

УДК 528.48

к.т.н. Адаменко О.В.,  
Київський національний університет будівництва і архітектури

## ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТРОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОМПЕНСАТОРІВ ОПТИЧНИХ НІВЕЛІРІВ

*Розглядається методика дослідження метрологічних характеристик компенсаторів оптичних нівелірів.*

*Ключові слова: компенсатор, середня квадратична похибка, систематична похибка.*

В наш час наявність компенсатора в оптичних та цифрових нівелірах стало нормою геодезичного приладобудування. Безумовно, точність встановлення візирної осі нівеліра компенсатором безпосередньо впливає на якість виконання нівелювання. Однак, нормування точності роботи компенсаторів нівелірів в Україні неповне та вимагає подальших досліджень.

У відповідності з ГОСТ 10528 допустиме значення систематичної складової похибки роботи компенсатора необхідно прийняти для нівелірів:

- високоточних  $\Theta_k = 0,05''$ ,
- точних  $\Theta_k = 0,3''$ ,
- технічних  $\Theta_k = 0,5''$ .

Вимоги до випадкової складової похибки роботи компенсатора нівеліра в технічній літературі не приводяться, в практиці геодезичного виробництва допустиму випадкову складову роботи компенсатора приймають рівною 0,2" (для високоточних) та 0,5" (для точних) у відповідності з ГКИНП-03-010-02.

В 2014 році в ДП "Укрметртестстандарт" були проведені дослідження з визначення точності коменсаторів нівелірів.

Дослідження точності компенсаторів виконувалось для оптичні нівеліри Sokkia C330 та Hilti Pol 10. Нівеліри Sokkia C330 та Hilti Pol 10 мають нормовану середню квадратичну похибку вимірювань перевищень 1 км подвійного ходу нівелювання в 2,5 мм, відповідно належать до групи точних нівелірів.

До початку експериментальних досліджень, нами були визначені метрологічні характеристики компенсаторів цих нівелірів за методикою, наведеною в МПУ 164-2003. Результати визначення метрологічних характеристик компенсаторів нівелірів наведені в таблицях 1, 2.

Дослідження точності нівелірів виконувалось за допомогою двох автоколімаційних установок для перевірки нівелірів з фотоелектричним перетворювачем (АУПН). Така установка дозволяє визначити кут відхилення

візирної осі нівеліра від горизонту з точністю 0,1-0,3". Нівелір встановлювався на поворотний стіл, два АУПН встановлювались у напрямку до нівеліра так, щоб утворювати кут приблизно 150° (рис. 1) та приводились у робоче положення.

Таблиця 1.

Визначення метрологічних характеристик компенсатора нівеліра Sokkia C330.

Кут нахилу $v_i, \dots'$	Відлік по АУПН, ..."		$D_b = b_1 - b_2,$ ..."	$b = 0,5(b_1 + b_2),$ ..." $b_0 = 2,25$	$\frac{(b_i - b_0)}{v_i}$
	в прямому ході, $b_1$	в зворотньому ході, $b_2$			
15	0,9	1,0	-0,10	0,95	-0,09
10	1,6	2,1	-0,50	1,85	-0,04
8	1,8	2,6	-0,80	2,20	-0,01
6	2,4	2,8	-0,40	2,60	0,06
4	2,0	2,9	-0,90	2,45	0,05
2	1,8	3,0	-1,20	2,40	0,08
0	1,7	2,8	-1,10	2,25	0,00
-2	1,1	1,8	-0,70	1,45	0,40
-4	0,1	1,0	-0,90	0,55	0,43
-6	-1,7	-0,8	-0,90	-1,25	0,58
-8	-2,7	-2,5	-0,20	-2,60	0,61
-10	-3,8	-3,5	-0,30	-3,65	0,59
-15	-7,8	-7,6	-0,20	-7,70	0,66
Діапазон роботи компенсатора	Min	-15	СКП роботи компенсатора $m_k, \dots$ "		0,51
	Max	15	Макс. знач. сист. похибки роботи компенс. $D_k, \dots$ "		0,32

Для кожного нівеліра виконувались три серії по десять прийомів вимірювань. В кожному прийомі нівелір по чергово наводився на АУПН А, АУПН В, АУПН А. При кожному наведенні нівеліра на АУПН, установкою визначався кут нахилу візирної осі нівеліра. В першій серії вимірювань, перед кожним прийомом, круглий рівень нівеліра збивався в довільному напрямку та, потім, виводився в "нуль - пункт".

В другій серії, в кожному прийомі вимірювань, нівелір спочатку приводився у робоче положення за допомогою підйомних гвинтів, потім, за допомогою поворотного столу, нахилився у напрямку на АУПН А на кут 2'. Такий кут нахилу вибраний з урахуванням того, що по круглomu рівню нівеліра його важко відстежити - бульбашка рівня знаходиться майже в центрі.

Таблиця 2.

Визначення метрологічних характеристик компенсатора нівеліра Hilti Pol 10.

Кут нахилу $v_i, \dots'$	Відлік по АУПН, ..."		$D_b = b_1 - b_2, \dots'$	$b = 0,5(b_1 + b_2), \dots'$	$\frac{(b_i - b_0)}{v_i}$
	в прямому ході, $b_1$	в зворотньому ході, $b_2$		$b_0 = 2,25$	
15	-0,3	-0,2	-0,10	-0,25	-0,09
10	0,3	0,1	0,20	0,20	-0,09
8	0,5	0,4	0,10	0,45	-0,08
6	0,7	0,6	0,10	0,65	-0,07
4	1,0	1,1	-0,10	1,05	0,00
2	1,0	1,0	0,00	1,00	-0,03
0	0,9	1,2	-0,30	1,05	0,00
-2	0,9	1,2	-0,30	1,05	0,00
-4	0,9	1,1	-0,20	1,00	0,01
-6	0,9	1,1	-0,20	1,00	0,01
-8	1,0	1,1	-0,10	1,05	0,00
-10	1,0	1,0	0,00	1,00	0,01
-15	0,6	1,0	-0,40	0,80	0,02
Діапазон роботи компенсатора	Min	-15	mk, ..."		0,14
	Max	15	Dk, ..."		0,04

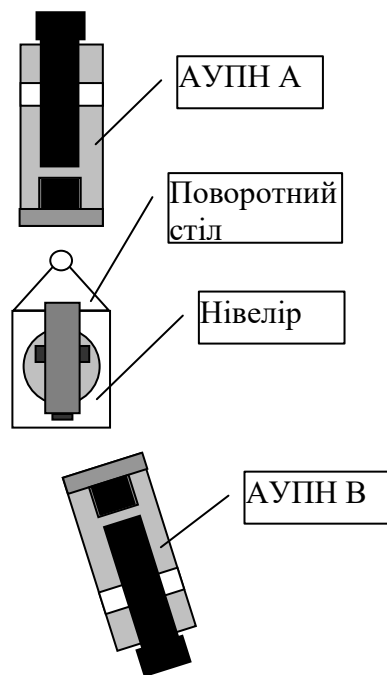


Рис. 1. Схема досліджень метрологічних характеристик нівелірів.

Таким чином була спроба моделювати нівелювання на станції. В третій серії задавався кут нахилу - 5'. При такому куті нахилу бульбашка рівня вже явно дотикається до кола круглого рівня. Такий кут нахилу нівеліра легко відстежити та виправити.

В таблицях 3, 4, 5 наведені результати експериментальних досліджень нівеліра Sokkia C330.

В таблицях 6, 7, 8 наведені результати експериментальних досліджень нівеліра Hilti Pol 10

Таблиця 3.

Експериментальні дослідження точності нівеліра Sokkia C330 в горизонті.

№ вимірювання	Відлік по АУПН А, ..."	Відлік по АУПН В, ..."	Відлік по АУПН А, ..."	$D_A = A_1 - A_2$	$D_B = B - A_{\text{сер}}$
1	1,7	2,3	2,5	-0,8	-0,2
2	1,9	2,4	2,4	-0,5	-0,25
3	2,1	1,7	2,5	-0,4	0,6
4	2,2	2,1	2,5	-0,3	0,25
5	2,7	1,9	2,5	0,2	0,7
6	1,4	2,1	2,1	-0,7	-0,35
7	1,4	2,4	1,8	-0,4	-0,8
8	1,3	1,6	1,6	-0,3	-0,15
9	1,5	1,9	1,9	-0,4	-0,2
10	1,1	1,3	1,1	0	-0,2
СКП вимірювань на АУПН А, ..."				0,48	
СКП вимірювань на станції, ..."				0,46	
СКП вимірювань на станції (S = 70м), ... мм				0,16	
СКП вимірювань перевищень 1 км ходу, ...мм				0,41	

Таблиця 4.

Експериментальні дослідження точності нівеліра Sokkia C330  
при куті нахилу 2'.

№ вимірювання	Відлік по АУПН А, ..."	Відлік по АУПН В, ..."	Відлік по АУПН А, ..."	$D_A = A_1 - A_2$	$D_B = B - A_{\text{ср}}$
1	1,1	1,8	1,4	-0,3	-0,55
2	1	2,8	1,4	-0,4	-1,6
3	1,6	2,1	1,9	-0,3	-0,35
4	1,6	1,7	1,5	0,1	-0,15
5	1,1	2,2	1,3	-0,2	-1
6	1,8	2	1,5	0,3	-0,35
7	1,2	2,2	1,6	-0,4	-0,8
8	1,9	2,2	1,7	0,2	-0,4
9	1,1	1,9	1,4	-0,3	-0,65
10	1,6	1,7	1,5	0,1	-0,15
СКП вимірювань на АУПН А, ..."				0,29	
СКП вимірювань на станції, ..."				0,77	
СКП вимірювань на станції (S = 70м), ... мм				0,26	
СКП вимірювань перевищень 1 км ходу, ...мм				0,69	

Таблиця 5.

Експериментальні дослідження точності нівеліра Sokkia C330  
при куті нахилу 5'.

№ вимірювання	Відлік по АУПН А, ..."	Відлік по АУПН В, ..."	Відлік по АУПН А, ..."	$D_A = A_1 - A_2$	$D_B = B - A_{\text{ср}}$
1	1,1	2,9	1,5	-0,4	-1,6
2	1,7	2,6	1,9	-0,2	-0,8
3	1,7	3	1,7	0	-1,3
4	1,4	2,3	1,4	0	-0,9
5	1,2	3,1	1,6	-0,4	-1,7
6	1,2	2,1	1,5	-0,3	-0,75
7	1,9	2,1	1,7	0,2	-0,3
8	1,3	2,1	1,3	0	-0,8
9	1,2	2,2	1,4	-0,2	-0,9
10	1,1	2,1	1,7	-0,6	-0,7
СКП вимірювань на АУПН А, ..."				0,31	
СКП вимірювань на станції, ..."				1,11	
СКП вимірювань на станції (S = 70м), ... мм				0,38	
СКП вимірювань перевищень 1 км ходу, ...мм				1,00	

Таблиця 6.

Експериментальні дослідження точності нівеліра Hilti Pol 10 в горизонті.

№ вимірювання	Відлік по АУПН А, ..."	Відлік по АУПН В, ..."	Відлік по АУПН А, ..."	$D_A = A_1 - A_2$	$D_B = B - A_{\text{сеп}}$
1	0,8	0,9	0,7	0,1	-0,15
2	0,8	1	0,8	0	-0,2
3	0,6	0,6	0,8	-0,2	0,1
4	1,1	1	1,3	-0,2	0,2
5	0,8	0,9	0,9	-0,1	-0,05
6	1,1	0,7	1,2	-0,1	0,45
7	1	0,6	0,7	0,3	0,25
8	0,6	1,2	1,2	-0,6	-0,3
9	1,2	0,5	0,9	0,3	0,55
10	1,1	0,7	1,2	-0,1	0,45
СКП вимірювань на АУПН А, ..."				0,27	
СКП вимірювань на станції, ..."				0,33	
СКП вимірювань на станції (S = 70м), ... мм				0,11	
СКП вимірювань перевищень 1 км ходу, ...мм				0,30	

Таблиця 7.

Експериментальні дослідження точності нівеліра Hilti Pol 10 при куті нахилу 2'.

№ вимірювання	Відлік по АУПН А, ..."	Відлік по АУПН В, ..."	Відлік по АУПН А, ..."	$D_A = A_1 - A_2$	$D_B = B - A_{\text{сеп}}$
1	1	0,9	0,9	0,1	0,05
2	0,6	0,8	0,8	-0,2	-0,1
3	0,9	0,8	0,9	0	0,1
4	0,7	1	0,8	-0,1	-0,25
5	1	0,7	0,6	0,4	0,1
6	0,5	0,8	0,8	-0,3	-0,15
7	0,8	0,7	0,6	0,2	0
8	0,3	0,7	0,8	-0,5	-0,15
9	0,9	0,7	0,8	0,1	0,15
10	0,8	0,7	1,1	-0,3	0,25
СКП вимірювань на АУПН А, ..."				0,28	
СКП вимірювань на станції, ..."				0,16	
СКП вимірювань на станції (S = 70м), ... мм				0,05	
СКП вимірювань перевищень 1 км ходу, ...мм				0,14	

Таблиця 8.

Експериментальні дослідження точності нівеліра Hilti Pol 10 при куті нахилу 5'.

№ вимірювання	Відлік по АУПН А, ..."	Відлік по АУПН В, ..."	Відлік по АУПН А, ..."	$D_A = A_1 - A_2$	$D_B = B - A_{\text{сер}}$
1	1,2	0,5	1,1	0,1	0,65
2	1,1	0,3	1,1	0	0,8
3	1	0,3	1,1	-0,1	0,75
4	1,5	-0,3	1	0,5	1,55
5	0,9	0,1	1,1	-0,2	0,9
6	1,1	0,1	1,2	-0,1	1,05
7	1,1	-0,3	0,8	0,3	1,25
8	0,8	-0,1	0,8	0	0,9
9	1	-0,2	1	0	1,2
10	0,9	-0,1	0,8	0,1	0,95
СКП вимірювань на АУПН А, ..."				0,21	
СКП вимірювань на станції, ..."				1,09	
СКП вимірювань на станції (S = 70м), ... мм				0,37	
СКП вимірювань перевищень 1 км ходу, ...мм				0,98	

За результатами кожної серії вимірювань визначались СКП наведення на АУПН А та СКП вимірювань на станції. СКП вимірювань на АУПН А визначалась по відхиленням у візирній осі нівеліра при наведенні на АУПН А на початку та в кінці прийому. СКП вимірювань на станції визначалось по відхиленнях у положенні візирної осі нівеліра при наведенні на АУПН А та АУПН В.

З огляду на результати досліджень можна зауважити, що визначена СКП вимірювань на АУПН А (наведення на АУПН А на початку та в кінці кожного прийому) та СКП вимірювань на станції (наведення на АУПН А та на АУПН В) в горизонті в цілому збігаються, що каже про достовірність результатів.

Слід звернути увагу, що визначена під час метрологічних характеристик систематична складова похибки роботи компенсатора нівеліра Hilti Pol 10 склала всього 0,04" на 1'. Однак похибка визначення перевищень при куті нахилу значно зростає.

### Висновки:

Таким чином, для досліджень було обрано два нівеліра Sokkia C330 та Hilti Pol 10. В першому, визначені метрологічні характеристики компенсатора були на межі існуючих вимог, в другому - були значно меншими. Вже при куті

нахилу приладів у 5', вплив похибок роботи компенсаторів нівелірів складав вагому частину нормованої похибки вимірювань. Варто додати, що під час вимірювань вплив цілого ряду похибок нівелювання був мінімізований або виключений, таких як похибка зняття відліку, похибка а рахунок різниці плеч тощо.

Оскільки останнього часу з'явився цілий ряд оптичних нівелірів різних виробників, які за більшістю параметрів підпадають до групи точних та мають середню квадратичну похибку визначення перевищення подвійного ходу нівелювання на рівні 1,5 мм (наприклад Hilti Pol 15), ми вважаємо, що практику встановлення нормативних вимог до компенсаторів нівелірів необхідно переглянути. Одним із варіантів виходу з такої проблеми ми вважаємо визначення залежності нормованої точності компенсатора від СКП вимірювань подвійного ходу нівелювання.

### Література

1. Нивелиры. Общие технические условия: ГОСТ 10528-90. – М. : ИПК Издательство стандартов, 1990. – 14 с.
2. Инструкция по нивелированию I, II, III, IV классов: ГКНИП-03-010-02. – М. : ЦНИИГАИК, 2003. – 135 с.

### Аннотация

В данной работе рассматривается методика исследования точности компенсаторов оптических нивелиров.

### Abstract

The article is concerned method of control metrological characteristics of Levels.