УДК 528.3

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ДВОХ СПОСОБІВ ГЕОМЕТРИЧНОГО НІВЕЛЮВАННЯ «ВПЕРЕД-НАЗАД» ТА «ІЗ СЕРЕДИНИ»

І. Рій, к. е. н.

ORCID ID: 0000-0003-0281-6081

П. Колодій, к. е. н.

ORCID ID: 0000-0001-9847-952

Львівський національний аграрний університет

А. Целмс, професор

ORCID ID: 0000-0002-9673-1734

Латвійський університет біологічних наук та технологій

<https://doi.org/10.31734/architecture2019.20.135>

Рій І., Колодій П., Целмс А. Порівняльний аналіз двох способів геометричного нівелювання «вперед-назад» та «із середини»

За результатами геометричного нівелювання – «із середини» та «вперед-назад» – на геодезичному полігоні, виконано порівняння цих способів.

Дослідження виконували нівеліром South DL 202, збільшення зорової труби якого 32-кратне та середньоквадратична похибка самоустановлення лінії візування 0,5", та комплектом штрих-кодових складуваних рейок. Спостереження виконували в похмуру та перемінну погоду за температури повітря 12–15 °С, зі зміною температури не більше ніж 1 °С на годину, зображення рейок було практично спокійним. Середнє перевищення між двома пунктами за результатами нівелювання способом «із середини» становить 12,2877 мм, а способом «вперед-назад» – 12,2884 мм, різниця між цими значеннями становить 7,7 мм. Отримано, що точність нівелювання способом «вперед-назад», без врахування вертикальної рефракції, відповідає точності нівелювання «із середини». Зазначено переваги способу «вперед-назад» – це можливість контролю положення візирного променя в процесі нівелювання та спрощення вибору ліній нівелювання.

Аналізуючи точності визначення перевищення способом «із середини» та способом «вперед-назад», зауважимо, що похибки, які зумовлені точністю відлічування, однакові для секції нівелювання (150 м), а похибки встановлення променя нівелювання в горизонтальне положення і врахування вертикальної рефракції увійдуть у середнє перевищення в $\sqrt{2}$ раз менші, ніж для способу нівелювання «із середини».

Проаналізувавши дані спостережень двома способами, зауважимо, що способи геометричного нівелювання «вперед-назад» і нівелювання «із середини» приблизно однакової точності. У способі «із середини» кількість станцій нівелювання майже вдвічі менша, ніж у способі «вперед-назад». Спосіб «вперед-назад» значно спрощує процес нівелювання за рахунок встановлення лінії нівелювання (плеча).

Спосіб «вперед-назад», на відміну від способу «із середини», дозволяє контролювати положення променя візування нівеліра обчисленням значення сумарного кута негоризонтальності ε " (рекомендується для цифрових нівелірів).

Для зменшення впливу перефокусування зорової труби нівеліра в процесі нівелювання способом «вперед-назад» пропонується починати нівелювання на наступній станції з плеча, на якому завершили нівелювання на попередній станції.

Ключові слова: цифровий нівелір, нівелірна рейка, похибка, відлічування, перевищення, візирний промінь, перевірка, рефракція.

Rii I., Kolodii P., Celms A. Comparative analysis of two methods of geometric leveling «forward-back» and «from the inside»

According to the results of geometric leveling, i.e. «from the inside» and «forward-back», those two methods were compared on the geodetic testing ground.

The studies were carried out with the South DL 202 batter level, a 32-times increase in the optic tube, and a 0.5" self-aligning projection accuracy and a set of barcode retention rails. Observations were performed under dark and changing weather conditions at 12–15 °C, with a temperature change of not more than 1 °C per hour, the image of the rails was practically calm. The average excess between the two points, based on the results of leveling «from the inside» method, is 12,2877 mm, and in case of the «forward-back» method, it is 12,2884 mm, while the difference between those values is 7.7 mm. It is found that the accuracy of leveling in the «forward-back» method, without taking into account the vertical refraction, corresponds to the accuracy of the leveling «from the inside». There are observed advantages of the «forward-back» method, i.e. it is an opportunity to control the position of the visor beam in the process of leveling and simplify the selection of alignment lines.

Analyzing the accuracy of determining of the excess with the «from the inside» method and the «forward-back» one, the authors of the work note that the errors, caused by the accuracy of the counting, are the same for the leveling section

(150 m), and the error of setting of the beam of leveling in horizontal position and for vertical refraction will enter the average excess in $\sqrt{2}$ times less than for the leveling method «from the inside».

Having studied the data of observations in two ways, it is worth noting that the methods of geometric leveling «forward-back» and leveling «from the inside» are almost of the same accuracy. In the method «from the inside», the number of leveling stations is almost 2 times less than in the «forward-back» method. The «forward-back» method greatly simplifies the leveling process by setting the leveling line (leveler).

The «forward-back» method, unlike the «from the inside» one, allows controlling of the position of the beam of a leveling visor by calculating the value of the total non-horizontal angle ε'' (recommended for digital levels).

In order to reduce the effect of refocusing of the focus tube in the «forward-back» method, it is proposed to start leveling at the next station from the leveler, at which the leveling was completed at the previous station.

Key words: digital level, level rail, error, counting, excess, visor beam, check, refraction.

Постановка проблеми. Геометричне нівелювання – на сьогодні один із найточніших методів визначення перевищень на відстані до ста кілометрів. Сучасний розвиток науки і техніки, геодезичного приладобудування ставить старі нерозв’язані проблеми геометричного нівелювання на вищий рівень. З появою цифрових нівелірів похибки відлічування, інструментальні й особисті похибки спостерігачів зводяться до дуже малих значень або повністю унеможливаються. Найбільший вплив на точність високоточного геометричного нівелювання має вертикальна рефракція та нестабільність горизонтальності променя нівелювання [4].

Під час нівелювання III класу велике значення має визначення та стабільність кута i (відхилення променя візування від горизонтальної площини). Згідно з вимогами Інструкції [2] щодо виконання нівелювання III класу, перед початком польових робіт необхідно, окрім інших перевірок і досліджень, визначити кут i та протягом перших семи днів досліджувати його стабільність і лише після того цю перевірку дозволяється виконувати раз на 15 днів, за умови стабільності кута i .

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Інструкція [2] накладає жорсткі обмеження на виконання високоточного нівелювання. Це, передусім, періоди доби й атмосферні умови, коли дозволено виконувати вимірювання, довжини та нерівність плечей нівелювання, висота візирного променя над землею поверхнею, а також строге дотримання методики нівелювання – по двох парах костилів і виконання нівелювання у зворотному напрямі.

Однією з основних вимог геометричного нівелювання [2] для досягнення високої точності визначення перевищень є застосування способу нівелювання «із середини», який унеможливає вплив негоризонтальності променя нівелювання (за умови його стабільності) та частково компенсує дію вертикальної рефракції [1; 3; 5; 6].

Недоліком способу нівелювання «із середини» є неконтрольованість стабільності установлення візирного променя в горизонтальне положення. Зміна його положення за час між спостереженнями на задню і передню рейки безпосередньо входить до похибки визначення перевищення. Багато часу під час нівелювання I і II класів витрачають для встановлення рівності плеч (допуск 0,5 і 1 м відповідно) та їхньої довжини (допуск 50 м), особливо на похилих ділянках нівелювання, де накладається ще й обмеження висоти променя над землею поверхнею (0,8 і 0,5 м відповідно) [1].

Постановка завдання. Наше завдання – порівняти результати спостережень двома способами: «вперед-назад» та «із середини».

Виклад основного матеріалу. У 2019 р. на експериментальному геодезичному полігоні виконано геометричне нівелювання від пункту PG 11 до пункту PG 26. Нівелювання виконували двома способами – «із середини» та «вперед-назад». Оскільки використовували електронний нівелір South DL 202 та комплект кодових складуваних рейок, то застосовували методику й допуски Інструкції [2] для нівелювання III класу.

Вимоги до нівелювання способом «із середини» (рис. 1) згідно з Інструкцією [2]: нерівність плечей на станції не більше ніж 2 м, а їх накопичення в секції не більше за 5 м, висота променя візування над землею поверхнею не більше ніж 0,6 м, нормальна довжина візування 75 м – дотримані. Виконання нівелювання електронним нівеліром вносить коригування до методики спостережень на станції. Нівелювання способом «із середини» проводили без зміни висоти приладу, але з визначенням довжини плечей та їх накопичення.

Нівелювання способом «вперед-назад» виконують за такою методикою [5] (рис. 2):

1. Встановлюють нівелір у точці 1 (початковий R_p), перпендикулярно до лінії нівелювання на відстані приблизно 3 м (довжина нівелірної рейки). Приводять нівелір у робоче положення.

2. Вибирають зв'язкову точку нівелювання В, використовуючи шашкову шкалу рейки і дотримуючись вимог інструкції (мінімальний відлік рейки 0300 мм, максимальний – 2700, максимальна довжина плеча – 75 м). Забивають костиль і встановлюють рейку штрих-кодовою шкалою до нівеліра.

3. Відлічують ближню рейку, що встановлена в точці А (відліки a_A та відстань від нівеліра до ближньої рейки – S_{1A}).

4. Відлічують передню рейку, що встановлена в точці В (відліки b_B та відстань від нівеліра до передньої рейки – S_{1B}).

5. Переходять із нівеліром у точку 2 і встановлюють його навпроти рейки в точці В перпендикулярно до лінії нівелювання на відстані приблизно 3 м (довжина нівелірної рейки). Приводять нівелір у робоче положення.

6. Вибирають зв'язкову точку нівелювання С, використовуючи шашкову шкалу рейки і дотримуючись вимог інструкції (мінімальний відлік рейки 0300 мм, максимальний – 2700, максимальна довжина плеча – 75 м). Забивають костиль.

7. Відлічують задню рейку, що встановлена в точці А (відліки b_A та відстань від нівеліра до ближньої рейки – S_{2A}).

Рис. 1. Нівелювання способом «із середини»

Рис. 2. Нівелювання способом «вперед-назад»

8. Рейкар з точки А переходить і встановлює рейку в точці С.

9. Відлічують ближню рейку, що встановлена в точці В (відліки a_B та відстань від нівеліра до ближньої рейки – S_{2B}).

10. Відлічують передню рейку, що встановлена в точці С (відліки b_C та відстань від нівеліра до передньої рейки – S_{2C}).

11. Результати заносять до журналу або польового комп'ютера.

12. Виконують контроль нівелювання лінії АВ за накопиченням плечей, різницею перевищень і величиною сумарного кута негоризонтальності променя візування ε'' . Надалі переходять до наступної станції і виконують дії, починаючи з п. 5.

Перевищення по лінії АВ під час нівелювання «із середини» зобразимо формулою (див. рис. 1):

$$h_{np.(A-B)} = a_A - b_B = a'_A - b'_B + S_{CA} \operatorname{tg}(i_A) - S_{CB} \operatorname{tg}(i_B) + \frac{S_{CA}^2}{2R_3} - \frac{S_{CB}^2}{2R_3} - \frac{k_{CA}S_{CA}^2}{2R_3} + \frac{k_{CB}S_{CB}^2}{2R_3}, \quad (1)$$

де a_A і b_B – правильні відліки за шкалами рейок за умови суміщення променя нівелювання з рівневою поверхнею нівеліра, що встановлений у точці С; a'_A і b'_B – спотворені відліки вертикальною рефракцією відповідно за шкалами рейок, встановлених у точках А і В; S_{CA} , S_{CB} – горизонтальні відстані від нівеліра до рейок; k_A , k_B – коефіцієнти вертикальної рефракції за відповідними напрямками А і В; i_A , i_B – кути негоризонтальності візирного променя за відповідними напрямками А і В; R_3 – радіус кривизни Землі на території, де проводиться нівелювання (для наших широт 6384 км).

За умови рівності плечей рівняння (1) перепишемо у вигляді:

$$h_{np.(A-B)} = a'_A - b'_B + (i_A'' - i_B'') \frac{S}{\rho''} - \frac{(k_A - k_B)S^2}{2R_3}, \quad (2)$$

де $\rho'' = 206264,8$.

Спосіб геометричного нівелювання «вперед-назад» (див. рис. 2) передбачає подвійні вимірювання перевищень способом «вперед» із кінців лінії нівелювання (прямо і зворотно).

Перевищення у нівелюванні способом «вперед» $h_{np.(B-C)}$ визначають за формулою

$$h_{np.(B-C)} = H_B - H_C = c - b = c - (b' - \Delta R - \Delta i + \Delta r), \quad (3)$$

де c і b – правильні відліки за шкалами рейок за умови суміщення променя нівелювання з рівневою поверхнею нівеліра; b'_B – відлік шкали рейки, що встановлена в точці В, що зміщений від рівневого положення нівеліра на лінійні величини поправки за кривизну Землі ΔR (кутова величина R''), кута негоризонтальності променя візування Δi (кутова величина i'') та вертикальної рефракції Δr (кутова величина r'').

Запишемо систему рівнянь визначення прямого і зворотного перевищення:

$$\left. \begin{aligned} h_{np.(A-C)} &= a_A - b'_C + S_{1C} \operatorname{tg}(i_{1C}) + \frac{S_{1C}^2}{2R_3} - \frac{k_{1C}S_{1C}^2}{2R_3} + \Delta_{перевф} \\ h_{зв.(C-A)} &= a_C - b'_A + S_{2A} \operatorname{tg}(i_{2A}) + \frac{S_{2A}^2}{2R_3} - \frac{k_{2A}S_{2A}^2}{2R_3} + \Delta_{перевф} \end{aligned} \right\}, \quad (4)$$

де a_A , a_C – відліки на ближні рейки, що встановлені у відповідних точках А і С; b'_A , b'_C – відліки на дальні рейки, встановлені у цих же точках; з умови способу $S_{1C} = S_{2A} = S$ – горизонтальні відстані між нівеліром і дальніми рейками; $\Delta_{перевф}$ – поправка за перефокусування суттєвого впливу мати не буде, оскільки ставиться умова рівності плечей; k_{AB} , k_{BA} – коефіцієнти вертикальної рефракції відповідно вздовж ліній S_{1B} і S_{2A} .

Визначимо середнє перевищення з вимірювань прямого і зворотного перевищення. Враховуючи те, що під час спостережень встановлюють однакові плечі $S_{1C} = S_{2A}$, то середнє значення перевищення по лінії АС, відповідно до (3), отримують за формулою

$$h_{AC}^{сеп.} = \frac{h_{np.(1-C)} - h_{зв.(2-A)}}{2} = \frac{a_A - b'_C - a_C + b'_A}{2} + (i_{1C}'' - i_{2A}'') \frac{S}{2\rho''} - (k_{1C} - k_{2A}) \frac{S^2}{4R_3}. \quad (5)$$

Продиференціюємо формули (2) і (5) та перейдемо до середніх квадратичних похибок:

$$m_{h_{(A-B)} \text{ з середини}}^2 = 2m_{відл}^2 + 2m_i^2 \left(\frac{S}{\rho''} \right)^2 + 2m_k^2 \left(\frac{S^2}{2R_3} \right)^2, \quad (6)$$

$$m_{h_{(A-C)} \text{ вперед-назад}}^2 = m_{відл}^2 + 2m_i^2 \left(\frac{S}{2\rho''} \right)^2 + 2m_k^2 \left(\frac{S^2}{4R_3} \right)^2. \quad (7)$$

Враховуючи, що нівелювання по лінії АВ «із середини» складається з двох плечей АС і СВ двостороннього нівелювання «вперед-назад», то (7) запишеться:

$$m_{h_{(A-B)} \text{ вперед-назад}}^2 = 2m_{відл}^2 + m_i^2 \left(\frac{S}{\rho''} \right)^2 + m_k^2 \left(\frac{S^4}{2R_3^2} \right). \quad (8)$$

Додавши два рівняння системи (4), отримаємо:

$$h_{np.(A-B)} + h_{зв.(B-A)} = a_A - b'_C + a_B - b'_A + (i'_{1B} + i'_{2A}) \frac{S}{\rho''} + \frac{S^2}{R_3} - (k_{1B} + k_{2A}) \frac{S^2}{2R_3} = 0. \quad (9)$$

Визначимо сумарний середній кут $\bar{\varepsilon}''$, що включає в себе величини середньоінтегрального значення кута рефракції $\bar{r}''$, середнього кута негоризонтальності променя візування $\bar{i}''$ та впливу кривизни Землі R'' в момент спостереження:

$$\bar{\varepsilon}'' = \bar{i}'' + R'' - \bar{r}'' = -\frac{1}{2}(h_{прямо}^{вим} + h_{зворот}^{вим}) \frac{\rho''}{S} = -\frac{1}{2}(a_A - b'_C + a_B - b'_A) \frac{\rho''}{S} = \bar{i}'' + (1 - \bar{k}) \frac{S \rho''}{2R_3}, \quad (10)$$

де $h_{прямо}^{вим}$ і $h_{зворот}^{вим}$ – виміряні перевищення по лінії в прямому і зворотному напрямках; $\bar{k}$ – середньоінтегральне значення коефіцієнта вертикальної рефракції.

Величину середнього кута вертикальної рефракції $\bar{r}''$ можна отримати за умови визначення кута негоризонтальності променя візування $\bar{i}''$ (у лабораторних умовах):

$$\bar{r}'' = -\bar{\varepsilon}'' + \bar{i}'' + R'' = \frac{1}{2}(h_{прямо}^{вим} + h_{зворот}^{вим}) \frac{\rho''}{S} + \bar{i}'' + \frac{\rho'' S_{AB}}{2R_3}, \quad (11)$$

і середньоінтегральне значення коефіцієнта вертикальної рефракції $\bar{k}$ відповідно:

$$\bar{k} = \bar{i}'' \frac{2}{\rho''} \frac{R_3}{S_{AB}} + (a_A - b'_C + a_B - b'_A) \frac{R_3}{S_{AB}^2} + 1 = (\bar{i}'' - \bar{\varepsilon}'') \frac{2}{\rho''} \frac{R_3}{S_{AB}} + 1. \quad (12)$$

Середнє значення величини кута негоризонтальності променя візування нівеліра $\bar{i}''$ можна визначити в лабораторних умовах за знання вертикальної рефракції або в періоди спокійних зображень, коли $\bar{k} \approx 0,14 - 0,16$:

$$\bar{i}'' = \bar{\varepsilon}'' - R'' + \bar{r}'' = -\frac{1}{2}(a_A - b'_C + a_B - b'_A) \frac{\rho''}{S} + (\bar{k} - 1) \frac{S \rho''}{2R_3}. \quad (13)$$

Величину стабільності положення візирного променя в процесі нівелювання можна контролювати за сумарним кутом негоризонтальності променя візування нівеліра $\bar{i}''$ та кута рефракції $\bar{r}''$:

$$\Sigma(\bar{r}'' - \bar{i}'') = R'' - \bar{\varepsilon}'' = \frac{S \rho''}{2R_3} + \frac{1}{2}(a_A - b'_C + a_B - b'_A) \frac{\rho''}{S}. \quad (14)$$

Результати спостережень двома способами подано в табл. 1 і 2.

У табл. 1 показано, що під час виконання нівелювання способом «вперед-назад» середнє значення кута $\bar{\varepsilon}''_{сер}$ за увесь період становило -0,99'', а середньоквадратична похибка від середнього значення -0,68''.

Таблиця 1

Журнал нівелювання способом «вперед-назад» від PG 11 до PG 26

№ № ст.	№№ зв'язк. точок	Відліки						Перевищення			Плечі	Σ плечей	$\overline{\varepsilon}''$	$\overline{r}'' - \overline{i}''$	$\overline{r}''$
		задні		середні		передні		вим.	різниці	сер.					
		<i>a</i>	<i>Da</i>	<i>b</i>	<i>Db</i>	<i>c</i>	<i>Dc</i>								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	PG11 1			1,3380	2,74										
						0,3401	34,88	0,9979	-0,0002	-0,9980	0,20	0,20	-0,59	-0,03	0,37
2	PG11 1 2	2,4460	34,68					0,9981							
				1,4479	2,54										
						0,3314	18,75	1,1165	-0,0002	1,1166	0,13	0,33	-1,10	-0,80	-0,40
3	1 2 3	2,6219	18,62					1,1167							
				1,5052	2,57										
						0,3837	19,15	1,1215	-0,0003	1,12165	-0,24	0,09	-1,61	-1,29	0,89
4	2 3 4	2,6408	19,39					1,1218							
				1,5190	2,61										
						0,3518	19,80	1,1672	0,0000	1,1672	-0,25	-0,16	0,00	0,32	0,72

Продовження табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
5	3 4 5	2,5973	20,05	1,4301	2,73	0,4506	17,50	1,1672 0,9795	-0,0002	0,97960	-0,05	-0,21	-1,18	-0,89	-0,49
6	4 5 6	2,4318	17,55	1,4521	2,31	0,3178	19,03	0,9797 1,1343	-0,0001	-1,13435	0,02	-0,19	-0,54	-0,23	0,17
7	5 6 7	2,5863	19,01	1,4519	2,72	0,3743	20,42	1,1344 1,0776	0,0000	1,0776	-0,08	-0,27	0,00	0,33	0,73
8	6 7 8	2,4973	20,50	1,4197	2,55	0,3389	20,91	1,0776 1,0808	-0,0003	1,08095	0,09	-0,18	-1,48	-1,15	-0,75
9	7 8 9	2,5266	20,82	1,4455	2,46	0,3368	21,10	1,0811 1,1087	-0,0002	1,1088	0,02	-0,16	-0,98	-0,64	-0,24
10	8 9 10	2,5431	21,08	1,4342	2,67	0,3704	21,20	1,1089 1,0638	-0,0005	1,06405	0,23	0,07	-2,45	-2,11	-1,71
11	9 10 11	2,4559	20,97	1,3916	2,69	0,4482	19,22	1,0643 0,9434	-0,0002	0,9435	0,66	0,73	-1,09	-0,79	-0,39
12	10 11 PG 26	2,3698	18,56	1,4262	2,87	0,9299	12,26	0,9436 0,4963	-0,0001	0,49635	0,60	1,33	-0,86	-0,67	-0,27
13	11 PG 26	1,9885	11,66	1,4921	3,12			0,4964							
$\Sigma=$		242,89				242,22	24,5773	-0,0023	12,28865	1,33	Сеп=	-0,99	-0,66	-0,26	
											m=	0,68	0,69	0,69	

Таблиця 2

Журнал електронного нівелювання способом «із середини» від PG 11 до PG 26

Прямий хід

№№ ст.	№№ зв'язк. точок	Відліки				Перевищення	Плечі	Накопичення плечей
		задні		передні				
		<i>a</i>	<i>Da</i>	<i>c</i>	<i>Dc</i>	виміряне		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	PG11 1	1,5275	17,47	0,5295	17,53	0,9980	-0,07	-0,07
2	1 2	2,6987	18,71	0,4609	18,69	2,2378	0,02	-0,05
3	2 3	2,3957	15,08	0,6426	15,08	1,7531	0,00	-0,05
4	3 4	2,2387	12,96	0,7108	12,88	1,5278	0,08	0,03
5	4 5	2,6505	20,55	0,4920	20,52	2,1585	0,03	0,06
6	5 6	2,6467	20,91	0,4741	21,02	2,1726	-0,11	-0,05

Продовження табл. 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9
7	6 PG26	2,2675	15,24	0,8276	15,14	1,4399	0,10	0,05
		16,4252	120,92	4,1376	120,87 241,79	12,2876	0,05	0,05

Зворотний хід

№№ ст.	№№ зв'язк. точок	Відліки				Перевищення	Плечі	Накопичення плечей
		задні		передні				
		<i>a</i>	<i>Da</i>	<i>c</i>	<i>Dc</i>	виміряне		
1	PG26 1	0,8500	15,24	2,2898	15,12	-1,4398	0,12	0,12
2	1 2	0,4961	21,04	2,6686	20,97	-2,1725	0,07	0,19
3	2 3	0,5033	20,52	2,6618	20,57	-2,1585	-0,05	0,14
4	3 4	0,8365	12,93	2,3641	12,94	-1,5276	-0,01	0,13
5	4 5	0,7608	15,06	2,5140	15,11	-1,7532	-0,05	0,08
6	5 6	0,4682	18,68	2,7062	18,71	-2,2381	-0,03	0,05
7	6 PG11	0,6428	17,48	1,6409	17,55	-0,9981	-0,07	-0,02
		4,5576	120,95	16,8454	120,97 241,92	12,2878	-0,02	-0,02

$$fh_{\text{дон}} = 10\sqrt{0,242} = 4,9 \text{ мм}$$

$$fh = 12,2876 - 12,2878 = 2 \text{ мм}$$

Середнє перевищення між двома пунктами за результатами нівелювання способом «із середини» становить 12,2877 мм, а способом «вперед-назад» 12,2884 мм, різниця між цими значеннями 7,7 мм.

Отже, за період спостережень отримані середні перевищення майже однакові. Спосіб «вперед-назад» за точністю не відрізняється від нівелювання «із середини», але дає змогу контролювати положення променя візування нівеліра та спрощує процес нівелювання за рахунок вибору лінії нівелювання (плеча).

Висновки. Аналізуючи дані спостережень двома способами, зауважимо, що способи геометричного нівелювання «вперед-назад» та «із середини» приблизно однакової точності.

У способі «із середини» кількість станцій нівелювання майже вдвічі менша, ніж у способі «вперед-назад». Спосіб «вперед-назад» значно спрощує процес нівелювання за рахунок встановлення лінії нівелювання (плеча).

Спосіб «вперед-назад», на відміну від способу «із середини», дозволяє контролювати положення променя візування нівеліра обчисленням

значення сумарного кута негоризонтальності ε'' (рекомендується для цифрових нівелірів).

Для зменшення впливу перефокусування зорової труби нівеліра в процесі нівелювання способом «вперед-назад» пропонується починати нівелювання на наступній станції з плеча, на якому завершили нівелювання на попередній станції.

Бібліографічний список

1. Перій С., Ващенко В., Рій І. Апробація способу геометричного нівелювання «вперед-назад». *Сучасні досягнення геодезичної науки і виробництва*: зб. наук. праць. Львів, 2010. Вип. 1. С. 91–94.
2. Инструкция по нивелированию I, II, III, IV классов. Москва: Недра, 1990. 175 с.
3. До питання геометричного нівелювання способом «вперед-назад» з використанням високоточного цифрового нівеліра Leica DNA 03 / С. С. Перій та ін. *Вісник геодезії і картографії*. 2012. № 4. С. 5–8.
4. Павлів П. В. Проблемы высокоточного нивелирования. Львов: Вища шк., Изд-во при Львов. ун-те, 1980. 124 с.
5. Спосіб геометричного нівелювання «вперед, назад»: пат. 41429 Україна: МКП(2009) G01C 5/00, № 200813874; заявл. 02.12.2008; опубл. 25.05.2009, Бюл. № 10. 6 с.
6. Учет атмосферных влияний на астрономо-геодезические измерения / А. Л. Островский, Б. М. Джуман, Ф. Д. Заблоцкий, Н. И. Кравцов. Москва: Недра, 1990. 235 с.

Стаття надійшла 11.07.2019.