УДК 528.14 + 528.4 + 528.3

Б. БАЧИШИН

Кафедра геодезії та картографії, Національний університет водного господарства та природокористування, вул. Соборна, 11, Рівне, 33028, Україна, тел. 063-68-86-298, ел. пошта bachyshyn@ukr.net

СПІЛЬНЕ ЗРІВНОВАЖЕННЯ ПЛАНОВОГО ТА ВИСОТНОГО ПОЛОЖЕННЯ ВІЛЬНОЇ СТАНЦІЇ

Мета цієї роботи – розроблення способу одночасного зрівноваження планових та висотної координат вільної станції. **Методика.** Розглянуто два випадки зрівноваження координат вільної станції: *перший* – роздільне зрівнювання планового і висотного положення (вимірними величинами при цьому є горизонтальна віддаль, горизонтальний напрямок та перевищення), *другий* – одночасне спільне зрівнювання просторових координат (вимірні величини тут – похила віддаль, горизонтальний напрямок та кут нахилу). Отримано параметричні рівняння поправок для обох випадків. Проведено експеримент із тахеометром TCR 405 ultra, під час якого змодельовано ситуацію, коли нам відомі теоретичні значення координат вільної станції. Реалізовано різні варіанти вільної станції – із двома та з трьома вихідними пунктами, із закріпленням пунктів на стінах будівель, на землі (із використанням віхи) та на штативах, а також із вимірюваннями в режимах “на відбивач” та “без відбивача”. Під час зрівноваження результатів дослідження опрацьовано ще два варіанти: із використанням ваг вимірних величин та без застосування таких ваг. Виконано порівняльний аналіз усіх варіантів вимірювання та зрівноваження між собою та із результатом, отриманим прикладною програмою тахеометра. **Результати.** Результати дослідження свідчать про те, що запропонований спосіб забезпечує здебільшого кращу якість визначення координат. Координати тахеометра визначаються точніше, коли вихідні пункти закріплені на стіні будинку, а вимірювання виконуються у режимі “без відбивача”. Застосування ваг вимірних величин під час зрівноваження істотно підвищує точність визначення кінцевих координат. **Наукова новизна та практична значущість.** Запропоновано модифікацію параметричного способу одночасного спільного зрівнювання планового та висотного положень вільної станції. Реалізовано дослідження різних варіантів зрівноваження координат вільної станції: з одночасним зрівноваженням та з роздільним зрівноваженням планового і висотного положення, а також із використанням ваг та без використання ваг вимірних величин. Проведено експеримент, який дав змогу змодельовати ситуацію, коли відомі теоретичні значення координат вільної станції. Сформульовано практичні рекомендації для виконання вимірювань та зрівноваження координат вільної станції.

Ключові слова: вільна станція; зрівноваження; планове положення, висотне положення; електронний тахеометр.

Вступ

Вільна станція – ефективний та поширений спосіб визначення координат опорних точок. Сфери геодезичних робіт, де вона використовується, – найрізноманітніші: топографічні знімання, землеустрій, інженерно-геодезичні вимірювання, розмічувальні роботи [Moeser M., 2012]. Продовжуються дослідження щодо застосування цього способу для унікальних робіт, серед яких: контроль виготовлення сталевих балок мосту [Danni L., 2010], робота в режимі слідкування в системах моніторингу залізниць [Zhu H., 2009], морські знімання в косій системі координат [Stepien G., 2019]. В останній праці наведено алгоритм трансформації між косою системою координат та традиційною – прямокутною. Коса система часто застосовується, коли потрібно описати просторове положення складних за формою промислових

об'єктів. Спосіб вільної станції використовують для наземних сканерів у автоматизованих комплексах для моніторингу залізниць, реалізованих у спеціалізованих вагонах (чи поїздах), які дають змогу контролювати близько 100 геометричних параметрів колії на швидкості руху поїзда до 250 км/год.

За традицією у практиці зрівнювальних робіт для геодезичних мереж опрацювання планових та висотних мереж, відповідно планових та висотних координат, здійснювали завжди окремо [Войтенко С., 2005; Зазуляк П., 2007; Метешкін К., 2012; Видуев Н., 1978]. В більшості статей досліджується алгоритм обчислення та оцінки точності лише планового положення вільної станції [Zhu H., 2009; Пряха Б., 2007; Старовєров В., 1998; Пряха Б., 1997]. Детальний аналіз помилок, які впливають на точність планового положення вільної станції з використанням електронного тахео-

метра, викладено в [Marshall A., 2007]. Ефективне застосування вільної станції в сучасному геодезичному виробництві можливе лише за умови одночасного визначення планового і висотного положення тахеометра – одразу зрівноважених просторових координат X, Y, Z .

Мета

Метою цієї роботи є розроблення способу одночасного зрівноваження планових та висотної координат вільної станції.

Методика

У разі використання електронного тахеометра за способом вільної станції положення приладу визначається оберненою просторовою лінійно-кутовою засічкою (рис. 1). Мінімальна кількість вихідних пунктів – два. На рис. 1: 1, 2 – вихідні пункти, Т – точка встановлення тахеометра. Деякі тахеометри дають змогу охопити вимірюванням до п'яти вихідних пунктів [Leica Geosystems, 2010].

Рис. 1. Схема вільної станції

Традиційно [Войтенко С., 2005; Зазуляк П., 2007; Метешкін К., 2012; Видуев Н., 1978] під час зрівноваження планових мереж вимірюваними величинами вважають горизонтальні кути (напрямки) та горизонтальні віддалі – D , а висотних – перевищення h . Насправді вимірюваними величинами тут є похилі віддалі S , кути нахилу n та горизонтальні напрямки b відповідно на пункти 1 і 2 (рис. 1). В цьому дослідженні ми розглянемо два випадки: **перший** – роздільне зрівнювання планового і висотного положення вільної станції (вимірюваними величинами вважатимемо горизонтальну віддаль, горизонтальний напрямок та перевищення), **другий** – одночасне спільне зрівнювання просторових координат (вимірюваними величинами вважатимемо похилу віддаль, горизонтальний напрямок та кут нахилу), і порівняємо отримані результати.

Розглядатимемо параметричний спосіб зрівноваження як найуніверсальніший та такий, що найкраще реалізується програмно. Як параметри виберемо невідомі координати точки Т X_T, Y_T, H_T .

Для **першого випадку** матимемо таку систему рівняння поправок

$$\begin{aligned} u_{D_{T1}} &= -\cos a_{T1} \Delta X - \sin a_{T1} \Delta Y + l_{D_{T1}} \\ u_{D_{T2}} &= -\cos a_{T2} \Delta X - \sin a_{T2} \Delta Y + l_{D_{T2}} \\ u_{b_{T1}} &= \frac{r}{D_{T1}} (\sin a_{T1} \Delta X - \cos a_{T1} \Delta Y) - \\ &\quad - t_{a_0} + l_{b_{T1}} \\ u_{b_{T2}} &= \frac{r}{D_{T2}} (\sin a_{T2} \Delta X - \cos a_{T2} \Delta Y) - \\ &\quad - t_{a_0} + l_{b_{T2}} \\ u_{h_{T1}} &= -t_H + l_{h_{T1}} \\ u_{h_{T2}} &= -t_H + l_{h_{T2}} \end{aligned} \quad (1)$$

де $u_{D_{T1}}, u_{D_{T2}}$ – поправки у значення горизонтальних віддалей $T1, T2$; $u_{b_{T1}}, u_{b_{T2}}$ – поправки у виміряні значення горизонтальних напрямків $T1, T2$, $u_{h_{T1}}, u_{h_{T2}}$ – поправки у значення перевищень цих напрямків, t_X, t_Y, t_H, t_{a_0} – поправки у наближені значення координат вільної станції X, Y, H та дирекційного кута нуля відліку горизонтальних напрямків, a_{T1}, a_{T2} – значення дирекційних кутів напрямків $T1, T2$, D_{T1}, D_{T2} – горизонтальні віддалі цих напрямків, $l_{D_{T1}}, l_{D_{T2}}, l_{b_{T1}}, l_{b_{T2}}, l_{h_{T1}}, l_{h_{T2}}$ – вільні члени відповідних рівнянь поправок, які вираховуються як різниця наближених та виміряних значень. Два останні рівняння системи (1) ніяк не зв'язані із першими чотирма, тому фактично маємо дві окремі системи – для планових координат та для висоти вільної станції.

У **другому випадку** одержимо таку систему рівнянь

$$\begin{aligned} u_{S_{T1}} &= -\cos a_{T1} \cos n_{T1} \Delta X - \\ &\quad - \sin a_{T1} \cos n_{T1} \Delta Y - \sin n_{T1} \Delta H + l_{S_{T1}} \\ u_{S_{T2}} &= -\cos a_{T2} \cos n_{T2} \Delta X - \\ &\quad - \sin a_{T2} \cos n_{T2} \Delta Y - \sin n_{T2} \Delta H + l_{S_{T2}} \\ u_{b_{T1}} &= \frac{r}{D_{T1}} (\sin a_{T1} \Delta X - \cos a_{T1} \Delta Y) - \\ &\quad - t_{a_0} + l_{b_{T1}} \\ u_{b_{T2}} &= \frac{r}{D_{T2}} (\sin a_{T2} \Delta X - \cos a_{T2} \Delta Y) - \\ &\quad - t_{a_0} + l_{b_{T2}} \\ u_{v_{T1}} &= -\frac{r}{D_{T1}} \Delta H + l_{n_{T1}} \\ u_{v_{T2}} &= -\frac{r}{D_{T2}} \Delta H + l_{n_{T2}} \end{aligned} \quad (2)$$

де $u_{S_{T1}}, u_{S_{T2}}$ – поправки у виміряні значення похилих віддалей $T1, T2$; $u_{n_{T1}}, u_{n_{T2}}$ – поправки у виміряні

ні значення вертикальних кутів цих напрямків; $l_{ST1}, l_{ST2}, l_{nT1}, l_{nT2}$ – вільні члени відповідних рівнянь поправок.

У разі використання вимірів на більшу кількість вихідних пунктів до систем (1) та (2) додадуться аналогічні рівняння на наступні напрямки.

Важливим питанням є призначення ваг вимірних величин у лінійно-кутовій засічці. Для віддалей, вимірюваних електронним тахеометром, вагу визначають як

$$P_S = \frac{C}{a + b \times S}, \quad (3)$$

де $C = const$; a – постійна складова похибки вимірювання віддалей; $b \times S$ – складова, що залежить від значення вимірюваної віддалі. Для горизонтальних та вертикальних напрямків вагу обчислимо як

$$P_b = \frac{C}{m_b}$$

$$P_n = \frac{C}{m_n}, \quad (4)$$

де m_b , m_n – середні квадратичні похибки вимірювання горизонтального та вертикального напрямків відповідно. Питання призначення C для лінійно-кутових мереж залишається дискусійним. Популярним [Войтенко С., 2005] є підхід, за яким

$$C = m_b \quad (5)$$

а

$$P_b = 1. \quad (6)$$

Тут застосуємо цей підхід.

Для визначення ваги перевищення у разі роздільного зрівнювання вільної станції необхідно знати середню квадратичну похибку перевищення із тригонометричного нівелювання електронним тахеометром

$$m_h = \sqrt{\sin^2 n \times m_S^2 + S^2 \cos^2 n \times m_n^2 / r^2}, \quad (7)$$

де m_S – середня квадратична похибка вимірювання похилої віддалі.

Алгоритм переходу до нормальних рівнянь, їх розв'язання, обчислення зрівноважених значень та оцінка точності є традиційними [Войтенко С., 2005; Зазуляк П., 2007; Метешкін К., 2012; Видуев Н., 1978].

Для практичної апробації розробленого способу використано польові результати визначення положення вільної станції тахеометром TCR 405 ultra. Експеримент поставлено так. Точці стояння тахеометра були присвоєні умовні координати. Координати точок 81–84, 411–413, 421–423 визначено з цієї станції в режимі знімання. Після того ці точки прийняті за вихідні, а координати тахеометра, який залишився нерухомим, визначено вільною станцією. Тобто ми змоделювали ситуацію, коли відомі “теоретичні” координати точки Т. Реалізовано чотири варіанти вільної станції.

У першому варіанті (станція ST 707) вихідних пунктів два, вони закріплені на стінах будівель, а вимірювання виконано в режимі “без відбивача”, у другому (станція ST 708) – вихідних пунктів теж два, але вони закріплені на землі, вимірювання виконано на відбивач, закріплений на штанзі. Третій варіант (станція ST 402) – три вихідних пункти, закріплені на стінах із вимірюванням у режимі “без відбивача”. У четвертому варіанті (станція ST 401) використано три вихідних пункти, якими вибрано відбивачі, встановлені на штативах. У всіх варіантах відповідні пункти, закріплені на стінах, та пункти, закріплені на землі (чи на штативах), вибрані близько один до одного для того, щоб зберегти рівність віддалей та однакову геометрію засічки для варіантів вимірювання “на відбивач” та “без відбивача”. Вихідні пункти розташовані на віддалі від 45 до 66 м від станції. У всіх випадках прийнято, що висота відбивача дорівнює 0, для уникнення зайвих помилок вимірювання. Тобто як пункт у випадках вимірювання у режимі “на відбивач” було прийнято не точку на землі, а центр призми відбивача.

Результати

Під час опрацювання результатів реалізовано два варіанти зрівнювання вільної станції: з урахуванням ваг та без урахування ваг вимірних величин. У табл. 1–4 наведено відхилення координат вільної станції $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$, відхилення у плані $\Delta_{\text{планове}}$

$$\Delta_{\text{планове}} = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2}, \quad (8)$$

відхилення просторове $\Delta_{\text{просторове}}$

$$\Delta_{\text{просторове}} = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2 + \Delta Z^2} \quad (9)$$

у різних варіантах від теоретичного значення та середні квадратичні похибки зрівноважених значень координат та вимірних величин. Першим варіантом зрівнювання одержано дані, опрацьовані процесором тахеометра TCR 405 ultra. Відхилення координат вільної станції, які “вирахував сам тахеометр”, зведено до цілих міліметра, бо на табло тахеометра виводяться результати, округлені до цілих міліметра.

Із результатів експерименту видно, що у всіх варіантах зрівнювання координати вільної станції визначаються точніше, коли вихідні пункти закріплені на стіні будинку, тобто коли вимірювання віддалі виконується у режимі “без відбивача”, попри те, що точність вимірювання віддалі в цьому режимі нижча, ніж у режимі “на відбивач”. Результати одночасного спільного зрівнювання всіх трьох координат станції виявилися трохи кращими за результати роздільного зрівнювання планових координат та висоти. Проте в двох випадках вимірювання “на відбивач” та коли зрівнювання виконувалося без урахування ваг вимірних величин, результати роздільного опрацювання виявилися кращими. Результати зрівноваження без застосування ваг вимірних величин виявилися у всіх випадках

гіршими за дані, опрацьовані тахеометром. Але використання ваг різко покращує ситуацію на користь обох випадків зрівноваження. Проте таке порівняння результатів зрівноваження з даними, отриманими з тахеометра, не дає змоги до кінця прояснити реальну

картину, тому що дані з тахеометра автоматично округлені до цілих одиниць міліметрів. Найкращий результат з погляду точності для всіх варіантів отримано у разі використання для зрівноваження ваг вимірюваних величин (див. табл. 1–4).

Таблиця 1

Відхилення координат вільної станції від теоретичного значення для станції ST 708 (з двома вихідними пунктами (84, 81) з вимірюванням “на відбивач”, відбивач закріплений на штанзі) та середні квадратичні похибки зрівноважених величин

Параметр	Варіанти зрівнювання				
	тахеометром TCR 405	спільне без ваг	спільне з вагами	роздільне без ваг	роздільне з вагами
ΔX , мм	0	1,4	1,2	1,4	1,2
ΔY , мм	-2	-0,2	-0,4	-0,2	-0,4
ΔZ , мм	2	2,7	2,7	2,0	2,0
$\Delta_{\text{планове}}$, мм	2,0	1,4	1,3	1,4	1,3
$\Delta_{\text{просторове}}$, мм	2,8	3,0	3,0	2,4	2,4
m_X , мм	2,0	2,1	2,0	0,8	1,3
m_Y , мм	2,0	2,5	2,4	1,0	1,5
m_Z , мм	3,0	1,6	1,7	2,2	2,0
m_b , с	4,0	7,6	7,5	3,1	4,8
m_n , с		5,6	5,8		
m_S , мм		2,3	2,2	0,9	1,4
m_h , мм				2,2	2,0

Таблиця 2

Відхилення координат вільної станції від теоретичного значення для станції ST 707 (з двома вихідними пунктами (82, 83), з вимірюванням “без відбивача”, точки закріплені на стінах будинків) та середні квадратичні похибки зрівноважених величин

Параметр	Варіанти зрівнювання				
	тахеометром TCR 405	спільне без ваг	спільне з вагами	роздільне без ваг	роздільне з вага- ми
ΔX , мм	-1	-0,9	-0,8	-0,9	-0,8
ΔY , мм	0	1,2	1,0	1,2	1,0
ΔZ , мм	1	0,3	0,3	0,5	0,5
$\Delta_{\text{планове}}$, мм	1,0	1,5	1,3	1,5	1,3
$\Delta_{\text{просторове}}$, мм	1,4	1,5	1,3	1,6	1,4
m_X , мм	1,0	0,9	0,9	0,5	0,7
m_Y , мм	1,0	1,1	1,1	0,6	0,8
m_Z , мм	0,0	0,7	0,7	1,3	1,0
m_b , с	3,0	3,3	3,4	1,7	2,4
m_n , с		2,4	2,6		
m_S , мм		1,0	1,0	0,5	0,7
m_h , мм				1,3	1,0

Таблиця 3

Відхилення координат вільної станції від теоретичного значення для станції ST 401 (з трьома вихідними пунктами (411, 412, 413), з вимірюванням “на відбивач”, відбивач закріплений на штативах) та середні квадратичні похибки зрівноважених величин

Параметр	Варіанти зрівнювання				
	тахеометром TCR 405	спільне без ваг	спільне з вагами	роздільне без ваг	роздільне з вагами
ΔX , мм	1	0,0	0,0	0,0	0,1
ΔY , мм	0	1,5	1,4	1,5	1,4
ΔZ , мм	3	3,7	0,0	3,1	0,0
$\Delta_{\text{планове}}$, мм	1,0	1,5	1,4	1,5	1,4
$\Delta_{\text{просторове}}$, мм	3,2	4,0	1,4	3,4	1,4
m_x , мм	1,0	2,3	4,2	1,2	1,9
m_y , мм	1,0	1,6	3,1	0,9	1,4
m_z , мм	2,0	1,2	2,5	2,8	2,5
m_b , с	2,0	6,8	6,5	3,7	3,5
m_n , с		5,0	5,0		
m_s , мм		2,1	1,9	1,1	1,0
m_h , мм				2,8	1,5

Таблиця 4

Відхилення координат вільної станції від теоретичного значення для станції ST 402 (з трьома вихідними пунктами (421, 422, 423) з вимірюванням “без відбивача”, точки закріплені на стінах будинків) та середні квадратичні похибки зрівноважених величин

Параметр	Варіанти зрівнювання				
	тахеометром TCR 405	спільне без ваг	спільне з вагами	роздільне без ваг	роздільне з вагами
ΔX , мм	0,0	-0,2	-0,1	-0,2	-0,2
ΔY , мм	0,0	0,3	0,3	0,3	0,3
ΔZ , мм	-1,0	-1,6	0,0	-1,4	0,0
$\Delta_{\text{планове}}$, мм	0,0	0,4	0,3	0,4	0,4
$\Delta_{\text{просторове}}$, мм	1,0	1,6	0,3	1,4	0,4
m_x , мм	0,0	1,1	3,4	0,7	1,0
m_y , мм	0,0	0,8	2,4	0,5	0,7
m_z , мм	1,0	0,6	1,0	1,7	1,3
m_b , с	1,0	3,2	3,2	2,2	2,1
m_n , с		2,4	1,3		
m_s , мм		1,0	1,0	0,7	0,7
m_h , мм				1,7	0,9

Наукова новизна і практична значущість

Запропоновано модифікацію параметричного способу зрівноваження вільної станції, який полягає в одночасному спільному зрівнюванні планового та висотного положень тахеометра. Реалізовано дослідження різних варіантів зрівноваження координат вільної станції: з одночасним зрівноваженням та з роздільним зрівноваженням планового і висотного

положення, а також із використанням ваг та без використання ваг вимірюваних величин. Результати дослідження свідчать про те, що здебільшого запропонований спосіб забезпечує кращу якість визначення координат.

Проведено експеримент, який дав змогу змодельовувати ситуацію, коли нам відомі теоретичні значення координат вільної станції.

Сформульовано практичні рекомендації для виконання вимірювань та зрівноваження координат вільної станції, основні з яких:

- необхідність застосування ваг вимірних величин;
- широке використання для інженерно-геодезичних робіт як пунктів точок, якісно замаркованих на стінах будівель.

Висновки

Розроблено спосіб одночасного спільного зрівноваження планових та висотної координат вільної станції, який є модифікацією параметричного способу зрівноваження геодезичних мереж.

Виконано експериментальні дослідження із тахеометром TCR 405 ultra. Проведений експеримент дав змогу змодельовати ситуацію, коли відомі теоретичні значення координат вільної станції.

Спільне одночасне зрівноваження планових та висотної координат переважно дає кращий результат у разі використання ваг вимірних величин і його можна рекомендувати для практичного застосування.

Результати роздільного зрівноваження не відрізняються суттєво від результатів одночасного спільного опрацювання.

Використання ваг вимірних величин істотно покращує результати зрівноваження, тому рекомендуємо застосування таких ваг під час зрівноваження координат вільної станції.

Точніше координати вільної станції визначали у випадках, коли вихідні пункти були закріплені на стінах будівель, хоч похибка вимірювання віддалі в режимі “без відбивача” є більшою. Тому можна рекомендувати широко використовувати для інженерно-геодезичних робіт як пункти точки, якісно замарковані на стінах будівель, деформації яких закінчилися.

Література

Войтенко С. П. (2005). Математична обробка геодезичних вимірів. Метод найменших квадратів: навч. посіб. К.: КНУБА, 236 с.

Видуев Н. Г., Григоренко А. Г. (1978). Математическая обработка геодезических измерений: учеб. пособ. для вузов. К.: Вища шк., 376 с.

Зазуляк П. М., Гавриш В. І., Євсєєва Е. М., Йосипчук М. Д. (2007). Основи математичного опрацювання геодезичних вимірювань: навч. посіб. Львів: Растр-7, 408 с.

Метешкін К. О., Шаульський Д. В. (2012). Математична обробка геодезичних вимірів: навч. посіб.; Харк. нац. акад. міськ. госп-ва. Х.: ХНАМГ, 176 с.

Пряха Б. (2007). Про метод вільної станції. *Інженерна геодезія*, Вип. 53, С. 193–201.

Пряха Б. (1997). Вирівнювання вільної станції. *Інженерна геодезія*, Вип. 38, С. 94–98.

Староверов В. С., Бачишин Б. Д. (1998). Точність планового положення пункту, визначеного оберненою лінійно-кутовою засічкою. *Інженерна геодезія*, Вип. 39, С. 140–141.

Danni L, Linya T, Jinfeng W, et al (2010). The application of liberal station method with total station in the detection of steel box girder manufacture [J]. *Geotechnical Investigation & Surveying*, 3, P. 73–76.

Leica Geosystems (2010). Leica TPS400/TPS410C series. User guide, 150 с.

Marshall A. (2008). Analysis of free station errors. *Survey quarterly National school of Surveying*, 53, P. 5–7.

Moeser M., Hoffmeister H., Mueller G., Schlemmer H., Staiger R., Wanninger L. (2012). Handbuch Ingenieurgeodäsie – Grundlagen (PDF) (in German) (4 ed.). Heidelberg: Wichmann, pp. 461, 476.

Stepien G., Tomczak A. & Ziebka T (2019). Application of total free station method (TFS) for offshore surveying in oblique coordinate system. *International Journal of Advances in Science Engineering and Technology*, Vol. 7, P. 32–37.

Zhu H., Wu W. & Wang Z. (2009). Study on the Free-positioning of ETS in the PDL Track Surveying System. *Modern applied science*, Vol. 3, No. 3, P. 128–131.

В. BACHYSHYN

Department Geodesy and cartography of National university of Water and Environmental Engineering, 11, Soborna str., Rivne, 33028, Ukraine, tel. 063-68-86-298, e-mail bachyshyn@ukr.net.

COMMON ADJUSTMENT OF THE PLANNED AND HIGH POSITION OF THE FREE STATION

Purpose. The purpose of this work is to develop method of simultaneous adjustment the planar and altitude coordinates of a free station. **Methodology.** Two cases of balancing the coordinates of a free station are considered: the first is a separate equalization of the planned and altitude positions (the measured values are horizontal distance, horizontal direction and elevation), the second is simultaneous joint alignment of the spatial coordinates (here the measured values are the inclined distance, horizontal direction and vertical angle). An experiment with a TCR 405

tacheometer carried out during that a situation was simulated when we know the theoretical values of the coordinates of a free station. Several variants of the free station implemented: with two and three starting points, with fixing of points on the walls of buildings, on the ground (using a geodetic milestone) and on tripods, as well as with measurements “on reflector” and “no reflector” modes. While balancing the results of the research, two more options were processed: using the weights of the measured values and without using such weights. A comparative analysis of all measurement and balancing options between each other and with the result obtained by the tacheometer application carried out. **Results.** The results of the research indicate that in most cases, the proposed method provides better quality determination of coordinates. The coordinates of the total station are more precisely determined when the starting points are fixed on the wall of the house and the measurements are made in the “no reflector” mode. The use of the weights of the measured values during equilibration significantly increases the accuracy of the determination of the final coordinates. **Scientific novelty and practical significance.** The modification of the parametric method of simultaneous joint equalization of the planned and altitude position of a free station is proposed. Different variants of balancing of coordinates of a free station realized: with simultaneous balancing and with separate balancing of planned and altitude position, as well as using weights and without using weights of measured quantities. The experiment that allowed us to simulate a situation where we know the theoretical values of the coordinates of a free station was conducted. Practical recommendations for performing measurements and balancing the coordinates of a free station formulated.

Key words: free station; adjustment; planned position, altitude position; electronic total station.

References

- Vojtenko S. P. (2005). Matematychna obrobka geodezychnykh vymiriv. Metod najmenshykh kvadrativb: navchalnyj posibnyk. K.: KNUBA, 236 s.
- Vidujev N. H., Hrihorenko A. H. (1978). Matematicheskaja obrabotka geodezicheskikh izmerenij: uchebnoje posobie dlja vuzov. K.: Vyshcha shk., 376 s.
- Zazuljak P. M., Havrysh V. I., Jevsjejeva E. M., Josypchuk M. D. (2007). Osnovy matematychnoho opracjuvannja geodezychnykh vymirjuvan: navchalnyj posibnyk. Lviv: Rastr-7, 408 s.
- Meteshkin K. O., Shaulskyj D. V. (2012). Matematychna obrobka geodezychnykh vymiriv: navchalnyj posibnyk: – Khark. nac. akad. mask. hosp-va. Kh.: KHNAMG, 176 s.
- Prjakha B. (2007). Pro metod vilnoji stanciji. *Inzhenerna geodezija*, Vyp. 53, S. 193–201.
- Prjakha B. (1997). Vyryvnuvannja vilnoji stanciji. *Inzhenerna geodezija*, Vyp. 38, S. 94–98.
- Staroverov V. S., Bachyshyn B. D. (1998). Tochnist planovogo polozhennja punktu, vyznachenogo obernenoju linijnokutovoju zasichkoju. *Inzhenerna geodezija*, Vyp. 39, S. 140–141.
- Danni L, Linya T, Jinfeng W, et al (2010). The application of liberal station method with total station in the detection of steel box girder manufacture [J]. *Geotechnical Investigation & Surveying*, 3, pp. 73–76.
- Leica Geosystems (2010). Leica TPS400/TPS410C series. User guide. 150 p.
- Marshall A. (2008). Analysis of free station errors. *Survey quarterly National school of Surveying*, 53, P. 5–7.
- Moeser M., Hoffmeister H., Mueller G., Schlemmer H., Staiger R., Wanninger L. (2012). Handbuch Ingenieurgeodäsie – Grundlagen (PDF) (in German) (4. ed.). Heidelberg: Wichmann. pp. 461, 476.
- Stepien G., Tomczak A. & Ziebka T (2019). Application of total free station method (TFS) for offshore surveying in oblique coordinate system. *International Journal of Advances in Science Engineering and Technology*, Vol. 7, pp. 32–37.
- Zhu H., Wu W. & Wang Z. (2009). Study on the Free-positioning of ETS in the PDL Track Surveying System. *Modern applied science*, Vol. 3, No. 3, pp. 128–131.

COMMERCIAL
UAV EXPO
EUROPE

Virtual Event | 1-3 December 2020