

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СХЕМЫ ПРИ ПРОЛОЖЕНИИ ХОДОВ ТРИГОНОМЕТРИЧЕСКОГО НИВЕЛИРОВАНИЯ

*Антон Викторович Никонов*

Сибирская государственная геодезическая академия, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, аспирант кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела, инженер-геодезист ОАО «Сибтехэнерго», e-mail: [sibte@bk.ru](mailto:sibte@bk.ru)

В статье обобщен порядок действий при проложении высотных ходов с применением электронных тахеометров. Основное внимание уделяется тригонометрическому нивелированию короткими (до 300 м) лучами способом из середины.

**Ключевые слова:** тригонометрическое нивелирование, тахеометр, точность, высотный ход.

## TECHNOLOGICAL TECHNIQUES OF TRIGONOMETRIC HEIGHT TRAVERSING

*Anton V. Nikonov*

Siberian State Academy of Geodesy, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., Ph.D. student, Department of Engineering Geodesy and Mine Surveying, e-mail: [sibte@bk.ru](mailto:sibte@bk.ru)

The article summarizes the procedures of trigonometric height traversing using electronic total stations. Focuses on leap-frog trigonometric leveling with short lengths of sight (up to 300 m).

**Key words:** trigonometric leveling, total station, accuracy, height traversing.

Как известно, тригонометрическое нивелирование может выполняться тремя способами: «вперед», «из середины» и путем измерения вертикальных углов в двух направлениях (двухстороннее нивелирование). При нивелировании «вперед» необходимо измерять высоты прибора и визирной цели над исходной и определяемой точками, что как правило, вносит заметные погрешности в измеряемое превышение. Кроме того, результаты одностороннего нивелирования искажаются влиянием вертикальной рефракции, действие которой не может быть учтено путем введения поправки, так как коэффициенты рефракции в приземном слое воздуха могут заметно отличаться от распространенного в геодезической практике значения  $k = +0,13$  [1]. Поэтому данный способ определения превышения обычно используется при выполнении работ невысокой точности и не рассматривается нами в дальнейшем.

Различают одновременное и неодновременное двухстороннее тригонометрическое нивелирование. Первое выполняется двумя наблюдателями с использованием двух приборов. Неодновременные измерения выполняются одним прибором с его перестановкой в точках наблюдений, как при работе по трех штативной системе. Методика двухстороннего нивелирования подробно изложена в статье [2]. Автором

принимается, что неравенство коэффициентов рефракции составляет 0,3 и 0,5 соответственно для одновременных и неодновременных наблюдений вдоль линии. Оптимальные длины сторон ходов двухстороннего нивелирования: 200 – 400 м. Привязка хода к реперам осуществляется с применением нивелирной рейки. Тахеометр (теодолит) устанавливается на расстоянии до 30 м от репера, и производят измерение зенитных расстояний на 4 штриха рейки, расположенные симметрично относительно оси вращения зрительной трубы. По каждой паре отсчетов вычисляется превышение, за окончательное значение принимается среднее из двух значений. Точность такой передачи составляет  $\sim 0,3$  мм [2]. Сегодня связь с высотными реперами может осуществляться тахеометрами с функцией измерения расстояний в безотражательном режиме. В этом случае расстояние между штрихами рейки не будет использоваться в расчетах, а служит лишь контролем измерений.

К недостаткам двусторонних измерений можно отнести:

- в случае одновременных измерений необходимость наличия двух приборов и наблюдателей. При этом цели должны закрепляться на приборах, что требует совершенствования оборудования или наблюдения выполняются внецентрично;

- превышение может содержать систематическую ошибку, так как каждый наблюдатель имеет свою личную ошибку [3];

- в случае работы с одним прибором, измерение «назад» выполняется всегда позже измерения «вперед». Если изменение коэффициента рефракции в течение дня изменяется по определенному закону (парабола), то в первой части дня  $k_3$  будет меньше  $k_{\text{П}}$ , а во второй – больше. То есть измерения, выполненные только в первой или только во второй половине дня подвергнутся систематическим ошибкам, а невязка полигона, проложенного в течение всего дня, не выявит этих ошибок [4].

При нивелировании «из середины» измерения выполняются аналогично геометрическому нивелированию, а тахеометр может отстоять от середины не более чем на 5 – 15 м, в зависимости от класса точности выполняемых измерений и погодных условий [5]. Визирные цели выбираются в зависимости от длины плеч:

1. При визировании на расстояния до 70 м в качестве целей могут использоваться штрихи нивелирной рейки (также на рейку могут наклеиваться отражательные пленки типа ОП [6]). Рейки устанавливаются на башмаках или костылях по круглому уровню с использованием подпорок (рис.2, а). Ошибка измерения вертикального угла, вызванная наклоном оси рейки ( $\epsilon$ ) относительно отвесной линии не превысит  $0,9''$  (для  $\epsilon=8'$ ,  $D=100$  м,  $h_{\text{Ц}}=2$  м и  $\nu=5^\circ$ ), а для больших расстояний будет еще меньше [7]. При визировании на два штриха появляется контроль измерений, так как расстояние между штрихами известно из градуировки рейки или может быть измерено женовской линейкой (компарированной рулеткой). Если на рейке наклеиваются цели типа ОП, то контрольное расстояние между ними может

быть определено путем многократных измерений тахеометром с расстояния ~10 м.

2. При длинах плеч от 70 до 300 м в качестве визирных целей могут быть использованы стандартные отражатели (рис. 1).



Рис.1. Стандартные визирные цели для выполнения тригонометрического нивелирования

Отражатели могут быть установлены на костыле (или репере) с помощью вехи, снабженной круглым уровнем (рис.2, в). Веха должна удерживаться биподом или триподом. Высоты целей над определяемыми точками могут быть неизвестны, но должны быть одинаковыми, в противном случае количество станций в секции должно быть четным. Кроме того отражатели могут устанавливаться в трегерах с помощью адаптеров, снабженных цилиндрическим уровнем (на штативах), при этом костыли в грунт могут не забиваться (рис. 2, б). Возникает вопрос: насколько надежно использовать в качестве временного закрепления точки не костыль, а штатив? Из работы [8] следует, что в течение первых 5 минут выпирание штатива пропорционально времени, затем замедляется и через 10 – 15 минут прекращается, при этом на грунтах средней плотности (бровка шоссе) или естественных грунтах (песчаном, суглинистом) изменение положения штатива по высоте, как правило, не превышает 0,05 мм. На торфяных грунтах штатив может выпираться более 0,1 мм. Эти величины не превышают случайных ошибок измерений превышений на станции, то есть пренебрежимо малы.

При работе с тремя штативами, сначала устанавливаются «задний» штатив и штатив под прибор, последним – «передний штатив», т.е. первые два штатива изменяют свое высотное положение вследствие выпирания еще до начала измерений. После установки «переднего» штатива, пузырек адаптера приводится в нуль пункт (что занимает не менее 1 минуты), затем измерения тахеометром выполняются сначала на «заднюю» цель (на что уходит 2 – 3 минуты). В момент визирования вперед наблюдаемый штатив должен уже

стабилизироваться. После завершения измерений на станции прибор и «задняя» цель перемещаются на следующие по ходу точки и цикл измерений повторяется. Таким образом, если штатив подвергается заметному выпиранию (оседанию), эти его смещения происходят в период до начала измерений и не скажутся на результатах нивелирования.

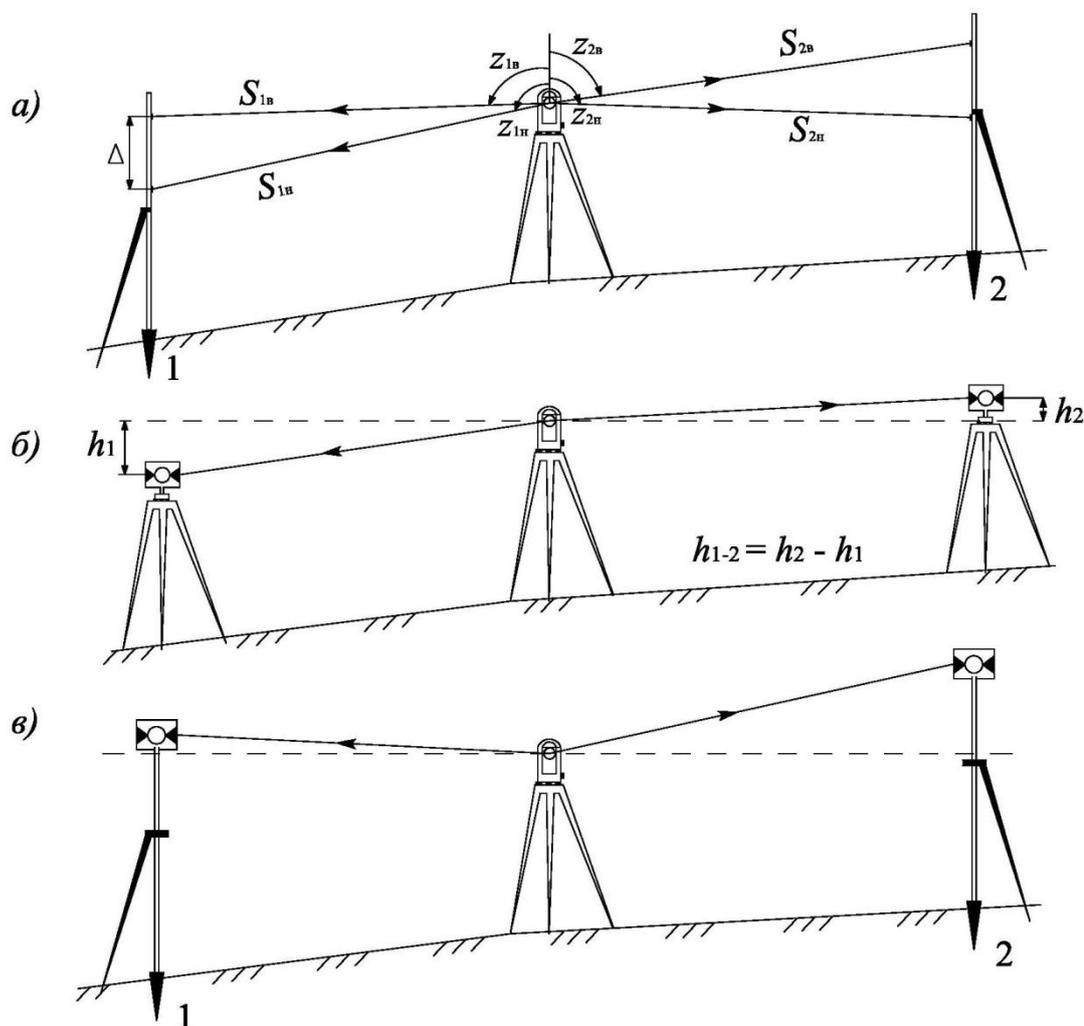


Рис. 2. Схемы выполнения тригонометрического нивелирования способом из середины при закреплении целей на:

а) цельных рейках; б) штативах; в) вешках

3. Визирование на цели, установленные на разной высоте, является полевым контролем, который нередко используется при проложении нивелирных ходов [6, 9, 10]. При размещении отражателя на штативе (посредством трегера и адаптера) этот контроль отсутствует. Поэтому нами предлагается использовать специально сконструированную цель с двумя марками (рис. 3).

Цель представляет собой стержень, на котором закрепляются две визирные марки, расположенные на расстоянии ~40 см друг от друга. В качестве марок предлагается использовать металлические пластины с

наклеенными на них отражательными пленками и нанесенными краской треугольниками. Стержень закрепляется на адаптере с помощью переходника. Применение таких целей рекомендуется для расстояний от 30 до 200 м, а в пасмурную погоду и до 300 м.

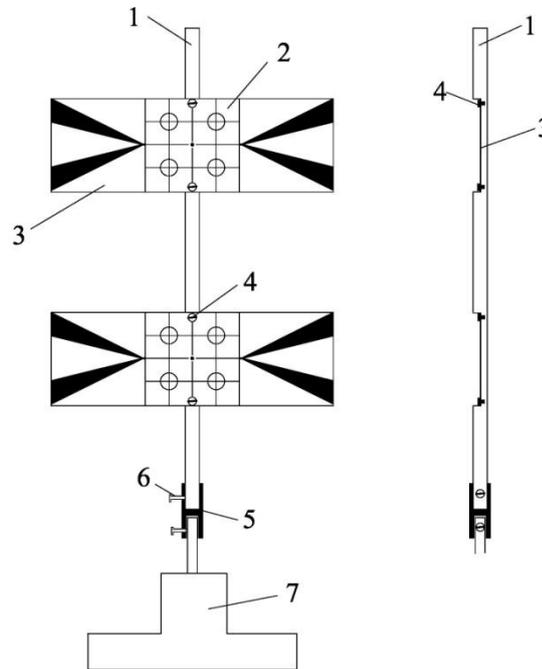


Рис. 3. Цель с двумя марками для тригонометрического нивелирования:

- 1 – металлический стержень ( $d=10$  мм); 2 – отражательная пленка типа ОП-50 (50 x 50 мм); 3 – металлическая пластина толщиной ~1 мм;  
4 – винт; 5 – переходная втулка; 6 – стопорный болт; 7 – адаптер (Leica)

Измерения рекомендуется выполнять не менее, чем двумя полными приемами. При визировании на один отражатель (рис. 2, б) может применяться схема: З<sub>л</sub> З<sub>п</sub> П<sub>л</sub> П<sub>п</sub> (первый прием) П<sub>п</sub> П<sub>л</sub> З<sub>п</sub> З<sub>л</sub> (второй прием) (где З и П – задняя, передняя; Л и П – круг лево, круг право). При переходе визирования с задней на переднюю цель меняется положение вертикального круга, так как для этого надо всего лишь перевернуть трубу через зенит, не разворачивая прибор.

Использование в качестве переходных точек – башмаков или костылей, не влияет на программу измерений на станции, так как исследования [8] показали, что оседание (выпирание) костылей или башмаков незначительно для основных типов грунтов (менее 0,1 мм) и происходит в первые минуты после их установки.

При наведении на два штриха (цели) применимы следующие программы наблюдений:

- 1) При КЛ: З<sub>в</sub> П<sub>в</sub> П<sub>н</sub> З<sub>н</sub>, то же при КП,
  - 2) При КЛ: З<sub>в</sub> З<sub>н</sub> П<sub>в</sub> П<sub>н</sub>, при КП: П<sub>в</sub> П<sub>н</sub> З<sub>в</sub> З<sub>н</sub>,
- где З и П – задняя, передняя; В и Н – верхняя, нижняя.

Считаем, что вторая программа более предпочтительна с точки зрения меньшего передвижения наблюдателя вокруг штатива.

Связь с репером, головка которого находится глубоко в колодце, может осуществляться с помощью рейки; при привязке к реперам стенного типа могут использоваться компактные цели [11] (например, штангенциркуль). В обоих случаях прибор следует устанавливать в пределах 30 м от репера.

По точности тригонометрическое нивелирование может соответствовать геометрическому нивелированию III и IV классов [2, 3, 12-15]. Нивелирование способом из середины может комбинироваться с неодновременными двухсторонними измерениями при необходимости преодоления препятствий (оврагов, болот) шириной до 400 м. Технологическая схема и программа наблюдений выбираются в зависимости от наличия оборудования, длины плеч и требуемой точности.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Hirt C., Guillaume S., Wisbar A., Bürki B. and Sternberg H. Monitoring of the refraction coefficient of the lower atmosphere using a controlled set-up of simultaneous reciprocal vertical angle measurements // *Journal of Geophysical Research (JGR)*.–2010.–115, D21102.
2. Rüeger J. M., Brunner F. K. Practical results of EDM-Height traversing // *The Australian Surveyor*. – 1981. – Vol. 30, No. 6. – С. 363–373.
3. Hibbert R.J. Practical EDM height traversing to geodetic levelling accuracies as used in a geophysical monitoring scheme // *Survey Review*. – 1992. – Vol. 31. – С. 434–453.
4. Rüeger J. M. EDM-Height Traversing: Refraction Correction and Experiences // *The Australian Surveyor*. – 1995. – Vol. 40, No. 4. – С. 48–56.
5. Никонов А. В. Исследование влияния вертикальной рефракции на результаты тригонометрического нивелирования короткими лучами способом из середины // *Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка*. – 2014. – № 1. – С. 28–34.
6. Беспалов Ю. И., Дьяконов Ю. П., Терещенко Т. Ю. Наблюдение за осадками зданий и сооружений способом тригонометрического нивелирования // *Геодезия и картография*. – 2010. – №8. – С. 8–10.
7. Пискунов М.Е. Влияние наклона рейки на точность тригонометрического нивелирования короткими лучами // *Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка*. – 1972. – Вып. 3. – С. 9–14.
8. Энтин И.И. Высокоточное нивелирование // *Труды ЦНИИГАиК*. – 1956. – вып. 111. – 339 с.
9. Kharaghani G.A. Propagation of refraction errors in trigonometric height traversing and geodetic levelling. Technical report № 132. University of New Brunswick. Canada. 1987.
10. Chrzanowski A. Implementation of trigonometric height traversing in geodetic levelling of high precision. Technical report №142. University of New Brunswick. Canada. 1989.
11. 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.
12. Никонов А. В., Рахымбердина М. Е. Исследование точности измерения превышений электронным тахеометром высокой точности в полевых условиях // *Вестник СГГА*. – 2013. – Вып. 1 (21). – С. 16–26.
13. Никонов А. В. Исследование точности тригонометрического нивелирования способом из середины с применением электронных тахеометров // *Вестник СГГА*. – 2013. – Вып. 2 (22). – С. 26–35.

14. Никонов А. В. Исследование точности тригонометрического нивелирования способом из середины при визировании над разными подстилающими поверхностями // Вестник СГГА. – 2013. – Вып. 3 (23). – С. 28–33.

15. Никонов А. В., Бабасов С. А. Исследование тригонометрического нивелирования в полевых условиях // 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. 71–78.

© А. В. Никонов, 2014