

**Бачишин Б. Д., к.т.н., доцент, Сосновий В. Д., студент,
Шеремет Н. В., студент** (Національний університет водного
господарства та природокористування, м. Рівне, bachyshyn@ukr.net)

ІДЕНТИФІКАЦІЯ ВИХІДНИХ ПУНКТІВ З ПОМИЛКОВИМИ КООРДИНАТАМИ В МЕТОДІ ВІЛЬНОЇ СТАНЦІЇ

Вільна станція – ефективний та широко розповсюджений спосіб визначення координат опорних точок, який знайшов застосування в топографічних зніманнях, землеустрої, інженерно-геодезичних вимірюваннях, розмічувальних роботах, контролі геометричних параметрів об'єктів, морській геодезії. Наведено експериментальні дослідження визначення координат вільної станції з моделюванням помилок вихідних пунктів. Встановлено, що програмне забезпечення сучасних електронних тахеометрів (зокрема TCR405 Ultra та Sokkia Set 630R) не забезпечує однозначну ідентифікацію вихідних пунктів з помилковими координатами. Запропоновано простий алгоритм визначення вихідного пункту з найменш надійними координатами. Цей спосіб базується на допущенні, що сума квадратів відхилень координат станції, вирахованих від найменш надійного вихідного пункту

матиме максимальне значення
$$\sum_{i=1}^{i=n} (\Delta X_{i-m}^2 + \Delta Y_{i-m}^2) = \max$$

Запропонований спосіб дозволив однозначно ідентифікувати той вихідний пункт, який зміщався в ході експерименту у 100% випадків. Цей спосіб може бути застосований для аналізу коректності координат пунктів в будь-яких геодезичних мережах, в тому числі добре відомій СК-63, де часто зустрічаються пункти з помилковими координатами.

Ключові слова: вихідний пункт; помилкові координати; вільна станція; електронний тахеометр.

Вступ та аналіз публікацій

Вільна станція – це сучасний, ефективний та широко розповсюджений спосіб визначення координат опорних точок, який

з успіхом використовується у топографічному зніманні, землеустрої, в інженерно-геодезичних вимірюваннях та при розмічувальних роботах [1]. Продовжуються дослідження щодо застосування цього способу для унікальних робіт, серед яких: контроль виготовлення геометричних параметрів сталевих балок мосту [2], робота в режимі слідування в системах моніторингу залізниць [3], морські знімання в косій системі координат [4]. 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 дозволяють контролювати близько 100 геометричних параметрів колії на швидкості руху поїзда до 250 км/год.

Питанням обчислення координат та оцінки точності просторового положення вільної станції присвячені роботи [3; 5; 6]. Детальний аналіз помилок, які впливають на точність планового положення вільної станції при використанні електронного тахеометра викладено в [7]. Ефективне застосування вільної станції в сучасному геодезичному виробництві можливе лише при одночасному зрівноваженні планового і висотного положення тахеометра для отримання просторових координат X , Y , Z [8].

Вільна станція передбачає використання двох або більше вихідних пунктів, координати яких відомі на момент проведення польових геодезичних робіт. Геодезістам-практикам добре відомі ситуації, коли реальні координати геодезичних пунктів не відповідають каталоговим значенням. Якщо такі пункти використовуються як вихідні, то вони спотворюють координати точок, визначених від них. Для отримання якісних та безпомилкових геодезичних даних необхідно однозначно ідентифікувати пункти з помилковими координатами.

Мета статті – запропонувати спосіб ідентифікації вихідного пункту з помилковими координатами в методі вільної станції.

Виклад основного матеріалу

Програмний модуль «вільна станція» присутній у всіх сучасних електронних тахеометрах та дозволяє застосовувати від 2 до 5 вихідних пунктів для визначення координат вільної станції. Мінімальне число вихідних пунктів – два – не дозволяє визначити пункт з помилковими координатами. В програмному модулі «вільна

станція» сучасних тахеометрів є вбудована функція, яка оцінює точність вимірювань на кожен із вихідних пунктів. Якщо ми впевнені в якості візування на вихідні пункти, то даними цієї функції можна скористатися для оцінки надійності координат вихідних пунктів.

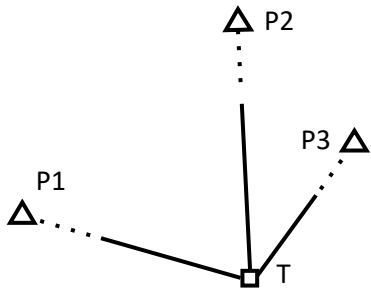


Рисунок. Схема розміщення тахеометра та вихідних пунктів

Нами були проведені експериментальні дослідження, під час яких ми моделювали похибки вихідних пунктів, шляхом зміщення марок від істинного положення пункту. На місцевості встановили тахеометр, задали станції стояння тахеометра (Т) фіксовані координати $X_{cm} = 1000.000\text{ м}$, $Y_{cm} = 1000.000\text{ м}$, $H_{cm} = 200.000\text{ м}$, та визначили з цієї

станції координати трьох точок: $P1$, $P2$ та $P3$ (рисунок). Ці точки були вибрані на різних віддальях від тахеометра і в них встановили марку з відбивачем. На наступному етапі ці три точки ($P1$, $P2$ та $P3$) були прийняті за вихідні пункти і від них визначалося незмінне положення тахеометра методом вільної станції. Перше визначення координат тахеометра було здійснене при незмінних положеннях усіх трьох марок-відбивачів. Відхилення визначених координат вільної станції в цьому випадку від заданих значень становили менше 1 мм.

Пізніше ми зміщували марку на одному вихідному пункті, координати цього пункту залишали незмінними та визначали координати тахеометра методом вільної станції. В ході опрацювання результатів аналізували похибки (змодельовані програмним модулем електронного тахеометра) на кожен вихідний пункт та визначали, чи максимальні похибки відповідають тому пункту, який ми зміщали. Кожен вихідний пункт зміщали вліво, вправо, назад та вперед від істинного положення на віддалі 10, 20, 30, 40 см. Дослідження проводили двома тахеометрами Leica TCR405 Ultra та Sokkia Set 630R.

Результати експерименту наведені в таблицях 1, 2. В таблицях у стовпчику відповідного пункту вписано напрямок зміщення марки та відмічено чи розпізнала чи не розпізнала підпрограма тахеометра однозначно цей пункт. Результати наведені для максимальних значень зміщення марки. При менших зміщеннях картина ідентифікації помилкових пунктів була аналогічною. Як бачимо,

програмне забезпечення цих двох тахеометрів має різний алгоритм оцінки точності вимірювань на вихідні пункти і тому по-різному ідентифікує пункти з помилковими координатами. Можна навіть стверджувати, що вбудовані функції цих двох тахеометрів дає абсолютно протилежні результати: там, де Leica TCR405 Ultra розпізнає зміщення правильно, то Sokkia Set 630R – неправильно і навпаки.

Таблиця 1

Похибки Δ горизонтального кута та віддалі на вихідні пункти, обчислені функцією «вільна станція» тахеометра Leica TCR405 Ultra під час експерименту

	№ вихідного пункту		
	P1	P2	P3
Зміщення	Вліво (розпізнано)		
Δ гор. кута	-0°07'14"	+0°05'38"	-0°04'10"
Δ віддалі (м)	+0.119	+0.0945	+0.0084
$\Sigma\Delta$	0.135	0.085	0.018
Зміщення	Вправо (розпізнано)		
Δ гор. кута	-0°04'07"	-0°03'11"	+0°02'34"
Δ віддалі (м)	-0.0698	-0.0536	-0.0076
$\Sigma\Delta$	0.186	0.033	0.024
Зміщення	Назад (не розпізнано)		
Δ гор. кута	+0°00'55"	-0°00'07"	-0°01'31"
Δ віддалі (м)	-0.0974	-0.0029	-0.0941
$\Sigma\Delta$	0.155	0.005	0.013
Зміщення	Вперед (розпізнано)		
Δ гор. кута	-0°07'45"	+0°05'24"	-0°02'38"
Δ віддалі (м)	+0.2171	+0.0915	+0.1104
$\Sigma\Delta$	0.140	0.025	0.045
Зміщення	Вліво (не розпізнано)		
Δ гор. кута	-0°03'40"	+0°02'34"	-0°01'19"
Δ віддалі (м)	+0.0982	+0.0439	+0.0473
$\Sigma\Delta$	0.005	0.185	0.021
Зміщення	Вправо (не розпізнано)		
Δ гор. кута	-0°11'52"	+0°11'06"	-0°14'01"
Δ віддалі (м)	+0.1643	+0.1193	-0.0143
$\Sigma\Delta$	0.022	0.098	0.017
Зміщення	Вперед (не розпізнано)		
Δ гор. кута	-0°01'29"	+0°03'05"	-0°14'24"
Δ віддалі (м)	+0.0566	-0.1504	+0.1092
$\Sigma\Delta$	0.006	0.100	0.008

продовження табл. 1

Зміщення		Назад (не розпізнано)	
Δ гор. кута	- 0°09'55"	+ 0°01'37"	+ 0°15'42"
Δ віддалі (м)	+0.1497	+0.2894	-0.0291
$\Sigma\Delta$	0.013	0.085	0.018
Зміщення			Вліво (розпізнано)
Δ гор. кута	- 0°05'51"	+ 0°09'37"	- 0°21'53"
Δ віддалі (м)	+0.1285	-0.0609	+0.0658
$\Sigma\Delta$	0.030	0.028	0.118
Зміщення			Вправо (розпізнано)
Δ гор. кута	- 0°00'26"	- 0°07'16"	+ 0°27'04"
Δ віддалі (м)	+0.0532	+0.1845	+0.0235
$\Sigma\Delta$	0.035	0.045	0.156
Зміщення			Вперед (не розпізнано)
Δ гор. кута	- 0°06'30"	+ 0°05'22"	- 0°05'09"
Δ віддалі (м)	-0.0408	+0.1228	-0.1633
$\Sigma\Delta$	0.011	0.008	0.212
Зміщення			Назад (розпізнано)
Δ гор. кута	0°00'00"	- 0°02'49"	+ 0°10'10"
Δ віддалі (м)	+0.2142	+0.0083	+0.2363
$\Sigma\Delta$	0.018	0.019	0.187

Таблица 2

 Похибки координат ΔX та ΔY на вихідні пункти, обчислені функцією «вільна станція» тахеометра Sokkia Set 630R під час експерименту

	№ вихідного пункту		
	P1	P2	P3
Зміщення	Вліво (не розпізнано)		
ΔX (м)	- 0.088	+ 0.283	+0.048
ΔY (м)	- 0.003	- 0.100	- 0.052
$\Sigma\Delta$	0.118	0.019	0.018
Зміщення	Вправо (не розпізнано)		
ΔX (м)	+ 0.070	- 0.248	- 0.042
ΔY (м)	+ 0.003	+ 0.088	+ 0.047
$\Sigma\Delta$	0.158	0.016	0.001
Зміщення	Вперед (розпізнано)		
ΔX (м)	+ 0.259	+ 0.049	+ 0,094
ΔY (м)	+ 0.012	- 0.075	- 0.106
$\Sigma\Delta$	0.165	0.008	0.013
Зміщення	Назад (розпізнано)		
ΔX (м)	- 0.247	+ 0.053	- 0.095
ΔY (м)	-0.010	+ 0.099	- 0.106
$\Sigma\Delta$	0.138	0.008	0.017

продовження табл. 2

Зміщення		Вліво (розпізнано)	
ΔX (м)	+ 0.375	- 0.331	- 0.166
ΔY (м)	+ 0.012	+0.195	+0.190
$\Sigma\Delta$	0.018	0.128	0.009
Зміщення		Вправо (розпізнано)	
ΔX (м)	+ 0.016	+ 0.300	+ 0.021
ΔY (м)	+ 0.001	- 0.035	- 0.030
$\Sigma\Delta$	0.010	0.133	0.011
Зміщення		Вперед (розпізнано)	
ΔX (м)	+ 0.074	- 0.033	+ 0.043
ΔY (м)	+ 0.010	+ 0.238	- 0.098
$\Sigma\Delta$	0.115	0.138	0.062
Зміщення		Назад (розпізнано)	
ΔX (м)	- 0.065	+ 0.051	- 0.031
ΔY (м)	+ 0.003	+ 0.196	+ 0.074
$\Sigma\Delta$	0.016	0.145	0.023
Зміщення			Вліво (не розпізнано)
ΔX (м)	+ 0.215	+ 0.392	+ 0.010
ΔY (м)	+ 0.010	+ 0.142	- 0.052
$\Sigma\Delta$	0.015	0.005	0.111
Зміщення			Вправо (не розпізнано)
ΔX (м)	- 0.253	- 0.386	+ 0.032
ΔY (м)	- 0.010	- 0.117	- 0.109
$\Sigma\Delta$	0.018	0.019	0.127
Зміщення			Вперед (розпізнано)
ΔX (м)	+ 0.081	- 0.074	- 0.032
ΔY (м)	+ 0.003	-0.118	+ 0.147
$\Sigma\Delta$	0.058	0.079	0.121
Зміщення			Назад (розпізнано)
ΔX (м)	- 0.113	+ 0.065	+ 0.111
ΔY (м)	- 0.005	+ 0.131	- 0.138
$\Sigma\Delta$	0.038	0.049	0.120

Результати експерименту показали, що функція оцінки точності вимірювань на вихідні пункти програмного модуля «Free station» обох тахеометрів не завжди ідентифікує однозначно той пункт, який ми зміщали (якому ми моделювали помилкові координати). Відсоток правильної ідентифікації складає близько 67% для тахеометра Sokkia Set 630R та 50% для тахеометра Leica TCR405 Ultra. Це свідчить про те, що алгоритм визначення похибок на вихідні пункти є недосконалим або не може бути застосований для ідентифікації помилкових координат.

Тому тут пропонується дуже простий, але як виявилось дуже ефективний спосіб ідентифікації пунктів з помилковими координатами. В основі його лежить така гіпотеза: *сума квадратів відхилень координат станції відносно пункту з помилковими координатами матиме максимальне значення*. Алгоритм способу наступний:

1. Вираховуємо координати станції від кожного з вихідних пунктів, використовуючи значення вимірних величин: горизонтального кута, вертикального кута та горизонтального прокладання віддалі.

2. Приймаємо координати станції, вираховані від 1-го вихідного пункту за істинні та вираховуємо відхилення

$$\left. \begin{aligned} \Delta x_{2-1} &= X_{cm_2} - X_{cm_1} \\ \Delta x_{3-1} &= X_{cm_3} - X_{cm_1} \\ \Delta y_{2-1} &= Y_{cm_2} - Y_{cm_1} \\ \Delta y_{3-1} &= Y_{cm_3} - Y_{cm_1} \end{aligned} \right\}, \quad (1)$$

де $X_{cm_1}, X_{cm_2}, X_{cm_3}, Y_{cm_1}, Y_{cm_2}, Y_{cm_3}$ – відповідно координати X та Y станції, вираховані відповідно від 1-го, 2-го та 3-го вихідних пунктів.

Знаходимо суму квадратів відхилень координат станції відносно координат від 1-го вихідного пункту

$$\sum \Delta_1 = \Delta x_{2-1}^2 + \Delta x_{3-1}^2 + \Delta y_{2-1}^2 + \Delta y_{3-1}^2. \quad (2)$$

3. Приймаємо координати станції, вираховані від 2-го вихідного пункту за істинні та вираховуємо відхилення аналогічні (1) та суму квадратів їх відхилень

$$\sum \Delta_2 = \Delta x_{1-2}^2 + \Delta x_{3-2}^2 + \Delta y_{1-2}^2 + \Delta y_{3-2}^2. \quad (3)$$

4. Приймаємо координати станції, вираховані від 3-го вихідного пункту за істинні та вираховуємо аналогічні відхилення та суму їх квадратів

$$\sum \Delta_3 = \Delta x_{1-3}^2 + \Delta x_{2-3}^2 + \Delta y_{1-3}^2 + \Delta y_{2-3}^2. \quad (4)$$

5. Яка із сум $\sum \Delta_1, \sum \Delta_2$ чи $\sum \Delta_3$ виявиться найбільшою,

$$\sum \Delta_i = \max, \quad (5)$$

той вихідний пункт вважаємо найменш надійним, і у випадку значних розходжень можемо виключити з обрахунків.

Приклад розрахунку наведено в таблиці 3. Марку зміщали на 2-му вихідному пункті. Для нашого випадку $\sum \Delta_1 = 0.115$,

$\sum \Delta_2 = 0.138$ і $\sum \Delta_3 = 0.062$. $\sum \Delta_2 = 0.138 = \max$, що дозволяє ідентифікувати пункт з помилковими координатами: пункт № 2.

Таблиця 3

Обчислення сум квадратів відхилень координат станції для кожного з вихідних пунктів

№ точки	X	Y	$(X_i - X_1)^2$	$(Y_i - Y_1)^2$	$(X_i - X_2)^2$	$(Y_i - Y_2)^2$	$(X_i - X_3)^2$	$(Y_i - Y_3)^2$
1	1000.075	1000.065	0.000	0.000	0.001	0.095	0.004	0.015
2	1000.101	999.758	0.001	0.095	0.000	0.000	0.008	0.035
3	1000.010	999.944	0.004	0.015	0.008	0.035	0.000	0.000

В табл. 1 та 2 в рядку $\Sigma \Delta$ наведено значення сум квадратів відхилень координат станції відносно кожного вихідного пункту, розраховані за цією методикою. Як видно з результатів, запропонований спосіб дозволив однозначно розпізнати пункт, який зміщався в ході експерименту у всіх 100% випадків. Така методика дає результат, коли кількість вихідних пунктів 3 і більше. Вирішити питання, який пункт ненадійний з двох вихідних, неможливо.

Важливим є питання про те, чи вважати координати найменш надійного пункту грубо помилковими, чи такими, які спотворилися неточністю візування та вимірювання. Звичайно, можна повторити візування та вимірювання на цей пункт і пересвідчитися чи змінилася $\Sigma \Delta$. Для обчислення граничного відхилення можна скористатися добре відомою формулою середньої квадратичної похибки визначення положення пункту полярним способом

$$m^2 = m_S^2 + (S / \rho)^2 m_\beta^2, \quad (6)$$

де m_S і m_β – відповідно середні квадратичні похибки вимірювання віддалі та горизонтального кута. Оскільки в сумі квадратів відхилень вирахованих за (2)–(4) присутні відхилення для двох пунктів відносно одного прийнятого за безпомилковий, то граничне значення запишемо

$$\delta_{zp} = \sqrt{\sum \Delta_{zp}} = \sqrt{12(m_S^2 + (S / \rho)^2 m_\beta^2)}, \quad (7)$$

застосувавши коефіцієнт 3 для переходу від середньої квадратичної до граничної похибки.

Для тахеометра Leica TCR405 Ultra $m_S = 2 + 2 \text{ мм} / 1 \text{ км}$ $m_\beta = 5''$.

Тому для пунктів, розміщених на віддалі 1 км від станції $\delta_{zp} = 85 \text{ мм}$, а на віддалі 500 м – 43 мм і на віддалі 300 м – 27 мм. Для тахеометра

Sokkia Set 630R похибка вимірювання віддалі така ж, а похибка кута $m_{\beta} = 6''$. Тому для 1 км $\delta_{zp} = 101\text{мм}$, для 500 м – 51 мм і для 300 м – 32 мм.

Користуючись граничним значенням можна прийняти рішення, чи відхилення лежать в межах точності вимірювань, чи причина їх виникнення – помилкові значення координат вихідного пункту.

Варто зауважити, що запропонований алгоритм може бути використаний для аналізу надійності необмеженої кількості геодезичних пунктів будь-якої мережі, в тому числі СК-63, нарікання на надійність координат пунктів якої чи не найбільша. Для цього достатньо визначити координати якоїсь однієї точки від усіх вихідних, використавши, наприклад, метод знімання за допомогою приймачів супутникових сигналів та проаналізувати координати цієї точки від усіх вихідних пунктів.

Висновки

- проведено експериментальні дослідження визначення координат вільної станції з моделюванням помилок вихідних пунктів. Встановлено, що програмне забезпечення сучасних електронних тахеометрів (зокрема TCR405 Ultra та Sokkia Set 630R) не забезпечує однозначну ідентифікацію вихідних пунктів з помилковими координатами – відсоток правильної ідентифікації складає близько 67% для тахеометра Sokkia Set 630R та 50% для тахеометра Leica TCR405 Ultra;

- запропоновано простий алгоритм визначення вихідного пункту з найменш надійними координатами, який базується на допущенні, що сума квадратів відхилень координат станції, вирахованих від найменш надійного вихідного пункту матиме максимальне значення;

- запропонований спосіб дозволив однозначно ідентифікувати той вихідний пункт, який зміщувався в ході експерименту у 100% випадків;

- цей спосіб може бути застосований для аналізу коректності координат пунктів в будь-яких геодезичних мережах, в тому числі добре відомій СК-63, де часто зустрічаються пункти з помилковими координатами.

1. Moeser M., Hoffmeister H., Mueller G., Schlemmer H., Staiger R., Wanninger L. Handbuch Ingenieurgeodäsie. Grundlagen (PDF) (in German). 4. ed. Heidelberg : Wichmann, 2012. P. 461–476. 2. Danni L., Linya T., Jinfeng W., et

al. The application of liberal station method with total station in the detection of steel box girder manufacture [J]. *Geotechnical Investigation & Surveying*. 2010. № 3. P. 73–76. **3.** Zhu H., Wu W. & Wang Z. Study on the Free-positioning of ETS in the PDL Track Surveying System. *Modern applied science*. 2009. Vol. 3, No. 3. P. 128–131. **4.** Stepien G., Tomczak A. & Ziebka T. Application of total free station method (TFS) for offshore surveying in oblique coordinate system. *International Journal of Advances in Science Engineering and Technology*. 2019. Vol. 7. P. 32–37. **5.** Пряха Б. Про метод вільної станції. *Інженерна геодезія*. 2007. Вип. 53. С. 193–201. **6.** Староверов В. С., Бачишин Б. Д. Точність планового положення пункту, визначеного оберненою лінійно-кутовою засічкою. *Інженерна геодезія*. 1998. Вип. 39. С. 140–141. **7.** Marshall A. Analysis of free station errors. *Survey quarterly National school of Surveying*. 2008. Vol. 53. P. 5–7. **8.** Бачишин Б. Д. Спільне зрівноваження планового та висотного положення вільної станції. *Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва*. Львів : Видавництво «Львівська політехніка», 2020. Вип. II (40). С. 34–40. URL: <http://zgt.com.ua/спільне-зрівноваження-планового-та-в/>. (дата звернення: 20.05.2023).

REFERENCES:

1. Moeser M., Hoffmeister H., Mueller G., Schlemmer H., Staiger R., Wanninger L. Handbuch Ingenieurgeodäsie. *Grundlagen (PDF) (in German)*. 4. ed. Heidelberg : Wichmann, 2012. P. 461–476. **2.** Danni L., Linya T., Jinfeng W., et al. The application of liberal station method with total station in the detection of steel box girder manufacture [J]. *Geotechnical Investigation & Surveying*. 2010. № 3. P. 73–76. **3.** Zhu H., Wu W. & Wang Z. Study on the Free-positioning of ETS in the PDL Track Surveying System. *Modern applied science*. 2009. Vol. 3, No. 3. P. 128–131. **4.** Stepien G., Tomczak A. & Ziebka T. Application of total free station method (TFS) for offshore surveying in oblique coordinate system. *International Journal of Advances in Science Engineering and Technology*. 2019. Vol. 7. P. 32–37. **5.** Priakha B. Pro metod vilnoi stantsii. *Inzhenerna heodeziia*. 2007. Vyp. 53. S. 193–201. **6.** Starovierov V. S., Bachyshyn B. D. Tochnist planovoho polozhennia punktu, vyznachenoho obernenoiu liniino-kutovoiu zasichkoiu. *Inzhenerna heodeziia*. 1998. Vyp. 39. S. 140–141. **7.** Marshall A. Analysis of free station errors. *Survey quarterly National school of Surveying*. 2008. Vol. 53. P. 5–7. **8.** Bachyshyn B. D. Spilne zrivnovazhennia planovoho ta vysotnoho polozhennia vilnoi stantsii. *Suchasni dosiahnennia heodezychnoi nauky ta vyrobnytstva*. Lviv : Vydavnytstvo «Lvivska politehnika», 2020. Vyp. II (40). S. 34–40. URL: <http://zgt.com.ua/spilne-zrivnovazhennia-planovoho-ta-в/>. (data zvernennia: 20.05.2023).

Bachyshyn B. D., Candidate of Engineering (Ph.D.), Associate Professor, Sosnovyi V. D., Senior Student, Sheremet N. V., Senior Student (National university of Water and Environmental Engineering, Rivne, bachyshyn@ukr.net)

IDENTIFICATION OF STARTING POINTS WITH ERROR COORDINATES IN THE FREE STATION METHOD

A free station is an effective and widespread method of determining the reference points coordinates, which has found application in topographic surveys, land management, engineering and geodetic measurements, marking works, control of geometric objects parameters, marine geodesy. Experimental studies of determining the coordinates of a free station with simulation of the starting points errors are given. It was established that the software of modern electronic total stations (in particular, TCR405 Ultra and Sokkia Set 630R) does not provide unambiguous identification of starting points with erroneous coordinates. A simple algorithm for determining the starting point with the least reliable coordinates is proposed. This method is based on the assumption that the sum of squared deviations of station coordinates calculated from the least reliable starting point will have a maximum value

$\sum_{i=1}^{i=n} (\Delta X_{i-m}^2 + \Delta Y_{i-m}^2) = \max$. The proposed method made it possible to

uniquely identify the starting point that shifted during the experiment in 100% of cases. This method can be used to analyze the correctness of coordinates of points in any geodetic networks, including the well-known SK-63, where points with erroneous coordinates are often found.

***Keywords:* starting point; false coordinates; free station; electronic total station.**
