прикладная геодезия. Основные методы и принципы инженерно-геодезических работ / Г.П. Левчук, В.Е. Новак, В.Г. Конусов. – М.: Недра, 1981. – 438 с.