

ВАРФОЛОМЕЕВ А. Ф., ВИНЯЕВ Д. А., ПОДОЙНИЦЫН Н. П.
СРАВНЕНИЕ ТОЧНОСТИ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ
НИВЕЛИРАМИ С ЦИЛИНДРИЧЕСКИМ УРОВНЕМ И С КОМПЕНСАТОРОМ

Аннотация. Статья посвящена применению современных геодезических приборов для проведения нивелирных работ в строительстве и инженерной геодезии. Изучены и представлены показатели точности нивелиров с уровнем (Н-2 и Н-3) и с компенсатором (GST berger x-24) в разных условиях работы. Проведен их сравнительный анализ.

Ключевые слова: геодезические измерения, нивелир, нивелирование, средняя квадратичная ошибка измерения.

VARFOLOMEEV A. F., VINYAEV D. A., PODOINITSYN N. P.
COMPARISON OF GEODETIC MEASUREMENT ACCURACY
BY LEVELS WITH A CYLINDRICAL LEVEL AND WITH A COMPENSATOR

Abstract. The article is devoted to the application of modern geodetic instruments for leveling works in construction and engineering geodesy. The accuracy indicators of levelers with the H-2 and H-3 level and with the CST berger x-24 compensator in different working conditions are studied and presented. Their comparative analysis is carried out.

Keywords: geodetic measurement, leveling, mean quadratic error of measurement.

В современной практике инженерно-геодезических работ на смену классическим приборам и технологиям приходят новые [6; 10]. В первую очередь это касается электронной спутниковой принимающей аппаратуры глобальных навигационных систем позиционирования [1; 2], но характерно и для других элементов приборной базы. В частности, на смену нивелирам с цилиндрическим уровнем приходят нивелиры с самоустанавливающейся линией визирования (с компенсатором), в которых уровень заменяется автоматическим устройством – компенсатором наклона визирной оси, или «регулятором» положения визирной оси. Нивелиры с компенсатором позволяют повысить производительность труда и облегчают труд нивелировщика.

Большинство инженерно-геодезических работ проводят с использованием точных нивелиров, где не требуется применение высокоточных приборов. Допуски СКО нивелирования на 1 км нивелирного хода составляют [3]:

- с уровнем – 3 мм,
- с компенсатором – 2 мм.

Целью исследования является сравнение нивелиров с уровнем и с компенсатором в различных условиях эксплуатации: в условиях с малыми вибрационными воздействиями и

значительными вибрационными воздействиями на прибор (современная строительная площадка; близость автомобильных дорог с интенсивным движением и т. п.).

Для проверки этих параметров [5] применялись следующие комплекты нивелиров:

- с уровнем Н-3, в который входит деревянная рейка, штатив и нивелир Н-3;
- с компенсатором GST berger x-24, в который входит алюминиевая рейка, штатив и нивелир GST berger x-24;
- высокоточного с цилиндрическим уровнем Н-2, в который входит инварная рейка, деревянный штатив и нивелир Н-2.

Нивелир с цилиндрическим уровнем Н-2 дает возможность высокоточного измерения превышений между точками благодаря использованию микрометричного барабана. Сравнительный анализ показателей измерений нивелиров с уровнем и с компенсатором с измерениями высокоточного нивелира позволит выявить более точный прибор [7].

На первом этапе работы были проведены поверки приборов и при необходимости выполнена их юстировка [4; 7; 11].

Далее были разбиты измерительные полигоны вблизи дороги с интенсивным автомобильным движением (с значительной вибрацией) и на удалении от автомобильной дороги (с минимальной вибрацией) [8].

Измерительный полигон представляет собой три дюбеля с шайбами, вбитых в асфальт (для установки рейки) и дюбель посередине для центрирования прибора, в целях максимального исключения ошибок измерений (см. рис.).

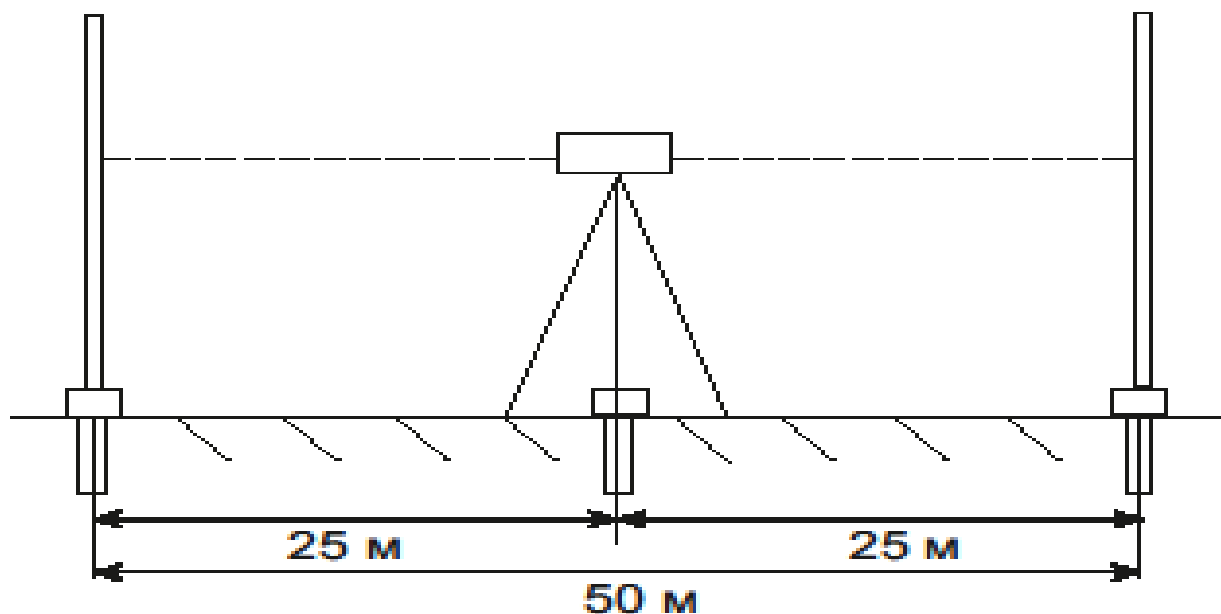


Рис. Схема измерительного полигона.

На втором этапе работ были проведены измерения превышений высот между точками на полигонах приборами Н-2 (см. табл. 1, 2), Н-3 (см. табл. 3, 4), GST berger x-24 (см. табл. 5, 6). Для вычисления среднего показателя превышения измерения были проведены 15 раз, что позволило определить средние статистические показатели.

Вычисления средней квадратичной ошибки (СКО) проводились по формуле Гаусса:

$$\mu = \sqrt{(\sum \Delta i^2) / n} \quad (1)$$

где: μ – средняя квадратичная ошибка;

Δi^2 – квадрат дисперсии;

n – число измерений.

Вначале измерения были выполнены нивелиром Н-2, затем – приборами Н-3 и GST berger x-24 [7; 11]; полученные результаты представлены в таблицах 1-7.

Таблица 1

Вычисление СКО и измерение превышения нивелиром Н-2 вблизи дороги

Отсчет	Значение превышений, мм	Дисперсия	Квадрат дисперсии
1	23,10	1,047	1,096
2	24,80	-0,653	0,427
3	25,05	-0,903	0,816
4	25,35	-1,203	1,448
5	23,45	0,697	0,485
6	23,25	0,897	0,804
7	25,10	-0,953	0,909
8	22,60	1,547	2,392
9	24,75	-0,603	0,364
10	22,80	1,347	1,814
11	24,95	-0,803	0,645
12	24,60	-0,453	0,206
13	24,10	0,047	0,002
14	25,45	-1,303	1,699
15	22,85	1,297	1,681
Ср. значение превышений	24,147	0,000	14,787
Результат СКО	0,993		

Результаты проведенных измерений показывают (см. табл.7), что отклонения измерений превышений нивелирами между точками составили: для Н-3 вблизи дороги – 2,8 мм, на удалении от дороги – 3,4 мм и для GST berger x-24 вблизи дороги – 5,0 мм, на удалении от дороги – 6,8 мм, по сравнению с прибором Н-2. Следует отметить, что измерения проводились в разные по погодным условиям дни, при температурах от –8 °С до –12 °С и скорости ветра порядка 2-5 м/с, что могло привести к искажению измерений [9].

Таблица 2

Вычисление СКО и измерение превышения нивелиром Н-2 на удалении от дороги

Отсчет	Значение превышений, мм	Дисперсия	Квадрат дисперсии
1	554,20	-0,903	0,82
2	553,85	-0,553	0,31
3	552,75	0,547	0,30
4	553,55	-0,253	0,06
5	553,25	0,047	0,00
6	553,45	-0,153	0,02
7	551,80	1,497	2,24
8	553,80	-0,503	0,25
9	552,95	0,347	0,12
10	552,85	0,447	0,20
11	553,45	-0,153	0,02
12	553,55	-0,253	0,06
13	553,60	-0,303	0,09
14	553,30	-0,003	0,00
15	553,10	0,197	0,04
Ср. значение превышений	553,297	0,000	4,542
Результат СКО	0,550		

Таблица 3

Вычисление СКО и измерение превышения нивелиром Н-3 вблизи дороги

Отсчет	Значение превышений, мм	Дисперсия	Квадрат дисперсии
1	21,00	0,333	0,111
2	21,00	0,333	0,111
3	20,00	1,333	1,778
4	21,00	0,333	0,111
5	22,00	-0,667	0,444
6	21,00	0,333	0,111
7	21,00	0,333	0,111
8	23,00	-1,667	2,778
9	21,00	0,333	0,111
10	21,00	0,333	0,111
11	22,00	-0,667	0,444
12	21,00	0,333	0,111
13	22,00	-0,667	0,444
14	21,00	0,333	0,111
15	22,00	-0,667	0,444
Ср. значение превышений	21,333	0,000	7,333
Результат СКО	0,699		

Таблица 4

Вычисление СКО и измерение превышения нивелиром Н-3 на удалении от дороги

Отсчет	Значение превышений, мм	Дисперсия	Квадрат дисперсии
1	555,00	2,40	5,76
2	557,00	0,40	0,16
3	557,00	0,40	0,16
4	558,00	-0,60	0,36
5	556,00	1,40	1,96
6	557,00	0,40	0,16
7	558,00	-0,60	0,36
8	555,00	2,40	5,76
9	558,00	-0,60	0,36
10	559,00	-1,60	2,56
11	560,00	-2,60	6,76
12	559,00	-1,60	2,56
13	555,00	2,40	5,76
14	557,00	0,40	0,16
15	560,00	-2,60	6,76
Ср. значение превышений	557,4	0,000	39,6
Результат СКО	1,625		

Таблица 5

Вычисление СКО и измерение превышения нивелиром GST berger x-24 на удалении от дороги

Отсчет	Значение превышений, мм	Дисперсия	Квадрат дисперсии
1	562,00	-1,267	1,604
2	561,00	-0,267	0,071
3	561,00	-0,267	0,071
4	560,00	0,733	0,538
5	562,00	-1,267	1,604
6	561,00	-0,267	0,071
7	560,00	0,733	0,538
8	560,00	0,733	0,538
9	561,00	-0,267	0,071
10	560,00	0,733	0,538
11	562,00	-1,267	1,604
12	560,00	0,733	0,538
13	560,00	0,733	0,538
14	561,00	-0,267	0,071
15	560,00	0,733	0,538
Ср. значение превышений	560,733	0,000	8,933
Результат СКО	0,668		

Таблица 6

Вычисление СКО и измерение превышения нивелиром GST berger x-24 вблизи дороги

Отсчет	Значение превышений, мм	Дисперсия	Квадрат дисперсии
1	19,00	0,13	0,018
2	19,00	0,13	0,018
3	18,00	1,13	1,284
4	19,00	0,13	0,018
5	19,00	0,13	0,018
6	18,00	1,13	1,284
7	20,00	-0,87	0,751
8	20,00	-0,87	0,751
9	20,00	-0,87	0,751
10	20,00	-0,87	0,751
11	19,00	0,13	0,018
12	19,00	0,13	0,018
13	19,00	0,13	0,018
14	19,00	0,13	0,018
15	19,00	0,13	0,018
Ср. значение превышений	19,133	0,000	5,733
Результат СКО	0,874		

Таблица 7

Общие результаты измерений

Показатель	Местность	Прибор		
		Н-2	Н-3	GST Berger x-24
СКО	вблизи дороги	0,933	0,699	0,618
	на удалении от дороги	0,550	1,625	0,688
Ср. превышения, мм	вблизи дороги	24,150	21,330	19,130
	на удалении от дороги	553,970	557,400	560,730

Следует отметить, что во время проведения измерений у нивелира с уровнем при вибрационных воздействиях (вблизи дороги) отклонялся цилиндрический уровень, что затрудняло производство замеров. У нивелира с компенсатором колебания сетки нитей также затрудняли выполнение измерений. По результатам проведения измерений существенного различия в том, каким прибором легче снимать отсчеты по рейке, не наблюдалось, однако прибор с компенсатором сразу показывает нужный результат, не

прилагая лишних усилий в сравнении с прибором с уровнем, где приходится дополнительно работать с элевационным винтом прибора для вывода результата.

На территории с минимальной вибрацией (на удалении от дороги) сложностей с проведением измерений было значительно меньше. Уровень практически не отклонялся, а компенсатор отклонялся не более 1-2 мм, что позволяло в равной степени работать с приборами обоих типов. Необходимо отметить, что наблюдается разница полученных показателей нивелиров Н-3 и GST berger x-24 и показателя высокоточного прибора Н-2. Однако, показатель прибора с уровнем оказался ближе к показателю высокоточного прибора.

Если рассмотреть СКО, то вблизи дороги показатели приборов с уровнем, в сравнении с нивелиром с компенсатором, показали себя хуже. Это связано с тем, что у нивелиров Н-2 и Н-3 очень чувствительные уровни, что затрудняло производить измерения при вибрациях. Используя прибор с компенсатором, уровень выводить не нужно, что давало возможность упростить процесс измерения. При измерениях на удалении от дороги минимальные отклонения СКО наблюдались у прибора Н-2, максимальные – Н-3. Прибор с компенсатором показывал наименьшие отклонения, поэтому данным прибором проще брать отсчеты.

В заключение можно сделать вывод, что показатели превышений, полученные нивелиром Н-3, более приближены к показателям высокоточного прибора Н-2. Несмотря на то, что СКО у нивелира Н-3 больше, чем у GST berger x-24, он лучше подходит для нивелирования. Также необходимо отметить, что при отрицательных температурах у нивелира GST berger x-24 возникает проблема с подъемными и наводящими винтами, поэтому в условиях работы в зимний период времени лучше проводить измерения нивелиром Н-3.

Таким образом, при инженерно-геодезических работах, в условиях, где необходима повышенная точность измерений, лучше использовать нивелир с уровнем. Если в работе не требуется повышенной точности, то можно применять нивелир с компенсатором.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Варфоломеев А. Ф., Виняев Д. А. Создание планового геодезического обоснования с использованием глобальных систем позиционирования [Электронный ресурс] // Огарев-online. – 2022. – № 4. – Режим доступа: <https://journal.mrsu.ru/arts/sozdanie-planovogo-geodezicheskogo-obosnovaniya-s-ispolzovaniem-globalnyx-sistem-pozicionirovaniya> (дата обращения 18.11.2022).
2. Варфоломеев А. Ф., Коваленко А. К., Коваленко Е. А., Тесленок К. С., Тесленок С. А. Геоинформационные технологии в определении зон покрытия

- территории поправками от постоянно действующих станций ГЛОНАСС/GPS // Материалы Международ. конф. «ИнтерКарто/ИнтерГИС». – 2015. – Т. 21 (1). – С. 522–528. DOI: 10.24057/2414-9179-2015-1-21-522-528.
3. ГОСТ 10528–90. Нивелиры. Общие технические условия. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2003. – 15 с.
4. Лысов Г. Ф. Поверки и исследование теодолитов и нивелиров в полевых условиях. – М.: Недра, 1978. – 97 с.
5. Малков А. Г. Исследования точности превышений нивелиром AP-124 фирмы «PENTAX» // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2011. – Т. 1, № 1. – С. 76–78.
6. Манухов В. Ф. Совершенствование методов топографических съемок и инженерно-геодезических работ с использованием современных технологий // Вестник Мордов. ун-та. – 2008. – № 1. – С. 105–108.
7. Нивелирование I и II классов (практическое руководство). – М.: Недра, 1982. – 264 с.
8. Никонов А. В., Соболева Е. К., Рябова Н. М., Медведская Т. М. Определение средней квадратической ошибки измерения превышения на станции цифровым нивелиром // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2015. – Т. 1, № 1. – С. 77–84.
9. Рыхембердина М. Е., Бердюгина А. В. Исследование влияния рефракции на результаты нивелирования цифровыми нивелирами при отрицательной температуре // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2017. – Т. 9, № 1. – С. 90–94.
10. Тесленок С. А., Романов А. В. Новые технологии в производстве топографо-геодезических работ // Общество. – 2014. – № 2 (2). – С. 78–81.
11. Уставич Г. А., Малков А. Г., Паншин Е. И. Геодезическое инструментоведение. Устройство, поверки и исследования теодолитов и нивелиров: Учеб. пособие – Новосибирск, 2003. – 68 с.