

## Лекция 10. Понятие о нивелировании. Нивелиры. Устройство и их поверки

*Измерение превышений, виды нивелирования. Способы нивелирования.*

*Сущность и методы измерения превышений*

Измерения, приводимые для определения отметок точек местности или их разностей, называют нивелирование.

Существует несколько методов нивелирования: геометрическое, тригонометрическое, физическое, механическое, стереофотограмметрическое.

**Геометрическое** нивелирование заключается в непосредственном определении разности высот двух точек с помощью горизонтального визирного луча.

**Тригонометрическое** нивелирование заключается в определении превышений между точками по измеренному между ними расстоянию и углу наклона. Вычисление превышений ведут по формулам тригонометрии.

**Физическое** нивелирование делится на три вида: а) барометрическое, в основу которого положена зависимость между величиной атмосферного давления на точке местности и ее высотой; б) гидростатическое, основанное на свойстве свободной поверхности жидкости в сообщающихся сосудах всегда находиться на одинаковом уровне независимо от превышения точек, на которых установлены эти сосуды; в) радиолокационное, основанное на использовании отражения электромагнитных волн.

**Механическое** нивелирование производят с помощью специальных приборов, устанавливаемых на велосипедных рамках, автомобилях и т.д. При движении такого прибора автоматически регистрируются пройденные им расстояния, высоты точек и вычерчивается профиль пройденного пути.

*Сущность геометрического нивелирования*

Геометрическое нивелирование производят специальными приборами – *нивелирами*. Различают два способа геометрического нивелирования: *из середины и вперед*.

Для определения превышения точки В над точкой А геометрическим нивелированием из середины устанавливают в них вертикально рейки  $R_1$  и  $R_2$ , а между ними по возможности на одинаковом расстоянии от реек – нивелир. Последовательно визируя на рейки средней горизонтальной нитью зрительной трубы, берут отсчеты: по задней рейке  $a$  и по передней  $b$ . Тогда непосредственно из рисунка следует, что

$$h = a - b \quad (1)$$

т.е. превышение равно отсчету по задней рейке минус отсчет передней рейке.

Превышение будет положительным при  $a < b$  и соответственно передняя точка выше или ниже задней.

Если отметка точки А известна, то отметка точки В

$$H_B = H_A + h \quad (2)$$

т.е. отметка последующей точки равна отметке предыдущей точки плюс превышение между ними.

С другой стороны, подставив в формулу (2) вместо  $h$  его значение из (1), найдем

$$H_B = H_A + a - b \quad (3)$$

Введем обозначение

$$H_i = H_A + a \quad (4)$$

Величина  $H_i$  называется *горизонтом инструмента* и, является высотой визирного луча над исходной уровенной поверхностью. Следовательно, *горизонт инструмента на данной станции равен отметке точки плюс отсчет по рейке, установленной в этой точке*.

Выразив из формулы (3) значение  $H_A$  и подставив в (2) получим:

$$H_B = H_i - b,$$

т.е. отметка точки равна горизонту инструмента минус отсчет по установленной в ней рейке.

При геометрическом нивелировании вперед нивелир устанавливают так, чтобы окуляр зрительной трубы находился над задней точкой А, а в передней точке В устанавливают рейку R. Затем делают отсчет  $b$  по рейке и измеряют рулеткой или с помощью рейки расстояние  $i$  по отвесному направлению от центра окуляра до точки А, называемое *высотой инструмента*. Отсюда следует, что

$$h = i - b \quad (5)$$

а горизонт инструмента

$$H_i = H_A + i \quad (6)$$

### **Проектирование, рекогносцировка нивелирных ходов**

Проект составляют на карте масштаба 1:10 000, 1: 25 000. Перед составлением проекта собирают и анализируют все материалы ранее выполненных нивелирных работ. На карту наносят исходные реперы и марки, пункты полигонометрии 4 класса и сетей сгущения всех разрядов. Направления ходов совмещают с дорогами, просеками, берегами рек, избегая больших уклонов, заболоченных, оползневых и других участков со слабым грунтом.

Независимо от границ съемочного участка линии нивелирования III класса проектируют, как правило, в пределах полигона II класса, а линии нивелирования IV класса в пределах полигона III класса.

В техническом проекте устанавливают объем работ, их сметную стоимость, намечают технологию выполнения нивелирования и материально-техническую обеспеченность.

В текстовой части проекта указывают:

Краткую характеристику физико-географических и климатических условий района работ;

Назначение проектируемых работ;

Исходные реперы;

Сведения о ранее выполненных нивелирных работах;

Закладку реперов;

Приборы и методы нивелирования;

Рекогносцировку и обследование на линиях III, IV классов совмещают с закладкой реперов.

В процессе рекогносцировки нивелирных ходов и сетей уточняют места установки реперов и марок. Их выбирают с учетом обеспечения долговременной сохранности, удобства привязки с возможностью вертикального расположения рейки на знаке и безопасности работ. Предпочтение отдают стенным и скальным знакам, как наиболее надежным и выгодным экономически. Рекогносцировка начинается с обследования состояния исходного репера и продолжается по направлению намеченной линии. Рекогносцировщик в поле наносит на крупномасштабную карту или на аэрофотоснимки места для закладки новых реперов, опознает местоположение существующих, составляет описание, абрисы и обозначает на местности места для закладки новых реперов.

### **Нивелирные реперы и марки**

Пункты нивелирной сети закрепляются специальными постоянными знаками – реперами (метка, знак) не реже чем через 5 км.

Нивелирные знаки должны быть изготовлены из такого материала и иметь такую конструкцию, чтобы в течении длительного времени обеспечивалась неизменность высотных отметок в пределах точности геодезических измерений. Разнообразие физико-географических условий страны обуславливает различные типы реперов, которые соответствуют определенным областям.

Реперы бывают вековые, фундаментальные, грунтовые и стенные.

В качестве грунтовых реперов широко применяются металлические знаки свайного типа, каменные и железобетонные монолиты. Общим является требование стабильности знаков, доступности их при измерениях и сохранности. Следует предупредить также возможное выпучивание реперов в условиях сезонного промерзания почвы.

Грунтовый репер состоит из железобетонного пилона или металлической трубы, якоря и марки на которую устанавливается рейка. Необходимо, чтобы якорь находился на 50 см ниже наибольшей глубины промерзания грунтов. В противном случае возможен подъем (выпирание) репера под воздействием сил морозного пучения.

Стенной репер изготавливают из металла и устанавливают в цокольной части каменных зданий. Предварительно пробивают отверстие, в котором закрепляют репер на цементном растворе.

В эксплуатацию стенные знаки вводятся не ранее чем через 3 дня после установки, а грунтовые – через 10 дней.

Возле постоянных реперов закрепляются охранные плиты и опознавательные знаки.

#### Типы нивелиров, их поверки и юстировки

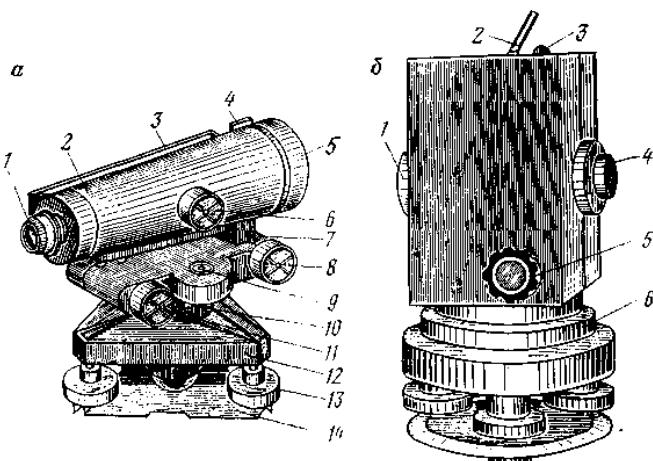


Рис. 22

на рейку 4, объектив 5, кремальера для фокусирования трубы 6, закрепительный винт трубы 7, наводящий винт трубы 8, круглый уровень 9, исправительный винт круглого уровня 10 (их три), элевационный винт 11, подставка (трегер) 12, подъемный винт 13, пружинистая пластинка со втулкой 14.

Круглый уровень служит для приближенной установки оси нивелира в отвесное положение. Элевационный винт служит для точной установки визирной оси нивелира в горизонтальное положение. В коробке цилиндрического уровня, сверху над уровнем, расположена система оптических призм, с помощью которых изображение концов пузырька уровня передается в поле зрения трубы. Установка пузырька уровня на нуль-пункт достигается путем совмещения (контакта) изображений концов его половинок вращением элевационного винта. Такой уровень называется контактным.

Зрительная труба нивелира имеет внутреннюю фокусировку, увеличение трубы  $30^x$ , поле зрения  $1^{\circ}20'$ . Цена деления круглого уровня  $5'$ , цена деления цилиндрического уровня на 2 мм -  $15''$ . Коэффициент дальномера - 100.

Нивелир Н-ЗК точный содержит маятниковый оптико-механический компенсатор, который состоит из подвижной призмы, подвешенной на двух парах скрещенных стальных нитей, и неподвижной призмы. Колебания компенсатора гасятся воздушным поршневым демпфером. Визирная ось нивелира устанавливается в горизонтальное положение автоматически. Зрительная труба с внутренней фокусировкой. Увеличение трубы  $30^x$ , поле зрения  $1,3^{\circ}$ , цена деления круглого уровня  $10'$ , коэффициент нитяного дальномера 100. Нивелир Н-ЗК выпускается также в варианте с горизонтальным лимбом под шифром Н-ЗКЛ.

Нивелир Н-10КЛ технический с компенсатором. Зрительная труба нивелира состоит из объектива 1 и окуляра 4. Фокусирование трубы производится вращением винта 5. Установка нивелира в рабочее положение производится подъемными винтами по круглому уровню 3 с откидным зеркалом 2. Визирная ось в горизонтальное положение устанавливается автоматически с помощью компенсатора. Наведение зрительной трубы на рейку выполняется механизмом горизонтальной наводки от руки. Закрепительный и наводящий винты трубы отсутствуют. Нивелир имеет горизонтальный лимб 6 с ценой деления Г и точностью отсчета  $0,1^{\circ}$ . Увеличение зрительной трубы  $20^x$ , поле зрения трубы  $1,3^{\circ}$ , цена деления круглого уровня  $10'$ , коэффициент дальномера 100.

В комплект нивелира входят две нивелирные рейки типа РН-10-4000 и штатив типа ШР-120.

#### Поверки и юстировка нивелира Н-3

1. Ось круглого уровня должна быть параллельна оси вращения нивелира.

Нивелиры по точности делятся на три типа: высокоточные для нивелирования I и II классов, точные для нивелирования III и IV классов и технические, предназначенные. Для инженерно-технических работ. По конструкции различают нивелиры, визирная ось которых устанавливается в горизонтальное положение при помощи цилиндрического уровня, и нивелиры с самоустанавливающейся горизонтальной линией визирования. В настоящее время для технического нивелирования применяются точные нивелиры Н-3 и Н-ЗК, технический Н-10КЛ и др (рис. 22).

Нивелир Н-3 имеет следующие части: окуляр 1, корпус трубы 2, коробка цилиндрического уровня 3, мушка для приближенного наведения

Подъемными винтами приводят пузырек круглого уровня в центр кружка на коробке уровня и поворачивают верхнюю часть нивелира вокруг его оси на  $180^\circ$ . Если пузырек останется в центре, то условие выполнено (рис. 23).

В противном случае исправительными винтами уровня перемещают пузырек к центру на половину его отклонения, а подъемными винтами приводят его в нуль-пункт. Для контроля поверку повторяют.

Перед каждой последующей поверкой предварительно приводят по круглому уровню ось нивелира в вертикальное положение. Для этого устанавливают подъемными винтами пузырек круглого уровня в центр кружка. После этого при вращении верхней части нивелира пузырек должен находиться в нуль-пункте.

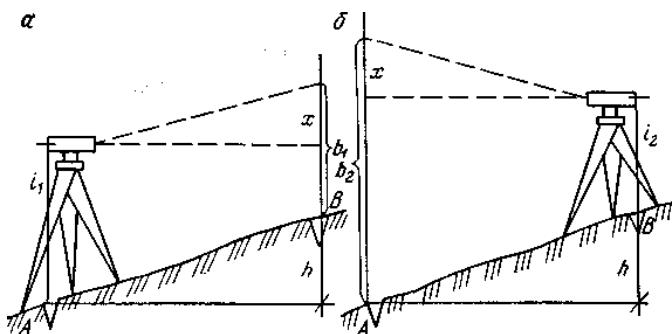


Рис. 23. Схема поверки оси цилиндрического уровня

## 2. Горизонтальная нить сетки должна быть перпендикулярна оси вращения нивелира.

Среднюю нить сетки наводят на ясно видимую точку, расположенную в 25-30 м от нивелира, и наводящим винтом плавно вращают трубу. Нить сетки не должна сходить с выбранной точки. Выполнение этого условия обеспечивается заводом. При несоблюдении условия необходимо ослабить винты, скрепляющие сетку с корпусом трубы, и повернуть сетку в нужную сторону.

## 3. Ось цилиндрического уровня должна быть параллельна визирной оси трубы.

Поверка этого главного геометрического условия производится двойным нивелированием одной и той же линии с разных ее концов. Линия длиной около 50 м закрепляется колышками. Устанавливают нивелир в точке А так, чтобы окуляр находился над колышком, приводят ось вращения нивелира в отвесное положение при помощи круглого уровня и измеряют высоту прибора  $i_1$ . В точке В устанавливают рейку и делают по ней отсчет  $b_1$ , предварительно элевационным винтом приводят пузырек цилиндрического уровня в нуль-пункт, т. е. совмещают две его половинки.

Если визирная ось и ось цилиндрического уровня не параллельны, то в отсчет  $b_1$  войдет ошибка  $x$ . Отсюда следует, что

$$h = i_1 - (b_1 - x)$$

Аналогично устанавливают нивелир в точке В. Измеряют высоту прибора  $i_2$  и делают в точке А отсчет по рейке  $b_2$ . Превышение в этом случае будет

$$h = (b_2 - x) - i_2$$

Решая уравнения  $h = i_1 - (b_1 - x)$  и  $h = (b_2 - x) - i_2$ , получим

$$x = \frac{b_1 + b_2 - i_1 - i_2}{2}$$

Если величина  $x$  не превышает 4 мм, то исправление не проводится. В противном случае при помощи элевационного винта наводят среднюю нить сетки на исправленный отсчет  $b = b_2 - x$  и вертикальными исправительными винтами цилиндрического уровня совмещают изображение концов пузырька уровня. Для контроля поверку повторяют.

## Нивелирные рейки, их устройство и поверки

При техническом нивелировании применяют двухсторонние цельные рейки РН-3 длиной 3000 мм, толщиной 2—3 см, шириной 8—10 см, а также складные рейки длиной 3000-4000 мм.

На одной стороне рейки РН-3 нанесены черной краской (черная сторона) шашечные сантиметровые деления, которые чередуются с белыми, также сантиметровыми делениями; на другой стороне сантиметровые деления нанесены красной краской (красная сторона). На черной стороне нулевой отсчет совпадает с пяткой, на красной стороне с пятками совпадают отсчеты 4687 мм или 4787 мм. Счет делений возрастает от нижнего конца рейки; цифры подписаны через каждый дециметр в перевернутом виде, а в поле зрения трубы их изображение будет прямым. Разность отсчетов по разным сторонам рейки должна быть постоянной, что служит контролем нивелирования на станции (рис. 24).

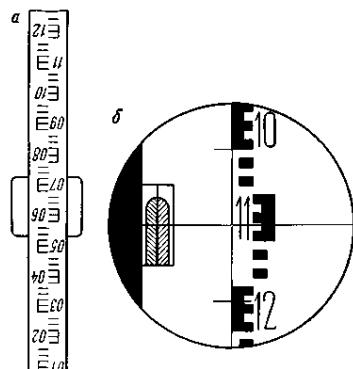


Рис. 24. Нивелирная рейка и  
рейка в поле зрения трубы

Для приведения к ним прикреплен круглый уровень, параллельность оси которого плоскости рейки проверяют по отвесу.

Если уровни отсутствуют, то при визировании на такие рейки их плавно наклоняют вперед и назад вдоль линии визирования. Наименьший отсчет по рейке соответствует ее вертикальному положению. При отсчетах менее 1000 мм рейку устанавливают в вертикальное положение на глаз.

Во время нивелирования рейки устанавливают на деревянные колья, металлические костыли или башмаки. Перед началом работы рейки поверяют при помощи контрольного метра или стальной рулетки с миллиметровыми делениями. Дважды измеряют длины метровых отрезков, а затем дециметровых. Ошибка дециметрового деления не должна превышать 1 мм, а всей длины рейки 2 мм.

Нивелир и рейки нужно содержать в чистоте и оберегать от сотрясений и ударов.

## Влияние кривизны Земли и рефракции на результаты нивелирования.

Если бы визирный луч нивелира совпадал с кривой, параллельной уровенной поверхности, то превышение точки  $B$  над точкой  $A$  было бы равно разности отсчетов по рейкам, т.е.

$$h = a_1 - b_1$$

Но визирный луч идет по прямой, касательной к этой кривой, и в отсчеты по рейкам войдут поправки  $a_1a_2$  и 6162 за кривизну Земли. В действительности визирный луч нивелира вследствие неоднородности воздушной среды пойдет не по прямой, а по кривой, обращенной вогнутостью к уровенной поверхности, и уменьшит эти поправки на  $a_2a_3$  и  $b_2b_3$  за рефракцию. Разности 0,08-0808=0,08 и 6,62-6263 = 6,63 выражают суммарное влияние кривизны Земли и рефракции.

Влияние кривизны Земли  $k = d^2/2R$ , где  $d$  — расстояние от нивелира до рейки;  $R$  — радиус Земли, равный 6371 км. Среднее значение поправки за рефракцию обычно принимается  $r = 0,16k$  или  $r = 0,16d^2/2R$ .

## Контрольные вопросы

- 1) Перечислите виды реек.
  - 2) Расскажите о рейке РН-3.
  - 3) Что называется пяткой рейки?
  - 4) Как влияет кривизна Земли и рефракция на результаты нивелирования?
  - 5) Какие способы различают при геометрическом нивелировании?
  - 6) На каких картах масштаба составляется проект?
  - 7) Что необходимо перед составлением проекта?
  - 8) Что устанавливается в техническом проекте?
  - 9) На какие типы по точности делятся нивелиры?
  - 10) Расскажите о основных частях нивелира Н-3.