

Глава 4. Нивелирование

Совокупность геодезических измерений, выполняемых для определения превышений между точками земной поверхности, или высот относительно принятой отсчётной поверхности, называется *нивелированием*. В зависимости от используемых приборов и принципов различают следующие методы нивелирования: геометрическое, тригонометрическое, физическое (барометрическое, гидростатическое и гидромеханическое), механическое и стереофотограмметрическое.

4.1. Методы нивелирования

Тригонометрическое нивелирование выполняют наклонным визирным лучом. При этом измеряют угол наклона линии визирования и горизонтальное (или наклонное) расстояние между точками. Превышение получают из вычислений по тригонометрическим формулам. Точность тригонометрического нивелирования характеризует погрешность порядка 4 см на 100 м расстояния.

Барометрическое нивелирование основано на использовании зависимости значения атмосферного давления от высоты над уровнем моря. На малых и равнинных участках высоты точек определяют с точностью 0,2–0,3 м.

Гидростатическое нивелирование основано на свойстве жидкости устанавливаться на одинаковых уровнях в сообщающихся сосудах. Фиксируют высоты столбов жидкости в сообщающихся сосудах, установленных в точках с разной высотой, и вычисляют превышения (4.1)

$$h = (l_1 - l_2) - (c_1 - c_2), \quad (4.1)$$

где l_1 и l_2 – высоты сосудов;

c_1 и c_2 – расстояния от верха соответствующего сосуда до уровня жидкости в нём.

Гидромеханическое нивелирование заключается в измерении давления столба жидкости в гидростатической системе, расположенной между нивелируемыми точками. Превышение определяют как функцию избыточного давления или вакуума, создаваемого столбом жидкости в гидростатической системе.

Механическое нивелирование осуществляют, используя принцип маятника, стремящегося сохранить отвесное положение. Относительно него определяют наклон транспортирующих средств при передвижении. Профиль пути автоматически вычерчивается на поверхности вращающегося цилиндра или записывается на фотоплёнке. Погрешность измерений составляет несколько сантиметров на 1 км.

Стереофотограмметрическое нивелирование основано на измерении превышений по стереоскопической модели местности при помощи стереоприбора по двум перекрывающимся АФС одного и того же участка местности. Погрешность определения высот при наземной стереоскопии 0,1–0,3 м, при АФС составляет в среднем 1:1 500 высоты фотографирования (H).

Геометрическое нивелирование основано на использовании горизонтальной линии визирования прибора, называемого нивелиром. Разность высот точек определяют из отсчётов по рейкам, вертикально установленным в двух точках. Этот метод является наиболее совершенным и обеспечивает погрешность определения превышений от 0,5 до 50 мм на 1 км хода.

4.2. Принцип и способы геометрического нивелирования

Для определения превышения между точками A и B местности на точках вертикально устанавливают одинаковые рейки, а между ними нивелир (см. рис. 4.1, 4.2).

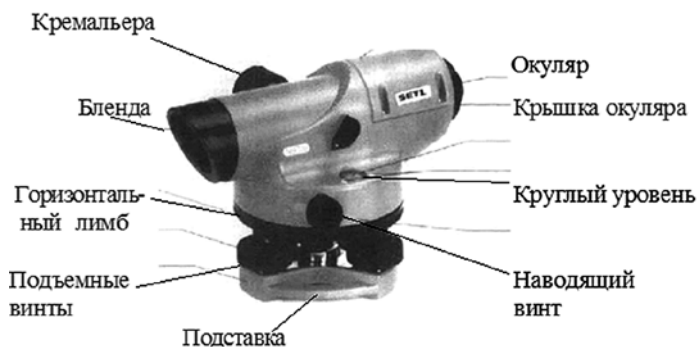


Рис. 4.1. Нивелир с компенсатором АТ-24Д (КНР)

В комплект нивелира входят нивелир и две деревянные рейки. Последние представляют собой деревянный брус, на котором нанесены по шашечному принципу сантиметровые деления с началом счёта от нижнего конца рейки. Каждый дециметр подписан, миллиметровые деления определяются на глаз. В обозначении рейки, например РН-3, указывается её длина в метрах (3 м). Рейка имеет чёрную основную и красную – контрольную стороны.

Геодетический прибор нивелир представляет собой зрительную трубу с закреплённым на ней цилиндрическим уровнем (или компенсатором), по которому устанавливают горизонтально визирную ось. Горизонтальный луч пересекает рейки в точках A' и B' (см. рис. 4.2).

Разность длин AA' и BB' , заключённых между горизонтальным лучом и точками A и B местности, равна превышению h_{AB} , т. е. $h_{AB} = AA' - BB'$. Поскольку отсчёты по рейкам a и b равны соответствующим длинам AA' и BB' , то превышение можно выразить формулой (4.2)

$$h_{AB} = a - b. \quad (4.2)$$

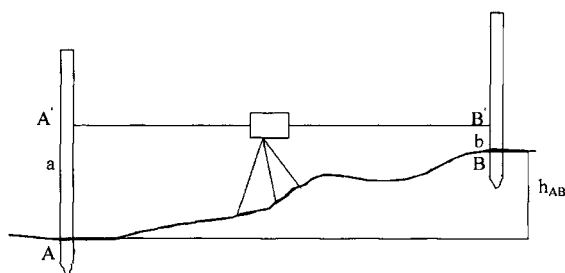


Рис. 4.2. Схема нивелирования из середины

Точку A , относительно которой определяют превышение, называют задней, а точку B – передней. Таким образом, превышение равно отсчёту по задней рейке минус отсчёт по передней. Этот способ называется способом нивелирования из середины.

Простое нивелирование – одна установка нивелира и одна станция. Если организуется несколько станций, образующих ни-

велирный ход, то такое нивелирование называется сложным. Точки нивелирного хода, общие для двух смежных станций, называются связующими.

При этом превышение конечной точки B нивелирного хода над начальной A равно сумме превышений между связующими точками, то есть (4.3)

$$h_{AB} = h_1 + h_2 + \dots + h_n = \sum_{i=1}^n h_i. \quad (4.3)$$

Если известна высота начальной точки A (H_A), то высоту конечной точки B определяют по формуле (4.4) (превышение может быть положительным и отрицательным)

$$H_B = H_A + h_{AB}. \quad (4.4)$$

Сложное геометрическое нивелирование, выполняемое с целью определения высот точек, расположенных на оси сооружения линейного типа (автодороги, ЛЭП), нивелирования теодолитных ходов, называется продольным нивелированием.

Второй способ геометрического нивелирования – это *нивелирование вперёд* (см. рис. 4.3).

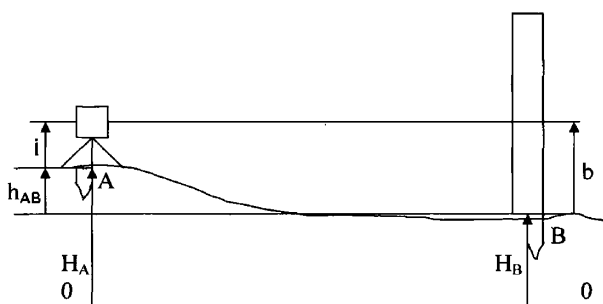


Рис. 4.3. Схема нивелирования вперёд

Нивелир устанавливают в начальной точке A , а в точке B вертикально ставят рейку, обращённую чёрной стороной к прибору.

Отсчёты берут только по чёрной стороне рейки. Рулеткой или рейкой измеряют расстояние от верха колышка (A) до центра окуляра горизонтально установленной зрительной трубы, называ-

емое высотой прибора i , и берут отсчёт b по рейке. Затем вычисляют превышение по формуле (4.5)

$$h_{AB} = i - b. \quad (4.5)$$

Таким образом, при нивелировании вперёд превышение равно высоте прибора – i минус отсчёт по рейке – b . Нивелирование вперёд имеет низкую производительность и меньшую точность по сравнению с нивелированием из середины. Для определения отметки точки B (H_B) вначале находят горизонт прибора $ГП$ по формуле (4.6)

$$ГП = H_A + i, \quad (4.6)$$

а затем по формуле (4.7)

$$H_B = ГП - b, \quad (4.7)$$

окончательно находят отметку точки B .

Горизонт прибора – расстояние по отвесной линии от визирной оси нивелира до уровенной поверхности, принятой за начало счёта отметок. Он также численно равен отметке точки, на которой установлена рейка, плюс отсчёт по рейке (4.8)

$$ГП = H_B + b. \quad (4.8)$$

Геометрическое нивелирование точек (способом вперёд), расположенных с заданной плотностью в пределах участка местности, называется нивелированием поверхностей.

4.3. Устройство, проверки и юстировки нивелиров

В современных нивелирах визирная ось прибора устанавливается в горизонтальное положение либо при помощи цилиндрического уровня, либо автоматически посредством специальных устройств, называемых компенсаторами. В связи с этим, нивелиры первого типа называются нивелирами с уровнем при трубе, а второго – с самоустанавливающейся линией визирования. В нивелирах с самоустанавливающейся линией визирования используют компенсаторы для автоматического удержания визирной оси в горизонтальном положении. При наклоне зрительной трубы на некоторый малый угол компенсатор стабилизирует положение визирной линии, т. е. возвращает её в горизонтальное положение. В современных нивелирах диапазон работы современного компенсатора 5–30'.

Марки нивелиров: Н-05, Н-3, Н-10 и др. Цифры в шифрах нивелиров обозначают средние квадратические погрешности нивелирования в мм на 1 км двойного хода. Н-3 – точный нивелир, погрешность не более 3 мм на 1 км двойного хода, предназначен для нивелирования III кл. Нивелир имеет контактный уровень и элевационный винт. Н-3КЛ – нивелир такой же точности, но имеет компенсатор и лимб.

Все нивелиры не менее одного раза в год должны проходить аттестацию и быть поверены. В результате поверки проверяется и исправляется (юстировка) основное геометрическое условие нивелира – оптическая ось зрительной трубы должна быть горизонтальна (для нивелиров с компенсатором) и параллельна оси цилиндрического уровня (для нивелиров с уровнем при трубе).

4.4. Высотные сети

Передачу высот на пункты сгущения и съёмочных сетей осуществляют с помощью технического нивелирования, предельная невязка которого (мм) не должна превышать (4.9)

$$f_{\text{доп.}} = \pm 50\sqrt{L}, \quad (4.9)$$

где L – длина хода, км.

Геометрическое нивелирование разделяют на государственное I, II, III и IV классов и техническое нивелирование.

Сети I и II класса – главная высотная основа.

Сеть III класса – высотное обоснование топографических съёмок, опирающаяся на нивелирные знаки I и II классов.

Сеть IV класса является сгущением сетей III класса и служит для обоснования топографических съёмок (4.10)

$$f_{\text{доп.}} = \pm 20\sqrt{L}. \quad (4.10)$$

Нивелирные знаки делятся на постоянные (фундаментальные реперы, стенные марки) и временные (временные реперы, грунтовые марки).

4.5. Площадное нивелирование (нивелирование по квадратам)

Может использоваться как вид топографической съёмки. Оно производится на открытой местности со слабовыраженным рельефом для составления крупномасштабных планов. Допустимые уклоны в пределах 0,0002–0,005. Масштабы 1:1 000–1:5 000, сечение рельефа 0,25–0,5 м. Цель съёмки – составление проектов вертикальной планировки и подсчёт объёмов земляных работ.

В зависимости от характера рельефа, требуемой точности разбивают сеть квадратов или магистралей, реже полигонов со сторонами от 10 до 100 м, обычно 10×10 м или 20×20 м. Вершины квадратов закрепляют колышками с номерами. Перед началом нивелирования на плотной бумаге составляют схему квадратов, которая одновременно является и полевым журналом нивелирования. Каждого реечника снабжают такой схемой с указанием порядка перемещения. Если на сторонах квадрата имеются точки перегиба, то их отмечают как плюсовые пикеты. Станции выбирают так, чтобы из связующих точек образовался замкнутый полигон. С каждой станции, в зависимости от характера рельефа, определяют отметки вершин квадратов в радиусе 100–150 м. Одновременно составляют абрис. Отметки вершин квадратов и промежуточных точек определяют через горизонт прибора (способ нивелирования вперёд), отсчёты записывают с точностью до 1 мм на схему нивелирования ниже отсчётов по чёрной стороне рейки с этих же точек.

Найденное значение горизонта прибора вписывают на схему нивелирования.

Контроль нивелирования на станции состоит в том, что суммы накрест лежащих взглядов (отсчётов) на связующие точки должны быть равны. Расхождение сумм не должно быть более 4 мм.

Уравнивание результатов нивелирования и вычисление отметок вершин квадратов производят в следующем порядке. По каждой линии хода вычисляют превышения конечной точки над начальной из пары отсчётов, взятых на одной станции.

Вычисляют превышения по полигону, записывают в ведомость, в которой уравнивают и вычисляют высоты вершин опорного полигона, приняв одну из них за исходную.

Вычисленные высоты связующих точек выписывают на полевую схему. Затем по высотам двух точек на каждой станции вычисляют два значения горизонта прибора, средние из которых выписывают над номером станции, округляя до сотых долей метра.

После вычислительной обработки результатов нивелирования составляют топографический план, на который наносят границу участка, вершины квадратов, дополнительные точки в характерных местах рельефа, контуры ситуации. Подписывают высоты точек и проводят горизонтали с заданной высотой сечения рельефа.

Горизонтالي интерполируют только между точками на однородном скате. Существуют аналитический (см. рис. 4.4) и графический способы интерполирования.

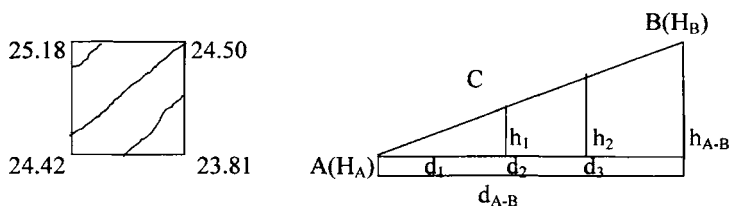


Рис. 4.4. Схема аналитического интерполирования

Из условий подобия имеем (4.11)

$$\frac{d_1}{d} = \frac{h_1}{H_A - H_B}, \text{ или } d_1 = \frac{h_1}{H_A - H_B} d, \quad (4.11)$$

где h_1 – расстояние (по высоте) до ближайшей горизонтали;

h_2 – расстояние до следующей горизонтали.

Далее находим расстояние $d_1 + d_2$ (4.12)

$$d_1 + d_2 = \frac{h_2}{H_A - H_B} d. \quad (4.12)$$

Аналогично интерполируют по другим сторонам квадрата, после чего проводят горизонтали через точки с одинаковыми высотами.

Способ графического интерполирования основан на использовании палетки. Ход горизонталей должен быть плавным и соот-

ветствовать рельефу местности. Опытные топографы интерполируют на глаз.

Горизонтالي – линии равных отметок. Поэтому задача будет решена, если найти на плане точки с одинаковыми отметками и соответствующим образом соединить их плавными кривыми линиями. Для удобства зрительного восприятия и простоты расчётов, возникающих при решении задач по горизонталям, принято проводить их по отметкам, кратным высоте сечения. Например, при высоте сечения $h = 0,5$ м и диапазоне отметок 115,35–121,17 м горизонтали должны соединять точки с отметками 115,50, 116,00, 116,50 и т. д.

План вычерчивают тушью в соответствии с условными знаками.

Выполнив нивелирование по квадратам, приступают к подсчёту объёма земляных масс, необходимых для планировки площадки под горизонтальную плоскость. Вначале вычисляют отметку проектной плоскости, которую будет иметь площадка после планировки. Отметку проектной плоскости (H_{np}) вычисляют по формуле (4.13)

$$H_{np} = \sum_{i=1}^n \frac{H_{cp.ч.отм.}}{n}, \quad H_{cp.ч.отм.} = \frac{\sum_{i=1}^4 H_i}{4}, \quad (4.13)$$

где H_i – отметка вершины i -го квадрата;

$H_{cp.ч.отм.}$ – средняя фактическая отметка квадрата;

n – число квадратов.

Контроль вычислений выполняют по формуле (4.14)

$$H_{np} = \frac{\sum H_1 + 2\sum H_2 + 4\sum H_4}{4n}, \quad (4.14)$$

где H_1 – отметка, характерная для одной вершины квадрата;

H_2 – отметка, характерная для двух вершин квадратов;

H_4 – отметка, характерная для четырёх вершин квадратов.

Затем составляют картограмму земляных масс на миллиметровой бумаге в масштабе 1:500, если длина стороны квадрата 20 м. Далее определяют рабочие отметки, которые указывают на необходимость подсыпки грунта или наоборот срезки для получения отметки проектной плоскости. Соответственно рабочие

отметки имеют положительные (+ насыпь) или отрицательные (– срезка) значения. Рабочие отметки вписывают красным цветом на картограмму земляных масс с точностью 0,01 м. Рабочие отметки определяют по формуле (4.15)

$$h_{\text{раб}} = H_{\text{пр.}} - H_i. \quad (4.15)$$

Для тех сторон квадрата, где рабочие отметки имеют разные знаки, определяют местонахождение точек нулевых работ (4.16)

$$X = \frac{|h_{p.1}| \cdot d}{|h_{p.1}| + |h_{\text{раб.2}}|}, \quad (4.16)$$

где X – расстояние до точки нулевых работ по оси X .

Точки нулевых работ соединяют прямыми линиями, которые разграничивают насыпь от выемки. Насыпь окрашивают красным, выемку – жёлтым. Расстояния до точек нулевых работ записывают синим. Объём земляных работ (V) определяется по формуле (4.17)

$$V = S \cdot h_{\text{пр}}, \quad (4.17)$$

где S – площадь строительной площадки, м²;

$h_{\text{пр}}$ – высота призмы, равная средней рабочей отметке для данной фигуры, м.

Высоту вычисляют до тысячных долей метра, результаты записывают в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Ведомость вычисления объёмов земляных работ

Номер фигуры	Площадь	Высота призмы	Объёмы	
			Насыпь	Выемка
1				
2				
3				

$$S_{\text{треуг.}} = \frac{1}{2}ah, S_{\text{трап.}} = \frac{a+b}{2} \times h \quad \sum V_n \quad \sum V_e$$

При производстве планировочных работ объём выемки примерно должен быть равен объёму насыпи (4.18)

$$\frac{\sum V_e - \sum V_n}{\sum V_e} \times 100\% \approx 2\%, \quad (4.18)$$

если баланс нарушен, то находят поправку ΔH к отметке проектной плоскости (4.19)

$$\Delta H = \frac{\Delta V}{S_{\text{уч.}}} = \frac{\sum V_n - \sum V_v}{S_{\text{уч.}}} \quad (4.19)$$

и все вычисления выполняют снова.

4.6. Продольное техническое нивелирование (нивелирование трассы)

При проектировании линейных объектов (автодорог, траншей, линий электропередач, связи и т. д.) возникает необходимость построения продольных профилей по осям этих сооружений. Комплекс геодезических работ на местности при прокладке трассы включает назначение на местности линии заданного направления и заданного уклона; вешение и закрепление этой линии; измерение и разбивку углов поворота трассы, разбивку пикетажа, поперечников и кривых; съёмку узкой полосы местности; нивелирование трассы и поперечников.

Если трассу проектируют по картам или планам, то трассирование называют камеральным; если выбирают непосредственно на местности, то полевым. Данная задача обычно выполняется техническим нивелированием – определяются высотное и плановое положение точек, расположенных вдоль оси сооружения через определённые интервалы (20–100 м), и дополнительных между ними точек, отражающих особенности рельефа местности.

В состав полевых работ изысканий этих сооружений входят подготовительные, рекогносцировка местности, разбивка пикетажа и съёмка ситуации вдоль трассы, разбивка закруглений, вынос пикетов на кривую, нивелирование всех точек трассы.

Подготовительные работы включают проверки, юстировки, исследования геодезических приборов и их принадлежностей.

Рекогносцировка местности проводится с целью выбора окончательного положения трассы.

Разбивка пикетажа. Определив окончательное положение трассы, приступают к разбивке оси сооружения на равные по длине участки, как правило, в 100 м. При углах наклона местности $\nu > 2^\circ$ между пикетами откладывают расстояния $D = d/\cos \nu$

($d = 100$ м). Конечные точки таких участков трассы называют *пикетами*, поэтому совокупность действий по определению их положений на местности получило название *разбивки пикетажа*.

Пикеты закрепляют на местности деревянными колышками, вбиваемыми почти вровень с землёй. Для их быстрого отыскания и обозначения рядом с пикетами вбивают сторожок – колышек длиной 0,3–0,4 м, на верхней части которого подписывают номер пикета. Пикету, совпадающему с началом трассы, присваивают нулевой номер, следующему через 100 м – номер один и т. д. Такая нумерация удобна тем, что по номеру пикета легко определить расстояние от начала трассы. Например, ПК3 (пикет № 3) находится в 300 м от начала трассы.

Если трасса представляет собой ломаную линию, то вершины углов закрепляют колышками на местности и теодолитом измеряют углы Θ . Угол Θ , составленный воображаемым продолжением прямолинейного участка трассы и её новым направлением, называют *углом поворота трассы*.

Для более полной характеристики рельефа местности помимо пикетов в местах перегиба земной поверхности вдоль трассы фиксируют дополнительные точки *C, E, P* (см. рис. 4.5), называемые *плюсовыми*.

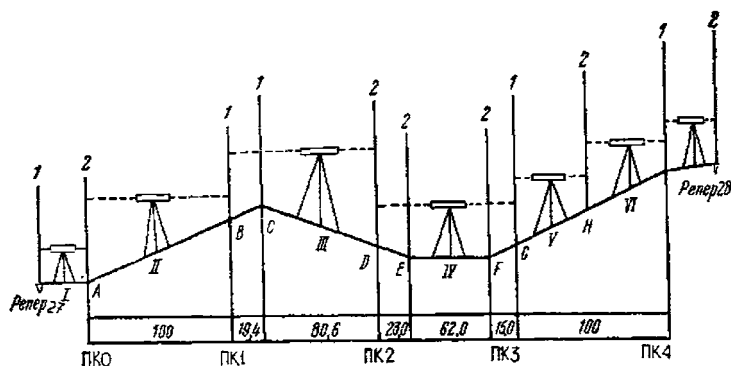


Рис. 4.5. Продольное нивелирование

На сторожке плюсовой точки подписывают номер ближайшего заднего пикета и расстояние от него в метрах, например ПК

1 + 19,4. Закрепление по трассе пикетов и промежуточных точек сопровождается одновременной разбивкой точек, расположенных влево и вправо от трассы по перпендикулярным к ней направлениям, называемым *поперечными профилями*. Они характеризуют рельеф в поперечном направлении к трассе и их используют для подсчёта объёмов земляных работ. Для нахождения положения точек поперечного профиля измеряют расстояния в обе стороны от трассы. Длины поперечных профилей и расстояния между ними могут быть различными в зависимости от назначения профиля, характера местности и точности работ.

Чтобы иметь информацию о ситуации местности, непосредственно прилегающей к трассе, в процессе разбивки пикетажа проводится съёмка узкой полосы с помощью прибора или глазомерная съёмка в пределах 25–50 м влево и вправо от оси. Результаты разбивочных и съёмочных работ отражают в *пикетажной книжке*, страницы которой разграфлены на квадраты. Центральную линию на странице пикетажной книжки принимают за ось сооружения, а влево и вправо от неё в принятом масштабе съёмки показывают ситуацию местности. Трасса независимо от наличия поворотов изображается в пикетажной книжке в виде прямой линии. Углы поворота показывают условно в виде стрелки с указанием нового направления трассы. Рядом на полях пикетажной книжки вписывают значение угла поворота и азимут (или румб) нового направления. Поскольку ось сооружения линейного типа в пикетажной книжке представлена прямой линией, то реальное положение ситуации местности сохраняется только относительно каждого прямолинейного участка трассы. По данным пикетажной книжки вычерчивают план местности на продольном профиле.

Таким образом, передвигаясь по прямолинейному участку трассы, одновременно выполняют разбивку пикетажа и поперечных профилей, фиксируют положение промежуточных точек и ведут съёмку ситуации. Дойдя до вершины первого угла поворота и определив его пикетажное значение, разбивочные работы временно приостанавливают, поскольку в месте поворота трассы необходимо вставить между прямолинейными участками сопрягающую кривую, называемую *закруглением*. Поскольку длину

Разбивка закруглений. Существуют сопрягающие кривые между прямолинейными участками различных видов. На практике чаще используют наиболее простой вид кривой, являющейся дугой окружности и называемый *круговой кривой*. Начало кривой (*НК*), её середина (*СК*) и конец (*КК*) определяют *главные точки кривой*. Для их нахождения необходимо знать следующие элементы круговой кривой: θ – угол поворота трассы; R – радиус кривой; T – длину касательной, называемую тангенсом; K – длину кривой; B – биссектрису кривой; D – домер, представляющий собой разность длин между ломаной $2T$ и дугой K .

Из прямоугольного треугольника OAB (см. рис. 4.6) находят тангенс (4.20)

$$T = Rtg \frac{\Theta}{\gamma}. \quad (4.20)$$

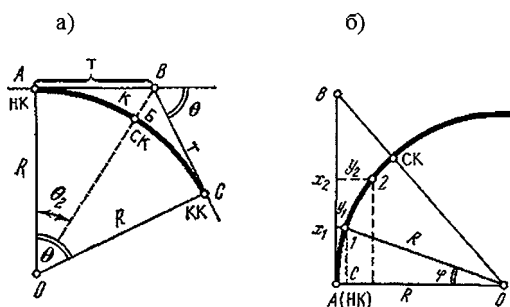


Рис. 4.6. Элементы круговой кривой (а) и способ прямоугольных координат (б)

Длину кривой K определяют по формуле (4.21)

$$K = \frac{2\pi R}{360^\circ} \ominus = \frac{\pi R}{180^\circ} \ominus. \quad (4.21)$$

Биссектрису кривой находят из выражения (4.22)

$$B = OB - R = R \sec \frac{\Theta}{2} - R = R \left(\sec \frac{\Theta}{2} - 1 \right). \quad (4.22)$$

По найденным значениям тангенса T и кривой K вычисляют домер (4.23)

$$D = 2T - K. \quad (4.23)$$

Зная элементы круговой кривой, находят её главные точки на местности. Начало (HK) и конец (KK) круговой кривой получают, откладывая значения тангенсов от вершины угла поворота против и по ходу трассы.

Для отыскания середины кривой ($СК$) устанавливают теодолит в вершине угла, находят на местности направление биссектрисы BO , вдоль которой откладывают её значение B и фиксируют точку, являющуюся серединой кривой. Пикетажное значение главных точек круговой кривой определяют по формулам (4.24), (4.25)

$$HK = BU - T; \quad CK = HK + (1/2)K; \quad KK = HK + K. \quad (4.24)$$

Контроль: $KK = BU + T - D,$ (4.25)
где BU – пикетажное значение вершины угла поворота.

Закрепив колышками главные точки круговой кривой, продолжают разбивку пикетажа следующего прямолинейного участка. Чтобы получить положение пикета, находящегося за концом круговой кривой по ходу трассы, откладывают расстояние, дополняющее пикетажное значение конца кривой до ближайшей сотни метров. Далее разбивку пикетажа выполняют в том же порядке.

Нивелирование трассы. При техническом нивелировании все точки, зафиксированные на местности по оси сооружения, делят на связующие и промежуточные.

Связующие точки являются общими для двух смежных станций и служат для передачи высот по ходу. Все остальные точки нивелирного хода называют *промежуточными*. Для передачи абсолютной высоты от ближайшего репера на нулевой пикет прокладывают нивелирный ход. Такие действия называют *привязкой нивелирного хода (трассы)* к государственной сети. Нивелирование связующих точек, как правило, выполняют способом из середины.

При нивелировании трассы необходимо выполнять следующие условия:

- контролировать неравенство (в пределах 10 м) расстояний от нивелира до задней и передней реек на станции;
- не допускать удаления реек от станции свыше 100 м (или 150 м при увеличении трубы свыше 30°);
- следить, чтобы высота визирного луча над поверхностью земли была не менее 0,2 м;
- контролировать полученное на станции превышение между связующими точками повторным измерением. При работе с двухсторонними рейками отсчёты выполняют по обеим сторонам рейки. Расхождение двух превышений, вычисленных на станции, не должно превышать 5 мм;
- нивелировать промежуточные точки один раз (без контроля) по чёрным сторонам реек. При этом допускается неравенство расстояний от прибора до реек.

Порядок работы на станции. Нивелирование трассы ведут от нулевого пикета. Полевые работы на станции выполняют в следующей последовательности:

- 1) устанавливают нивелир на станции I, примерно равноотстоящий от реек А и В (см. рис. 4.2);
- 2) приводят при помощи круглого уровня ось вращения прибора в отвесное положение;
- 3) визируют на заднюю рейку, установленную в точке А, приводят пузырек круглого уровня в нуль-пункт, делают отсчёты по средней нити по чёрной и красной сторонам рейки. Результаты измерений записывают в нивелирный журнал;
- 4) аналогичным образом получают отсчёты по средней нити по чёрной и красной сторонам передней рейки, установленной в точке В. Результаты фиксируют в нивелирном журнале;
- 5) на каждой станции вычисляют превышения, определённые по чёрным и красным сторонам реек.

При допустимых (менее 4 мм) расхождениях в превышениях вычисляют среднее превышение, округлённое до целых миллиметров. При невыполнении указанного допуска измерения на станции повторяют.

Если между связующими точками станции промежуточные точки отсутствуют, то наблюдатель с прибором переходит на следующую станцию, а задний реечник – на переднюю точку новой станции.

При наличии промежуточных точек на станции их нивелирование выполняют лишь после завершения нивелирования связующих точек. Отсчёты берут по чёрной стороне рейки, последовательно устанавливаемой задним реечником на всех промежуточных точках. Точки поперечного профиля также нивелируют как промежуточные.

При нивелировании на крутых равномерных склонах, когда при одной установке прибора оказывается невозможным определить превышение между соседними точками, между ними закрепляют дополнительные точки, выполняющие роль связующих. Поскольку выбранные точки располагаются на участках местности с равномерным уклоном, то нет надобности наносить их на профиль и измерять до них расстояния от пикетов. Такие дополнительные связующие точки носят название *иксовых*.

После нивелирования всех пикетов и промежуточных точек, расположенных на трассе и поперечных профилях, делают привязку нивелирного хода к реперу. В этом случае обеспечивается надёжный контроль качества полевых измерений. При отсутствии такого репера прокладывают двойной нивелирный ход, т. е. нивелируют трассу в прямом и обратном направлениях.

Камеральная обработка результатов технического нивелирования состоит в обработке журнала нивелирования, включающей проверку правильности записей и полевых вычислений, выполнение уравнивания нивелирного хода, вычисления высот нивелируемых точек, а также в составлении продольного и поперечных профилей трассы.

Обработка журнала нивелирования. Контроль результатов полевых измерений проводят отдельно для каждой страницы журнала либо в поле, либо в камеральных условиях и называют *постраничным контролем*. Он заключается в подсчёте и записи в нижней части страницы журнала соответствующих суммарных результатов. Вычисления, аналогичные постраничным, выполняют и для всего хода. В случае правильности вычислений присту-

пают к приближенному уравниванию нивелирного хода, т. е. к нахождению наиболее надёжных значений высот связующих точек. Приближенное уравнивание разомкнутого или замкнутого нивелирного хода сводится к распределению высотной невязки на все превышения пропорционально расстояниям между связующими точками.

Контролем правильности выполненных действий служит точное совпадение вычисленного и известного значений высоты конечного пункта.

После определения высот связующих точек нивелирного хода приступают к нахождению высот промежуточных точек. Для этого используют *горизонт прибора* на станции, под которым понимают абсолютную высоту $H_{з.н.}$ визирной оси прибора. Горизонт прибора равен высоте заднего (или переднего) пикета плюс отсчёт по рейке, установленной на нём (4.26)

$$\begin{aligned} H_{з.н.} &= H_{ПК1} + a \\ H_{з.н.} &= H_{ПК2} + b \end{aligned} \quad (4.26)$$

Высоту любой промежуточной точки получают как разность горизонта прибора и отсчёта по чёрной стороне рейки, установленной на данной точке.

4.7. Построение продольного профиля трассы

Техническое нивелирование завершают составлением продольного и поперечного профилей трассы, которые строят на основании вычисленных высот. Обычно профиль вычерчивают на миллиметровой бумаге, принимая масштаб по вертикали в десять раз крупнее, чем по горизонтали. В средней части листа проводят горизонтальную линию, являющуюся линией условного горизонта. Ниже этой линии строят профильную сетку, содержащую ряд полос. Их длины определяют протяжённостью трассы в принятом горизонтальном масштабе.

Контрольные вопросы

1. Какие существуют методы нивелирования?
2. В чём заключается сущность геометрического нивелирования?

3. В чём преимущества нивелирования из середины?
4. Какое различие между высотой и горизонтом прибора?
5. Как вычисляют отметки точек через горизонт прибора?
6. В чём заключается главное условие, которому должны удовлетворять нивелиры с цилиндрическими уровнями?
7. Каково назначение элевационного винта у нивелира НЗ?
8. На чём основана работа компенсатора в самоустанавливающихся нивелирах?
9. Каковы источники погрешностей при геометрическом нивелировании?
10. Опишите порядок работы на станции при геометрическом нивелировании. Как осуществляется контроль нивелирования?
11. Как определяют невязки в замкнутом и разомкнутом нивелирных ходах?
12. В чём сущность тригонометрического нивелирования?
13. Для чего при тригонометрическом нивелировании стремятся визировать на отсчёт, равный высоте прибора?
14. В чём сущность барометрического, гидростатического, автоматического и аэронивелирования и какова их точность?
15. Какие документы получают в результате нивелирования поверхности?
16. Как вычисляют горизонт прибора?
17. Что необходимо знать, чтобы определить отметки вершин?
18. С какой точностью производят вычисление отметок вершин и записывают их на схему нивелирования?
19. С какой точностью выписывают отметки вершин на план?
20. Как выполняют графическую интерполяцию горизонталей?
21. Какие цвета применяют для оформления плана?
22. По какой формуле вычисляют проектную и рабочую отметки?
23. По какой формуле производят контроль вычисления проектной отметки?
24. Что выписывают на картограмму земляных работ, каким цветом?
25. О чём говорят знаки рабочей отметки «плюс» и «минус»?

26. По каким формулам вычисляют горизонтальные расстояния от точки нулевых работ до вершин квадратов?

27. Какое условие должно соблюдаться, если расстояния X и Y вычислены верно?

28. По какой формуле подсчитывают объём земляных работ?

29. Чему равна высота призмы?

30. При каком условии можно считать, что баланс земляных работ не нарушен?

31. Нужно ли учитывать при подсчёте объёма земляных работ объём грунта, вынимаемого из котлована?

Рекомендуемая литература

1. Инженерная геодезия / под ред. С. П. Закатова. М.: Недра, 1976. 583 с.

2. Инженерная геодезия: учебник для вузов / Е. Б. Ключин, М. И. Киселев, Д. Ш. Михелев, В. Д. Фельдман. М.: Академия, 2008. 480 с.

3. Новак В. Е. Практикум по инженерной геодезии. М.: Недра, 1986. 273 с.

4. Фельдман В. Д. Основы инженерной геодезии. М.: Высшая школа, 2001. 456 с.