

Сергій Крячок, Людмила Мамонтова, Вадим Беленок

## ВИЗНАЧЕННЯ СТАЛОЇ ВІДДАЛЕМІРА ЕЛЕКТРОННОГО ТАХЕОМЕТРА ПІД ЧАС ПРИВ'ЯЗКИ ДО СТІННИХ ГЕОДЕЗИЧНИХ ЗНАКІВ

**Актуальність теми дослідження.** Останніми роками в Україні широко застосовуються новітні методи створення геодезичних мереж на основі супутникових технологій. На території міст із багатопверховою забудовою, у лісистій місцевості застосовуються комбіновані методи створення геодезичних мереж із використанням супутникових технологій та полігонометрії.

**Постановка проблеми.** Побудова полігонометричних мереж потребує вимірювання відстані між геодезичними пунктами, яке виконується за допомогою електронних віддалемірів чи електронних тахеометрів, останні з яких мають вмонтовані електронні віддалеміри. Для надійного визначення відстані необхідно періодично визначати постійну поправку, або сталу електронного віддалеміра.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Були розглянуті останні публікації у відкритому доступі, які присвячені способам визначення сталої електронних віддалемірів.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Недослідженим є визначення сталої електронного віддалеміра безпосередньо під час виконання геодезичних вимірювань, без додаткових операцій для її визначення.

**Мета статті.** Головною метою цієї статті є розробка способу визначення сталої віддалеміра електронного тахеометра на основі даних, отриманих під час прив'язки до стінних геодезичних знаків, без додаткових операцій на визначення саме сталої.

**Виклад основного матеріалу.** Наведено технологію вимірювань, яка виконується під час прив'язки до подвійних стінних геодезичних знаків із використанням електронного тахеометра. Показано, що на основі вимірюваних величин: похилих відстаней від геодезичного пункту до двох стінних знаків, кутів нахилу цих відстаней та горизонтального кута між напрямками на стінні знаки, можна визначити сталу віддалеміра електронного тахеометра та координати геодезичного пункту. Наведено формулу для обчислення сталої.

**Висновки відповідно до статті.** Розроблено спосіб визначення сталої віддалеміра електронного тахеометра на основі результатів геодезичних вимірювань, які виконуються під час прив'язки до подвійних стінних знаків, без додаткових вимірювань для визначення саме сталої.

**Ключові слова:** електронний тахеометр; стала електронного віддалеміра; стінні знаки.

Рис. 2. Бібл.: 11.

**Актуальність теми дослідження.** Останніми роками в Україні широко застосовуються новітні методи створення геодезичних мереж на основі супутникових технологій [1; 2]. На її території збільшується чисельність перманентних GNSS станцій, які з часом включаються як довірчі в мережене ущільнення EUREF [3].

Але в містах із багатопверховою забудовою, у лісистій місцевості використання супутникових методів стає проблематичним, оскільки багатопроменевість поширення сигналу, екранування необхідної кількості супутників не дозволяють надійно визначити координати пунктів із точністю, яка б задовольняла вимоги геодезичних та землепорядних робіт. У цьому випадку застосовуються комбіновані методи створення геодезичних мереж [4]. Для цього координати опорних пунктів визначаються супутниковими методами, а розвиток геодезичної мережі виконується традиційними методами [4; 5; 6], основним з яких є полігонометрія.

**Постановка проблеми.** Побудова полігонометричних мереж потребує вимірювання відстані між геодезичними пунктами, яке виконується за допомогою електронних віддалемірів чи електронних тахеометрів, останні з яких мають вмонтовані електронні віддалеміри. Для надійного визначення відстані необхідно періодично визначати постійну поправку, або сталу електронного віддалеміра.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Нині є декілька способів визначення сталої віддалеміра електронного тахеометра [7; 8]. Вони засновані на вимірюванні: коротких інтервалів відомої довжини в межах фазового циклу; контрольного базису довжиною 300-500 м; довжин кількох ліній, значення яких попередньо визначені із заданою точністю. Постійна поправка визначається як різниця між відомою довжиною відрізка та довжиною, виміряною за допомогою електронного віддалеміра. Недоліком зазначених способів є необхідність попереднього вимірювання інтервалів із високою точністю:  $(1 - 2) \cdot 10^{-6}$  – для геодезичних і топографічних світловіддалемірів та  $(3 - 5) \cdot 10^{-7}$  – для високоточних світловіддалемірів [6] та закріплення кінців інтервалів на місцевості.

У публікації [9] запропоновано спосіб визначення сталої віддалеміра електронного тахеометра шляхом застосування блока контрольного відліку, який прикріплюється до об'єктива зорової труби тахеометра. Недоліком є те, що не всі електронні віддалеміри оснащені такою насадкою. Крім того, запропоновано також визначати сталу за триштативною системою [7; 9].

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Аналіз наведених публікацій свідчить про те, що визначення сталої є окремою процедурою, яку періодично потрібно виконувати, і, таким чином, витрачати час на її проведення.

Не дослідженим є визначення сталої електронного віддалеміра безпосередньо під час виконання геодезичних вимірювань.

**Мета статті.** Головною метою цієї статті є розробка способу визначення сталої віддалеміра електронного тахеометра на основі даних, отриманих під час прив'язки до подвійних стінних знаків, без додаткових вимірювань на визначення саме сталої.

**Виклад основного матеріалу.** На рис. 1 зображено центри 1, 2, 3 геодезичних пунктів [10].

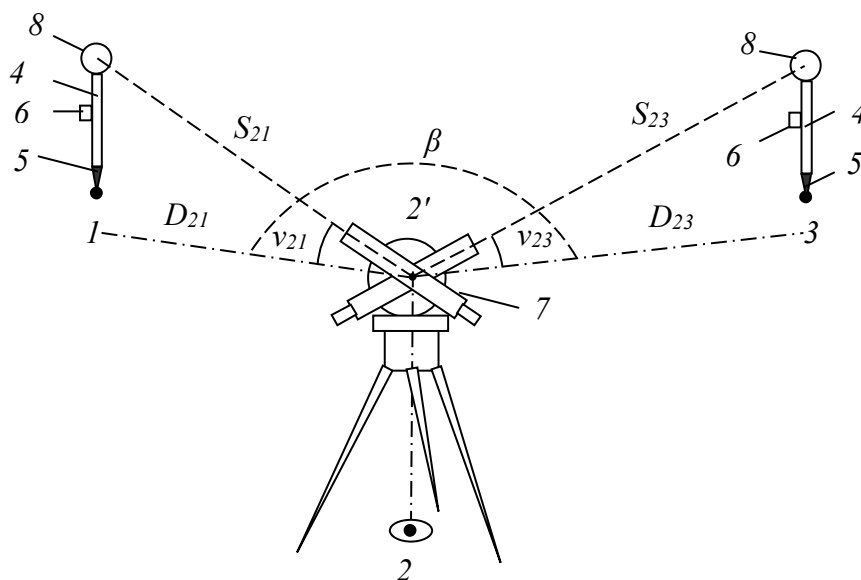


Рис. 1. До технології прив'язки до подвійних стінних знаків із використанням електронного тахеометра

Причому центри 1, 3 є центрами отворів стінних знаків із відомими координатами  $X_1, Y_1$  та  $X_3, Y_3$ . Центр 2 належить геодезичному пункту, координати якого потрібно визначити. Вісь обертання зорової труби електронного тахеометра, яка проходить через точку 2', знаходиться на вертикалі 2-2'. Корпус стандартного відбивача 4 має конусоподібний наконечник 5, циліндричний рівень 6 та власне відбивач у вигляді тріпель-призми 8. На корпусі відбивача може розміщуватись візирна марка для вимірювання на неї горизонтальних кутів.  $S_{21}, S_{23}$  – похилі відстані,  $D_{21}, D_{23}$  – горизонтальні відстані (горизонтальні прокладення),  $v_{21}, v_{23}$  – кути нахилу напрямків на центри тріпель-призм 7,  $\beta$  – горизонтальний кут між напрямками на центри пунктів 1 та 2.

На рис. 2 показано центри 1, 3 стінних знаків та 2 – центр геодезичного пункту, координати якого визначаються.

Центри 1 і 3 спроектовані по вертикалям 1-1' та 3-3' на горизонтальну площину 1'-2'-3' (горизонт інструменту).  $S'_{21}, S'_{23}$  – похилі відстані від осі обертання 2' зорової труби електронного тахеометра до вертикалей 1-1' та 3-3', які проходять через центри 1 і 3 стінних знаків.  $D'_{21}, D'_{23}$  – горизонтальні відстані (горизонтальні прокладення) від осі

обертання 2' зорової труби до вертикалей 1'-1'' та 3'-3'' відповідно.  $\nu_{21}$ ,  $\nu_{21}$  – кути нахилу похилих відстаней  $S'_{21}$ ,  $S'_{23}$  відносно їх горизонтальних прокладень  $D'_{21}$ ,  $D'_{23}$  відповідно.

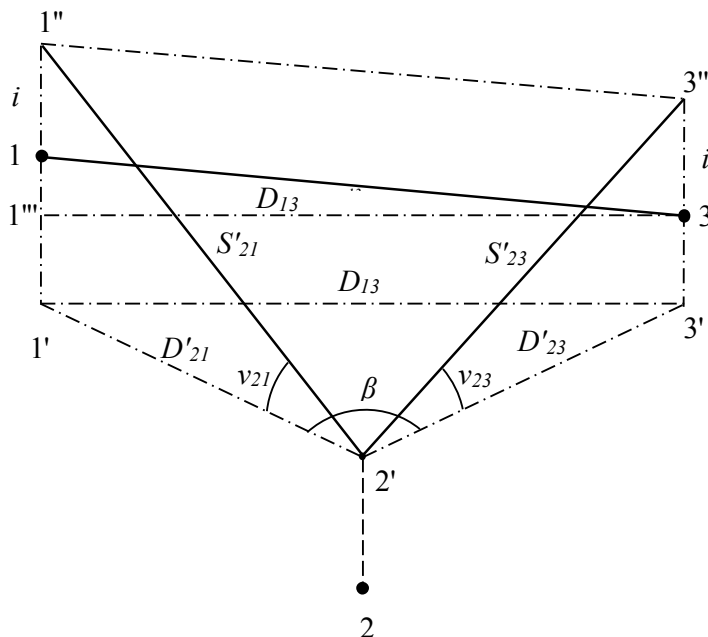


Рис. 2. До встановлення зв'язку між вимірними елементами

Під час прив'язки до стінних знаків виконуються такі дії (рис. 1). Електронний тахеометр встановлюють над центром пункту 2, координати якого визначаються, та приводять його у робочий стан. На центр пункту 1 з відомими координатами  $X_1$ ,  $Y_1$  встановлюють корпус відбивача 4 так, що наконечник 5 конусоподібної форми суміщується з центром пункту 1. Приводять бульбашку круглого рівня 6 на середину ампули. Наводять зорову трубу 7 електронного тахеометра на центр відбивача 8 та зчитують із монітора тахеометра похилу відстань  $S_{21}$  або горизонтальну відстань  $D_{21}$  та кут нахилу  $\nu_{21}$  візирного променя відносно горизонту приладу. У першому випадку горизонтальна відстань може бути визначена за формулою

$$D_{21} = S_{21} \cdot \cos \nu_{21}. \tag{1}$$

Встановлюють віху над центром геодезичного пункту 3 та після приведення її до вертикального положення за круглим рівнем наводять на відбивач зорову трубу тахеометра та зчитують із його монітору похилу відстань  $S_{23}$  або горизонтальну відстань  $D_{23}$  та кут нахилу  $\nu_{23}$  візирного променя відносно горизонту приладу. Горизонтальну відстань можна обчислити за формулою

$$D_{23} = S_{23} \cdot \cos \nu_{23}. \tag{2}$$

Горизонтальний кут  $\beta$  між напрямками на центри пунктів 2 та 3 можна виміряти або відносно центрів відбивачів, або відносно візирних марок, розміщених на корпусах 4 відбивачів,  $D'_{21}$ ,  $D'_{23}$  або на юстувальні шпильки чи сірники, встановлені в отвори центрів стінних знаків.

Наступним етапом є розрахунок сталої віддалеміра електронного тахеометра. Пояснення щодо отримання формули для розрахунку сталої наведено на рис. 2. Відстань  $S'_{21}$  містить у собі відстань  $S_{21}$ , виміряну тахеометром та сталу віддалеміра  $c$ . Тож,

$$S'_{21} = S_{21} + c. \tag{3}$$

Горизонтальне прокладення цієї відстані з урахуванням (3) та (1) дорівнює

$$D'_{21} = S'_{21} \cos \nu_{21} = (S_{21} + c) \cos \nu_{21} = D_{21} + c \cdot \cos \nu_{21}. \tag{4}$$

Аналогічно

$$D'_{23} = S'_{23} \cos \nu_{23} = (S_{23} + c) \cos \nu_{23} = D_{23} + c \cdot \cos \nu_{23}. \quad (5)$$

З горизонтального трикутника  $1', 2', 3'$ , теореми косинусів та врахування (4), (5), впливає

$$D_{13}^2 = (D_{21} + c \cdot \cos \nu_{21})^2 + (D_{23} + c \cdot \cos \nu_{23})^2 - 2(D_{21} + c \cdot \cos \nu_{21})(D_{23} + c \cdot \cos \nu_{23}) \cos \beta. \quad (6)$$

Розв'язування квадратного рівняння (6) відносно  $c$  дозволяє отримати формулу для обчислення сталої віддалеміра

$$c = \frac{1}{a} \{ b \cdot D_{21} + d \cdot D_{23} + [ a \cdot D_{13}^2 - (D_{21} \cdot \cos \nu_{23} - D_{23} \cdot \cos \nu_{21})^2 \cdot \sin^2 \beta ]^{\frac{1}{2}} \}, \quad (7)$$

де  $a = \cos^2 \nu_{21} + \cos^2 \nu_{23} - 2 \cos \nu_{21} \cdot \cos \nu_{23} \cdot \cos \beta$ ,  $b = \cos \nu_{23} \cdot \cos \beta - \cos \nu_{21}$ ,  $d = \cos \nu_{21} \cos \beta - \cos \nu_{23}$ .

Далі обчислюють виправлені горизонтальні прокладення за формулами (4) та (5) і розраховують координати центра 2 геодезичного пункту за відомою методикою, наведеною, наприклад, у [11].

Можна виміряти відстань  $S_{13}$  між центрами крайніх пунктів компарованим мірним приладом, наприклад, рулеткою з точністю до міліметрів, а після визначення сталої на основі цих вимірювань, координати пункту 2 визначаються за стандартною процедурою, наведеною в [11]. Далі відстань  $S_{13}$  необхідно привести до горизонту. Тому під час вимірювання відстаней від центру пункту 2 до центрів пунктів 1 і 3 електронним тахеометром відбивачі встановлюють на одну висоту  $i$  (рис. 1, 2). З рис. 2 зрозуміло, що

$$h = (1' - 1'') - (3' - 3'') = S'_{21} \sin \nu_{21} - S'_{23} \sin \nu_{23} = h_{21} - h_{23}, \quad (8)$$

де  $h_{21}$ ,  $h_{23}$  – перевищення центрів 1 та 2 над горизонтом інструментів, які можна записати з дисплею електронного тахеометра.

Слід зауважити, що оскільки стала віддалеміра ще не обчислена, то використовують відстані і перевищення у формулі (8), виміряні за допомогою тахеометра – замість виправлених відстаней. Однак сталі електронних віддалемірів мають значення від 0 до кількох сантиметрів, а виміряні відстані – від кількох метрів до десятків метрів, а подвійні стінні знаки знаходяться приблизно на одній висоті. Отже, перевищення  $h_{21}$ ,  $h_{23}$  та їх різниця  $h$  у формулі (8) будуть у цьому випадку незначно спотворені через відсутність сталої  $c$ .

Горизонтальне прокладення визначається за відомою формулою

$$D_{13} = \sqrt{S_{13}^2 - h^2}, \quad (9)$$

де  $S_{13}$  – відстань між центрами крайніх пунктів;  $h$  – перевищення.

**Висновки відповідно до статті.** Розроблено спосіб визначення сталої віддалеміра електронного тахеометра на основі результатів вимірювань, які виконуються під час прив'язки до стінних знаків, без додаткових операцій на визначення саме сталої.

#### Список використаних джерел

1. Шульц Р. В., Терещук О. І., Анненков А. О., Нисторьяк І. О. Практичні дослідження точності визначення координат за супутниковими технологіями у реальному часі. *Інженерна геодезія*. 2014. № 61. С. 58–77.
2. Tereshchuk O., Nystorik I. Efficiency of application of satellite technology when performing land cadastral works in settlements. *Геодезія, картографія і аерофотознімання*. 2016. Вип. 84. С. 90–98.
3. Терещук О. І., Нисторьяк І. О. Досвід функціонування перманентної GNSS-станції «Чернігів» (СНІV) у мережі EPN. *Технічні науки та технології: науковий журнал*. 2015. № 1. С. 130–140.
4. Бурачек В. Г., Нисторьяк І. О. Сумісне використання GPS-технологій та електронної тахеометрії для визначення координат точок опорної мережі. *Наукові аспекти геодезії, землеустрою та інформаційних технологій: II наук.-практ. конф.* Київ: НАУ, 2013. С. 70–75.

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

5. Терещук О. І., Нистор'як І. О., Шульц Р. В. Відновлення міських полігонометричних мереж сучасними супутниковими технологіями. *Геодезія, картографія і аерофотознімання*. Львів, 2015. Вип. 82. С. 59–72.
6. Патент 82874 Україна. ПМК G01C 7/00. Спосіб побудови геодезичної опорної фігури / В. Г. Бурачек, І. О. Нистор'як, О. І. Терещук, ЧДІЕУ. – № у 2012 08638; заявл. 12.07.2012; опубл. 27.08.2013, Бюл. № 16.
7. Бронштейн Г. С. Комбинированные способы измерения расстояний. Москва: Недра, 1991. 92 с.
8. Сборник инструкций по производству поверок геодезических приборов / Главное управление геодезии и картографии при Совете Министров СССР. Москва: Недра, 1988. 77 с.
9. Ворошилов, А. П. Определение постоянной поправки дальномера электронного тахеометра. *Геопрофи*. 2005. № 4. С. 46–47.
10. Патент. 124821, Україна МПК (2018.01) G01C 3/00 G01B 7/00 G01B 11/00. Спосіб визначення сталої віддалеміра електронного тахеометра / С. Д. Крячок, Л. С. Мамонтова, В. Ю. Беленок, Г. М. Горлова; заявники та патентовласники С. Д. Крячок, Л. С. Мамонтова, В. Ю. Беленок, Г. М. Горлова. – у 2017.10698; заявл. 03.11.2017; опубл. 25.04.2018. Бюл. № 8.
11. Тревого И. С., Шевчук П. М. Городская полигонометрия. Москва: Недра, 1986. 199 с.

**References**

1. Schultz, R. V., Tereshchuk, O. I., Annenkov, A. O., Nystoryak, I. O. (2014). Praktychni doslidzhennia tochnosti vyznachennia koordynat za suputnykovymy tehnolohiiamy u realnomu chasi [Research accuracy of the coordinates satellite technology in real time]. *Inzhenerna heodeziia – Engineering Geodesy*, 61, 59–78 [in Ukrainian].
2. Tereshchuk, O. & Nestoryk, I. (2016). Efficiency of application of satellite technology when performing land cadastral works in settenets. *Heodeziia, kartohrafiia ta aerofotoznimannia – Geodesy, cartography and aerial photography*, 84, 90–98 [in Ukrainian].
3. Tereshchuk, O. & Nestoryk, I. (2015). Dosvid funktsionuvannya permanentnoyi GNSS-stantsiyi «Chernihiv» (CNIV) u merezhi EPN [The experience of functioning of the permanent GNSS station «Chernigov» (CNIV) in the network of the EPN]. *Heodeziia, kartohrafiia i aerofotoznimannia – Geodesy, cartography and aerial photography*, 1, 130–140 [in Ukrainian].
4. Burachek, V. H. & Nistor'yak, I. O. (2013). Sumisne vykorystannia GPS-tekhnohiiy ta elektronnoyi toyoometriyi dlya vyznachennya koordynat tochok opornoyi merezhi [Compatible use of GPS technology and electronic tacheometry to determine the coordinates of the points of the reference network]. *Naukovi aspekty heodezii, zemleustroiu ta informatsiinykh tekhnolohii: II nauk.-prakt. konf. NAU – Scientific aspects of geodesy, land management and information technologies. Conference proceedings of the Scientific and Practical Conference* (Kyiv, pp. 70–75). Kyiv: NAU [in Ukrainian].
5. Tereshchuk, O. I., Nystoriak, I. O. & Shults, R. V. (2015). Vidnovlennya mis'kykh polihonometrychnykh merezh suchasnymy suputnykovymy tekhnolohiiamy [Reconstruction of urban polygonometric networks with modern satellite technologies]. *Heodeziia, kartohrafiia ta aerofotoznimannia – Geodesy, cartography and aerial photography*, 82, 59–72 [in Ukrainian].
6. Burachek, V. H., Nystoryak I. O. & Tereshchuk O. I. (2013). Sposib pobudovy heodezychnoyi opornoyi fihury [Method of constructing a geodetic supporting figure]. Patent Ukrainian No. 82874.
7. Bronshteyn, G. S. (1991). *Kombinirovannye sposoby izmereniia rasstoianii [Combined methods for measuring distances]*. Moscow: Nedra [in Russian].
8. Sbornik instruksiy po proizvodstvu poverok geodezicheskikh priborov [Collection of instructions for the production of calibration surveying instruments] (1988). *Glavnoe upravlenie geodezii i kartografii pri Sovete Ministrov SSSR – Main Department of Geodesy and Cartography under the Council of Ministers of the USSR*. Moscow: Nedra [in Russian].
9. Voroshilov, A. P. (2005). Opredelenie postoiannoii popravki dalnomera elektronnoho takheometra [Determination of the constant correction of the rangefinder of an electronic total station]. *Geoprofi – Geoprofi*, 4, 46–47 [in Russian].
10. Kryachok, S. D., Mamontova, L. S., Belenok, V. Yu. & Gorlova, G. M. (2018). Sposib vyznachennya staloyi viddalemira elektronnoho takheometra [A method for determining the remote distance meter of an electronic station]. Patent Ukrainian No. 124821.
11. Trevogo, I. S. (1986). *Gorodskaiia poligonometriia [City polygonometry]*. Moscow: Nedra [in Russian].

UDC 528.1

*Serhiy Kryachok, Liudmila Mamontova, Vadym Belenok***DETERMINATION OF THE TOTAL STATION'S RANGE FINDER CONSTANT DURING SNAPPING TO WALL GEODESIC SIGNS**

**Urgency of the research.** The latest methods of creating geodetic networks based on satellite technologies are widely used in Ukraine. On the territory of cities with multi-storey buildings, in wooded areas, combined methods of creating geodetic networks using satellite technology and polygonometry are used in recent years.

**Target setting.** When creating polygonometry networks it is necessary to measure the distance between geodetic points, which is performed using electronic rangefinders or electronic total stations, the latter of which contain built-in electronic rangefinders. To reliably determine the distance, it is necessary to periodically determine the constant correction or the constant of the electronic rangefinder.

**Actual scientific researches and issues analysis.** The latest publications in open access which consider how to determine the constant electronic rangefinders were reviewed.

**An unexplored parts of a common problem.** Not investigated is the determination of the constant electronic range finder directly during the execution of geodetic measurements without additional operations to determine it.

**The research objective.** The main goal of this article is to develop a method for determining the constant rangefinder of an electronic total station based on the data obtained during binding to wall geodetic signs without additional operations to determine of constant.

**The statement of basic materials.** A measurement technology, which is performed during binding to double geodesic wall signs using an electronic total station is given. It is shown that on the basis of measured values: slant distances measured from the geodetic point to two wall signs, the slope angles of these distances and the horizontal angle between the directions on the wall signs, it is possible to determine the constant correction of the electronic total station and the coordinates of the geodetic point. The formula for calculating the constant is given.

**Conclusions.** The method has been developed for determining the permanent rangefinder of an electronic total station based on the results of geodetic measurements that are performed during snapping to double wall signs without additional measurements to determine of constant.

**Keywords:** electronic total station; electronic range finder constant; wall signs.

Fig.: 3. References: 11.

**Крячок Сергій Дмитрович** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри геодезії, картографії та землеустрою, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

**Kryachok Serhiy** – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Geodesy, Cartography and Land Management, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** geodesist2015@gmail.com

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-5633-1501>

**ResearcherID:** N-3061-2016

**Мамонтова Людмила Степанівна** – старший викладач кафедри геодезії, картографії та землеустрою, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

**Mamontova Liudmila** – Senior Lecturer of the Department of Geodesy, Cartography and Land Management, Chernihiv National University of Technology. (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** liudmila.mamontova@yandex.Ua.

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0003-4144-5261>

**ResearcherID:** N-3070-2016

**Беленок Вадим Юрійович** – кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри аерокосмічної геодезії Національного авіаційного університету (просп. космонавта Комарова, 1, м. Київ, 03058, Україна).

**Belenok Vadym** – PhD in Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor of the Department of Aerospace Geodesy, National Aviation University (1 Kosmonavta Komarova Av., 03058 Kyiv, Ukraine).

**E-mail:** belenok.vadim@nau.edu.ua

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-5357-7493>

**ResearcherID:** S-7566-2019