

ОСОБЕННОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УГЛА i ЦИФРОВЫХ НИВЕЛИРОВ

Антон Викторович Никонов

ОАО «Сибтехэнерго», 630032, Россия, г. Новосибирск, ул. Планировочная, 18/1, инженер-геодезист, e-mail: sibte@bk.ru

Ирина Николаевна Чешева

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, старший преподаватель кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела, тел. (383)343-29-55

Галина Викторовна Лифашина

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, старший преподаватель кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела, тел. (383)343-29-55

В статье рассмотрены основные способы определения угла i оптических и цифровых нивелиров. Приведены формулы для вычисления угла i . Описаны особенности исправления и учета угла i при работе с цифровыми нивелирами.

Ключевые слова: цифровой нивелир, угол i , поверка.

THE ANALYSIS OF METHODS FOR DETERMINING ANGLE i DIGITAL LEVELS

Anton V. Nikonov

Sibtechenergo, 630032, Russia, Novosibirsk, 18/1 Planirovochnaja St., engineer surveyor, e-mail: sibte@bk.ru

Irina N. Checheva

Siberian State University of Geosystems and Technology, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., senior lecturer Department of Engineering Geodesy and Mine Surveying, tel. (383)343-29-55

Galina V. Lifashina

Siberian State University of Geosystems and Technology, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., senior lecturer Department of Engineering Geodesy and Mine Surveying, tel. (383)343-29-55

Key words: digital level, angle i , calibration.

Для выполнения качественных геодезических измерений недостаточно использовать высокоточные приборы и наиболее рациональные методы работы с ними. Необходимо периодически контролировать соответствие реальных метрологических характеристик приборов их паспортным или нормативным значениям. Например, для нивелира главным геометрическим условием является параллельность визирной оси зрительной трубы оси цилиндрического уровня. В дальнейшем мы будем рассматривать методы определения угла i , образуемо-

го между осью цилиндрического уровня (горизонтальной плоскостью) и визирной осью зрительной трубы при проецировании их на отвесную плоскость.

При выполнении высокоточных работ контроль угла i выполняется, как правило, ежедневно, а при заметном изменении внешних условий в течение дня – несколько раз в день. Наименее устойчивыми к температурным воздействиям являются в основном уровенные нивелиры (НА-1). Более стабилен угол i у нивелиров с металлическим кожухом (Н-05, Ni004) и нивелиров с самоустанавливающейся линией визирования (Ni002, Ni007). В настоящее время на производстве получили распространение измерительные системы «цифровой нивелир – штрих-кодовая рейка». Рассмотрим основные способы определения угла i нивелиров.

В отечественной литературе выделяют три основных способа проведения поверки [1-4]:

- 1) нивелирование вперед;
- 2) нивелирование из середины в сочетании с нивелированием вперед;
- 3) нивелирование с различными плечами.

При определении угла i любым из способов выполняют не менее 3-х приемов. Расхождение отдельных значений угла i для высокоточных нивелиров не должно превышать $3''$. В соответствии с требованиями нормативных документов [3, 4] угол i не должен превышать $10''$, в противном случае производится юстировка нивелира.

При нивелировании «вперед» необходимо измерять высоту инструмента над точкой с погрешностью не более 1 мм. Это не очень удобно, поэтому остановимся подробнее на втором и третьем способах.

Угол i по второму способу определяется в следующей последовательности (рис. 1). На равнинном участке местности в точках A и B , находящихся на расстоянии $S=40\div 60$ м друг от друга, забивают колышки с гвоздями или костыли. На этих точках устанавливают отвесно рейки. Нивелир устанавливают посередине между кольями A и B (станция 1), приводят его в рабочее положение и берут отсчеты a_1, b_1 . Переносят нивелир в точку, удаленную от кола B на 5–10 м (S_1), и после приведения его в рабочее положение берут отсчеты по рейкам b_2, a_2 . Значение угла i вычисляют по формуле:

$$i = \frac{(a_2 - b_2) - (a_1 - b_1)}{S} \rho = \frac{h_2 - h_1}{S} \rho. \quad (1)$$

Теперь рассмотрим третий способ (рис. 2). На расстоянии порядка 50 м друг от друга, в точках A и B забиваются колья. Превышение между кольями определяют со станций 1 и 2 при разной длине плеч ($S_1 = 3\div 5$ м). На станции 1 берут отсчеты a_1, b_1 , затем, не меняя фокусировки трубы, нивелир переносят в точку 2. На точке 2 сначала производят отсчет a_2 по дальней рейке, а затем b_2 по ближней.

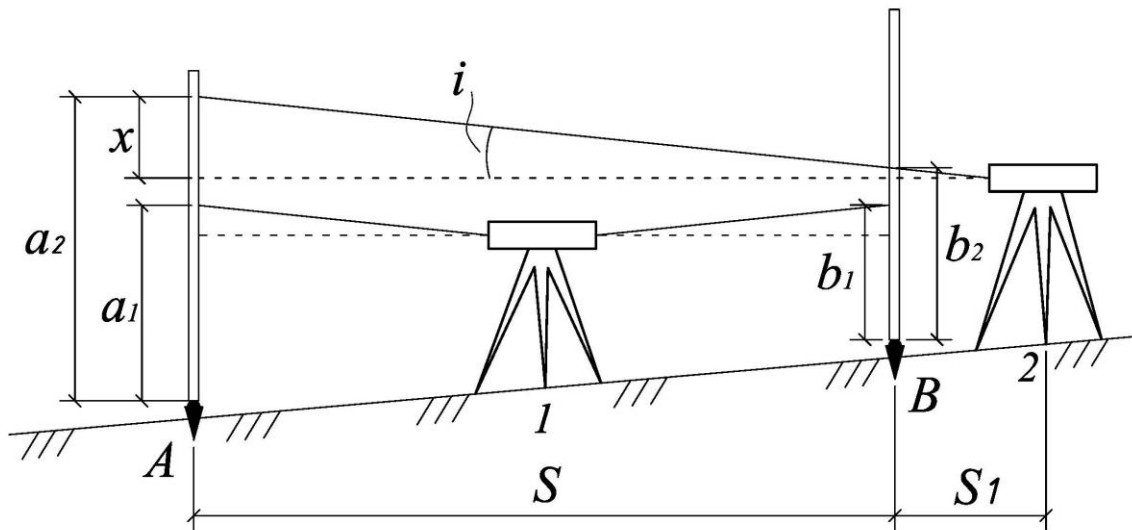


Рис. 1. Схема определения угла i вторым способом

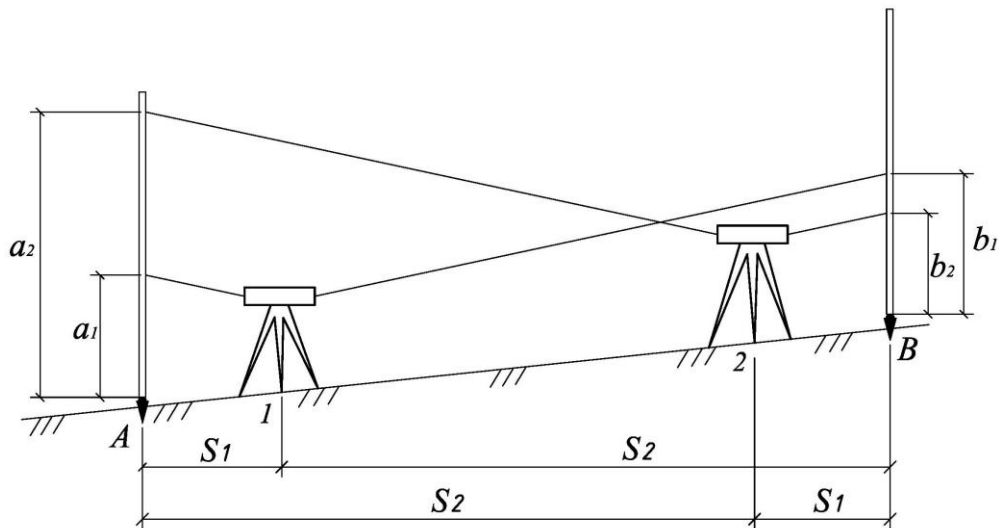


Рис. 2. Схема определения угла i третьим способом

Угол i в третьем способе вычисляют по формуле:

$$i = \frac{(a_2 + b_1) - (a_1 + b_2)}{2(S_2 - S_1)} \rho. \quad (2)$$

Иногда в знаменателе вместо неравенства плеч на станции $(S_2 - S_1)$ ставят длину плеча S_2 [5]. Такое упрощение делается в предположении, что отсчет по ближней рейке свободен от влияния угла i из-за малости расстояния S_1 , что при $S_1 < 5$ м вполне оправдано.

Известно, что при работе с цифровым нивелиром поправка за угол i в отсчет по рейке вводится программным обеспечением автоматически. При этом в расчет принимается значение угла i , определенное в ходе последней калибровки прибора и сохраненное в его памяти. В нивелирах типа DiNi12 используется следующая формула, по которой вычисляется окончательный отсчет по рейке (именно этот отсчет выводится на дисплее нивелира) [6]:

$$L = L_0 \pm L_x - K_1 + K_2 - K_3, \quad (3)$$

где L_0 – неисправленный отсчет по рейке; L_x – постоянная рейки (знак зависит от того, в каком положении установлена рейка – в нормальном или перевернутом); K_1 – поправка за кривизну Земли; K_2 – поправка за рефракцию; K_3 – поправка за наклон визирной оси. Ввод поправок за рефракцию и кривизну Земли может быть отключен пользователем.

Поправка K_3 – есть значение угла i в линейной мере (x) (рис. 1). Очевидно, поправка зависит от длины плеча нивелирования S и вычисляется по формуле

$$K_3 = x = \frac{i \cdot S}{\rho}. \quad (4)$$

Программным обеспечением цифрового нивелира предусмотрено 4 способа проведения калибровки (определения угла i). На рис. 3 представлена принципиальная схема каждого из способов [6, 7].

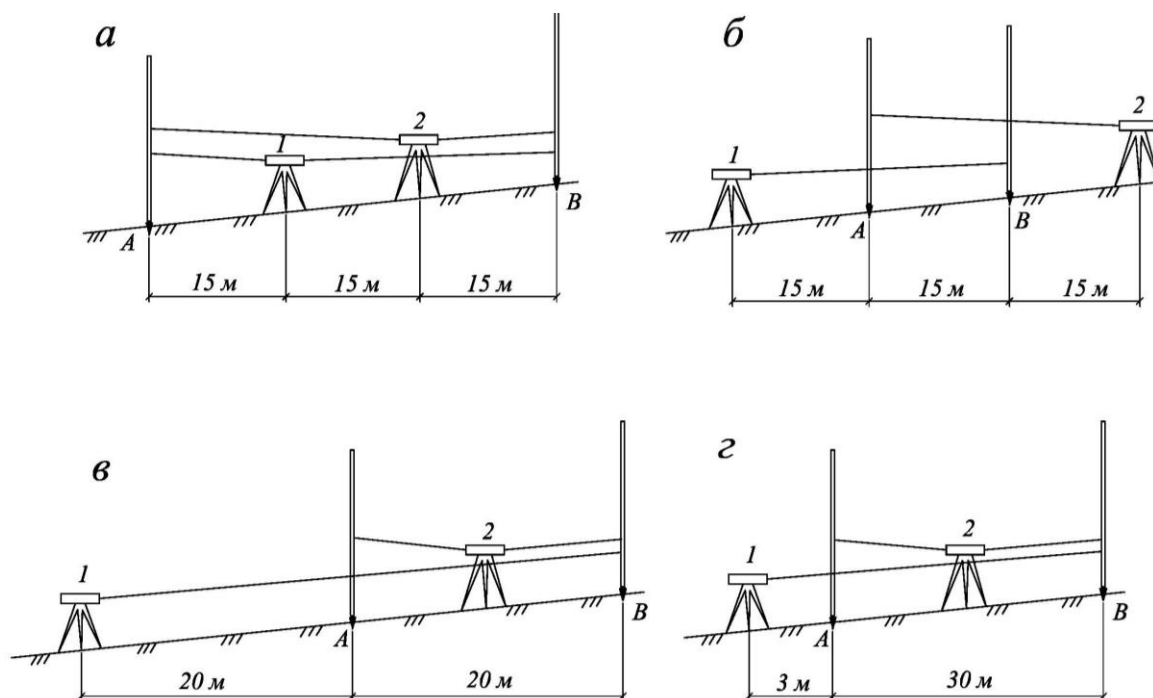


Рис. 3. Способы определения угла i цифрового нивелира:

а) метод Фёрстнера; б) метод Небаура; в) метод Куккамьяки; г) Японский метод

Из анализа приведенных способов видно, что метод Ферстнера (рис. 3а) похож на третий «отечественный» способ (рис. 2) с той лишь разницей, что используется меньшее неравенство плеч (по-видимому, чтобы уменьшить влияние ошибки за счет смещения фокусирующей линзы). Так называемый Японский метод (рис. 3б) – есть нивелирование из середины в сочетании с нивелированием вперед (второй ранее описанный способ, рис. 1). Согласно Руководству пользователя [7] угол i вычисляется программным обеспечением нивелира по формуле.

$$i = \frac{(a_2 - b_2) - (a_1 - b_1)}{(S_{a2} - S_{b2}) - (S_{a1} - S_{b1})} \rho, \quad (5)$$

где a и b – отсчеты по рейкам, установленным соответственно на точках A и B ; индексы 1 и 2 обозначают номер станции; S_{a2} – расстояние от рейки A до станции 2; S_{a1} – расстояние от рейки A до станции 1 и т.д.

Нетрудно заметить, что формула (2) является частным случаем формулы (5), когда длины плеч на станциях 1 и 2 соответственно равны.

Рассмотрим особенности поверки главного условия для цифровых нивелиров. Известно, что в цифровом нивелире имеются оптический и электронный каналы, в связи с чем поверка и юстировка главного геометрического условия должна производиться отдельно для каждого канала [8]. В ГОСТ [9] предлагается для электронного канала производить поверку третьим способом (рис. 2). Однако не учитывается тот факт, что полученные в ходе поверки отсчеты по рейке исправлены поправками в соответствии с формулой (3). Таким образом, подставляя в формулу (2) значения отсчетов, полученных в ходе «электронного» нивелирования, мы получим некорректное значение угла i , а точнее отличие фактического угла i , от его значения в памяти прибора. По указанным причинам, калибровку цифрового нивелира целесообразно проводить способами, предусмотренными производителем приборов (рис. 3). При этом отсчеты следует брать не в режиме «одиночных измерений», а с использованием пункта меню «поверка».

Для изучения особенностей проведения поверки цифрового нивелира, нами были выполнены лабораторные исследования. Сначала угол i определялся по так называемому способу Ферстнера при длине линии $AB=26,6$ м. Превышение между точками AB , многократно измеренное из середины, равно $h_{AB}=-20,09$ мм. Угол i , вычисленный программным обеспечением нивелира по формуле (5), составил $6,6''$. После этого измерения были выполнены по третьему способу, в соответствии с рис. 2. Результаты измерений представлены в табл. 1.

После определения угла i по способу Ферстнера, данный угол стал учитываться (формулы 3 и 4) при работе в режиме «нивелирный ход». Тогда следовало бы ожидать, что превышение h_{AB} измеренное со станций 3 и 4, расположенных в створе между точками AB , будет определено практически безошибочно (даже при неравенстве плеч 20,0 м). Несмотря на это, указанные превы-

шения содержат ошибки величиной $\sim 0,4$ мм. Можно предположить, что угол $i = 4,0''$, вычисленный по отсчетам со станций 3 и 4 – суть отклонение фактического угла i от значения $6,6''$, найденного по способу Форстнера.

Таблица 1

Результаты измерения превышения между точками AB с четырех станций

Станция	Точка	Длина плеча, м	Отсчет, мм	h_{AB} , мм	Угол i	Примечание
1	A	8,1	1578,38	-20,41	+6,6''	Способ Ферстнера в режиме «поверка»
	B	18,5	1598,79			
2	B	8,1	1622,30	-19,74		
	A	18,5	1602,56			
3	A	3,0	1543,14	-20,47	+4,0''	Третий способ в режиме «нивелирный ход»
	B	23,7	1563,61			
4	B	3,0	1554,25	-19,66		
	A	23,7	1534,59			

Вторая часть эксперимента заключалась в следующем. Снова определялся угол i по способу Форстнера ($i = +0,4''$) на базисе длиной ~ 43 м. Данные измерений показаны в табл. 2. В исследовательских целях, вместо полученного значения угла $i = +0,4''$ в память прибора было вручную введено максимально возможное значение $i = +100,0''$. После этого на табло нивелира появилось сообщение: «установите отсчет по рейке 1494». Имеется в виду, что после установки на точку A рейки с метрической шкалой, необходимо установить указанный отсчет путем смещения сетки нитей. Указанный отсчет получен программным обеспечением нивелира, следующим образом:

$$L_0 - \frac{i \cdot S}{\rho} = 1508,32 - \frac{100'' \cdot 29900}{206265} = 1493,82 \approx 1494. \quad (6)$$

Поскольку реальное значение угла i отличается от введенного в память прибора значения $100,0''$ мы не стали производить смещение сетки нитей.

Таблица 2

Результаты измерения превышения между точками AB с двух станций

Станция	Точка	Длина плеча, м	Отсчет, мм	h_{AB} , мм	Угол i	Примечание
1	A	14,3	1612,25	-13,70	+0,4''	Способ Ферстнера в режиме «поверка»
	B	29,0	1626,01			
2	B	13,5	1522,02	-13,76		
	A	29,9	1508,32			
2	A	29,9	1504,73	-15,65	+100,0'' вручную	в режиме «нивелирный ход»
	B	13,5	1520,38			

Не меняя положения прибора, со станции 2 были выполнены измерения на рейки, установленные в точках *A* и *B* отвесно и неподвижно посредством кронштейнов. Отсчеты, полученные в режиме «нивелирный ход», представлены в таблице 2.

Можно было ожидать, что после введения в память прибора значения угла $i=100,0''$, отсчет по рейке *A* будет равен 1493,82 (формулы 4 и 6). Однако, отсчет оказался равным 1504,73, то есть поправка в неисправленный отсчет составила -3,59 мм, вместо ожидаемых -14,50 мм. Мы не сместили сетку нитей, как это требовала встроенная программа цифрового нивелира DiNi0.3 и были предположения, что именно этим вызвано указанное несовпадение. Однако, положение сетки нитей неким образом не может влиять на взятие отсчета электронной системой нивелира.

Поскольку цифровые нивелиры широко применяются в геодезическом производстве при выполнении ответственных измерений [10-12], важно производить не только лабораторные исследования системы «цифровой нивелир – штрих-кодовая рейка» [13-18], но правильно и периодически контролировать значение угла *i* нивелира в полевых условиях.

Подведем итоги наших исследований:

1) Поверку угла *i* цифровых нивелиров следует выполнять теми способами, которые предусмотрены программным обеспечением нивелира, в режиме «поверка». На наш взгляд, наиболее удачным является так называемый «Японский метод», так как для его реализации требуется забивать колья на расстоянии всего 30 м. Кроме того указанный способ описан в отечественной нормативной литературе [2 – 4].

2) После определения угла *i* нивелира по одному из четырех методов, заложенных в прибор, при необходимости производят смещение сетки нитей при визировании на метрическую рейку.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Спиридонов А.И., Кулагин Ю.Н., Кузьмин М.В. Поверка геодезических приборов. – М.: Недра, 1981. – 159 с.
2. Сборник инструкций по производству поверок геодезических приборов / Главное управление геодезии и картографии при Совете Министров СССР. – М.: Недра, 1988. – 77 с.
3. МИ БГЕИ 07-90 «Нивелиры. Методика поверки»: Методика института. – М.: ЦНИИ-ГАиК, 1990. – 52 с.
4. ГКИНП (ГНТА) 17-195-99 «Инструкция по проведению технологической поверки геодезических приборов». – М., 1999. – 31 с.
5. Рытов А. В. О способах определения угла *i* нивелира // Геодезия и картография. – 1972. – № 4. – С. 30–35.
6. Деймлих Ф. Геодезическое инструментоведение. – М.: Недра, 1970. – 584 с.
7. Руководство пользователя DiNi 12, 12Т, 22. – Trimble. – 184 с.
8. Уставич Г. А. Геодезия: учеб. для вузов. В 2-х кн. Кн. 2. – Новосибирск: СГГА, 2014. – 536 с.
9. ГОСТ Р 8.792–2012. Системы измерительные «Цифровой нивелир – кодовая рейка». Методика поверки. – Введ. 27.11.2012.– М.: Стандартинформ, 2014. – 20 с.

10. Новоселов Д. Б., Новоселов Б. А. Исследование работы высокоточного цифрового нивелира в условиях недостаточной освещенности // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013. IX Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 15–26 апреля 2013 г.). – Новосибирск: СГГА, 2013. Т. 1. – С. 117–121.
11. Новоселов Б. А., Новоселов Д. Б. Геодезический контроль строительства и эксплуатации главного корпуса обогатительной фабрики «Распадская» // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2012. VIII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 10–20 апреля 2012 г.). – Новосибирск: СГГА, 2012. Т. 1. – С. 66–71.
12. Никонов А. В. Особенности применения современных геодезических приборов при наблюдении за осадками и деформациями зданий и сооружений объектов энергетики // Вестник СГГА. – 2013. – Вып. 4 (24). – С. 12–18.
13. Уставич Г. А., Ямбаев Х. К. Методика проведения внеочередной поверки системы «цифровой нивелир+штрих-кодированная рейка» // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2013. – № 3. – С. 8–13.
14. Установки для определения погрешности измерительной системы «цифровой нивелир – кодированная рейка» / А. В. Куликов, В. Т. Новоевский, А. А. Ильин, А. Н. Носов, К. В. Тукмачёв // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2012. VIII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 10–20 апреля 2012 г.). – Новосибирск: СГГА, 2012. Т. 2. – С. 242–245.
15. Куликов А. В., Ильин А. А., Новоевский В. Т. Определение средней длины метровых интервалов у штрих-кодированных реек на интерференционном компараторе СГГА // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2012. VIII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 10–20 апреля 2012 г.). – Новосибирск: СГГА, 2012. Т. 2. – С. 246–249.
16. Хасенов К. Б., Рахымбердина М. Е. Методика определения средней квадратической погрешности измерения превышения на 1 км хода на полевом компараторе в стесненных условиях // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2012. VIII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 10–20 апреля 2012 г.). – Новосибирск: СГГА, 2012. Т. 1. – С. 128–132.
17. Рябова Н. М., Чешева И. Н., Лифашина Г. В. Исследование величины изменения угла i цифрового нивелира в зависимости от изменения температуры // Вестник СГГА. – 2013. – Вып. 4 (24). – С. 19–24.
18. Исследование штрих-кодированных реек цифровых нивелиров / Г. А. Уставич и др. // Вестник СГГА. – 2010. – Вып. 2 (13). – С. 3–8.

© А. В. Никонов, И. Н. Чешева, Г. В. Лифашина, 2015