

**Корнієнко Світлана Петрівна** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри вищої та прикладної математики, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Белова, 4, м. Чернігів, 14000, Україна).

**Корниенко Светлана Петровна** – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры высшей и прикладной математики, Черниговский национальный технологический университет (ул. Белова, 4, г. Чернигов, 14000, Украина).

**Korniienko Svitlana** – PhD in Technical Sciences, Associate Professor of Higher and Applied Mathematics, Chernihiv National University of Technology (4 Bielova Str., 14000 Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** cornel@ukr.net

**Кошма Артем Іванович** – аспірант, аспірант кафедри геодезії, картографії та землеустрою, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Белова, 4, м. Чернігів, 14000, Україна).

**Кошма Артём Иванович** – аспирант, аспирант кафедры геодезии, картографии и землеустройства, Черниговский национальный технологический университет (ул. Белова, 4, г. Чернигов, 14000, Украина).

**Koshma Artem** – postgraduate, postgraduate of Geodesy, Cartography and Land Planning Department, Chernihiv National University of Technology (4 Bielova Str., 14000 Chernihiv, Ukraine).

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

УДК 528.3

*Сергій Крячок*

## УДОСКОНАЛЕННЯ БЕЗБАЗИСНОГО СТВОРНОГО СПОСОБУ ВИЗНАЧЕННЯ СТАЛОЇ ЕЛЕКТРОННОГО ВІДДАЛЕМІРА

*Сергей Крячок*

## УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ БЕЗБАЗИСНОГО СТВОРНОГО СПОСОБА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОСТОЯННОЙ ПОПРАВКИ ЭЛЕКТРОННОГО ДАЛЬНОМЕРА

*Serhii Kriachok*

## IMPROVEMENT OF THE METHOD DETERMINING CONSTANT CORRECTION ELECTRONIC RANGEFINDER WITH INSTALLATION OF THE DEVICES IN LINE

Виконано теоретичне обґрунтування допусків на взаємне розташування приладів для безбазисного створного способу визначення сталої електронного віддалеміра. Побудовано математичну модель та зроблено математичне моделювання для електронних віддалемірів з точністю вимірювання ліній  $m_S = 2\text{мм} + 2\text{мм} \cdot S_{\text{км}}$  та горизонтальних і вертикальних кутів  $10''$ . За результатами моделювання визначено діапазон припустимих зміщень середнього штатива в плані та по висоті відносно створної лінії крайніх штативів. Запропоновано врахувати зміщення середнього штатива для обчислення сталої, що дозволило розширити діапазон припустимих величин зміщень та скоротити час польової складової визначення сталої.

**Ключові слова:** геодезична мережа, стала електронного віддалеміра, точність вимірювання відстаней, математична модель, електронний тахеометр, допуски геодезичних вимірювань.

*Рис.: 3. Табл.: 4. Бібл.: 8.*

Выполнено теоретическое обоснование допусков на взаимное расположение приборов для безбазисного створного способа определение постоянной поправки электронного дальномера. Построена математическая модель и сделано математическое моделирование для электронных дальномеров с точностью измерения линий  $m_S = 2\text{мм} + 2\text{мм} \cdot S_{\text{км}}$ , горизонтальных и вертикальных углов  $10''$ . По результатам моделирования определен диапазон допустимых смещений среднего штатива в плане и по высоте относительно створной линии крайних штативов. Предложено учитывать смещение среднего штатива для вычисления постоянной поправки, что позволяет расширить диапазон допустимых величин смещений и сократить время полевой составляющей определение постоянной поправки.

**Ключевые слова:** геодезическая сеть, постоянная поправка электронного дальномера, точность измерения расстояний, математическая модель, электронный тахеометр, допуски геодезических измерений.

*Рис.: 3. Табл.: 4. Библ.: 8.*

The theoretical justification of the tolerances on the relative position of devices for method definition of constant amendment electronic rangefinder with installation of the devices in line is made. Taken into account the deviations of the middle tripod in plan and in height relative to the line extreme tripods. A mathematical model developed and performed mathematical modeling for electronic range-finder with an accuracy of measurement of lines  $m_S = 2\text{мм} + 2\text{мм} \cdot S_{\text{км}}$ , horizontal and vertical angles  $10''$ . The simulation results allow us to determine the range of permissible displacements of the middle of the tripod in plan and in height relative to the line of extreme tripods. The permanent amendment proposed to

calculate taking into account the displacements of the middle of the tripod. This allows increasing the range of acceptable displacements and reducing the time of work on the area to determine the constant amendments.

**Key words:** surveys net, constant correction of electronic rangefinder, accuracy of measurement of lines, mathematical model, electronic total station, permits on the survey measuring.

Fig.:3. Tabl.: 4. Bibl.: 8.

**Постановка проблеми.** В останні роки в Українішироко застосовуються новітні методи створення геодезичних мереж на основі супутникових технологій. На її території збільшується кількість перманентних GNSS станцій, які з часом включаються як довірчі в мережене ущільнення EUREF [1].

У населених пунктах з багатоповерховою забудовою, у лісистих місцевостях застосування супутникових методів наштовхується на такі завади, як багатопроменевість поширення сигналу, недостатня кількість супутників для надійного визначення місцеположення приймача користувача та екранування сигналу. Тому застосовуються комбіновані методи створення геодезичних мереж. Вони включають визначення координат опорних пунктів супутниковими технологіями та розвиток мережі традиційними методами [2].

У таких методах, як полігонометрія і трилатерація, для вимірювання відстаней між пунктами використовуються електронні віддалеміри як у самостійному виконанні, так і у складі електронних тахеометрів. Для надійного визначення відстаней потрібно знати величину постійної поправки, або сталої віддалеміра. Значення цієї сталої може змінюватись через різні причини [3]. Тому в інструкціях з експлуатації цих приладів пропонується періодично повертатися до її значення. У разі використання для вимірювання відстаней інших моделей відбивачів визначення сталої віддалеміра (у подальшому – сталої) є обов'язковим.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Існує кілька варіантів визначення сталої, особливості яких наведено в інструкціях з експлуатації електронних віддалемірів і тахеометрів. Їх розглянуто у працях [4; 5]. Найбільш надійно сталу можна отримати на базисі з кількох ліній, на якому виконуються вимірювання відстаней електронним віддалеміром та у підсумку визначається значення постійної поправки. Однак у польових умовах за відсутності поблизу базису з високоточним визначенням його відрізків заслугоує на увагу використання безбазисного способу.

Безбазисний спосіб вимірювання має дві модифікації. У першому випадку електронним віддалеміром вимірюються кілька ліній, розташованих у створі, а значення сталої віддалеміра обчислюється як різниці замикальної лінії та двох її складових [4]. Назвемо цю модифікацію безбазисним створним способом.

У другому випадку вимірювання ліній виконуються з трьох штативів, але центральний штатив встановлюють поза створом двох крайніх [5]. Назвемо таку модифікацію безбазисним позастворним способом. Цей спосіб удосконалено врахуванням не тільки позастворного положення середнього штатива в плані, а й по висоті [6].

**Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми.** Для використання безбазисного створного способу рекомендовано встановлювати електронний віддалемір та відбивач на одній висоті [7]. Виконують вимірювання ліній  $S_{13}$  електронним віддалеміром між крайніми штативами і з крайніх штативів – на середній, отримують значення  $S_{12}$  та  $S_{32}$ . Величина сталої визначається за формулою [3]

$$c = S_{13} - S_{12} - S_{32}. \quad (1)$$

Проте згідно з дослідженнями [6] у цьому способі не обов'язково встановлювати прилади на одній висоті, досить встановити їх на одній лінії – навіть похилій. Тому можна використовувати як горизонтальну місцевість, так і місцевість зі значним ухилом. Крім того, відбивач на середньому штативі може бути трохи зміщений у плані і по висоті відносно лінії крайніх штативів. Тоді виміряні лінії  $S_{12}$  та  $S_{32}$  проектуються на  $S_{13}$  за функцією ко-

синуса, який для малих кутів близький до одиниці, а самі проєкції близькі за величиною відповідним лініям.

**Мета статі.** Головною метою цієї роботи є теоретичне обґрунтування допусків на взаємне розташування приладів на станції визначення сталої електронного віддалеміра. Визначити діапазон припустимих зміщень середнього штатива в плані та по висоті відносно створної лінії крайніх, а також ступінь впливу нахилу місцевості на точність визначення сталої для безбазисного створного способу.

**Виклад основного матеріалу.** На рис. 1 показано просторове положення ліній, вимірних на станції визначення сталої. У точках 1, 2, 3 похилого майданчика розміщуються штативи з підставками, в які по черзі встановлюються електронний віддалемір і відбивач на висотах інструментів  $i_1, i_2, i_3$  відповідно. У точках 1', 2', 3' вимірюються відстані  $S_{12}, S_{32}, S_{13}$ . На цьому рисунку показані лінії, які містять сталу  $c$  у неявному вигляді, так що  $S_{ij}^{\circ} = S_{ij} + c$ . Лінія  $S_{13}^{\circ}$  має кут нахилу  $\nu_{13}$ , перевищення  $h_{13}$  відносно горизонту інструменту  $\Gamma_1$  точки 1'. Лінія  $S_{12}^{\circ}$  має кут нахилу  $\nu_{12}$ , перевищення  $h_{12}$  відносно  $\Gamma_1$  і горизонтальний кут  $\beta_1$  відносно  $S_{13}^{\circ}$ . Лінія  $S_{32}^{\circ}$  розташована під кутом нахилу  $\nu_{32}$ , перевищенням  $h_{32}$  відносно  $\Gamma_3$  та горизонтальним кутом  $\beta_3$  відносно лінії  $S_{13}$ . Точки 2°п, 2'п, 2''п – проєкції точок 2°, 2', 2'' на вертикальну площину 1', 3', 3'', що проходить через  $S_{13}$ . Відрізки  $S'_{12}, S'_{32}$ , – проєкції ліній  $S_{12}$  та  $S_{32}$  на вказану вертикальну площину.  $\Delta_{\Gamma}$  – зміщення в плані середнього штатива щодо створу крайніх. Відрізок (2'п – В) рівний вертикальному зсуву  $\Delta_B$  по висоті середнього штатива щодо лінії  $S_{13}^{\circ}$ . Відрізок (2'п – А), який дорівнює  $\Delta'_B$ , є проєкція  $\Delta_B$  на перпендикуляр (2'п – А) до лінії  $S_{13}^{\circ}$ . Зміщення  $\Delta_{\Gamma}$  і  $\Delta_B$  ведуть до похибки  $\Delta_c$  формули (1), яка дорівнює

$$\Delta_c = \tilde{c} - c, \tag{2}$$

де  $\tilde{c}$  – значення сталої за наявності зміщень,  $c$  – її значення за відсутності зміщень.

Зміщення  $\Delta_{\Gamma}$  і  $\Delta_B$  призводять до виникнення просторового трикутника (рис. 1), сторони якого  $S_{12}$  і  $S_{32}$  будуть завжди більші, ніж їх значення у разі розташування цих сторін на одній лінії  $S_{13}^{\circ}$ . Оскільки зазначені сторони входять у формулу (1) з від'ємним знаком, то для незмінного значення  $S_{13}$  маємо  $\tilde{c} \leq c$ , а різниця  $\Delta_c \leq 0$ . Тому  $\Delta_c$  можна вважати систематичною похибкою.

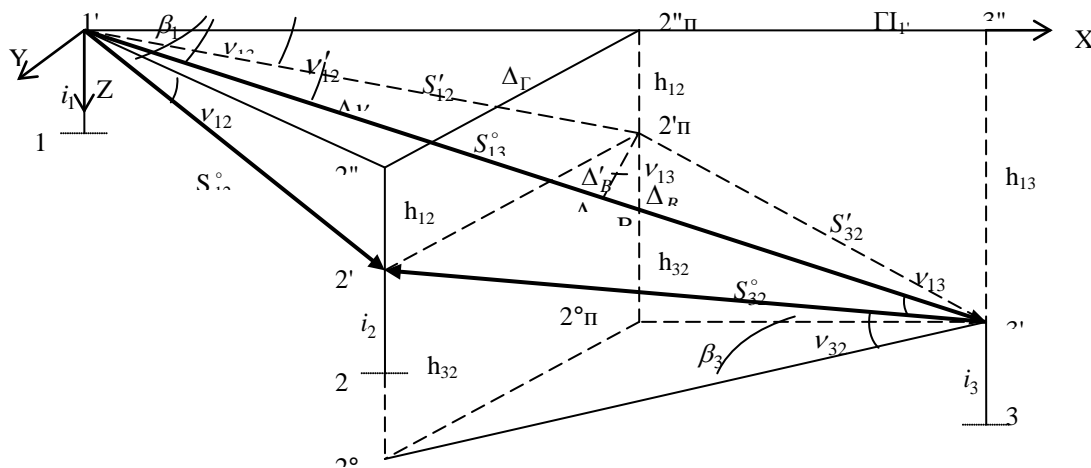


Рис. 1. Просторове положення вимірних ліній

Нехай центральний штатив розташований по середині створу. Тоді середня квадратична похибка (СКП) визначення сталої за формулою (1) дорівнює  $m_c = \sqrt{m_{S_{13}}^2 + 2m_{S_{12}}^2}$ , (3)

де  $m_{S_{13}}^2$ ,  $m_{S_{12}}^2$  – СКП вимірювання відстаней  $S_{13}$  і  $S_{12}$  відповідно. З відомої формули точності електронних віддалемірів  $m_s = a_{\text{мм}} + b_{\text{мм}} \cdot S_{\text{км}}$  та  $S_{13} \leq 100$  м впливає, що  $m_{S_{ij}} \approx a$ , а  $m_c \approx \sqrt{3}a$  згідно з (3). Похибка вимірювання лінії з урахуванням похибки визначення сталої та відсутності  $\Delta_c$  дорівнює  $m'_s = \sqrt{m_s^2 + m_c^2}$ . Щоб  $m_c$  практично не впливала на точність  $m'_s$ , необхідно дотримуватися умови  $m_c = \frac{1}{3}m_s$ . Для мінімальних відстаней  $m_s \approx a$ .

Тоді  $m_c = \frac{1}{3}a$ . Як видно, реальна точність визначення сталої  $m_c \approx \sqrt{3}a$  більша за необхідну. Тому потрібно виконати  $N$  прийомів з її визначення, отримати середнє значення постійної поправки  $c_{\text{сп}}$  з точністю  $m_{c_{\text{сп}}} = \frac{1}{3}a$ . Тоді

$$N = \frac{m_c^2}{m_{c_{\text{сп}}}^2}. \tag{4}$$

У табл. 1 наведено значення  $m_c$  і  $N$  для діапазону  $S_{13}$  від 10 до 100 м та положення середнього штатива у створі крайніх ( $\Delta_c = 0$ ).

Таблиця 1

Значення  $m_c$  та  $N$  залежно від  $S_{13}$  для  $\Delta_c = 0$

$S_{13}$	10 м	20 м	30 м	40 м	50 м	60 м	70 м	80 м	90 м	100 м
$m_c$ , мм	3,487	3,510	3,533	3,557	3,580	3,603	3,626	3,649	3,673	3,696
$N$	27	28	28	28	29	29	30	30	30	31

Якщо обмежити величини  $\Delta_\Gamma$  і  $\Delta_B$  припустимими значеннями  $\Delta_{\Gamma_{\text{пр}}}$ ,  $\Delta_{B_{\text{пр}}}$  і змінювати розташування першого та середнього штативів у кожному прийомі випадковим чином, то модуль  $\Delta_c$  теж буде змінюватися випадковим чином у межах від нуля до деякого припустимого значення  $\Delta_{c_{\text{пр}}}$ , а значення  $\Delta_{c_i}$  у прийомах будуть незалежні. Тоді розподіл модуля середнього значення  $\Delta_{c_{\text{сп}}}$  буде наближатись до нормального з математичним сподіванням  $b_c = \frac{|\Delta_{c_{\text{пр}}}|}{2}$  [8]. Точність вимірювання лінії в цьому випадку визначається за формулою Б'єнеме [8]

$$m'_s = \sqrt{m_s^2 + m_{c_{\text{сп}}}^2 + b_c^2}. \tag{5}$$

Щоб  $m_{c_{\text{сп}}}$  і  $b_c$  не впливали на точність вимірювання ліній, необхідно дотримуватись умови  $\sqrt{m_{c_{\text{сп}}}^2 + b_c^2} = \frac{1}{3}m_s = \frac{1}{3}a$  та значно не збільшувати число прийомів, покласти

$$b_c = \frac{1}{3}m_{c_{\text{сп}}}. \text{ Тоді}$$

$$m_{c_{\text{сп}}} = \frac{a}{\sqrt{10}}, \tag{6}$$

$$\Delta_{\text{снр}} = -\frac{2}{3\sqrt{10}} a. \quad (7)$$

Для визначення припустимих зміщень середнього штатива по висоті  $\Delta_{B_{\text{нр}}}$  застосовано метод математичного моделювання з використанням програмного засобу Microsoft Excel. За вихідну математичну модель взято формулу (2), де за дійсне значення сталої можна прийняти конкретне число. Але була використана наступна математична модель-компаратор [6], що дозволяє контролювати правильність обчислення відстаней  $S_{ij}$

$$c = \frac{S_{12} \cos \nu_{12} \cos \beta_1 + S_{32} \cos \nu_{32} \cos \beta_3 - S_{13} \cos \nu_{13}}{\cos \nu_{13} - \cos \nu_{12} \cos \beta_1 - \cos \nu_{32} \cos \beta_3}. \quad (8)$$

Вихідними даними для реалізації математичної моделі-компаратора (8) є:  $S_{13}^\circ$ ;  $\nu_{13}$ ;  $\Delta_{\Gamma_{\text{нр}}}$ ;  $c$ . Оскільки встановлювати середній штатив у створ крайніх у плані легше, ніж по висоті, то приймається  $\Delta_{\Gamma_{\text{нр}}} = 0,03$  м, що відповідає можливому переміщенню підставки приладу відносно центру отвору головки штатива. Приймається, що кут нахилу  $\nu_{13}$  лінії  $S_{13}$  відповідає нахилу місцевості (рис. 1), а середній штатив встановлюється по середині на відстані  $S^\circ = S_{13}^\circ/2 = (1' - B)$ , але зі зміщенням у плані на  $\Delta_{\Gamma_{\text{нр}}}$ . Вводиться система координат, де за вісь абсцис взято напрям  $1' - 3''$ , за вісь ординат – перпендикуляр до площини створної лінії  $S_{13}^\circ$ , за вісь аплікат – вертикаль точки  $1'$ , спрямовану в надир. Для розрахунку необхідних значень елементів формул (8), (1) і (2) використані наступні залежності, які впливають з рис. 1:

$$\left. \begin{aligned} S_x^\circ &= S^\circ \cos \nu_{13}, S_z^\circ = S^\circ \sin \nu_{13}, D_{12}^\circ = \sqrt{(S_x^\circ)^2 + \Delta_{\Gamma_{\text{нр}}}^2}, Z_{2'} = h_{12} = S_z^\circ - \Delta_{B_{\text{нр}}}, \\ S_{12}^\circ &= \sqrt{(D_{12}^\circ)^2 + h_{12}^2}, X_{3'} = S_{13}^\circ \cos \nu_{13}, Y_{3'} = 0, Z_{3'} = S_{13}^\circ \sin \nu_{13}, \\ S_{32}^\circ &= \sqrt{(X_{3'} - X_{2'})^2 + (Y_{3'} - Y_{2'})^2 + (Z_{3'} - Z_{2'})^2}, S_{ij} = S_{ij}^\circ - c. \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

Для даних величин  $S_{13}^\circ$ ,  $\nu_{13}$ ,  $\Delta_{\Gamma_{\text{нр}}}$ ,  $c$  підбирається таке значення  $\Delta_B$ , яке в результаті обчислень за формулами (9), (8), (1) і (2) дозволяють отримати значення  $\Delta_c$ , яке не перевищує  $\Delta_{\text{снр}}$ , розраховане за формулою (7). Це значення приймається за  $\Delta_{B_{\text{нр}}}$ .

Математичне моделювання виконано для електронного віддалеміра з точністю вимірювання відстаней  $m_s = 2\text{мм} + 2\text{мм} \cdot S_{\text{км}}$  і значенням сталої  $c = -40$  мм. Згідно з формулами (6), (7)  $m_{\text{снр}} = 0,6325$  мм,  $\Delta_{\text{снр}} = 0,4216$  мм. Число прийомів  $N$  обчислювалося за формулою (4), а  $m_c$  – за формулою (3). Результати математичного моделювання наведені в табл. 2. Аналіз даних таблиці дозволяє зробити такі висновки. Величини припустимого відхилення по висоті  $\Delta_{B_{\text{нр}}}$  середнього штатива в залежності кута нахилу лінії  $S_{13}$  збільшилися всього на 1–2 мм. Число прийомів  $N$ , яке для створного положення середнього штатива ( $\Delta_c = 0$ ) становило б від 27 до 30 (див. табл. 1), збільшилось і стало в межах від 31 до 34.

Таблиця 2

Параметри визначення сталої віддалеміра залежно від  $S_{13}$  та  $\nu_{13}$  ( $\Delta_c < 0$ )

$\nu_{13}$	$S_{13}$	10 м	20 м	30 м	40 м	50 м	60 м	70 м	80 м	90 м	100 м
$0^\circ$	$\Delta_{B_{\text{нр}}}$ , м	0,034	0,057	0,073	0,086	0,098	0,108	0,117	0,126	0,134	0,142
$10^\circ$	$\Delta_{B_{\text{нр}}}$ , м	0,035	0,058	0,074	0,088	0,099	0,110	0,119	0,128	0,136	0,144
	$m_c$ , мм	3,487	3,510	3,533	3,557	3,580	3,603	3,626	3,649	3,673	3,696
	$N$	30	31	31	32	32	32	33	33	34	34

Для визначення точності постійної поправки з урахуванням точності визначення величин  $\Delta_\Gamma$  та  $\Delta_B$  на станції взято спрощену формулу, отриману з формули (8) розкладанням у ряд функції  $\cos v_{ij}$  з точністю до другого члена розкладання [6].

$$c = S_{13} - S_{12} - S_{32} + \frac{\Delta_\Gamma^2}{2} \left( \frac{1}{S_{12}} + \frac{1}{S_{32}} \right) + \frac{(\Delta'_B)^2}{2} \left( \frac{1}{S_{12}} + \frac{1}{S_{32}} \right). \quad (10)$$

У випадку визначення сталої електронного тахеометра, крім  $S_{12}$ ,  $S_{13}$  та  $S_{32}$ , вимірюється горизонтальний кут  $\beta_1$ , кут нахилу  $v_{12}$  (рис. 1). Тоді

$$\Delta_\Gamma = S_{12}^\circ \cos v_{12} \sin \beta_1 \approx S_{12} \cos v_{12} \sin \beta_1. \quad (11)$$

Вимірюється та визначається також вертикальний кут у напрямку на точки 3' і 2'. Вказаний кут близький до вертикального кута  $\Delta v_1$ . Це впливає з того, що

$$\Delta v_1 = v_{13} - v'_{12}. \text{ Оскільки } \operatorname{tg} v'_{12} = \frac{h_{12}}{1' - 2''} = \frac{\operatorname{tg} v_{12}}{\cos \beta_1}, \text{ то для малих кутів } \beta_1 \text{ можна записати}$$

$$v'_{12} \approx v_{12}. \text{ Тоді } \Delta v_1 \approx v_{13} - v_{12} \text{ та } \Delta'_B = (1' - A) \operatorname{tg} \Delta v_1 = \left[ (1' - B) - \Delta_B \cdot \sin v_{13} \right] \operatorname{tg} \Delta v_1. \text{ Для ма-}$$

лих значень  $\Delta_B$  у порівнянні з  $(1' - B) = \frac{S_{13}^\circ}{2} \approx \frac{S_{13}}{2}$ . Тому

$$\Delta'_B \approx \frac{S_{13}}{2} \operatorname{tg} \Delta v_1. \quad (12)$$

З урахуванням (11) та (12) вираз (10) набуде вигляду

$$c = S_{13} - S_{12} - S_{32} + \frac{1}{2} \left( \frac{1}{S_{12}} + \frac{1}{S_{32}} \right) \left( S_{12}^2 \cos^2 v_{12} \sin^2 \beta_1 + \frac{S_{13}^2}{4} \operatorname{tg}^2 \Delta v_1 \right). \quad (13)$$

Після диференціювання (13) і з урахуванням  $S_{12} \approx S_{32}$  отримаємо формулу СКП визначення сталої

$$m_c = \sqrt{m_{S_{13}}^2 + 2m_{S_{12}}^2 + \frac{4}{S_{12}^2} \left[ \Delta_\Gamma^4 \left( \operatorname{tg}^2 v_{12} \frac{m_v^2}{\rho^2} + \operatorname{ctg}^2 \beta \frac{m_\beta^2}{\rho^2} \right) + 4 \frac{(\Delta'_B)^4}{\sin^2 2\Delta v_1} \frac{m_{\Delta v}^2}{\rho^2} \right]}, \quad (14)$$

де  $m_v^2$ ,  $m_{\Delta v}^2$ ,  $m_\beta^2$  – СКП вимірювання тахеометром кутів нахилу, вертикальних і горизонтальних кутів відповідно. Для  $m_v = m_{\Delta v} = m_\beta = 10''$  і параметрів, розрахованих згідно з даними табл. 2, компонент формули (14) у квадратних дужках на кілька порядків менше попереднього компонента. Тому формула (14) набуде вигляду (3).

Таким чином, наведені розрахунки показують, що на станції визначення сталої можливе встановлення середнього штатива не точно у створі, а зі зміщенням у плані та висоті відносно створної лінії крайніх штативів. Це дозволяє дещо пришвидшити польову складову робіт з визначення сталої. Але вказані зміщення незначні і сягають від кількох сантиметрів до півтора дециметра – залежно від відстані між штативами (табл. 2). Щоб дотриматись цих допусків, необхідно докласти зусиль.

Тому пропонується розширити діапазон припустимих зміщень через врахування їх значень. Для обчислення величини сталої віддалеміра пропонується використати формулу (10). Можливості математичної моделі (10) наведено в табл. 3, де показано результати розрахунків за тими ж вихідними даними, що і для даних, наведених у табл. 2.

Параметри сталої віддалеміра залежно від  $S_{13}$  та  $\nu_{13}$  ( $\Delta_{\Gamma} = 0,03\text{ м}$ )

$\nu_{13}$	$S_{13}$	10 м	20 м	30 м	40 м	50 м	60 м	70 м	80 м	90 м	100 м
$0^\circ$	$\Delta_{B_{\text{пр}}}$ , М	0,45	0,85	1,21	1,55	1,87	2,18	2,47	2,77	3,05	3,33
$10^\circ$	$\Delta_{B_{\text{пр}}}$ , М	0,46	0,86	1,23	1,57	1,90	2,21	2,52	2,81	3,10	3,38
	$m_c$ , ММ	3,488	3,512	3,536	3,560	3,585	3,610	3,634	3,660	3,685	3,710
	$N$	30	31	31	32	32	33	33	33	34	34

Порівняння даних табл. 2 і 3 вказує на збільшення в десятки разів допуску з висотного положення середнього штатива  $\Delta_{B_{\text{пр}}}$  та мізерного збільшення СКП постійної поправки  $m_c$  внаслідок врахування похибок визначення відхилень середнього штатива у плані та по висоті за формулою (14). Тому і в цьому випадку формула (14) спрощується до формули (3).

Значне збільшення значень  $\Delta_{B_{\text{пр}}}$  дає можливість зменшити число прийомів  $N$  за рахунок перерозподілу значень між величинами  $m_{c_{\text{сп}}}$  та  $b_c$ , а також збільшити допуск  $\Delta_{\Gamma}$  на планове положення середнього штатива.

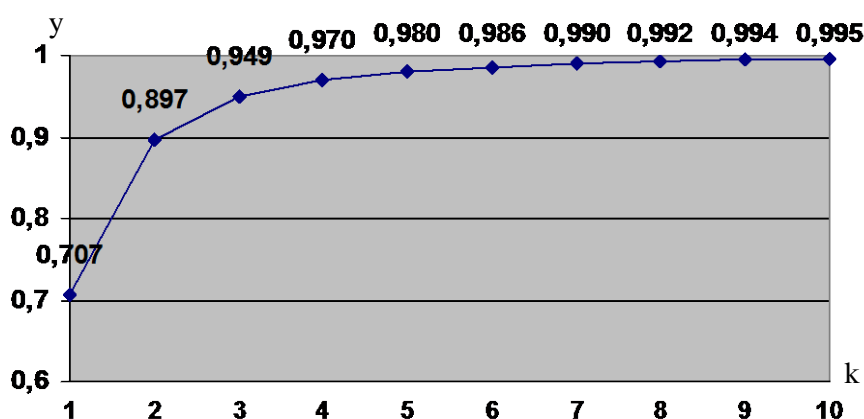
Нехай для цілого числа  $k$  величина  $b_c = \frac{m_{c_{\text{сп}}}}{k}$ . Тоді за умови  $\sqrt{m_{c_{\text{сп}}}^2 + b_c^2} = \frac{1}{3}a$

$$m_{c_{\text{сп}}} = \frac{a \cdot k}{3\sqrt{k^2 + 1}} \quad (15)$$

та

$$\Delta_{c_{\text{пр}}} = 2b_c = 2\frac{m_{c_{\text{сп}}}}{k} = \frac{2a}{3\sqrt{k^2 + 1}}. \quad (16)$$

Значення коефіцієнта  $y = \frac{k}{\sqrt{k^2 + 1}}$  у формулі (15) для  $k = 1 \div 10$  наведені на рис. 2.

Рис.2. Графік залежності  $y = k/\sqrt{k^2 + 1}$ 

Для  $y \approx 1$  у формулі (15) СКП  $m_{c_{\text{сп}}} \approx \frac{a}{3}$ . У цьому випадку стає можливим зменшити число прийомів з визначення сталої.

У табл. 4 наведено результати розрахунків для припустимого планового зміщення середнього штатива на величину розміру головки штатива ( $\Delta_{\Gamma} = 0,145\text{ м}$ ) та  $k = 8$ . Згід-

но з формулами (15) та (16) для  $a = 2$  мм отримано  $m_{c_{cp}} = 0,6615$  мм,  $\Delta_{c_{пп}} = 0,1654$  мм. З табл. 4 видно, що число штативів  $N$  зменшено практично до значень, що відповідають створному положенню середнього штатива (див. табл. 1).

Таблиця 4

Параметри сталой віддалеміра залежно від  $S_{13}$  та  $\nu_{13}$  ( $\Delta_{\Gamma} = 0,145$  м,  $k=8$ )

$\nu_{13}$	$S_{13}$ , м	10 м	20 м	30 м	40 м	50 м	60 м	70 м	80 м	90 м	100 м
$0^\circ$	$\Delta_{B_{пп}}$ , м	0,25	0,56	0,83	1,08	1,32	1,56	1,78	2,00	2,22	2,43
$10^\circ$	$\Delta_{B_{пп}}$ , м	0,26	0,57	0,84	1,10	1,35	1,58	1,81	2,04	2,25	2,47
	$m_c$	3,49	3,51	3,53	3,56	3,58	3,61	3,63	3,65	3,68	3,70
	$N$	28	28	29	29	29	30	30	31	31	31
	$\Delta_{B_{пп}}$ , м	0,25	0,49	0,73	0,97	1,21	1,44	1,68	1,92	2,16	2,40

Причому значення  $\Delta_{B_{пп}}$  розраховано зі зміщенням у плані середнього штатива на  $\pm 1$  м відносно середини створу крайніх. Для цього у формулах (9) приймалося, що відстань  $S^\circ = S_{13}^\circ / 2 \pm 1$  м. Тоді припустима нерівність плечей на станції становитиме  $\pm 2$  м, що дозволяє не втрачати час на точне встановлення в плані середнього штатива в центр створу.

Графік припустимих вертикальних зміщень середнього штатива залежно від відстані між крайніми та апроксимуюче його рівняння показано на рис. 3. Показник достовірності апроксимації становить  $R^2 = 0,997$ . Для побудови графіка були взяті значення  $\Delta_{B_{пп}}$ , наведені в другому рядку табл. 4 для  $\nu_{13} = 0^\circ$ . З положення апроксимуючої прямої видно, що найбільше зміщення вниз має точка з  $S_{13} = 10$  м.

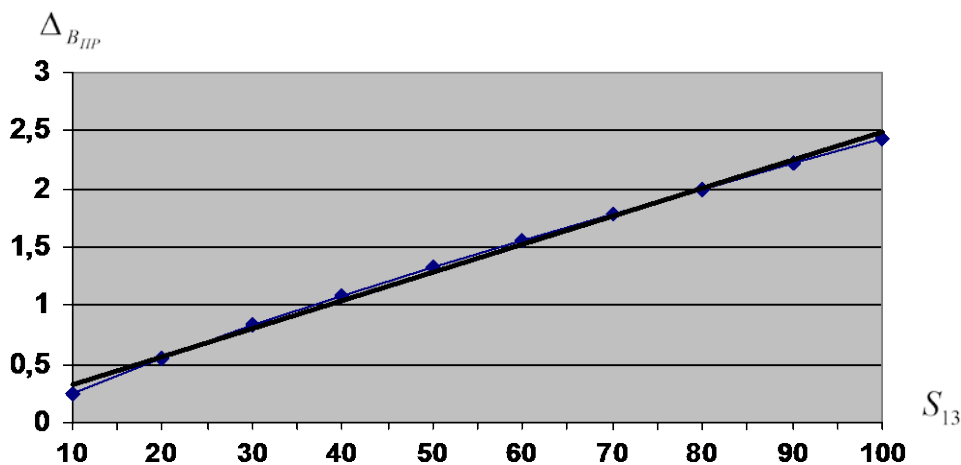


Рис.3. Залежність вертикального зміщення середнього штатива від  $S_{13}$

Зміщення становить  $\Delta_{B_{пп}} = 0,0239 \cdot 10 \text{ м} + 0,0887 - 0,25 \text{ м} = 0,078 \text{ м}$ . Щоб не втрачати точності з визначення СКП сталой для  $S_{13} = 10$  м, пряму регресії опущено вниз на величину  $0,078$  м. Для цього зменшено постійний доданок  $0,0887$  м рівняння регресії на величину  $0,078$  м. Тоді рівняння регресії отримало кінцевий вигляд:  $\Delta_{B_{пп}} = 0,0239 \cdot S_{13} + 0,0107$  м. Значення  $\Delta_{B_{пп}}$ , які відповідають цьому рівнянню, наведено в останньому рядку табл. 4. Вони забезпечують встановлення середнього штатива в досить широкому діапазоні по висоті відносно створної лінії крайніх штативів.



**Висновки.** Теоретично обґрунтовано допуски на взаємне розташування приладів для безбазисного створеного способу визначення сталої електронного віддалеміра. За результатами математичного моделювання визначено діапазон припустимих зміщень середнього штатива в плані та по висоті відносно створної лінії крайніх штативів для електронних віддалемірів із заданими параметрами точності.

Запропоновано враховувати зміщення середнього штатива в плані та по висоті для обчислення сталої, що дозволяє розширити діапазон припустимих зміщень і скоротити час на виконання польової складової з визначення сталої.

Визначення сталої віддалеміра можна проводити як на горизонтальній, так і на похилій місцевостях без втрати точності її визначення.

#### Список використаних джерел

1. Терещук О. І. Досвід функціонування перманентної GNSS-станції «Чернігів» (CNIV) у мережі EPN / О. І. Терещук, І. О. Нисторіак // Технічні науки та технології : науковий журнал. – 2015. – № 1 (1). – С. 130–140.
2. Патент 82874 Україна. ПМК G01C 7/00 Спосіб побудови геодезичної опорної фігури / В. Г. Бурачек, І. О. Нисторіак, О. І. Терещук, ЧДІЕУ. – № u2012 08638 ; заявл. 12.07.2012 ; опубл. 27.08.2013, Бюл. № 16.
3. Бронштейн Г. С. Комбинированные способы измерения расстояний / Г. С. Бронштейн. – М. : Недра, 1991. – 92 с.
4. Ворошилов А. П. Определение постоянной поправки дальномера электронного тахеометра / А. П. Ворошилов // Геопрофи. – 2005. – № 4. – С. 46–47.
5. Крячок С. Д. До визначення постійної поправки електронних віддалемірів / С. Д. Крячок // Вісн. геодез. та картогр. – 2015. – № 2. – С. 4–7.
6. Крячок С. Д. Розроблення просторової математичної моделі постійної поправки електронних віддалемірів / С. Д. Крячок, Л. С. Мамонтова // Технічні науки та технології : науковий журнал. – 2015. – № 1 (1). – С. 118–125.
7. Сборник инструкций по производству поверок геодезических приборов / Главное управление геодезии и картографии при Совете Министров СССР. – М. : Недра, 1988. – 77 с.
8. Войтенко С. П. Математична обробка геодезичних вимірів. Теорія похибок вимірів : навчальний посібник / С. П. Войтенко. – К. : КНУБА, 2003. – 216 с.

#### References

1. Tereshchuk, O. I., Nystoriak, I. O. (2015). Dosvid funktsionuvannia permanentnoi GNSS-stantsii «Chernihiv» (CNIV) u merezhi EPN [Experience in the operation of permanent GNSS-station "Chernihiv" (CNIV) in EPN network]. *Tekhnichni nauky ta tekhnolohii: naukovyi zhurnal – Technical sciences and technology: Scientific journal*, no. 1(1), pp. 130-140 (in Ukrainian).
2. Burachek, V.H., Nystoriak, I.O., Tereshchuk, O.I. (2013). *Sposib pobudovi heodezichnoi opornoj fihuri [The method of constructing geodetic reference figure]*. Patent Ukrain No. 82874.
3. Bronshtein, G. S. (1991). *Kombinirovannye sposoby izmereniia rasstoianii [Combined methods of measuring distances]*. Moscow: Nedra, p. 92 (in Russian).
4. Voroshilov, A. P. (2005). Opredelenie postoiannoj popravki dalnomera elektronnoho takheometra [Determination of constant corrections of electronic tachymeter rangefinder]. *Geoprofi – Geospatial technologies*. Moscow, no. 4, pp. 46-47 (in Ukrainian).
5. Kriachok, S. D. (2015). Do vyznachennia postoiinoj popravky elektronnykh viddalemiriv [On determination of constant corrections in electronic rangefinders]. *Visn. heodez. ta kartogr. – Bulletin of surveying and mapping*, no. 2, pp. 4–7 (in Russian).
6. Kriachok, S. D., Mamontova, L. S. (2015). Rozroblennia prostorovoi matematychnoi modeli postoiinoj popravky elektronnykh viddalemiriv [The development of a spatial mathematical model of a permanent amendment of electronic rangefinders]. *Tekhnichni nauky ta tekhnolohii: naukovyi zhurnal – Technical sciences and technology: Scientific journal*, no. 1(1), pp. 118–125 (in Ukrainian).
7. Sbornik instrukcii po proizvodstvu poverok geodezicheskikh priborov (1988) [The collection of instructions for the production of calibration of geodetic instruments]. *Glavnoe upravlenie geodezii i kartografii pri Sovete Ministrov SSSR – Main Department of Geodesy and Cartography under the USSR Council of Ministers* Moscow: Nedra, 77 p. (in Russian).
8. Voitenko, S. P. (2003). *Matematychna obrobka heodezychnykh vymiriv. Teoriia pokhybok vymiriv : navchalnyi posibnyk [Mathematical processing of geodetic measurements. The theory of measurement errors: a tutorial]*. Kyiv: KNUBA, p. 216 (in Ukrainian).

**Крячок Сергій Дмитрович** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри геодезії, картографії та землеустрою, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

**Крячок Сергей Дмитриевич** – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры геодезии, картографии и землеустройства, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

**Kriachok Serhii** – 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., 14027 Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** kryachock.serg@yandex.ru

УДК 004.8

*Анатолій Ревко, Артем Фесенко*

## **ЕЛЕКТРОННА СИСТЕМА РОЗПІЗНАВАННЯ ОБРАЗІВ ДЛЯ КЕРУВАННЯ ЧАСТКОВО АВТОНОМНОЮ РУХОМОЮ ПЛАТФОРМОЮ НА КОЛЕСАХ ІЛОНА**

*Анатолій Ревко, Артём Фесенко*

## **ЭЛЕКТРОННАЯ СИСТЕМА РАСПОЗНАВАНИЯ ОБРАЗОВ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ЧАСТИЧНО АВТОНОМНОЙ ПОДВИЖНОЙ ПЛАТФОРМОЙ НА КОЛЕСАХ ИЛОНА**

*Anatolii Revko, Artem Fesenko*

## **ELECTRONIC SYSTEM OF PATTERN RECOGNITION FOR PARTLY AUTONOMOUS MOBILE PLATFORM ON BENG T ILON WHEELS**

*Розглянуто можливість побудови електронної системи розпізнавання образів для частково автономного керування рухомою платформою на колесах Ілона. Запропоновано для розпізнавання образів використовувати штучну нейронну мережу, що дозволить платформі маневрувати частково автономно, орієнтуючись на об'єкти навколишнього середовища, а також одержувати команди з навколишнього середовища у вигляді графічних символів. Мащини, що пересуваються на колесах Ілона, вирізняються з-поміж інших аналогічних пристроїв можливістю виконувати досить складні маневри в обмеженому просторі. Це робить їх дуже перспективними для використання в багатьох галузях промисловості, зберігання та перевезення вантажів, військовій сфері, де є необхідність переміщуватися в обмеженому просторі, виконувати складні рухи, що неможливі для платформ на звичайних колесах.*

**Ключові слова:** розпізнавання образів, штучна нейронна мережа, колеса Ілона, перцептрон.

*Рис.:6. Бібл.: 9.*

*Рассмотрена возможность создания электронной системы распознавания образов для частично автономного управления подвижной платформой на колесах Илона. Предложено для распознавания образов использовать искусственную нейронную сеть, что позволит платформе маневрировать частично автономно, ориентируясь на объекты окружающей среды, а также получать команды в виде графических символов. Машины, передвигающиеся на колесах Илона, отличаются от других аналогичных устройств возможностью выполнять достаточно сложные манёвры в ограниченном пространстве. Это свойство делает их крайне перспективными для использования во множестве отраслей, хранения и перевозке грузов, военной сфере, везде, где есть необходимость перемещаться в ограниченном пространстве, выполнять сложные развороты, недоступные для платформ на обычных колесах.*

**Ключевые слова:** распознавание образов, искусственная нейронная сеть, колёса Илона, перцептрон.

*Рис.:6. Библ.: 9.*

*The article discusses the possibility of creating the electronic system of pattern recognition for partly autonomous control mobile platform on Bengt Ilon. It is proposed using artificial neuron system for pattern recognition. It allowing the platform maneuvers partly autonomous orient on the environment. Command can also be obtained from the environment in the form of graphic images. The devices moving on mehanum wheels different from other similar devices to perform quite complex maneuvers in confined spaces. This property makes them extremely promising for use in many industries, storage and transport goods military field, wherever there is a need to move in a confined space to perform complex turns, platforms inaccessible to conventional wheels.*

**Key words:** pattern recognition, artificial neuron system, perceptron, mehanum wheels.

*Fig.:6. Bibl.:9.*

Вступ. На нинішньому етапі розвитку науки й техніки вже існують достатні теоретичні та практичні підвалини до якомога більшої автоматизації різноманітних виробничих процесів та сфер, пов'язаних з ними. Також важливим та перспективним напрямком є впровадження автоматизації в системи керування різноманітними транспортними засобами. Особливо важливим це може бути в критичних, аварійних ситуаціях, коли реакція водія є не достатньо швидкою для уникнення катастрофічних наслідків.