

## МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ ОБРАТНОГО ТРИГОНОМЕТРИЧЕСКОГО НИВЕЛИРОВАНИЯ

*Георгий Афанасьевич Уставич*

Сибирская государственная геодезическая академия, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, доктор технических наук, профессор кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела, тел. (383)343-29-55

*Антон Викторович Никонов*

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

*Садуахас Аяшович Бабасов*

ТОО «Технологический информационный центр» акимата г. Алматы, 050028, Республика Казахстан, г. Алматы, пр. Достык, 85, директор

В статье предложены технологические схемы выполнения обратного тригонометрического нивелирования с учетом влияния внешних условий.

**Ключевые слова:** тригонометрическое нивелирование, тахеометр, точность, высота.

## METHODS OF INVERSE TRIGONOMETRIC LEVELING

*Georgy A. Ustavitch*

Siberian State Academy of Geodesy, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., Ph.D., Prof., Department of Engineering Geodesy and Mine Surveying, tel. (383)343-29-55

*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)

*Saduakhas A. Babasov*

Director, Technological Information Centre Akimata, 050028, Alma-Ata, 85 Dostyk Pr.

The article deals with technological schemes performing inverse trigonometric leveling the influence of external conditions.

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

Использование тригонометрического нивелирования взамен геометрического имеет ряд преимуществ, главным из которых является сокращение времени производства трудоемких полевых работ [1-4]. Как правило, тахеометр устанавливают над исходным репером, измеряют высоту инструмента и производят определения высот пунктов. Обратное нивелирование подразумевает установку тахеометра над определяемой точкой, измерение превышения  $h_T$  путем визирования на пункты с известными высотами и измерение высоты прибора рулеткой (рис. 1).

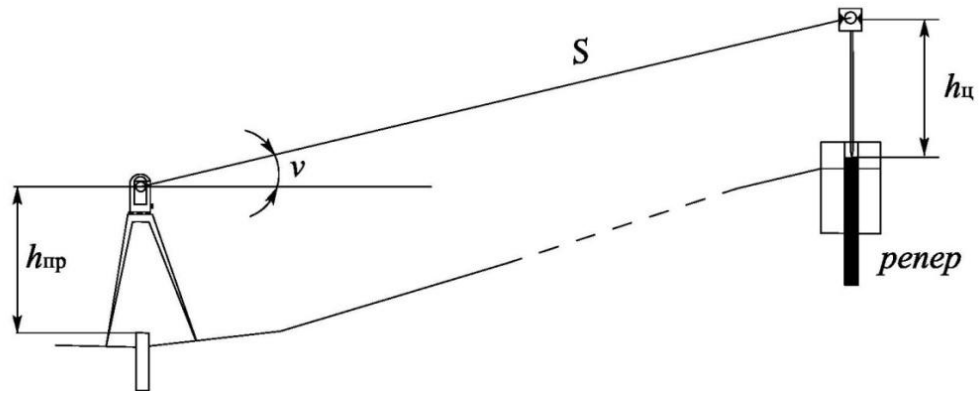


Рис. 1. Схема выполнения тригонометрического нивелирования

В этом случае отметка определяемой точки находится как:

$$H = H_{Rp} + h_{ц} - h_{Т} - h_{пр} , \quad (1)$$

где  $H_{Rp}$  – отметка репера;  $h_{ц}$  и  $h_{пр}$  – высоты цели и прибора соответственно;  $h_{Т}$  – превышение из тригонометрического нивелирования ( $h_{Т} = S \sin \nu$ ).

Данный подход применим, когда над высотным репером нет возможности установить прибор, например, когда в качестве высотной основы используются отражательные пленки (ОП) закрепленные на здании. В программном обеспечении электронных тахеометров предусмотрено определение высоты оси вращения зрительной трубы от нескольких высотных пунктов с вычислением ошибки, которая определяется несогласованностью исходной основы и погрешностями измерений.

При использовании в качестве исходного – одного репера, отсутствует контроль измерений. В этом случае мы предлагаем закреплять на местности вторую точку (2) в  $\sim 40$  м от первой (рис. 2), и производить измерения на нее.

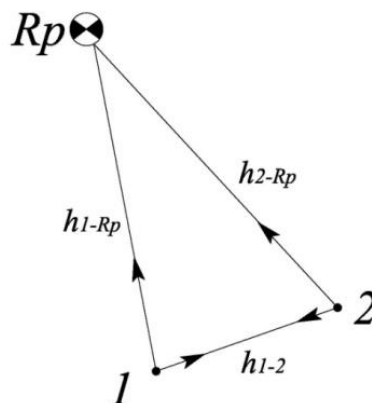


Рис. 2. Схема обратного тригонометрического нивелирования при наличии одного исходного репера

Затем аналогичные измерения выполнять со второй точки. Контролем служит невязка замкнутой фигуры:

$$f = h_{1-Rp} + (-h_{2-Rp}) + h_{1-2}, \quad (2)$$

где  $h_{1-Rp}$  и  $h_{2-Rp}$  – превышения, измеренные с точек 1 и 2 на высотный репер;  $h_{1-2}$  – превышение из двухстороннего нивелирования между точками 1 и 2, взятое с соответствующим знаком.

В данном случае превышения  $h_{1-Rp}$  и  $h_{2-Rp}$  являются односторонне измеренными. Из работы [5] известно, что в летний период, при прохождении визирного луча на высоте 1,8 м над травой, коэффициенты рефракции могут достигать днем значений: «минус» 2 в пасмурную и «минус» 4 в солнечную погоду. Так, в статье [6] было зафиксировано систематическое искажение измеренного тахеометром превышения  $\Delta = -40$  мм, для расстояния  $S = 400$  м. Поскольку расстояния от определяемых пунктов 1 и 2 до репера приблизительно одинаковые, то и ошибки за рефракцию в измеряемые превышения, которые можно вычислить по формуле (3), будут также одинаковыми, при условии неизменности коэффициента рефракции  $k$ .

$$r = \frac{0,785 S^2}{\sin^2 z} k, \quad (3)$$

где поправка за рефракцию  $r$  вводится со знаком минус,  $S$  – расстояние до цели в сотнях метров,  $z$  – зенитное расстояние,  $k$  – коэффициент рефракции.

Поэтому невязка, вычисленная по формуле (2) может быть незначительной, но высоты точек 1 и 2 могут содержать при этом заметную ошибку. В связи с этим данная методика приемлема при проведении работ в периоды времени, когда влияние вертикальной рефракции ожидается незначительным. К таким периодам можно отнести пасмурные дни, а также измерения выполняемые зимой [7-9], исключая время наблюдений в течение 1,5-2 часов после восхода и до захода солнца [10]. Также меньшему влиянию рефракции подвергаются превышения, измеренные по более длинным сторонам, с высоким прохождением визирного луча над подстилающей поверхностью.

При необходимости проведения работ в периоды устойчивого влияния вертикальной рефракции рекомендуется следующий подход. На местности устанавливаются два штатива с трегерами, таким образом, что бы расстояние от одного из них до репера было в более, чем 2 раза меньше, чем от другого (рис. 3). Измерения проводят по ранее описанной схеме, только при визировании между точками 1 – 2 взаимные измерения выполняют с переменной местами отражателя и тахеометра, как это делается при работе по трехштативной системе.

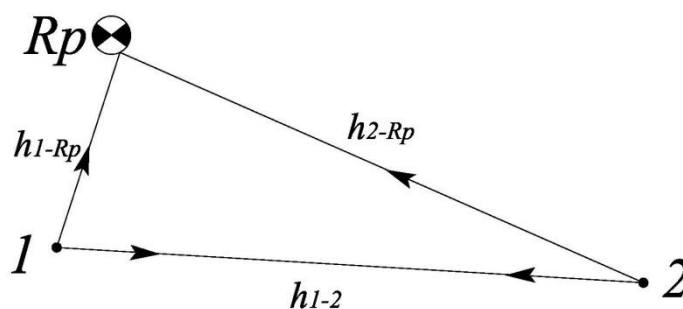


Рис. 3. Схема обратного тригонометрического нивелирования в период устойчивого влияния вертикальной рефракции

В этом случае, если коэффициент рефракции значителен, невязка, найденная по формуле (2) должна отличаться от нуля. Тогда по данным неодновременных двусторонних измерений с точек 1 и 2 вычисляется коэффициент рефракции по формуле [11]:

$$k = 1 - , \quad (4)$$

где  $R$  – радиус Земли (6371 км). Далее, подставляя полученный коэффициент рефракции в формулу (3) вычисляются поправки в превышения  $h_{1-Rp}$  и  $h_{2-Rp}$ , и снова производится подсчет невязки  $f$ . Уменьшение невязки является подтверждением правильности выполненных измерений и вычислений.

Следует отметить, что для получения достоверного коэффициента рефракции длина базиса 1–2 должна быть порядка 300 – 400 м, время между измерениями с точки 1 и 2 должно быть сведено к минимуму, а зенитные расстояния следует измерять несколькими приемами. Предположение о равенстве коэффициента рефракции по сторонам треугольника справедливо при однородной подстилающей поверхности вдоль сторон и одинаковых погодных условиях.

Если предположить, что невязка  $f$ , вычисленная для полигона на рис.3 определяется только влиянием рефракции (измерения выполнены качественно), а значение превышения  $h_{1-2}$  из неодновременных двухсторонних наблюдений безошибочно, то можно составить уравнение:

$$\frac{0,785 S_{1-Rp}^2}{\sin^2 z_1} k - \frac{0,785 S_{2-Rp}^2}{\sin^2 z_2} k = f. \quad (5)$$

Решив уравнение (5) относительно  $k$ , можно сравнить его со значением, вычисленным по формуле (4). Их согласованность может служить контролем.

Предложенная методика может быть реализована и при наличии двух реперов (рис. 4).

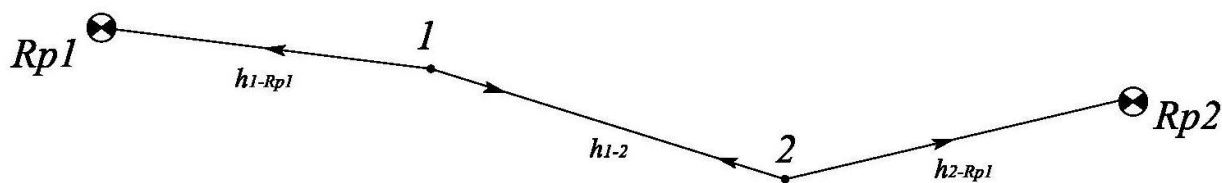


Рис. 4. Схема обратного тригонометрического нивелирования при наличии двух исходных реперов

Измерения предполагается выполнять точными электронными тахеометрами ( $m_\beta = 2''$ ,  $m_S = 2$  мм). Визировать предполагается на расстояния от 200 до 800 м. При расстояниях приближающихся к предельным необходимо использовать специальные контрастные визирные цели. Предложенные схемы нивелирования могут применяться при сгущении высотного обоснования в целях выполнения топографических съемок и в других случаях.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. 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.
2. 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.
3. Никонов А. В. Исследование точности тригонометрического нивелирования способом из середины с применением электронных тахеометров // Вестник СГГА. – 2013. – Вып. 2 (22). – С. 26–35.
4. 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.
5. 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.
6. 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.
7. Менухов И. И. Из опыта тригонометрического нивелирования зимой // Геодезия и картография. – 1974. – № 9. – С. 20–21.
8. Менухов И. И. О точности измерения зенитных расстояний зимой // Геодезия и картография. – 1980. – № 2. – С. 32–33.
9. Редьков В. С. Применение современных оптических теодолитов при трассировании железных дорог в Сибири : автореф. дис. канд. техн. наук / В.С. Редьков. – Новосибирск : НИИЖТ, 1969. – 23 с.

10. Дрок М. К. Исследование точности определения превышений в ходах геодезического нивелирования на короткие расстояния в равнинной местности // Научные записки ЛПИ. 1961. – №6. – С.183–199.

11. Иордан В., Эггерт О., Кнейссль М. Руководство по высшей геодезии. Ч.II. Прецизионное и тригонометрическое нивелирование – М.:Госгеолтехиздат, 1963. – 263с.

© Г. А. Уставич, А. В. Никонов, С. А. Бабасов, 2014