

Сергій ПЕРІЙ^{1А}, Анатолій ВІВАТ², Іван ПОКОТИЛО^{1В}, Андрій ВОВК^{1С}, Павло ПЕРІЙ³

¹ Кафедра геодезії, Національний університет “Львівська політехніка”, вул. С. Бандери, 12, Львів, 79013, Україна, тел. +38(067)6726744, ел. пошта: serhii.s.perii@lpnu.ua, ^{1А} <https://orcid.org/0000-0002-2489-3275>,

^{1С} <https://orcid.org/0000-0002-0445-1947>

² Кафедра інженерної геодезії, Національний університет “Львівська політехніка”, вул. С. Бандери, 12, Львів, 79013, Україна, тел. +38(032)2582387, ел. пошта: anatolii.y.vivat@lpnu.ua, <https://orcid.org/0000-0002-6114-5911>

³ Науково-організаційний відділ, Національна академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, вул. Героїв Майдану, 32. Львів 79012, Україна, ел. пошта: periy@ukr.net

<https://doi.org/10.23939/istcgcap2023.97.016>

ВИЗНАЧЕННЯ ПОСТІЙНИХ ПОПРАВОК КУЛЬКОВИХ ВІДБИВАЧІВ

На сьогодні існує багато виробників відбивачів трипельпризмових, кулькових, механічні характеристики яких різняться, саме тому існує проблема суміщення центру відбивання сигналу із їх геометричним центром. Мета цієї роботи – оцінити методи визначення постійних поправок електронних тахеометрів, кулькових відбивачів та розробити рекомендації щодо їх застосування. Методика. Для визначення приладової поправки застосовано інтерферометр переміщень, який містить двочастотний He-Ne лазер з довжиною хвилі $\lambda = 0,63$ мкм (червоний діапазон). Порівняння результатів вимірювань довжин інтерферометром та електронним тахеометром до кулькового відбивача дало можливість визначити приладову поправку. Виконано дослідження визначення постійної поправки відбивачів і тахеометра на фазовій ділянці польового базиса із використанням методики створених лінійних спостережень. Результати. Виконані експериментальні дослідження кулькових відбивачів різних виробників та електронних тахеометрів Leica. Показано, що визначення постійних приладових поправок тахеометра та відбивача із застосуванням інтерферометра переміщень можна виконати з точністю 0,1 мм, яка значно залежить від точності вимірювання ліній тахеометром. Застосування кулькових відбивачів з вмонтованою трипельпризмою дає змогу значно підвищити точність визначення вимірювання віддалей внаслідок зменшення похибок центрування із врахуванням постійної приладової поправки (для тахеометрів Leica 1201 до 0,4 мм). Наукова новизна. Досліджені методи визначення постійних поправок кулькових відбивачів та тахеометрів. Запропонована методика визначення довжин вимірювальних інтервалів із виключенням систематичної постійної поправки електронного тахеометра і відбивача. Практична значущість. Рекомендується застосування кулькових відбивачів для швидкого та однозначного установлення на пунктах, зручності їх використання для моніторингових спостережень, а також для підвищення точності лінійних вимірювань шляхом зменшення похибок центрування. Для досягнення високоточних вимірювань коротких ліній рекомендовано, відповідно до виконаних досліджень, ретельно визначити постійну поправку тахеометра та кулькових призм, це дає можливість підвищити точність виміру ліній принаймні втричі, порівняно із заявленою точністю виробником тахеометрів.

Ключові слова: постійна приладова поправка, електронний тахеометр, кульковий відбивач, трипельпризма, інтерферометр.

Вступ

Точність вимірювання ліній залежить від точності визначення поправок у результати вимірів. Сучасні електронні тахеометри обладнані високоточними лазерними вимірювальними системами. Конструктивні особливості цих систем в геодезичних приладах пов'язані з виникненням постійних поправок. Поява кулькових відбивачів із вмонтованими трипельпризмами у геодезичному виробництві обумовила підвищення точності вимірювання ліній шляхом зменшення похибок центрування візорних цілей та однозначності їх установлення в магнетних підставках та отворах.

Актуальною проблемою використання кулькових відбивачів для вимірювання ліній в особливих умовах, під час важкодоступності спостережуваних пунктів, є необхідність визначення постійної приладової поправки кулькових відбивачів. Окрім постійних поправок самих електронних тахеометрів, у результати вимірів входять постійні поправки відбивачів. Сумарну постійну поправку в виміри ліній для кожного комплексу тахеометра і відбивача визначають індивідуально.

Мета

Оцінити методи визначення постійних поправок електронних тахеометрів та відбивачів та

розробити рекомендації щодо їх застосування для підвищення точності лінійних вимірювань.

Аналіз попередніх досліджень

Найповніші дослідження приладової та циклічної поправки, зазвичай, виконують на лінійних базисах. Еталонні інтервали, між пунктами базиса, мають бути відомі з точністю [Інструкція] $m_D = 0,3 \text{ мм}(a + b \times S \text{ км})$.

Розрахуємо допустимі похибки фазової ділянки, на якій зазвичай визначають приладові поправки. Згідно з інструкцією для топографічних електронних тахеометрів, для яких $a = 2 \text{ мм}$, отримаємо $m_D = 0,6 \text{ мм}$. Для більш точних значень $a = 0,5 - 1 \text{ мм}$, тоді $m_D = 0,1 - 0,33 \text{ мм}$. Пункти базиса – це трубчасті знаки, закладені на глибину приблизно 2,5 м. У верхній частині знака є металева площадка з отвором для примусового центрування приладу та відбивачів. Похибка центрування не на таких базисах перевищує 0,05 мм із застосуванням спеціальних пристроїв, або гвинтів [Становий гвинт. Пат. 145153]. Створити такий базис досить дорого. Виміряти еталонні інтервали, з досі описаною точністю, теж складно і дорого.

Відомий спосіб визначення постійної поправки вимірювання віддалей у всіх комбінаціях на таких базисах [Костецька, Блецкан, 2011]. Удосконаленням способу у всіх комбінаціях є розроблений авторами спосіб з використанням методу Гауса та знаходження мінімуму функції визначення похибок виміряних віддалей [Лиско, Михайлишин, 2021]. Нами у попередніх роботах запропоновано спосіб визначення еталонних відрізків базиса лінійно-кутовим методом [Літинський та ін., 2015]. Також, в інструкціях користувача до електронних тахеометрів виробники пропонують спосіб визначення приладової поправки вимірюванням цілого відрізка та двох його складових частин. У роботі [Pokotylo, Korliatovych, & Vovk, 2020] запропоновано методику визначення метрових інтервалів базису за допомогою контрольного метра та фотоапарата, який підвищує точність відлічування. Такі способи визначення постійних відбивачів застосовують в інженерно-геодезичних роботах. У роботах під час установлення обладнання у проектне положення виникає необхідність дода-

ткових досліджень електронних тахеометрів. Так, у роботі [Бурак, & Михайлишин, 2018] опрацьовано методику використання електронних тахеометрів для визначення параметрів підкранових колій. У роботі [Vivat, et al., 2018] виконано огляд методів визначення геометричних параметрів технологічного обладнання та запропоновано використання електронних тахеометрів із додатковим приладдям для підвищення точності вимірювань. Для швидкої координатної прив'язки і моніторингу рухомих та нерухомих цілей [Перій, Ванкевич, & Самара, 2021] запропоновано виконувати спостереження на кулькові відбивачі з магнетними підставками. У роботі [Lackner & Lienhart, 2016] досліджено точність електронних тахеометрів за допомогою інтерферометра, подано можливість підвищення точності вимірювання за використання спеціального приладдя. Фірми-виробники промислового приладдя пропонують використовувати кулькові відбивачі, чим підвищують точність вимірювання електронних тахеометрів утричі [Schweitzer, & Schwieger, 2011]. У роботах [Werner, Petrakov & Shuplietsov, 2018; Lienhart, 2017] для високоточних вимірювань у промисловості пропонують застосовувати лазерні тремери та сучасні високоточні мультистанції [Leica Nova TS60]. У роботі [Tserklevych, et al., 2022] досліджено допоміжне обладнання для підвищення точності вимірювання електронними тахеометрами.

У цій статті нами виконано дослідження різного діаметру кулькових відбивачів із різними постійними поправками. Дослідження виконані за різними методиками із застосуванням різних приладів для порівняння точності визначення приладової поправки. Опрацьовано спосіб підвищення точності вимірювання віддалей, а відтак – визначення координат електронними тахеометрами з використанням кулькових відбивачів. Дослідження виконані на лінійному базисі та перевірені з застосуванням інтерферометра.

Методика

Зараз на ринку Світу є декілька виробників кулькових відбивачів, і хоча практично всі мають однакові механічні характеристики (сферичну точність, суміщення центру), визначення

координат за вимірювання на них є різними. Нами досліджено сім кулькових відбивачів різних виробників (рис. 1).

Визначення приладової поправки виконували за допомогою інтерферометра переміщень за методикою, описаною в [Спосіб визначення приладової поправки Пат. 120949], яка передбачає вимірювання інтерферометром переміщення між двома положеннями каретки з відбивачем та вимірювання створних ліній до відбивача тахеометром (рис. 2). Інтерферометр ІП-1 містить двочастотний He-Ne лазер, випромінює оптичний промінь довжиною хвилі λ приблизно 0,63 мкм (червоний діапазон), що складається із двох оптичних коливань, утворених розщепленням лінії Ne у магнітному полі (ефект Зеемана). Ці коливання мають взаємно перпендикулярну

поляризацію, розташовану в горизонтальній і вертикальній площинах. Під час переміщення відбивача у бік інтерферометра частота проходження імпульсів інформаційного каналу стосовно частоти проходження імпульсів опорного каналу підвищується, під час руху у зворотну сторону – знижується. Ця зміна частоти визначає швидкість і напрямок руху відбивача. Після переміщення відбивача у бік інтерферометра число імпульсів, що пройшли в інформаційному каналі, виявляється більшим, ніж в опорному, а після переміщення у зворотну сторону – меншим, ніж в опорному каналі. Величина й знак цієї різниці числа імпульсів однозначно визначають величину й напрямок переміщення відбивача з точністю 0,005 мм.



Рис. 1. Досліджувані кулькові відбивачі

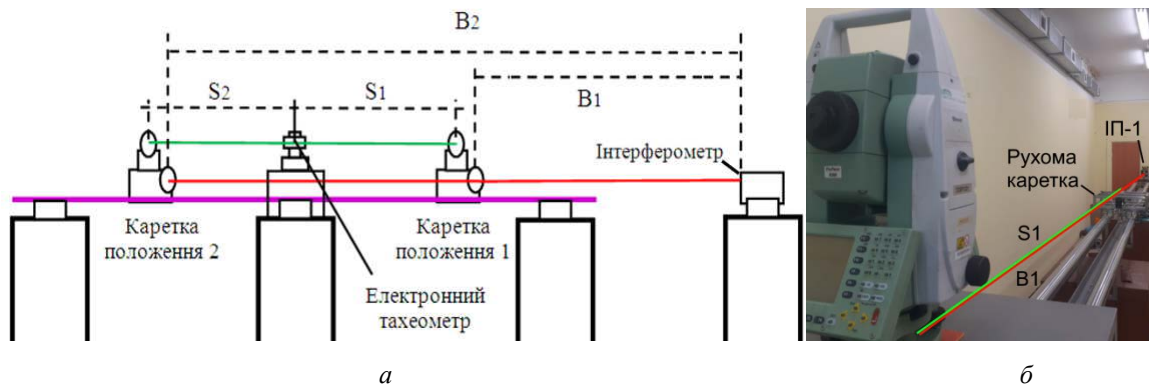


Рис. 2. Схема визначення поправки відбивачів (а), процес вимірювання (б)

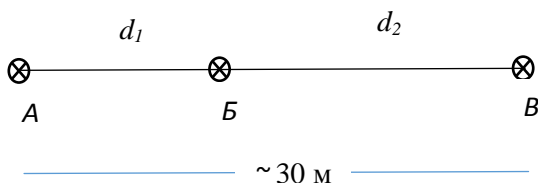


Рис. 3. Схема створних лінійних вимірювань відрізків

Для визначення постійних відбивачів у польових умовах можна застосувати метод створних вимірювань ліній.

На рівній ділянці, кут нахилу якої не перевищує 2° , вибирають лінію завдовжки 20–30 м. Установлюють прилад на одному кінці лінії, на другому – на штативі відбивач. У створі з точністю 1 мм, приблизно посередині, установлюють додатковий штатив із відбивачем (рис. 3).

Припустімо, що істинні значення горизонтальних проєкцій ліній відомі $AB = d_1$ та $BB = d_2$.

З установки приладу в пункті A вимірюють дві лінії за невідомої постійної поправки K світловіддалеміра та відбивача:

$$d_{AB} = d_1 + K, \quad (1)$$

$$d_{AB} = d_1 + d_2 + K. \quad (2)$$

Установлюють прилад в пункті B . Вимірюють ще дві лінії d_{BA} та d_{BB} . Водночас контролюють зворотну горизонтальну проєкцію першої лінії d_{AB} та кут створу:

$$d_{BA} = d_1 + K, \quad (3)$$

$$d_{BB} = d_2 + K. \quad (4)$$

Додаймо (3) та (4) і отримаємо:

$$d_{BA} + d_{BB} = d_1 + d_2 + 2K. \quad (5)$$

Віднімемо від (5) (2) і отримаємо значення постійної поправки K світловіддалеміра та відбивача:

$$d_{BA} + d_{BB} - d_{AB} = d_1 + d_2 + 2K - (d_1 + d_2 + K) = K_3. \quad (6)$$

Для контролю визначення постійної поправки виконують вимірювання цих двох ліній і з пункту B .

Тоді постійну поправку знаходять тричі. Для цього віднімемо від (2) (1) та отримаємо істинне значення d_2 :

$$d_{BB} = d_2 + K, \quad (7)$$

$$d_{BA} = d_1 + d_2 + K, \quad (8)$$

$$d_2 = d_{AB} - d_{AB} = d_1 + d_2 + K - (d_1 + K). \quad (9)$$

$$K_1 = d_{BB} - d_2. \quad (10)$$

Аналогічно з пункту B - d_1 :

$$d_1 = d_{BA} - d_{BB} = d_1 + d_2 + K - (d_2 + K). \quad (11)$$

$$K_2 = d_{AB} - d_1. \quad (12)$$

Третє значення постійної знаходять із рівняння (5) за формулою (6). За результатами шести вимірювань ліній визначають три значення приладової поправки для відповідного відбивача.

Результати

Визначення приладової поправки виконані за допомогою інтерферометра переміщень у три прийоми запатентованим способом [Спосіб визначення приладової поправки... Пат. 120949].

У табл. 1 наведені отримані результати постійних, визначених інтерферометром та електронним тахеометром Leica 1201, який відповідає точності вимірювання ліній згідно рівняння регресії $m_D = 1\text{мм} + 1\text{мм} \cdot D \cdot 10^{-6}$, з використанням кулькових відбивачів різних конструктивних розмірів.

Таблиця 1

Визначення постійних поправок електронного тахеометра Leica 1201 та кулькових відбивачів за допомогою інтерферометра 2022 р.

№ з/п	Кульковий відбивач	Діаметр, мм	Постійна, мм	КСВ, мм
1	П12-1	32	-5,53	0,06
2	П12-2	32	-5,44	0,03
3	П25-1	32	-22,82	0,06
4	П25-6	32	-22,67	0,05
5	П№196	45	-16,63	0,06
6	П№162	38	-17,49	0,06
7	Пб/№	45	-13,93	0,09
-	-	-	сер.	0,06

Кореговане стандартне відхилення (КСВ) визначення постійної поправки тахеометра і відбивача склало 0,06 мм, що вказує на високоточні виміри, виконані електронним тахеомет-

ром. Дещо гірші результати отримані на кульковий відбивач Пб/№, у якого була неякісно виготовлена сферична поверхня кулі. У табл. 2 наведено результати постійних поправок, ви-

значених інтерферометром та електронним тахеометром Leica 1205, який відповідає точності вимірювання ліній згідно з рівнянням регресії $m_D = 2\text{мм} + 2\text{мм} \cdot D \cdot 10^{-6}$, з використанням кулькових відбивачів різних конструктивних розмірів.

Порівнюючи результати постійних поправок відбивачів різними тахеометрами, слід зауважити деяку систематичну величину у їх визначен-

ні. Систематична похибка визначення постійних для різних тахеометрів означає конструктивну зміну їх постійних.

Ця величина сер. = -0,24 вказує на розбіжності в постійних самих приладів, адже вимірювання виконували щодо одних і тих самих відбивачів та за однією і тією ж самою методикою спостережень. Результати порівняння наведені у табл. 3.

Таблиця 2

Визначення постійних поправок електронного тахеометра Leica 1205 та кулькових відбивачів за допомогою інтерферометра 2021 р.

№ з/п	Кульковий відбивач	Діаметр, мм	Постійна, мм	КСВ, мм
1	П12-1	32	-5,31	0,07
2	П12-2	32	-5,19	0,04
3	П25-1	32	-22,62	0,04
4	П25-6	32	-22,49	0,05
5	П№196	45	-16,34	0,02
6	П№162	38	-17,21	0,03
7	П6/№	45	-13,67	0,08
–	–	–	сер.	0,05

Таблиця 3

Порівняння постійних поправок електронного тахеометра Leica 1201 та Leica 1205 та кулькових відбивачів за допомогою інтерферометра 2022 р.

№ з/п	Кульковий відбивач	Діаметр, мм	Постійна Leica 1201, мм	Постійна Leica 1205, мм	Різниця Leica 1201 та Leica 1205, мм
1	П12-1	32	-5,53	-5,31	-0,22
2	П12-2	32	-5,44	-5,19	-0,25
3	П25-1	32	-22,82	-22,62	-0,20
4	П25-6	32	-22,67	-22,49	-0,18
5	П№196	45	-16,63	-16,34	-0,29
6	П№162	38	-17,49	-17,21	-0,28
7	П6/№	45	-13,93	-13,67	-0,26
–	–	–	–	сер.	-0,24
–	–	–	–	КСВ	0,04

У 2020 р. виконані експериментальні вимірювання з визначення постійних поправок чотирьох кулькових відбивачів на фазовій ділянці лінійного базиса ЛНАУ м. Дубляни. Для цього по чергово виконані вимірювання горизонтальних проєкцій ліній з п'яти пунктів лінійного базиса. Вимірювання виконували трьома круговими прийомами роботизованим електронним

тахеометром Leica 1201 з застосуванням функції ATR автоматичного наведення на ціль за максимуму відбитого сигналу. Результати опрацювання визначення постійних поправок, оцінка їх точності та порівняння із визначеними поправками з застосуванням інтерферометра наведені у табл. 4. Аналіз цієї таблиці вказує на збільшення корегованого стандартного відхилення

визначення постійної поправки вдвічі. Це пояснюється потрійним вимірюванням ліній для визначення постійної за лінійним базисом порівняно з дворазовою у визначенні з застосуванням інтерферометра.

Проаналізувавши результати створених вимірювань ліній, запропонована методика визначення довжин інтервалів із виключенням систе-

матичної постійної поправки електронного тахеометра і відбивача. Використовуючи рівняння (9) та (11), визначили інтервали вимірюваних базисів електронним тахеометром із виключенням постійних чотирма відбивачами за різних установок інструмента на знаках 1, 3, 8, 13 та 15. Результати отриманих інтервалів наведені у табл. 5.

Таблиця 4

Порівняння постійних поправок електронного тахеометра Leica 1201 та кулькових відбивачів за допомогою лінійного базиса 2020 р.

№ з/п	Кульковий відбивач	Діаметр, мм	Постійна Leica 1201 та інтерферометра, мм	Постійна Leica 1201 та лінійного базиса, мм	КСВ визначення постійної за лінійним базисом, мм	Різниця постійних визначених за інтерферометром та лінійним базисом, мм
1	П12-1	32	-5,53	-5,77	0,22	0,24
2	П12-2	32	-5,44	-5,61	0,20	0,17
3	П25-1	32	-22,82	-22,93	0,19	0,11
4	П25-6	32	-22,67	-22,90	0,20	0,23
-	-	-	-	сер.	0,20	0,19
-	-	-	-	КСВ	0,01	0,06

Таблиця 5

Порівняння інтервалів, виміряних електронним тахеометром Leica 1201 на кулькові відбивачі з врахуванням постійних приладу із інтервалами лінійного базиса 2020 р.

№ визначень	Інтервали між трубними знаками лінійного базису, м			
	1–3	3–8	8–13	13–15
1	9,99260	5,00032	4,99992	10,01063
2	9,99260	5,00047	4,99970	10,01063
3	9,99277	5,00043	4,99983	10,01067
4	9,99263	5,00032	4,99995	10,01062
5	9,99280	5,00047	4,99962	10,01082
6	9,99295	5,00045	4,99963	10,01067
7	9,99275	5,00057	4,99968	10,01063
8	9,99277	5,00057	4,99968	10,01057
9	9,99220	5,00073	4,99965	10,01057
10	9,99303	5,00037	4,99972	10,01050
11	9,99288	5,00078	4,99943	10,01062
12	9,99277	5,00058	4,99967	10,01055
сер.	9,99273	5,00050	4,99971	10,01062
КСВ	0,00021	0,00015	0,00014	0,00008
базис	9,99315	5,00041	5,00002	10,01024
різниця (базис-сер.)	0,00042	-0,00009	0,00031	-0,00038

Величини різниць (базис-сер.) повністю відповідають точності визначення п'ятиметрових інтервалів лінійного базиса за допомогою компарованого контрольного метра з застосуванням фотофіксації у відлічуванні.

Наукова новизна і практична значущість

Досліджені методи визначення постійних поправок кулькових відбивачів та тахеометрів. Запропонована методика визначення довжин вимірвальних інтервалів із виключенням систематичної постійної поправки електронного тахеометра і відбивача.

Рекомендується застосування кулькових відбивачів для швидкого та однозначного установлення на пунктах, зручності їх використання для моніторингових спостережень, а також для підвищення точності лінійних вимірювань зменшенням похибок центрування. Для досягнення високоточних вимірювань коротких ліній рекомендовано, відповідно до виконаних досліджень, ретельно визначити постійну поправку тахеометра та кулькових відбивачів, це дає можливість підвищити точність виміру ліній принаймні втричі, порівняно із заявленою точністю виробником тахеометрів.

Висновки

1. Застосування кулькових відбивачів з вмонтованою трипеліпризмою дає змогу з врахуванням постійної приладової поправки значно підвищити точність вимірювання віддалей унаслідок зменшення похибок центрування (для тахеометрів Leica 1201 до 0,4 мм).

2. Вимірювання коротких інтервалів тахеометрами Leica 1201 та Leica 1205 на трипеліпризмові відбивачі однакові за точністю, хоча мають заявлені виробником різні рівняння регресії.

3. Визначення постійних приладових поправок тахеометра та відбивача із застосуванням інтерферометра переміщень можна виконати з точністю 0,1 мм, яка значно залежить від точності вимірювання ліній тахеометром.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

Бурак, К. О., Михайлишин, В. П. (2018). Спосіб визначення геометричних параметрів колових підкрано-

вих колій. *Науковий вісник НЛТУ України*, 28(5), 130–134. URL: <https://doi.org/10.15421/40280527>.

Інструкція з топографічного знімання у масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 та 1:500. (1999). К. : ГУГК.

Костецька, Я., Блецкан, В. (2011). Опрацювання результатів дослідження приладової поправки тахеометрів за допомогою вимірювання відрізків лінії у всіх комбінаціях. *Геодезія і геодинаміка*, 11(22), 109–111.

Літинський, В., Віват, А., Літинський, С. (2015). Спосіб вимірювання Взірцевого базиса 2-го розряду для еталонування електронних тахеометрів. *Геодезія, картографія і аерофотознімання*, 81, 59–65. URL: <https://doi.org/10.23939/istcgscap.2015.01.059>.

Лиско, Б. О., Михайлишин, В. П. (2021). Визначення постійної поправки електронних віддалемірів методами нелінійного програмування. *Науковий вісник НЛТУ України*, 31(2), 98–102. URL: <https://orcid.org/0000-0002-2525-1557>.

Перій, П., Ванкевич, П., Самара, С. (2021). Застосування кулькових відбивачів для координування і моніторингу рухомих та нерухомих об'єктів. *Геофорум-2021 : матер. Міжнар. наук.-техн. конф.* URL: <http://zgt.com.ua/мнтк-геофорум-3-2-2-2/>.

Спосіб визначення приладової поправки з використанням лазерного інтерферометра : пат. 120949 Україна: 2006. № а201706967; заявл. 03.07.2017; опубл. 10.03.2020.

Становий гвинт для скріплення геодезичних приладів з центрувальними плитами трубних знаків: пат. 145153 Україна: 2020 № 145153; заявл. 09.06.2020; опубл. 25.11.2020.

Lackner, S., & Lienhart, W. (2016, March). Impact of prism type and prism orientation on the accuracy of automated total station measurements. In *Proc. 3rd Joint International Symposium on Deformation Monitoring*.

Leica Nova TS60 – World's most accurate total station. URL: <https://leica-geosystems.com/products/total-stations/robotic-total-stations/leica-nova-ts60>.

Lienhart, W. (2017). Geotechnical monitoring using total stations and laser scanners: critical aspects and solutions. *Journal of civil structural health monitoring*, 7, 315–324. URL: <https://doi.org/10.1007/s13349-017-0228-5>.

Petrakov, Y., & Shuplietsov, D. (2018). Accuracy control of contour milling on CNC machines. URL: <https://doi.org/10.20535/25211943.2018.83.132223>.

Pokotylo, I., Korliatovych, T., & Vovk, A. (2020). Geodetic monitoring of meter intervals of the Berezhan basis. In International Conference of Young Professionals "GeoTerrace-2020" (Vol. 2020, No. 1, pp. 1–5). EAGE Publications BV. URL: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20205747>.

Schweitzer, J., & Schwieger, V. (2011). Modeling of quality for engineering geodesy processes in civil engineering. URL: <https://doi.org/10.1515/jag.2011.002>.

- Tserklevych, A., Vivat, A., & Petrov, S. (2022). Engineering solutions for increasing the accuracy of geodesic measurements by total stations. *Geodesy, Cartography, and Aerial Photography*, 96, 58–69. URL: <https://doi.org/10.23939/istcgcap2022.96.058>.
- Vivat, A., Tserklevych, A., & Smirnova, O. (2018). A study of devices used for geometric parameter measurement of engineering building construction. *Geodesy, Cartography and Aerial Photography*, 87, 21–29. URL: <https://doi.org/10.23939/istcgcap2018.01.021>.

Serhii PERII¹, Anatolii VIVAT², Ivan POKOTYLO¹, Andriy VOVK¹, Pavlo PERII³

¹ Department of Geodesy, Lviv Polytechnic National University, 12, S. Bandery Str., Lviv, 79013, Ukraine, tel. +38(067)6726744, email: serhii.s.perii@lpnu.ua, ^{1A} <https://orcid.org/0000-0002-2489-3275>, ^{1C} <https://orcid.org/0000-0002-0445-1947>

² Department of Engineering Geodesy, Lviv Polytechnic National University, 12, S. Bandery Str., Lviv, 79013, Ukraine, tel. +38(067)6726744, email: anatolii.y.vivat@lpnu.ua, <https://orcid.org/0000-0002-6114-5911>

³ Scientific and organizational department, National Academy of Land Forces named after Hetman Peter Sagaidachny, 32, Heroiv Maidana Str., Lviv 79012, Ukraine, e-mail: periyps@ukr.net

DETERMINATION OF PERMANENT CORRECTIONS OF BALL REFLECTORS

Today, there are many manufacturers of triple-prism, spherical reflectors with different mechanical characteristics. That is why there is a problem of matching the signal reflection center with the geometric one. The purpose of this work is to evaluate the methods of determining permanent corrections of electronic tacheometers, ball reflectors and to develop recommendations for their use. Method. To determine the instrument correction, a displacement interferometer is used. It contains a two-frequency He-Ne laser with a wavelength of $\lambda = 0.63 \mu\text{m}$ (red range). The study compared the results of length measurements by an interferometer and an electronic total station with a ball reflector. This allowed determining the instrument correction. The research defined the constant correction of reflectors and total stations on the phase section of the field base using the method of created linear observations. Results. Experimental studies of ball reflectors of various manufacturers and Leica electronic tacheometers were conducted. The determination of constant instrument corrections of the total station and reflector using the displacement interferometer can be performed with an accuracy of 0.1 mm. This significantly depends on the accuracy of measuring lines with the total station. The use of ball reflectors with a built-in triple prism allows significant increase of distance measurement accuracy by reducing centering errors, considering the constant instrument correction (up to 0.4 mm for Leica 1201 total stations). Scientific novelty. The methods of determining permanent corrections of ball reflectors and total stations were investigated. The proposed method determines the measurement interval length with the exception of systematic constant correction of the electronic total station and reflector. Practical relevance. The use of ball reflectors is recommended for quick and unambiguous installation at points, convenience of their use for monitoring observations, as well as for increasing the accuracy of linear measurements due to the reduction of centering errors. In order to achieve high-precision measurements of short lines, it is recommended, according to the performed studies, to carefully determine the constant correction of the total station and ball prisms. This makes it possible to increase the accuracy of line measurements at least three times compared to the declared accuracy of the total station manufacturer.

Key words: permanent instrument correction, electronic tacheometers, ball reflector, triple-prism, interferometer.

Надійшла 28.02.2023 р.