

УДК 528.3

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ДВОХ СПОСОБІВ ГЕОМЕТРИЧНОГО НІВЕЛЮВАННЯ – “ІЗ СЕРЕДИНИ” ТА “ВПЕРЕД–НАЗАД”

О. Мороз, Т. Корлятович, І. Покотило, М. Фис

Національний університет “Львівська політехніка”

Ключові слова: геометричне нівелювання, стінний репер.

Постановка проблеми

Під час нівелювання III класу велике значення має визначення та стабільність кута i (відхилення променя візування від горизонтальної площини). Згідно з вимогами Інструкції [1] щодо виконання нівелювання III класу, перед початком польових робіт необхідно, окрім інших перевірок і досліджень, виконати визначення кута i та протягом перших семи днів досліджувати його стабільність, і лише після того цю перевірку дозволяється виконувати раз на 15 днів.

Постановка завдання

Проаналізувати результати двох способів геометричного нівелювання: “із середини” та “вперед–назад”.

Виклад основного матеріалу

Влітку 2015 р. в с. м. т. Шацьк здійснено експедицію для створення висотного полігона навколо озера Пісочне за програмою третього класу. Для дослідження точності двох способів геометричного нівелювання: “із середини” [1] та “вперед–назад” [2] було вибрано одну секцію полігона між двома стінними реперами: ст. рп. № 630 та ст. рп. без номера (пошта) (див. рис. 1). Відстань між цими стінними реперами становила 970 м. Нівелювання третього класу виконувалось цифровим нівеліром Dini22 Trimble з використанням штрихкодів складних рейок.

Вимоги до нівелювання способом “із середини” згідно з Інструкцією [1]: нерівність плечей на станції не більше ніж 2 м, а їх накопичення у секції не більше за 5 м, висота променя візування над землею поверхнею не більше за 0,6 м, нормальна довжина візування 75 м – були дотримані.

Нівелювання способом “із середини” виконувалось згідно з Інструкцією з виконання нівелювання третього класу цифровим нівеліром Dini 22 Trimble [1].

Послідовність виконання нівелювання способом “вперед–назад” така [3] (див. рис. 2):

1. Встановлюють нівелір у положення 1 на віддалі 2–3 м від задньої точки A та приводять його в робоче положення. Вибирають на лінії нівелювання точку C відповідно до допусків – висоти візирного променя над підстильною поверхнею та довжини плеча для певного класу нівелювання і закріплюють її.

2. Спрямовують трубу нівеліра на рейку, що встановлена на точці B (довге плече), і відлічують її, відповідно до програми спостережень, а потім – на A (коротке плече) і відповідно відлічують її.

3. Встановлюють нівелір у положення 2, біля точки C , дотримуючись рівності довгих і коротких плечей у секції нівелювання $AC-CA$, аналогічно до положення 1.

4. Спрямовують трубу нівеліра на рейку, що встановлена на точці C (коротке плече), і відлічують її, а потім на рейку, що встановлена на точці A (довге плече), і також відлічують її.

5. Обчислюють сумарний середній кут $\varepsilon_{AB}^{cep.}$ та оцінюють його значення (стабільність та величину відносно попередньої станції) і приймають рішення стосовно повторення нівелювання лінії AC або продовження нівелювання ходу (перехід нівелювання на наступну лінію CB).

6. Обчислюють остаточне середнє значення перевищення $h_{AB}^{cep.}$ вздовж лінії AC із результатів вимірювань “вперед–назад”.

7. Продовжують нівелювання ходу. Нівелюють наступну лінію CB , для цього вибирають на лінії нівелювання наступну точку B , відповідно до інструкції переписують або виконують нові відлічування рейки, встановленої на точці C (коротке плече).

8. Спрямовують трубу нівеліра на рейку, що встановлена на наступній точці B (довге плече), і відлічують її.

Продовжують нівелювання, повторюючи вищеприписані дії.

У цьому способі з вимірювань прямого і зворотного перевищення визначають перевищення за формулою (1)

$$h_{AC} = \frac{a_A - b_C - a_C + b_A}{2} - (k_{1C} - k_{2A}) \frac{d_{AC}^2}{4R_3}, \quad (1)$$

де a_A, a_C – відліки за ближніми рейками, встановленими у точках A і B ; b_C, b_A – відліки за дальніми рейками; $d_{1C} = d_{2A} = d_{AC}$ – горизонтальна відстань між нівеліром, встановленим відповідно в положенні 1 та 2, і дальньою рейкою; k_{1C}, k_{2A} – коефіцієнти вертикальної рефракції на лініях нівелювання.

Наближене середнє перевищення, без урахування рефракції, обчислюють за спрощеною формулою (2) [4]:

$$h_{AB}^{cep.} = \frac{a_A - b_C - a_C + b_A}{2} = \frac{h_{ен.}^{гум.} - h_{наз.}^{гум.}}{2}, \quad (2)$$

де $h_{ен.}^{гум.} = a_A - b_C$; $h_{наз.}^{гум.} = a_C - b_A$.

Сумарний середній кут $\varepsilon_{AB}^{cep.}$, який містить кутові величини за негоризонтальність візирного променя, кривину Землі та вертикальну рефракцію, обчислюють за формулою (3) [5]:

$$\angle \varepsilon'' = \left(\frac{b_A + b_C - a_A - a_C}{2} \right) \frac{\rho''}{d_{AC}}, \quad (3)$$

де $\rho'' = 206265$.

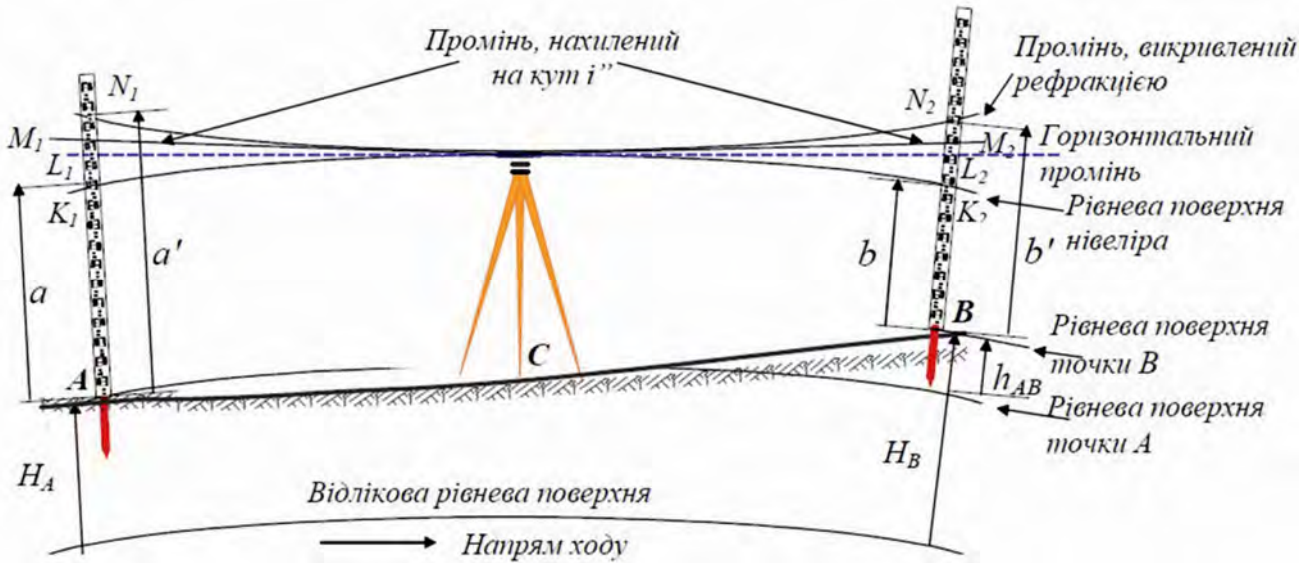


Рис. 1. Нівелювання способом "із середини"

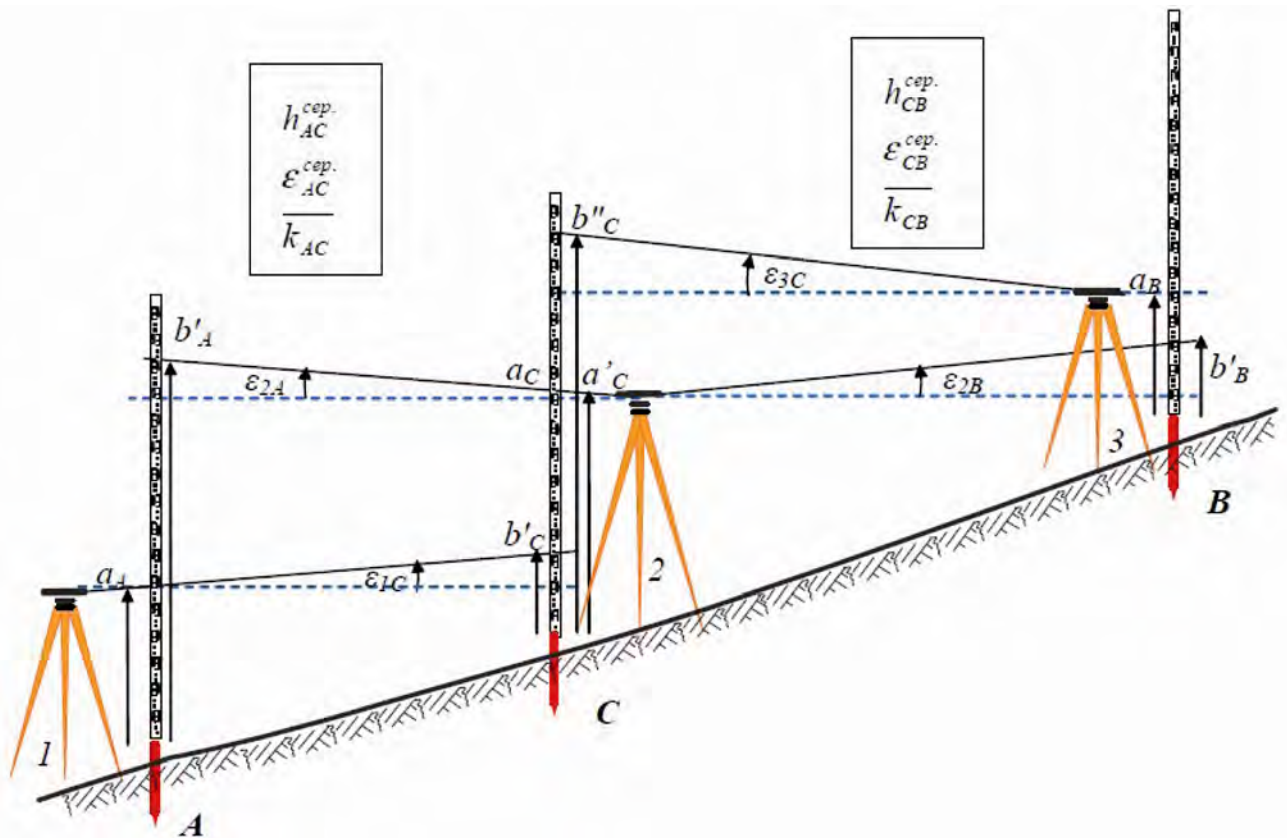


Рис. 2. Нівелювання способом "вперед-назад"

Коефіцієнт вертикальної рефракції залежно від метеорологічних величин представляють формулою (4) [6]:

$$k = 12,27 \frac{P}{T^2} + 503 \frac{P \cdot c}{T^2 h_e^b}, \quad (4)$$

де P – атмосферний тиск, мбар; T – температура повітря, K ; c – аномальний градієнт температури на висоті 1 м; h_e^b – еквівалентна висота візирного променя над підстильною поверхнею.

Еквівалентну висоту візирного променя над підстильною поверхнею обчислюють за формулою (5) [6]:

$$\frac{1}{h_e^b} = \frac{2}{D^2} \int_0^D \frac{1}{h^b} dl, \quad (5)$$

де b – степінь, який приблизно дорівнює 1 і залежить від стратифікації атмосфери.

Якщо прийняти, що геометричне нівелювання виконувалось на рівно нахиленому профілі, то еквівалентну висоту обчислюють за спрощеними формулами (6) [7]:

$$h_{екв.1B} = \frac{2a_A + b_C}{3}; \quad h_{екв.2A} = \frac{2a_C + b_A}{3}. \quad (6)$$

Лінійну величину різниці $\angle \varepsilon$ знаходять за формулою (7)

$$\Delta = \frac{h_{np.} - h_{зв.}}{2}, \quad (7)$$

де $h_{np.}$, $h_{зв.}$ – перевищення прямого і зворотного ходу.

Оскільки величина рефракції обернено пропорційна до еквівалентних висот, то, склавши лінійну пропорцію, можна отримати такі залежності:

$$\left. \begin{aligned} \nu_1 &= 2 \times \Delta \frac{h_{екв.2A}}{h_{екв.1B} + h_{екв.2A}} \\ \nu_2 &= 2 \times \Delta \frac{h_{екв.1B}}{h_{екв.1B} + h_{екв.2A}} \end{aligned} \right\}, \quad (8)$$

де Δ – лінійна величина різниці кута $\angle \varepsilon$.

Тоді виправлені перевищення обчислюються за формулою (8):

$$h_{випр.} = h_1 - \nu_{1,2}, \quad (9)$$

де $\nu_{1,2}$ – величина поправки вертикальної рефракції.

Результати нівелювань двома способами подано у табл. 1 та 2.

У табл. 2 показано, що під час виконання нівелювання способом “вперед–назад” середнє значення кута $\angle \varepsilon''_{сер.}$ за увесь період спостережень становило $-3,51''$, а середнє квадратичне відхилення від середнього значення $-1,17''$.

Порівняльний аналіз двох способів геометричного нівелювання наведено у табл. 3. Середнє перевищення між двома стінними реперами за результатами нівелювання способом “із середини” становить 5276,5 мм, а способом “вперед–назад” – 5282,9 мм, різниця між цими значеннями 6,4 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).

Таблиця 1

Результати нівелювання способом “із середини”

Секція	№ станції	Відліки (віддалі)		Різниця плечей	Відліки		Перевищення
		Задня	Передня		Задня	Передня	
1	Rp “пошта”	9,45	9,5	-0,05	0,043	1,699	-1,656
	1						
2	1	39,85	39,74	0,11	1,855	1,727	0,128
	2						
3	2	64,45	64,52	-0,07	1,629	1,237	0,392
	3						
4	3	57,53	57,58	-0,05	1,255	1,593	-0,338
	4						
5	4	45,75	45,91	-0,16	1,883	0,853	1,03
	5						
6	5	72,24	72,62	-0,38	1,327	1,748	-0,421
	6						
7	6	71,01	70,92	0,09	0,813	2,597	-1,784
	7						
8	7	73,12	73,53	-0,41	0,068	2,544	-2,476
	8						
9	8	33,04	33,28	-0,24	1,506	1,733	-0,227
	9						
10	9	18,16	18,09	0,07	1,592	1,518	0,074
	Rp 630 (буд № 92)						

$S = 970,29$ $h = -5,278$

Секція	№ станції	Відліки (віддалі)		Різниця плечей	Відліки		Перевищення
		Задня	Передня		Задня	Передня	
1	Rp 630 (буд № 92)	18,08	18,18	-0,1	1,485	1,56	-0,075
	1						
2	1	33,14	32,97	0,17	1,723	1,496	0,227
	2						
3	2	73,27	73,07	0,2	2,529	0,054	2,475
	3						
4	3	71,04	71	0,04	2,616	0,833	1,783
	4						
5	4	72,61	72,68	-0,07	1,736	1,32	0,416
	5						
6	5	46,06	45,68	0,38	0,867	1,899	-1,032
	6						
7	6	57,51	57,75	-0,24	1,573	1,221	0,352
	7						
8	7	64,17	64,53	-0,36	1,254	1,654	-0,4
	8						
9	8	39,83	39,95	-0,12	1,7	1,827	-0,127
	9						
10	9	9,66	9,24	0,42	1,695	0,039	1,656
	Rp “пошта”						

$S = 970,29$ $h = 5,275$

$$\Sigma f_{\eta} = 10 \times \sqrt{1,94} = 13,93 \text{ мм}$$

$$\Sigma f_{\eta} = 5,275 - 5,278 = 3 \text{ мм}$$

Таблиця 2

Результати нівелювання способом “вперед–назад”

Секція	№ станції	Наведення		Віддалі		Відліки		H, м	h _{сер.}	Δ, мм	∠ε''	h _{екв.} , м	v, мм	h _{випр.} , м
				задня	передня	задня	передня							
1	1	Rp.630	п1	4,58	9,61	1,0256	1,1057	-0,0801	-0,0800	-0,10	-2,1	1,05	-0,1	-0,0800
	2	п1	Rp630	10,64	3,76	1,4145	1,4944	0,0799			-1,9	1,47	-0,1	-0,0800
2	3	п1	п2	3,94	75,9	1,5288	1,2797	0,2491	0,2510	-1,9	-5,1	1,45	-2,0	0,2511
	4	п2	п1	75,7	4,26	1,7692	1,5163	-0,2529			-5,2	1,60	-1,8	0,2511
3	5	п2	п3	4,31	66,85	1,5961	0,5792	1,0169	1,0186	-1,70	-5,2	1,26	-2,0	1,0189
	6	п3	п2	67,09	4,23	2,3972	1,3769	-1,0203			-5,2	1,72	-1,4	1,0189
4	7	п3	п4	3,27	55,69	1,7623	0,3226	1,4397	1,4408	-1,05	-3,9	1,28	-1,2	1,4409
	8	п4	п3	54,39	4,59	2,6943	1,2525	-1,4418			-4,0	1,73	-0,9	1,4409
5	9	п4	п5	3,6	62,18	1,5802	0,7634	0,8168	0,8179	-1,10	-3,6	1,31	-1,3	0,8181
	10	п5	п4	61,03	4,81	2,3077	1,4887	-0,819			-3,7	1,76	-0,9	0,8181
6	11	п5	п6	4,13	71,05	1,5077	0,4494	1,0583	1,0602	-1,85	-5,3	1,15	-2,2	1,0605
	12	п6	п5	71,4	4,03	2,4253	1,3633	-1,062			-5,3	1,72	-1,5	1,0605
7	13	п6	п7	4,72	57,79	1,5000	1,4458	0,0542	0,0552	-1,00	-3,6	1,48	-1,0	0,0552
	14	п7	п6	58,01	4,25	1,5266	1,4704	-0,0562			-3,5	1,49	-1,0	0,0552
8	15	п7	п8	4,88	70,83	1,4473	1,2917	0,1556	0,1565	-0,90	-2,6	1,40	-0,9	0,1565
	16	п8	п7	71,62	3,95	1,6267	1,4693	-0,1574			-2,6	1,52	-0,9	0,1565
9	17	п8	п9	4,57	16,48	1,508	1,2548	0,2532	0,2535	-0,25	-3,1	1,42	-0,3	0,2535
	18	п9	п8	17,08	4,17	1,6294	1,3757	-0,2537			-3,0	1,46	-0,2	0,2535
10	19	п9	п10	4,19	67,08	1,2677	2,4288	-1,1611	-1,1606	-0,50	-1,5	1,65	-0,4	-1,1607
	20	п10	п9	67,75	3,35	0,5741	1,7342	1,1601			-1,5	1,35	-0,6	-1,1607
11	21	п10	п11	3,92	71,36	1,5642	1,502	0,0622	0,06345	-1,25	-3,6	1,54	-1,2	0,0634
	22	п11	п10	71,59	4,08	1,5372	1,4725	-0,0647			-3,6	1,49	-1,3	0,0634
12	23	п11	п12	4,26	66,43	1,5267	1,0579	0,4688	0,4694	-0,60	-1,9	1,37	-0,6	0,4694
	24	п12	п11	66,97	3,57	1,8805	1,4105	-0,4700			-1,8	1,57	-0,6	0,4694
13	25	п12	п13	4,58	57,31	1,4784	2,0118	-0,5334	-0,5325	-0,95	-3,4	1,66	-0,9	-0,5325
	26	п13	п12	57,66	3,81	1,0525	1,584	-0,5315			-3,4	1,41	-1,0	-0,5325
14	27	п13	п14	4,05	60,89	1,5475	1,5983	0,0508	-0,0495	-1,30	-4,4	1,56	-1,3	-0,0495
	28	п14	п13	61,52	3,77	1,5478	1,596	-0,0482			-4,3	1,58	-1,3	-0,0495
15	29	п14	п15	3,73	53,88	1,5868	1,6582	-0,0714	-0,0705	-0,90	-3,4	1,61	-0,9	-0,0705
	30	п15	п14	53,84	3,6	1,4574	1,527	0,0696			-3,4	1,50	-0,9	-0,0705
16	31	п15	Rp'' Пошта''	3,7	6	1,8094	0,2207	1,5887	1,5886	0,15	5,1	1,28	0,1	1,5886
	32	Rp'' Пошта''	п15	6,37	3,26	1,913	0,3246	-1,5884			4,8	0,85	0,2	1,5886

$$\angle \varepsilon''_{\text{сер.}} = -3,5$$

$$\sum h = 5,2829$$

$$m_{\angle \varepsilon''} = 1,17$$

Таблиця 3
Порівняльний аналіз результатів двох способів
геометричного нівелювання

	Спосіб “із середини”	Спосіб “вперед- назад”
Час виконання	1 год 45 хв	1 год 25 хв
Перевищення, мм	5276,5	5282,9
Різниця, мм	6,4	

Висновки

Спосіб геометричного нівелювання “вперед-назад” відповідає за точністю способу “із середини”. Також цей спосіб прискорює нівелювання за рахунок зменшення витрат часу для вибору на місцевості лінії нівелювання з дотриманням умови рівності плечей і висоти візирного променя.

Література

1. Инструкция по нивелированию I, II, III, IV классов. – М.: Недра, 1990. – 175 с.
2. Перій С. С. Спосіб геометричного нівелювання “вперед-назад”: Патент. Україна, UA 41429 U / МКП(2009), G01C5/00 / С. С. Перій; заявник і патентоутримувач Львів. нац. аграр. ун-т. – № 41429; зареєстр. в Держ. реєстрі патентів України на корисні моделі. – Бюл. № 10. – 25.05.2009 р. – 6 с.
3. Ващенко В. І. Спосіб геометричного нівелювання з врахуванням вертикальної рефракції та негоризонтальності візирного променя / В. І. Ващенко, С. С. Перій, В. О. Літинський // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва: зб. наук. праць. – 2009. – Вип. 1. – С. 116–121.
4. Перій С. С. Апробація способу геометричного нівелювання “вперед-назад” / С. Перій, В. Ващенко, І. Рій // Сучасні досягнення геодезичної науки і виробництва: зб. наук. праць. – 2010. – Вип. 1. – С. 91–94.
5. До питання геометричного нівелювання способом “вперед-назад” з використанням високоточного цифрового нівеліра LeicaDNA 03 / [С. С. Перій, І. Ф. Рій, О. І. Мороз [та ін.] // Вісник геодезії і картографії. – 2012. – № 4. – С. 5–8.
6. Изотов А. А. Исследование земной рефракции и методов геодезического нивелирования / А. А. Изотов, Л. П. Пеллинен // Тр. ЦНИИГАИК. – 1955. – Вып. 102. – 176 с.

7. Дослідження впливу нівелірної рефракції у нічний період за допомогою приладів зарядового зв'язку / В. О. Літинський, О. В. Киселик, С. С. Перій [та ін.] // Геодезія, картографія і аерофотознімання. – 2007. – № 69. – С. 94–97.

Порівняльний аналіз двох способів геометричного нівелювання – “із середини” та “вперед-назад”

О. Мороз, Т. Корлятович, І. Покотило, М. Фис

Виконано вимірювання двома способами геометричного нівелювання – “із середини” та “вперед-назад” на геодезичному полігоні в Шацьку. За отриманими результатами вимірювань виконано порівняльний аналіз двох методів “із середини” та “вперед-назад”. Встановлено, що спосіб геометричного нівелювання “вперед-назад” відповідає точності та вимогам геометричного нівелювання третього класу.

Сравнительный анализ двух способов геометрического нивелирования – “из середины” и “вперед-назад”

А. Мороз, Т. Корлятович, И. Покотило, М. Фис

Выполнены измерения двумя способами геометрического нивелирования – “из середины” и “вперед-назад” на геодезическом полигоне в Шацке. По полученным результатам измерений выполнен сравнительный анализ двух методов “из середины” и “вперед-назад”. Установлено, что способ геометрического нивелирования “вперед-назад” соответствует точности и требованиям геометрического нивелирования третьего класса.

Comparative analysis of two methods of spirit levelling – “from inside” and “forward-back”

О. Moroz, Т. Korlyatovych,
I. Pokotylo, М. Fys

Measurement in two ways of spirit leveling “from the inside” and “forward-back” has been completed on the territory of geodesic polygon in Shack. Comparative analysis of two methods “from the inside” and “forward-back” has been made according to the results. It was established that the method of spirit leveling “forward-back” corresponds to the accuracy and requirements of third-order spirit leveling.

