

Лекция №12. Вертикальные съемки в горных выработках. Общие сведения. Инструменты, применяемые для производства геометрического нивелирования в горных выработках. Производство геометрического нивелирования в горных выработках. Камеральная обработка геометрического нивелирования. Тригонометрическое нивелирование в горных выработках.

Общие сведения. Вертикальной съемкой, или нивелированием, называют совокупность измерений, выполненных в определенном порядке, для определения превышений, а затем и высот отдельных точек.

Вертикальные съемки в горных выработках производятся для определения высот точек, закрепленных в горных выработках; построения профилей и вертикальных разрезов выработок; задания направления выработкам в вертикальной плоскости. Все съемки опираются на реперы (пункты высотного обоснования), заложенные в околоствольном дворе и имеющие высоты, определенные в результате вертикальной соединительной съемки. В выработках с углом наклона, не превышающим $5\text{--}8^\circ$, съемки производятся способом геометрического нивелирования; с большим углом наклона - тригонометрическим нивелированием.

Реперы закладываются в фундаментах стационарных установок, а также в коренных породах почвы, кровли и боков выработки. В качестве них могут быть использованы также постоянные пункты полигонометрических и теодолитных ходов, расположенные парами на расстоянии 20—50 м один от другого. Расстояния между смежными парами реперов должно быть не более 300-500 м.

Для опознавания реперов в выработках на стойках крепи закрепляют железные марки с нанесенными на них буквой Р и номером репера. В выработках с бетонным и металлическим креплением маркировка реперов производится масляной краской на стенках выработок. Конструкция реперов, закладываемых в почву или кровлю, может быть такой же, что и постоянных пунктов плановой подземной маркшейдерской опорной сети. В некоторых случаях сооружаются и специальные реперы.

Инструменты, применяемые для производства геометрического нивелирования в горных выработках. При геометрическом нивелировании в горных выработках, так же как и при нивелировании на поверхности, используют нивелиры со штативом и нивелирные рейки.

В России производство нивелиров регламентировано ГОСТ 10528-76. Выпуску подлежат три типа нивелиров: высокоточные Н-05, точные Н-3 и технические Н-10 (табл. 14).

Нивелир Н-3 (рис. 32, а) относится к типу точных нивелиров с уровнем при зрительной трубе, предназначен для нивелирования III и IV классов на земной поверхности и широко применяется при геометрическом нивелировании в шахте.

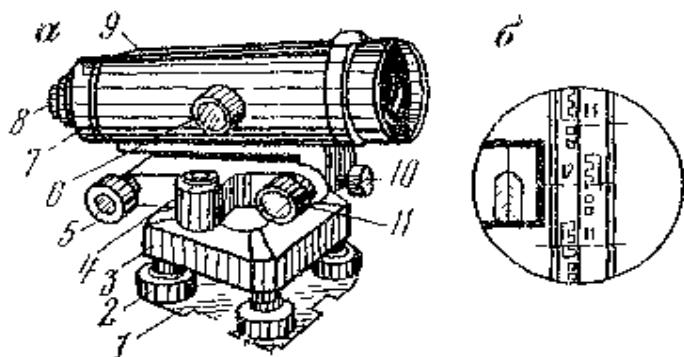


Рис. 32. Нивелир Н-3 (а) и поле зрения трубы (б):

1 - пружинящая пластина со втулкой; 2 - подъемный винт; 3 - подставка (трегер); 4 - круглый уровень; 5 - элевационный винт; 6 - фокусирующее устройство; 7 - корпус зрительной трубы; 8 - окуляр; 9 - цилиндрический уровень; 10 - закрепительный винт; 11- наводящий винт

Перед каждым отсчетом по рейке визирную ось нивелира устанавливают в горизонтальное положение с помощью элевационного винта по цилиндрическому уровню. Изображения половинок концов пузырька уровня через систему призм передаются в поле зрения трубы (рис. 32, б).

Точное приведение визирной оси трубы 7 в горизонтальное положение выполняется совмещением центра пузырька уровня 9 с нуль-пунктом ампулы с помощью элевационного 5 винта. При этом изображения половинок концов пузырька уровня будут равными по длине и образуют в верхней части один овал (оптический контакт). При наклоне оси уровня контакт нарушается. В рабочее положение нивелир приводится подъемными винтами трегера 2 по круглому уровню 4.

Нивелир Н-ЗК (рис. 33) относится к точным оптико-механическим нивелирам с самоустанавливающейся линией визирования. Предназначен для геометрического нивелирования на поверхности и в шахте. Его основные параметры те же, что и нивелира Н-3. Установка в рабочее положение прибора приводится подъемными винтами 6 по круглому уровню ϕ . Дальнейшее приведение линии визирования в горизонтальное положение осуществляется автоматически с помощью компенсатора, установленного в зрительную трубу 2. Чувствительным элементом компенсатора является прямоугольная призма, подвешенная на двух парах скрещивающихся стальных нитей. Диапазон работы компенсатора не менее 15° , время затухания колебаний подвесной системы не более 2 с. Колебания компенсатора гасятся воздушным поршневым демпфером. Наводящее устройство зрительной трубы выполнено в виде червячного винта с бесконечным приводом, головки которого расположены по обе стороны от трубы. Закрепительный винт отсутствует. Нивелир Н-ЗК с горизонтальным лимбом выпускается под шифром Н-ЗКЛ. Цена деления шкалы лимба—Г, отсчитывание по шкале лимба производится при помощи штрихового нониуса с погрешностью $0,1^\circ$.

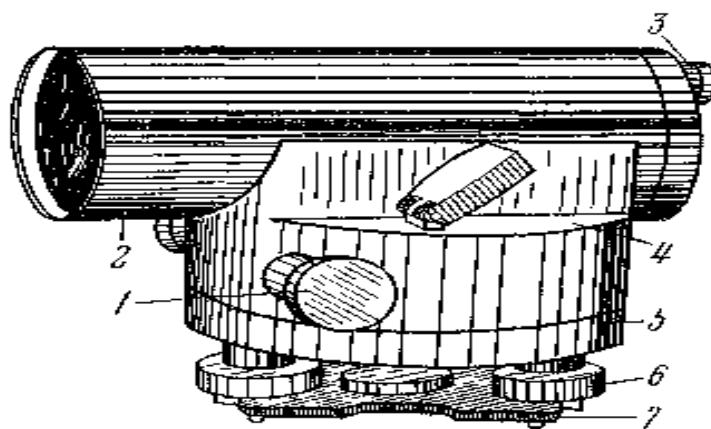


Рис. 33. Нивелир Н-ЗК

1 - наводящий винт, 2 - зрительная труба с компенсатором; 3-окуляр, 4 - круглый уровень с исправительными винтами, 5 - подставка нивелира, 6 - подъемный винт, 7 - пружинящая пластина со втулкой

Нивелир Н-10КЛ (рис. 34) с компенсатором и горизонтальным лимбом относится к техническим; содержит оптико-механический компенсатор в сходящемся пучке лучей.

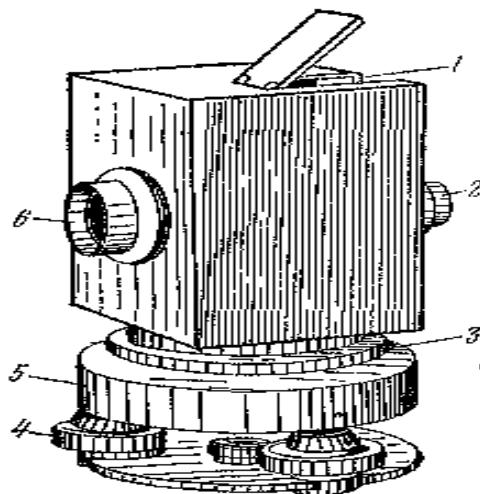


Рис. 34. Нивелир Н-10КЛ:

1 - круглый уровень, 2 - окуляр зрительной трубы, 3 - горизонтальный круг лимбом; 4 - подъемные винты 5 - подставка; 6 - объектив зрительной трубы

Чувствительным элементом компенсатора служит прямоугольная призма, подвешенная на шарикоподшипниковой подвеске. Колебания компенсатора гасятся воздушным демпфером. Зрительная труба в сочетании с компенсатором 2 дает прямое изображение предметов; фокусировка трубы осуществляется перемещением подвижной призмы компенсатора в вертикальном направлении; оптические детали объектива и компенсатора заключены в термоизоляционный корпус, имеющий прямоугольную форму. В нижней части нивелира вмонтирован

горизонтальный лимб З с градуированной шкалой делений через 1° . Нивелир имеет фрикционный механизм горизонтальной наводки зрительной трубы от руки.

Проверки нивелиров Н-3 и Н-10. Эти приборы должны удовлетворять следующим геометрическим условиям.

1. *Ось круглого уровня должна быть параллельна оси вращения нивелира.* Тремя подъемными винтами приводят пузырек круглого уровня в центр ампулы и поворачивают верхнюю часть нивелира на 180° . Если после этого пузырек уровня останется в центре ампулы, то условие выполнено. В противном случае исправительными винтами круглого уровня перемещают пузырек к центру ампулы на половину дуги отклонения, а за тем подъемными винтами приводят его в центр. Проверку повторяют до полного выполнения условия.

2. *Визирная ось должна быть параллельна оси цилиндрического уровня (главное условие).* Это условие проверяют двойным нивелированием одного и того же отрезка линии длиной 50—80 м. В конечных точках линии забивают в землю колышки в точках *A* и *B* (рис. 35, *a*). Нивелированием по способу вперед при установке нивелира сначала в точке *A*, а затем в точке *B* дважды определяют превышение $h = BC$. Затем измерения повторяют на точке *B*. При этом, если визирная ось не параллельна оси цилиндрического уровня, то отсчеты по рейке *b* и *a* будут содержать ошибку *x*. Таким образом, $h = i_A + x - b$ и $h = a - x - i_B$, откуда $i_A + x - b = a - x - i_B$ или

$$x = 0,5(a + b) - 0,5(i_A + i_B).$$

Величина *x* не должна быть более ± 4 мм. В противном случае на второй станции с помощью элевационного винта наводят среднюю нить сетки на отсчет по рейке $a_0 = a - x$, а затем вертикальными исправительными винтами цилиндрического уровня точно совмещают изображения половинок концов уровня, видимые в поле зрения трубы.

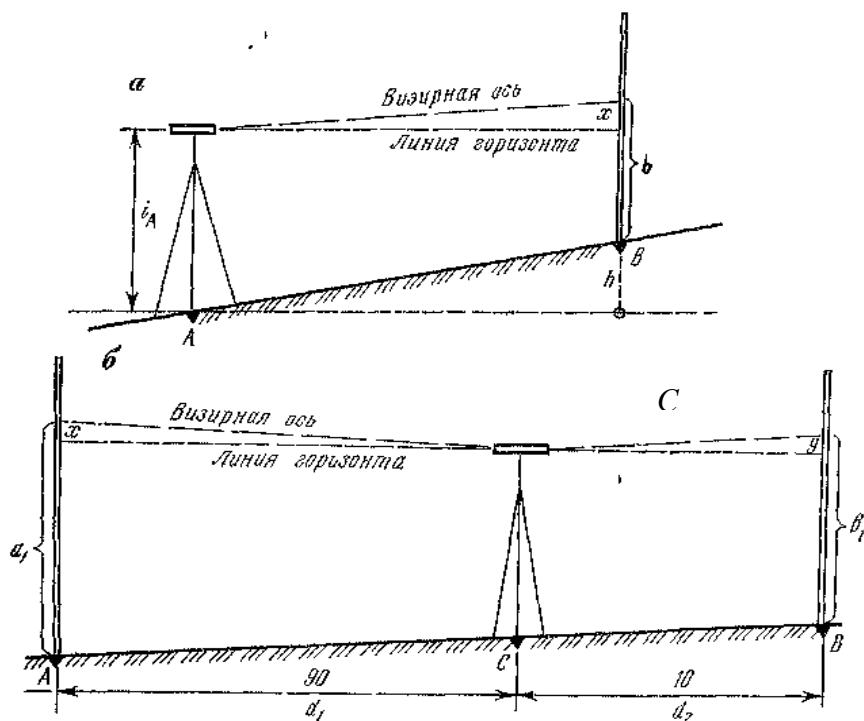


Рис. 35. Схемы измерений способом вперед (а) и из середины (б)

3. Визирная ось должна сохранять неизменное положение при фокусировании трубы. На ровной местности по полуокружности радиусом 50 м забивают примерно через 15 - 20 м ряд колышков и каждый нивелируют дважды: из центра полуокружности и из точки, лежащей примерно в 10 м за пределами полуокружности. Дважды вычисляют превышения между начальной точкой на полуокружности и последующими. По разностям между одноименными превышениями судят о влиянии фокусирующей линзы на положение визирной оси. При колебании разностей более 4 - 6 мм нивелир подлежит ремонту

Проверки нивелиров Н-ЗК и Н-10К. Наличие у этих нивелиров ломанных зрительных труб затрудняет измерение высоты прибора. Поэтому для проверки главного условия на местности в конечных точках линии длиной 100 м забивают колышки A и B (рис. 35, б). Точно посередине между ними устанавливают нивелир и определяют превышение $h = b - a$, которое не содержит погрешности прибора. Затем нивелир переносят в точку C и повторно определяют превышение $h_i = b_i - a_i$ между точками A и B .

Если разность $h - h_i = f > 2$ мм, то вычисляют поправки в отсчеты по дальней x и ближней y рейкам:

$$x = \frac{d_1 f}{d_1 - d_2}; \quad y = \frac{d_2 f}{d_1 - d_2},$$

где d_1 и d_2 — соответственно расстояния от нивелира до дальней и ближней реек.

Затем перемещают сетку нитей с помощью исправительных винтов так, чтобы отсчет по дальней рейке был равным $a_i - x$. После исправления поверку повторяют. Остальные проверки аналогичны поверкам Н-З.

Зарубежные нивелиры. На горных предприятиях Казахстана широкое распространение получили нивелиры, изготавляемые народным предприятием «Карл Цейс Иена» (ФРГ): Ni-007 с компенсатором относится к нивелирам точным (соответствует Российскому нивелиру типа Н2), Ni-025 с компенсатором и горизонтальным лимбом, относится к нивелирам точным (соответствует нивелиру типа Н-ЗК), Ni-050 с компенсатором относится к техническим нивелирам (соответствует нивелиру типа Н-10КЛ), а также нивелиры, выпускаемые заводом «МОМ» (ВНР): Ni-B3 с компенсатором относится к точным нивелирам (соответствует нивелиру Н-ЗК) и Ni-D1 с компенсатором относится к техническим нивелирам (соответствует нивелирам типов Н-10К и Н-10КЛ). Они имеют современную конструкцию, хорошую оптику, удобны и надежны в работе, обеспечивают высокую точность нивелирования.

Нивелирные рейки. Согласно ГОСТ 11158 - 83, установлено три типа реек: РН-05 - нивелирование I и II классов и геодинамические полигоны; РН-3 — нивелирование III и IV классов и инженерно-геодезические изыскания; РН-10 — техническое нивелирование, строительные работы.

Рейки РН-3 имеют круглые уровни с исправительными винтами и защитным кожухом. Нивелирные рейки для подземной высотной съемки аналогичны рейкам, используемым для технического нивелирования на поверхности, и отличаются от них в основном длиной. Они имеют нанесенные на одной или двух сторонах сантиметровые шашечные деления (шкалы) с прямой (для труб прямого изображения) или обратной оцифровкой. Материалом для реек чаще всего служит сосна или ель. Шкалы на шахтных рейках новых конструкций наносятся на пластике, на световозвращающем покрытии или лавсановой пленке.

Производство геометрического нивелирования в горных выработках. Геометрическое нивелирование для построения высотных опорных сетей в горных выработках состоит в определении высот реперов и точек полигонометрических ходов. До начала нивелирования должна быть проверена устойчивость реперов, используемых в качестве исходных. Разность между контрольными превышениями и ранее установленными превышениями между реперами не должна быть более 30 мм. В подземных выработках нивелирование ведется так же, как и на поверхности. Некоторые особенности подземного нивелирования обусловлены лишь тем, что реперы и постоянные пункты могут быть заложены не только в почве, но и в кровле выработок. Возможны четыре варианта расположения заднего и переднего пунктов (рис. 36). Где бы ни был заложен пункт (в кровле или почве), рейка всегда устанавливается на определяемую точку нулем. При этом принято считать отсчеты по рейкам на реперах, расположенных в почве выработки (в данном случае *B* и *C*), положительными (b_B и b_C ; a_B и a_C), а отсчеты по рейкам на реперах в кровле (точки *A*, *D*, *E*) - отрицательными. В этом случае знак минус перед отсчетом обязательно проставляется в полевом журнале.

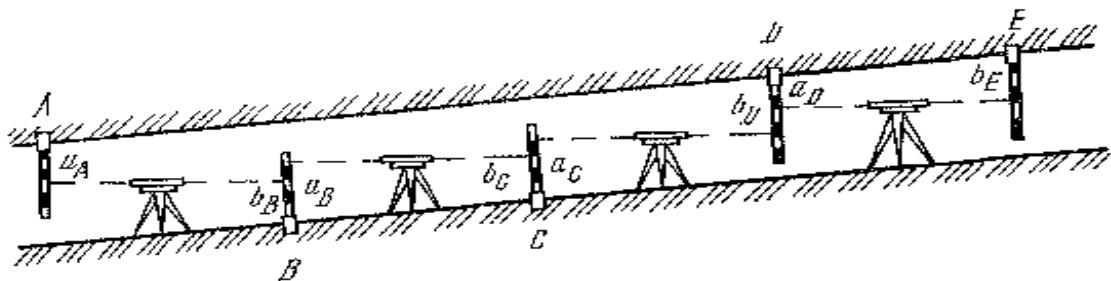


Рис. 36. Схема расположения пунктов при геометрическом нивелировании в горной выработке

В опорных сетях нивелирование производится из середины при допустимом неравенстве плеч 5-8 м; расстояние между нивелиром и рейками не должно превышать 100 м.

Отсчет по рейкам берут до миллиметра; расхождения в превышениях на станции, определяемые по черным и красным сторонам реек или при двух горизонтах прибора, не должны превышать 10 мм.

Высоты реперов и точек полигонометрических ходов определяются с помощью замкнутых или пройденных в прямом и обратном направлениях висячих ходов.

Геометрическое нивелирование рельсовых путей (или почвы выработки) выполняют по пикетам. Разбивка производится тесмянной рулеткой с расстоянием между пикетами 10 или 20 м, пикеты отмечают мелом на нивелируемом рельсе (левом или правом) и обозначают на боковой стенке специальной маркой. Ходы прокладывают между реперами опорной сети в прямом или обратном направлениях.

Нивелир при работе устанавливают примерно посередине между связующими пикетами, чтобы расстояние от нивелира до пикета было не более 100 м. При каждой установке прибора берут отсчеты на всех пикетах расположенных между связующими пикетами с точностью до 1 мм, результаты записывают в журнал.

Камеральная обработка геометрического нивелирования. Камеральная обработка геометрического нивелирования заключается в проверке полевых журналов, вычислении превышений на станциях, постраничном контроле, уравнивании вычисленных превышений, определении высот пунктов как опорной сети, так и пикетов при нивелировке путей. На каждой станции (см. табл. 15) по отсчетам с черной и красной сторонам реек или при двух горизонтах прибора, вычисляют два превышения Δz_1 и Δz_2 (графа 6). Среднее значение превышения находят как их среднеарифметическое (графа 7). Превышения получают по формуле

$$\Delta z_i = a_i - b_i,$$

где a_i - отсчет по задней рейке; b_i - отсчет по передней рейке.

Полученный результат очевиден, когда точки расположены в почве выработки (см. рис. 36).

В остальных случаях превышения могут быть вычислены по этой формуле, если отсчетам по рейкам, обращенным нулем к точкам, заложенным в кровле выработки, придавать знак минус.

Так, например, если передняя точка находится в почве, а задняя в кровле выработки, будем иметь

$$\Delta z_i = -a_i - b_i = -(a_i + b_i).$$

Соответственно, когда точки расположены в кровле и почве выработки

$$\Delta z_i = a_i - (-b_i) = a_i + b_i,$$

и, наконец, обе точки в кровле выработки

$$\Delta z_i = -a_i - (-b_i) = b_i - a_i.$$

В конце каждой страницы журнала и в конце хода производят контроль вычисления превышений

$$\Sigma a - \Sigma b = \Sigma \Delta z;$$

$$\frac{1}{2} \Sigma \Delta z = \Sigma \Delta z_{cp}.$$

По сумме превышений для всего хода вычисляют фактическую невязку хода. В ходах технического нивелирования при определении высот пунктов опорной сети невязка (в мм) не должна превышать $50\sqrt{L}$, где L - длина хода, км. Фактическая невязка (если она меньше допустимой) распределяется с обратным знаком (поправки) поровну на все станции хода (см. табл. 15, графа 7). По исправленным превышениям вычисляют высоты связующих точек (пикетов) по формуле

$$z_i = z_{i-1} + \Delta z'_{cp},$$

где z_i и z_{i-1} - высоты переднего и заднего пикетов станции;

$\Delta z'_{cp}$ - среднее исправленное превышение на станции. Определяют контроль вычисления высот пунктов

$$z_n - z_1 = \Sigma \Delta z'_{cp},$$

где z_n и z_1 — высоты последнего и первого пунктов;

$\Delta z'_{cp}$ - сумма исправленных превышений.

Для определения высот промежуточных пикетов на каждой станции определяют горизонт прибора, т. е. высоту визирного луча нивелира:

$$\Gamma \Pi = z_{i-1} + a_{i-1},$$

где z_{i-1} - высота задней связующей точки;

a_{i-1} — отсчет по задней рейке.

В формуле отсчету a_{i-1} придается знак «+», когда рейка установлена на пикете в почве выработки, а знак «—», когда рейка приставлена нулем к кровле выработки. Отметки промежуточных пикетов будут следующими:

$$z_{i+1} = \Gamma \Pi + b_{i+1},$$

где b_{i+1} - отсчет по рейке, установленной на промежуточном пикете.

В формуле знак «+» имеет отсчет по рейке на пикете в кровле выработки, знак «-» - в почве выработки. Контроль вычислений высот промежуточных пикетов осуществлен в графах 9 и 10 нивелирного журнала (см. табл. 15). При передаче высот на реперы и пункты опорной сети нивелирные ходы часто образуют сложные сети.

По вычисленным высотам пикетов вычерчивают профиль выработки (рис. 37), горизонтальный масштаб которого 1:500 - 1:2000; вертикальный 1:50 - 1:200.

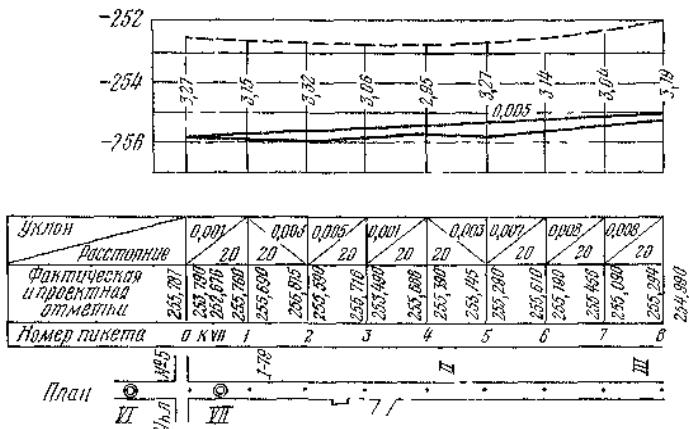


Рис. 37. Профиль рельсового пути выработки

Методика составления профиля известна из курса геодезии. В нижней части профиля вычерчивают план - схему горной выработки, на которой указываются все реперы и постоянные точки с известной высотой. В средней части профиля приводится таблица, в которой указывают номера реперов и пикетов; фактические и проектные высоты головки рельсов на каждом пикете и высоты реперов и постоянных маркшейдерских точек; подъемы и уклоны выработки между соседними пикетами. Фактические отметки головки рельсов записывают в таблицу черным цветом, проектные - красным цветом, а высоты реперов и постоянных маркшейдерских точек - синим цветом.

Подъемы и уклоны выработки, записываемые в таблицу, вычисляют по формуле

$$i = \Delta z / l,$$

где Δz — превышение между соседними пикетами; l - горизонтальное проложение между пикетами.

Над таблицей черным цветом вычерчивают фактический профиль пути и кровли выработки, а красным - проектный профиль пути. Для построения продольного профиля рельсовых путей целесообразно применять ЭВМ с графопостроителями.

Тригонометрическое нивелирование в горных выработках.

Тригонометрическое нивелирование производится в выработках с углом наклона более $5 - 8^\circ$. Для производства тригонометрического нивелирования используются обычные шахтные теодолиты типа Т15. Как правило,

тригонометрическое нивелирование выполняется одновременно с проложением полигонометрического хода. Точки A и B (рис. 38) заложены в кровле выработки, точки 1 и 2 - в почве. В первом случае требуется определить превышение Δz^{A-B} , во втором Δz^{l-2} . Для определения превышения Δz^{A-B} в точке A устанавливают теодолит, а в точке B вешают отвес. На отвесе отмечают точку визирования b , для чего можно использовать обычные канцелярские скрепки. Часто за точку b принимают точку входа шнура в отвес или острие отвеса. На эту точку отвеса затем наводят трубу теодолита, и отсчитывают по вертикальному кругу угол наклона визирного луча δ . На точке A измеряют рулеткой отрезок i^A - расстояние по вертикали от точки A до горизонтальной оси вращения трубы теодолита (точка a). Затем измеряют наклонное расстояние l^{ab} от точки a до точки b и отрезок V^B - расстояние по вертикали от точки B до точки b .

Угол наклона измеряют при двух положениях трубы с вычислением на каждой станции MO . Расхождение значений MO по станциям не должно превышать $1,5'$.

Измерение высоты прибора i и высоты визирования V^2 производится рулеткой дважды с точностью до 1 мм (расхождение между двумя измерениями не должно превышать 5 мм). Расстояние ab измеряют стальной рулеткой по методике измерения длин сторон подземной полигонометрии. Превышение Δz^{A-B} может быть вычислено по формуле

$$\Delta z^{A-B} = l^{ab} \sin \delta (i^A - V^B)$$

Если пункты закреплены в почве (точки l и 2), то формула будет иметь вид

$$\Delta z^{l-2} = l^{ab} \sin \delta (i^l - V^2)$$

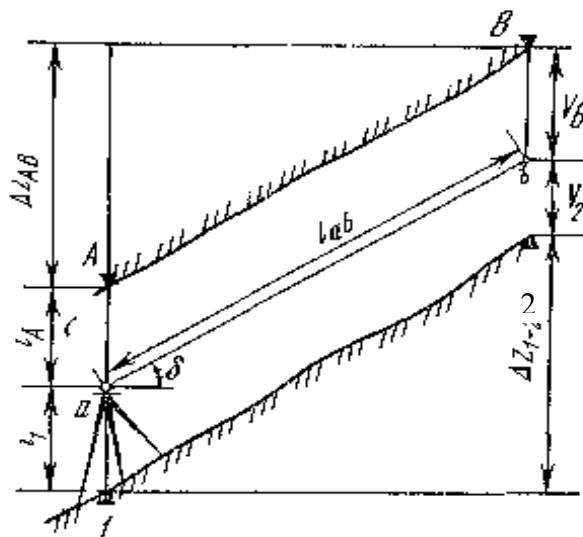


Рис 38 Схема тригонометрического нивелирования

Если высотам прибора i^1 и сигнала V^2 , определяемым относительно кровли выработки, придавать знак «—», то во всех случаях превышение Δz можно найти по формуле .

Для контроля превышения следует вычислять дважды: в прямом и обратном направлениях. Для определения обратного превышения теодолит переставляют в точку B или 2 и выполняют аналогичные измерения на точку A или 1 .

Разность превышений (в мм) не должна быть более $0,4l$, если l - длина линии (в м).

Ходы тригонометрического нивелирования в шахте должны быть замкнутыми или прокладываться между пунктами, высоты которых определены методом геометрического нивелирования.

Для всего хода расхождения в превышениях (в мм) не должны быть более $100\sqrt{L}$, где L — длина хода, км. Если тригонометрическое нивелирование ведется по пунктам съемочной сети (теодолитных ходов), то должны соблюдаться следующие требования: расхождения значений MO в начале и конце хода не более $3'$; расхождения между двумя определениями высоты теодолита или сигнала не более 10 мм; разность в превышениях одной и той же стороны не более $1/1000$ ее длины; высотная невязка хода (в мм) не должна превышать $120\sqrt{L}$ (L - длина хода, км).