

УДК 528.4

В. ЛІТИНСЬКИЙ¹, А. ВІВАТ¹, С. ПЕРІЙ², С. ЛІТИНСЬКИЙ³¹Кафедра геодезії і геоінформатики, Львівський національний аграрний університет, вул. В. Великого, м. Дубляни, Україна, 80381² Кафедра вищої геодезії та астрономії, Національний університет львівська політехніка, вул. С. Бандери, 12, Львів, Україна, 79013³Кафедра програмування, Національний університет імені Івана Франка, вул. Університетська, 1, Україна, 79000**СПОСІБ ВИМІРЮВАННЯ ВЗІРЦЕВОГО БАЗИСА 2-го РОЗРЯДУ
ДЛЯ ЕТАЛОНУВАННЯ ЕЛЕКТРОННИХ ТАХЕОМЕТРІВ**

Мета. Розглянуто лінійно-кутовий спосіб визначення інтервалів взірцевого базиса 2-го розряду для еталонування електронних тахеометрів. Виконано експериментальні вимірювання на взірцевому базисі 2-го розряду запропонованим способом. Точність визначення відрізків запропонованим способом отримана порівнянням з безпосередніми вимірюваннями, виконаними прокомпарованою з похибкою 0.006 мм штриховою еталонною мірою довжини 3-го розряду за ДСТУ 3741. Під час вимірювання відрізків штриховою еталонною мірою довжини центри знаків відтворювали з похибкою 0.01мм за допомогою спеціального пристрою для примусового центрування, а для підвищення точності відлічування його шкали застосовано фотографічний метод фіксації відліків. Різніці виміряних метрових відрізків еталонного базиса штриховою еталонною мірою довжини в прямому і зворотному напрямках із врахуванням температури штрихової міри не перебільшували 0.02 мм. Експериментальні вимірювання виконували електронним тахеометром LEICA TSA 2003 та створеним нами спеціальним пристроєм для лінійно-кутових вимірювань. Пристрій дає змогу центрувати спеціальні марки для кутових вимірювань із наклеєними світловідбивними плівками для вимірювання віддалей над центром знака з похибкою 0.02 мм. До початку вимірювань виконали попередні розрахунки точності та визначили приладові поправки тахеометра для кожної відбивної марки кожного пристрою (використовували три пристрої). У запропонованому способі визначення довжин інтервалів базиса важливе значення має віддаль від тахеометра до кінцевих точок інтервалу. За виведеними формулами [Літинський В. О., 2014], розраховано віддаль від електронного тахеометра до відповідної довжини шуканого інтервалу із заданою точністю вимірювань віддалей і кутів відповідним тахеометром. Окрім цього, виведено формули, які дають змогу знайти допустиму різницю плечей, яка мінімально впливає на точність визначень, від тахеометра до початку та кінця інтервалу. Тахеометр установлювали на розрахованій від шуканого інтервалу базиса віддалі з допустимими різницями плечей, а вимірювання до центрів знаків виконували на створеному нами спеціальному пристрої. Отримані результати підтвердили попередньо виконані розрахунки. Різніці між відрізками, виміряними запропонованим способом, і відрізками, виміряними штриховою еталонною мірою довжини, не перевищують для метрових інтервалів 0,14 мм, а десятиметрових – 0,33 мм і відповідають інструктивним матеріалам. Систематичних похибок у різницях не виявлено.

Ключові слова: еталонний лінійний базис; робочі еталони; компарування електронних тахеометрів; штрихова еталонна міра довжини; приладова поправка; лінійно-кутові виміри; оптимізація геодезичних вимірювань.

Вступ

Компарування світловіддалемірів та електронних тахеометрів виконують на еталонних базисах 1, 2 та 3 розрядів. Кожний прилад, який застосовують для лінійних вимірювань, має проходити періодичну метрологічну атестацію, у яку входить визначення приладової поправки. Відрізки еталонного базиса, на якому еталонують світловіддалеміри, мають бути визначені з похибкою

$$m_D = 0,33 \times (a + b \times 10^{-6} D) \text{ мм}, \quad (1)$$

де a і b коефіцієнти рівняння регресії для відповідного світловіддалемірного приладу [МИ БГЕИ 15-03, 2003].

Побудова та метрологічна атестація еталонних базисів характеризується високоточним процесом вимірювань. Проблемами побудови та метрологічної атестації лінійних базисів займалися багато наукових інститутів [Уставич Г. А., 1999; Тревого І. С., 2011; Літинський В. О., 2003; Ващенко В., 2012].

Мета

Опрацювати спосіб вимірювання інтервалів фазової ділянки базиса, який би відповідав вимогам [МИ БГЕИ 40-03,2003] і не залежав від метрологічної атестації приладів у державних центрах метрології та стандартизації та застосування високоқартісних інтерферометричних методів вимірювань базиса.

Методика

Заропоновано визначати інтервали фазової ділянки базиса за допомогою електронного тахеометра та створеного пристрою для лінійно-кутових вимірювань.

Середня квадратична похибка (СКП) визначення 20-метрового інтервалу фазової ділянки базиса, на якій визначають приладову поправку, згідно з вимогами [МИ БГЕИ 15-03, 2003], для електронних тахеометрів з $a=1$ мм – $m_{d(20)} = 0,33$ мм, а з $a=2$ мм – $m_{d(20)} = 0,66$ мм, $m_{d(20)} = 0,66$ мм. Відповідно до вимог [МИ БГЕИ 09-90, 1990] для базиса 2 розряду $m_{d(20)} = 0,4$ мм. Практично $m_{d(20)} = 0,4$ мм відповідає вимогам для обох типів тахеометрів.

Для математичного забезпечення оптимальної точності визначення довільного інтервалу базиса c залежно від віддалі та кута розрахуємо оптимальну віддаль від тахеометра до визначуваного інтервалу, використовуючи формулу (2) [Літинський В. О., 2014]:

$$d = \sqrt{\frac{c \cdot m_{d_1/d_2}}{m_\gamma \sqrt{2}} \rho''}, \quad (2)$$

де m_{d_1/d_2} – С.к.п. вимірювання віддалі до кінців визначуваного інтервалу m_γ – С.к.п. вимірювання кута між кінцями визначуваного інтервалу, c – довжина шуканого інтервалу базиса (рис. 1).

Похибка визначуваних інтервалів c для оптимальних віддалей d обчислимо за формулою (3) [Літинський В. О., 2014]

$$m_c(d, \gamma) = \sqrt{4 \sin^2 \frac{\gamma}{2} m_d^2 + d^2 \cos^2 \frac{\gamma}{2} \left(\frac{m_\gamma}{\rho''}\right)^2}. \quad (3)$$

Оскільки ідеально забезпечити рівність плечей важко, розглянемо, як впливатиме нерівність плечей на точність визначення інтервалу.

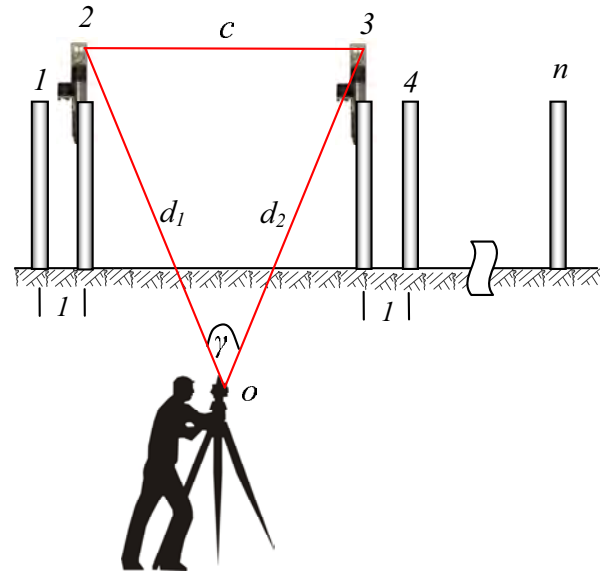


Рис. 1. Схема визначення довжин інтервалів базиса
Fig. 1. Scheme of length interval basis determination

Виразимо інтервал c формулою косинусів:

$$c(d_1, d_2, \gamma) = \sqrt{d_1^2 + d_2^2 - 2d_1 d_2 \cos \gamma}. \quad (4)$$

Диференціюючи (4), обчислимо середню квадратичну похибку m_c .

$$m_c(d_1, d_2, \gamma) = \sqrt{m_{d_1}^2 [\partial c(d_1, d_2, \gamma) / \partial d_1]^2 + m_{d_2}^2 [\partial c(d_1, d_2, \gamma) / \partial d_2]^2 + m_\gamma^2 [\partial c(d_1, d_2, \gamma) / \partial \gamma]^2}. \quad (5)$$

Враховуючи (4), запишемо (5) в уявному вигляді:

$$m_c(d_1, d_2, \gamma) = \sqrt{\frac{\left[(d_1 - d_2 \cos(\gamma))^2 m_{d_1}^2 + (d_2 - d_1 \cos(\gamma))^2 m_{d_2}^2 + d_1^2 d_2^2 \sin^2(\gamma) m_\gamma^2 \right]}{d_1^2 + d_2^2 - 2d_1 d_2 \cos(\gamma)}}. \quad (6)$$

За прийнятої умови однакової похибки вимірювання обох віддалей $m_d = m_{d_1} = m_{d_2}$, але різних величин плечей d_1 та d_2 формула спроститься

$$m_c(d_1, d_2, \gamma) = \sqrt{\frac{\left[(d_1^2 + d_2^2 - 4d_1 d_2 \cos(\gamma)) m_d^2 + (d_1^2 + d_2^2) \cos^2(\gamma) m_d^2 + d_1^2 d_2^2 \sin^2(\gamma) m_\gamma^2 \right]}{d_1^2 + d_2^2 - 2d_1 d_2 \cos(\gamma)}}. \quad (7)$$

Знайдемо мінімальну похибку вимірювання інтервалу c за різних довжин d_1 та d_2 задавшись

похибками вимірювань $m_d = 1 \text{ мм}$ $m_\gamma = 0,5''$. Для цього побудуємо функцію, мінімум якої будемо показувати залежно від d та різниці $|d_1 - d_2|$.

$$p(d_1, d_1 + |d_1 - d_2|) = m_c \left(\arccos \left(\frac{d_1^2 + (d_1 + |d_1 - d_2|)^2 - c^2}{2d_1(d_1 + |d_1 - d_2|)} \right) \right). \quad (8)$$

Побудуємо графік функції

$$k(|d_1 - d_2|) = \min p(d_1, d_1 + |d_1 - d_2|).$$

Для $c=1$ метр, похибка у визначенні відрізка c залежно від обчисленої за (2) віддалі d , та різниці $|a - b|$ показана на рис. 2.

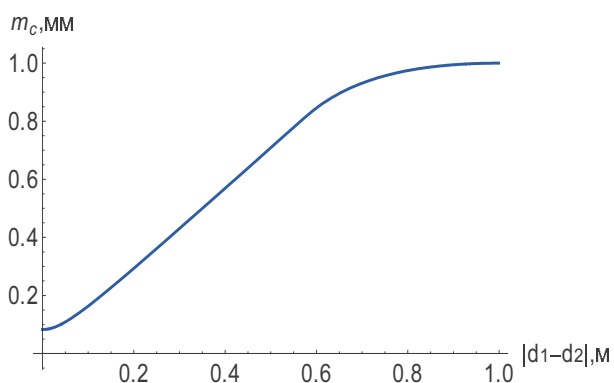


Рис. 2. Вплив нерівності плечей на точність визначення метрового інтервалу базиса
Fig. 2. The impact of shoulders inequality on the accuracy of 1 meter interval basis determine

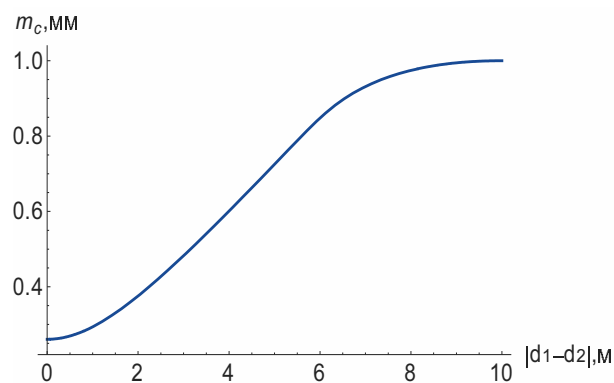


Рис. 3. Вплив нерівності плечей на точність визначення десятиметрового інтервалу базиса
Fig. 3. The impact of shoulders inequality on the accuracy of 10 meter interval basis determine

Для $c=10$ метрів, похибка від різниці $|d_1 - d_2|$ для d , обчисленого за (2), показана на рис. 3.

Практичні дослідження виконано на трубчастому лінійному базисі (рис. 4), використовуючи високоточний електронний тахеометр – Leica TCA 2003 з $m_d = 1 \text{ мм}$, $m_\gamma = 0,5''$, та запропоновано пристрій для лінійно-кутових вимірювань.

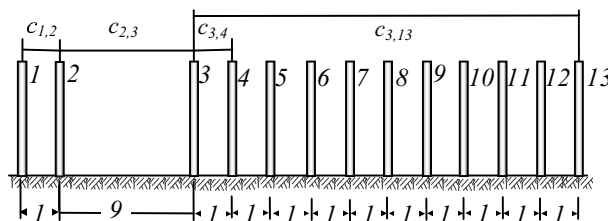


Рис. 4. Схема розташування трубчастих знаків базиса
Біля верху труб їхні номери.
Внизу інтервали подані в метрах

Fig. 4. Schema of tubular point basis location

Розрахуємо за формулою (2) оптимальну віддаль, на яку необхідно встановити прилад. Для метрових інтервалів вона дорівнює 17 м, а для 10-ти метрових – 54 м.

За формулою (3) розрахуємо середню квадратичну похибку визначення інтервалу c . Для метрових інтервалів він дорівнюватиме $m_{c_{1м}} = 0,06 \text{ мм}$, а для десятиметрових $m_{c_{10м}} = 0,19 \text{ мм}$.

С.к.п. винесення центра трубчастого знака пропонуваним пристроєм на марку для вимірювання кутів, аналогічно, і для плівок для вимірювання ліній, за нашими розрахунками не перевищує $m_{центр} = 0,02 \text{ мм}$. Отже, загальна С.к.п визначення метрового інтервалу із одного прийому:

$$m_{C(1м)} = \sqrt{m_{c(1м)}^2 + 2m_{центр}^2} = \sqrt{0,06^2 + 2 \times 0,02^2} = 0,066 \text{ мм}.$$

Для десятиметрового – $m_{C(10м)} = 0,192 \text{ мм}$.

Точність визначення відрізків запропонованим способом можна перевірити порівнянням визначених відрізків із безпосередніми їх вимірами, виконаними компарованою штриховою еталонною мірою довжини. Під час вимірювання відрізків штриховою еталонною мірою довжини застосовано фотографічний метод фіксації відліків [Перій С. С., 2014] для підвищення точності відлічування його шкали.

Центри знаків відтворювали за допомогою спеціального пристрою для примусового центрування з похибкою 0,01 мм. Різниця вимірних метрових відрізків еталонного базиса штриховою еталонною мірою довжини в прямому і зворотному напрямках із врахуванням температури лінійки не перебільшувала 0,02 мм.

До початку вимірювань визначили приладову поправку (ПП) електронного тахеометра, яку врахували під час обчислень. Визначення приладової поправки виконували для двох положень вертикального круга.

На розрахованій для визначуваного інтервалу віддалі устанавлювали тахеометр, як показано на рис. 1. Тахеометр устанавлювали так, щоби різниця плечей не перевищувала 5 см для метрових інтервалів (рис. 2). Так само добивалися, щоби різниця віддалей d_1 та d_2 не перевищувала 0,5 м для десятиметрових інтервалів (рис. 3).

Десятиметрові інтервали вимірювали чотирма прийомами, а метрові – трьома. Для вилучення позacentровості візирної і віддалемірної марок пристрій в півприйомах обертати на 180° .

С.к.п. вимірювання кутів, віддалей (17 м) та визначення метрових інтервалів базиса із одного прийому вимірювань, визначена за формулою Бесселя, подана у табл. 1.

Таблиця 1

С.к.п. виміру кута, віддалі та визначення інтервалу для метрових інтервалів базиса

Table 1

Mean square error of angular and distance measure and 1 meter basis interval determine

Назва знаку	С.К.П. виміру кута, кут. с	С.К.П. виміру віддалі, мм	С.К.П. визначення інтервалу, мм
1-2	0,4	0,12	0,03
3-4	0,3	0,06	0,02
4-5	1,0	0,04	0,06
5-6	0,4	0,03	0,03
6-7	0,5	0,02	0,04
7-8	1,0	0,07	0,06
8-9	0,6	0,03	0,04
9-10	1,1	0,04	0,07
10-11	1,4	0,06	0,10
11-12	0,8	0,05	0,05
12-13	0,7	0,03	0,05
С.К.П.	0,81	0,06	0,06

Таблиця 2

С.к.п. виміру кута, віддалі та визначення інтервалу для десятиметрових інтервалів базиса

Table 2

Mean square error of angular and distance measure and 10 meter basis interval determine

Назва знаку	С.К.П. виміру кута, кут. с	С.К.П. виміру віддалі, мм	С.К.П. визначення інтервалу, мм
2-3	0,7	0,07	0,19
3-13	0,8	0,05	0,19
С.К.П.	0,75	0,06	0,19

Таблиця 3

Різниця інтервалів базиса вимірних пропонованим методом і штриховою еталонною мірою довжини

Table 3

Differences of basis intervals between measured by proposed method and control meter

Назва знаку	Інтервали базиса, м	Різниця, мм Метод – штрих. міра
1-2	1	+0,06
3-4	1	+0,14
4-5	1	-0,13
5-6	1	+0,11
6-7	1	-0,10
7-8	1	+0,05
8-9	1	-0,07
9-10	1	+0,09
10-11	1	-0,08
11-12	1	-0,07
12-13	1	-0,12
С.К.П.		0,10
1-3	10	+0,33
3-13	10	+0,24
С.К.П.		0,29
1-13	20	+0,57

С.к.п. визначення метрового інтервалу із трьох прийомів дорівнює $0,06\sqrt{3} = 0,034\text{ мм}$.

С.к.п. визначення десятиметрового інтервалу із чотирьох прийомів дорівнює $0,19\sqrt{4} = 0,095\text{ мм}$.

С.к.п. вимірювання кутів, віддалей (54 м) та визначення десятиметрових інтервалів базиса із

одного прийому, визначена за формулою Бесселя, подана у табл. 2.

У табл. 3 подано порівняння інтервалів базиса, вимірних запропонованим методом і штриховою еталонною мірою довжини.

Різниця для 20-метрового базиса більша від розрахованої, на нашу думку, є тому, що точність вимірних віддалей штриховою еталонною мірою довжини співрозмірна із точністю нашого методу. Одним із чинників пониження точності визначень штриховою еталонною мірою довжини може бути визначення її температури.

Наукова новизна і практична значущість

Запропоновано нову методику визначення інтервалів взірцевого базиса 2-го розряду для еталонування електронних тахеометрів.

Створено спеціальний пристрій для лінійно-кутових вимірювань, який дає змогу центрувати спеціальні марки для вимірювання кутів з накладними світловідбивними плівками для вимірювання ліній з похибкою 0,02 мм.

Висновки

1. Розроблено методику визначення інтервалів взірцевого базиса 2-го розряду для еталонування електронних тахеометрів.

2. Виконано експериментальні дослідження запропонованого способу визначення інтервалів базиса, які підтвердили теоретичні розрахунки і відповідають вимогам інструктивних матеріалів для створення взірцевих базисів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- Базисы эталонные. Методика поверки // МИ БГЕИ 40-03. – М., 2003 – www.opengost.ru.
- Бегунов Б. Теория оптических систем / Б. Бегунов, Н. Заказнов, С. Киришин, В. Кузичев. – М.: Машиностроение, 1981. – 432 с.
- Вашенко В. Про створення лінійного базису / В. Вашенко, С. Перій, Є. Смірнов // Вісник Львівського національного аграрного університету. 2012. – Вип. 13. – С. 240–246.
- Кошелев А. Об аттестации современных светодальномеров на эталонных линейных базисах.
- Літинський В. О. Розрахунок оптимальних значень вимірюваних віддалей для точного визначення довжин невеликих відрізків / В. Літинський, М. Фис, І. Покотило, С. Літинський // Геодезія, картографія і аерофотознімання. – 2014. – Вип. 76. – С. 10–16.
- Літинський В. Використання Бережанського лінійного базису для дослідження світловіддалемірів / В. Літинський, В. Колгунов, В. Муха, І. Гарасимчук // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – 2003. – С. 175–177.
- Літинський В. Про створення Бережанського лінійного базиса / В. Літинський, В. Колгунов, В. Муха, В. Вашенко // Геодезія, картографія і аерофотознімання. – 2003. – Вип. 64. – С. 33–36.
- Літинський В. Пристрій для лінійних вимірювань геодезичних взірцевих базисів 2-го розряду / В. Літинський, А. Віват, І. Рій // Науковий вісник Ужгородського університету. – 2014. – Вип. 3. – С. 19–22.
- Образцовые линейные базисы. Общие технические требования. Метрологическое обеспечение // МИ БГЕИ 09-90 Методика института.
- Перій С. С. Визначення інтервалів еталонного Бережанського базиса методом фотофіксації / С. С. Перій, О. І. Мороз, І. Я. Покотило, І. Ф. Гарасимчук, З. Р. Тартачинська, В. Л. Тарнавський // Науковий вісник Ужгородського університету. – 2014. – Вип. 3. – С. 93–95.
- Светодальномеры. Методы и средства поверки // МИ БГЕИ 15-03 – М., 2003 – www.opengost.ru.
- Тревого І. Новий взірцевий геодезичний базис / І. Тревого, С. Савчук, О. Денисов, П. Волчко // Вісник геодезії та картографії. – 2004. – № 1(32). – С. 13–16.
- Тревого І. Особливості метрологічної атестації еталонних геодезичних базисів / І. Тревого, І. Цюпак // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – 2014. – Вип. 1. – С. 29–33.
- Уставич Г. К вопросу о создании базисов для аттестации спутниковой аппаратуры и светодальномеров / Г. Уставич // Геодезія и картографія. – 1999. – № 9. – С. 7–14.
- K. Harding. "Application issues when using optical 3D systems in place of CMMs," in Machine Vision and Three-Dimensional Imaging Systems for Inspection and Metrology II, K. Harding, Ed., Proc. SPIE **4567**, 1–10 (2002).
- B. Gallagher. Optical Shop Applications for Laser Tracker Metrology Systems, (M.S. Thesis, College of Optical Sciences, University of Arizona, 2003).
- A. Buga. Analysis of edm instruments calibration at the kyvišk_s Calibration baseline, Vilnius, Lithuania. The 8th International Conference. – 2011. – P. 1301–1305.

В. ЛИТЫНСЬКИЙ¹, А. ВИВАТ¹, С. ПЭРИЙ², С. ЛИТЫНСЬКИЙ⁴

¹ Кафедра геодезии и геоинформатики Львовский национальный аграрный университет, ул. В. Великого, г. Дубляны, Украина, 80381

² Кафедра высшей геодезии и астрономии Национальный университет Львовская политехника, ул. С.Бандеры, 12, Украина, 79013

³ Кафедра программирования Национальный университет имени Ивана Франка, ул. Университетская, 1, Украина, 79000

СПОСОБ ИЗМЕРЕНИЯ ОБРАЗЦОВОГО БАЗИСА II-го РАЗРЯДА ДЛЯ ЭТАЛОНИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ ТАХЕОМЕТРОВ

В статье рассмотрены предложенный линейно-угловой способ определения интервалов образцового базиса 2-го разряда для эталонирования электронных тахеометров. Выполнены экспериментальные измерения на образцовом базисе 2-го разряда предложенным способом. Точность определения отрезков, предложенным способом, полученная сравнением с непосредственными измерениями, выполненными компарированной, с погрешностью 0.006 мм, штриховой эталонной мерой длины. Во время измерения отрезков штриховой эталонной мерой длины центры знаков воспроизводили с погрешностью 0.01мм с помощью специального устройства для принудительного центрирования, а для повышения точности отсчитывания его шкалы применено фотографический метод фиксации отсчетов. Разницы измеренных метровых отрезков эталонного базиса штриховой эталонной мерой длины в прямом и обратном направлении с учетом температуры штриховой меры не преувеличивали 0.02 мм. Экспериментальные измерения выполняли тахеометра LEICA TCA 2003 и созданное нами специальное устройство для линейно - угловых измерений. Устройство позволяет сцентрировать специальные марки угловых измерений с наклеенными светоотражающими пленками для измерения расстояний над центром знака с погрешностью 0.02 мм. До начала измерений выполнили предварительные расчеты точности и определили приборные поправки тахеометра для каждой марки каждого устройства (использовали три устройства). В предложенном способе определения длин интервалов базиса большое значение имеет расстояние от тахеометра до конечных точек интервала. По выведенными нами формулами [Литынский В. О., 2014], рассчитано расстояние от электронного тахеометра к соответствующей длины искомого интервала с заданной точностью измерений расстояний и углов соответствующим тахеометра. Кроме этого нами выведены формулы, позволяющие найти допустимую разницу плеч, которая минимально влияет на точность определений, от тахеометра до начала и конца интервала. Тахеометр устанавливали на рассчитанном от искомого интервала базиса расстоянии с допустимыми разностями плеч, а измерения в центры знаков выполняли на созданные нами специальные устройства. Полученные результаты подтвердили предварительно выполненные расчеты. Разницы между отрезками измеренным предложенным способом и отрезками измеренным штриховой эталонной мерой длины не превышают для метровых интервалов 0,14 мм, а десятиметровых – 0,33 мм и соответствуют инструктивным материалам. Систематических погрешностей в различиях не обнаружено.

Ключевые слова: эталонный линейный базис; рабочие эталоны; компарирования электронных тахеометров; штриховая эталонная мера длины; приборная поправка; линейно-угловые измерения; оптимизация геодезических измерений.

V. LITYNS'KYY^{1*}, A. VIVAT^{1*}, S. PERIY², S. LITYNS'KYY³

¹ Department of geodesy and geoinformatics of Lviv National Agrarian University, 80381, V. Velykoho str., Dubliany, Ukraine,

² Department of geodesy and astronomy of Lviv Polytechnic National University, 12 Bandera str., Lviv, Ukraine, 79013

³ Department of programming of Ivan Franko National university of Lviv, 1 University street Lviv, Ukraine, 79000

METHOD OF MEASURING OF EXEMPLARY BASIS OF SECOND CATEGORY FOR VERIFICATION OF ELECTRONIC TOTAL STATIONS

Linear-angular intervals method of determining a exemplar basis for category 2 for verification of electronic total stations is proposed in the article. Experimental measurements on exemplary second level the basis were carried out by proposed method. The accuracy of segments, determined by the proposed method, obtained by comparison with direct measurements performed using 0.001 mm precision control meter. During the measurements of the control meter centers of marks were determined within 0.01mm with a special device to force alignment, and to improve the accuracy of the scale the photographic method of fixation of samples was used. Differences of meter intervals of measured reference of basis by control meter in forward and reverse directions, taking into account the temperature range, did not exceed 0.02 mm. Experimental measurements were performed by electronic total station LEICA TCA 2003 and special device created by authors for linear – angular measurements. The device allows you to center a special mark for angular measurements with glued reflective films to measure the distances of the center mark with an accuracy of 0.02 mm. Prior to the measurements preliminary calculations were performed to determined the accuracy

and total station instrument adjustments for each brand reflecting each device (using three devices). The proposed method of determining the length of the interval a basis is important distance from the total station to the endpoints of the interval. According to derived formulas we calculated the distance from electronic total station to the appropriate length of the desired interval with a given precision measurements of distances and angles of corresponding total station. In addition we have derived formulas that allowed us to find the allowable difference of shoulders that minimally affect the accuracy of the determining of the total station to the beginning and end of the interval. The total station was installed on calculated distance to the desired interval basis with length of shoulders of permissible differences and measured the centers on marks on special devices created by us. The results confirmed our previously performed calculations. The differences between the segments of the proposed method and measured lengths measured by control meter for meter interval not exceeding 0.14 mm, and ten meter intervals - 0.33 mm and meet the instructional materials. Systematic errors in differences were not found.

Keywords: reference line basis; work standards; total stations testing; control meter; instrument correction; linear-angular measure; optimization of geodetic measure.

REFERENCES

- Bazisy jetalonnnye. Metodika poverki. MI BGEI 40-03. [Bases of reference. Methods of verification]. Moscow, 2003, Available at: www.opengost.ru.
- Begunov B. I., Zakaznov N., Kirjushin S., Kuzichev V. Teorija opticheskikh sistem [Theory of optical systems]. Moscow: Mechanical Engineering, 1981, 432 p.
- Vashhenko V., Perij S., Smirnov Je. Pro stvorennya liniynogo bazysu. Visnyk L'vivs'kogo nacional'nogo agrarnogo universytetu [On the basis of the establishment linear]. [Visnyk of Lviv National Agrarian University]. issue.13, 2012, pp. 240–246.
- Koshelev A. Ob attestacii sovremennyh svetodal'nomerov na jetalonnnyh linejnyh bazisah [On certification of modern EDM on whether the reference-linear bases].
- Lityns'kyj V. O., Fys M., Pokotylo I., Lityns'kyj S. Rozrahunok optymal'nyh znachen' vymirjuvanyh viddalej dlja tochnogo vyznachennja dovzhyn ne-velykyh vidrizkiv [Calculation of optimal values for distances measured to determine the exact length of at-large segments]. Geodezija, kartografija i aerofotoznimannja. 2014, issue 76, pp. 10–16.
- Lityns'kyj V. O., Kolgunov V., Muha V., Garasymchuk I. Vykorystannja Berezhas'kogo liniynogo bazysu dlja doslidzhennja svitloviddalemiriv [Using of Berezhas'ky line basis for research rangefinder light] Suchasni dosjagnennja geodezychnoi' nauky ta vyrobnyctva. 2003, pp. 175–177.
- Lityns'kyj V. O., Kolgunov V., Muha V., Vashhenko V. Pro stvorennya Berezhas'kogo liniynogo bazysa [On creating a linear basis Berezhas'ky] Geodezija, kartografija i aerofotoznimannja. 2003, issue 64, pp. 33–36.
- Lityns'kyj V. O., Vivat A., Rij I. Prystrij dlja liniynyh vymirjuvan' geodezychnykh vzircevykh bazysiv 2-go rozrjadu [The device for linear measurements of geodetic bases of exemplary the 2nd grade] Naukovyj visnyk Uzhgorods'kogo universytetu. [Scientific Bulletin of the Uzhgorod University]. issue 3, 2014, pp. 19–22.
- Obrazcovye linejnye bazisy. Obshhie tehniccheskie trebovanija. Metrolo-gicheskoe obespechenieju [Exemplary linear basis. General technical requirements. Metrological provision]. MI BGEI 09-90 Technique Institute.
- Perij S. S., Moroz O. I., Pokotylo I. Ja., Garasymchuk I. F., Tartachyn's'ka Z. R., Tarnavs'kyj V. L. Vyznachennja intervaliv etalonnogo Berezhas'kogo bazysa metodom fotofiksacii' [Determination of reference intervals Berezhas'ky basis by photofixation] Naukovyj visnyk Uzhgorods'kogo universytetu [Scientific Bulletin of the Uzhgorod University]. issue 3, 2014, pp. 93–95.
- Svetodal'nomery. Metody i sredstva poverki [Optical distance meters. Methods and means of verification]. MI BGEI, 15-03, Moscow, 2003, Available at: www.opengost.ru.
- Trevogo I. S., Savchuk S., Denysov O., Volchko P. Novyj vzircevyj geodezychnyj bazys [New exemplary geodesic base] Visnyk geodezii' ta kartografii' [Bulletin of Surveying and cartography]. 2004, no. 1(32), pp. 13–16.
- Trevogo I. S., Tsyupak I. Osoblyvosti metrologichnoi' atestacii' etalonnnykh geodezychnykh bazysiv [Features of metrological certification standard of geodetic bases] Suchasni dosjagnennja geodezychnoi' nauky ta vyrobnyctva [Modern achievements of geodetic science and industry]. 2014, issue 1, pp. 29–33.
- Ustavich G. K. Voprosu o sozdanii bazysov dlja attestacii sputnikovoj appa-ratury i svetodal'nomerov [On the question of the establishment of the bases for certification of satellite instruments and light range finders] Geodezija i kartografija. [Geodesy and Cartography]. 1999, no. 9, pp. 7–14.
- K. Harding, "Application issues when using optical 3D systems in place of CMMs," in Machine Vision and Three-Dimensional Imaging Systems for Inspection and Metrology II, K. Harding, Ed., Proc. SPIE **4567**, 2002, 1–10.
- B. Gallagher, Optical Shop Applications for Laser Tracker Metrology Systems, (M.S. Thesis, College of Optical Sciences, University of Arizona, 2003).
- A. Buga, Analysis of edm instruments calibration at the kyvišk_s Calibration baseline, Vilnius, Lithuania. The 8th International Conference. 2011, pp. 1301–1305

Надійшла 12.05.2015 р.