

# **Тема: «Определение превышений и отметок точек»**

## **Вопросы лекции:**

- 1. Задачи и виды нивелирования
- 2. Способы геометрического нивелирования
- 3. Классификация нивелиров
- 4. Влияние кривизны Земли и рефракции на результаты нивелирования

## Литература

- 1. Кузнецов О.Ф. Основы геодезии и топография местности : учебное пособие / О.Ф. Кузнецов. — М. : Инфра-Инженерия, 2014. — 286 с.
- [2.Поклад Г.Г.](#) Геодезия: учебное пособие для вузов / Г. Г. Поклад, С. П. Гриднев. - 3-е изд., перераб. и доп. - Москва: Академический Проект: Парадигма, 2013. - 538
- 3. Симонян В.В. Геодезия : сборник задач и упражнений / В.В. Симонян, О.Ф. Кузнецов. — Электрон. текстовые данные. — М. : Московский государственный строительный университет, ЭБС АСВ, 2015. — 160 с.

**Нивелированием** называется совокупность геодезических измерений, выполняемых для определения **превышений** между точками физической поверхности Земли или их высот относительно принятой отсчетной поверхности.

**Виды нивелирования, используемые в настоящее время:**

- геометрическое;
- тригонометрическое;
- стереофотограмметрическое;
- физическое (лазерное, барометрическое, гидростатическое, аэронивелирование)
- определение отметок с применением приемников ГЛОНАСС и GPS.

## **В зависимости от применяемых приборов и измеряемых величин нивелирование делится на несколько видов**

- 1. Геометрическое нивелирование** – определение превышения одной точки над другой посредством горизонтального визирного луча. Осуществляют его обычно с помощью нивелиров, но можно использовать и другие приборы, позволяющие получать горизонтальный луч.
- 2. Тригонометрическое нивелирование** – определение превышений с помощью наклонного визирного луча. Превышение при этом определяют как функцию измеренного расстояния и угла наклона, для измерения которых используют соответствующие геодезические приборы (тахеометр, кипрегель).
- 3. Барометрическое нивелирование** – в его основу положена зависимость между атмосферным давлением и высотой точек на местности.

4. **Гидростатическое нивелирование** – определение превышений основывается на свойстве жидкости в сообщающихся сосудах всегда находиться на одном уровне, независимо от высоты точек, на которых установлены сосуды.

5. **Аэрорадионивелирование** - превышения определяются путем измерения высот полета летательного аппарата радиовысотомером.

6. **Механическое нивелирование** - выполняется с помощью приборов, устанавливаемых в путеизмерительных вагонах, тележках, автомобилях, которые при движении вычерчивают профиль пройденного пути. Такие приборы называются профилографы.

7. **Стереофотограмметрическое нивелирование** основано на определении превышения по паре фотоснимков одной и той же местности, полученных из двух точек базиса фотографирования.

8. **Определение превышений по результатам спутниковых измерений.** Использование спутниковой системы ГЛОНАСС – Глобальная Навигационная Спутниковая Система позволяет определять пространственные координаты точек.

Геометрическое нивелирование независимо от способа его выполнения может быть *простым и последовательным*.

Если превышение между двумя точками местности получают в результате одной установки нивелира (с одной станции), то такое нивелирование называется *простым*.

Превышение на станции вычисляют по формуле:

$$h = a - b.$$

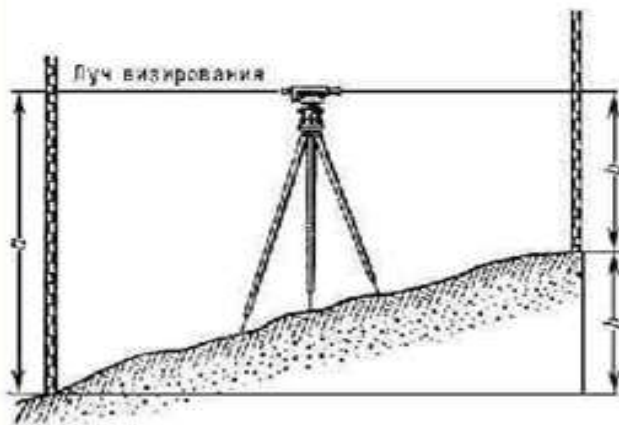


Рис.1

Станция – установка нивелира.



### 3. Определение превышений нивелиром

Превышение точек относительно уровня Балтийского моря, выраженное в миллиметрах, называют *абсолютной отметкой*. Высоту точек сооружения относительно уровня пола первого этажа, выраженную в миллиметрах, называют *условной отметкой*.



- Существуют способы нивелирования из середины и вперед. Простое нивелирование способом из середины является самым распространенным и самым надежным. Визирная ось лежит в горизонтальной плоскости, которая отсекает на рейках отсчеты на задней рейке З и на передней рейке П.
- Превышение вычисляют по формуле  $h = З - П$ .

## Способы нивелирования

### 1. Способ вперед



Превышение равно

$$h = i - b$$

Тогда высота точки **B** равна

$$H_B = H_A + h = H_A + i - b$$

**Горизонт прибора** – это высота визирного луча нивелира над уровенной поверхностью.

$$ГП = H_A + i$$

Отсюда получаем

$$H_B = ГП - b$$

- Обычно в качестве задней точки выбирают исходный репер с известной отметкой  $H$ .
- Тогда отметка передней точки определится по формуле  $H_B = H_A + h$ .
- Знак  $-$  в превышении говорит о том, что передняя точка  $B$  ниже чем задняя  $A$  (знак  $+$  означает, что передняя точка выше задней).
- Следует помнить, что отсчеты по рейке всегда записывают в миллиметрах, а отметки точек  $H$  считают в метрах.
- Взять отсчет по рейке — означает отсчитать число делений рейки от ее основания (пятки) до горизонтальной визирной оси.

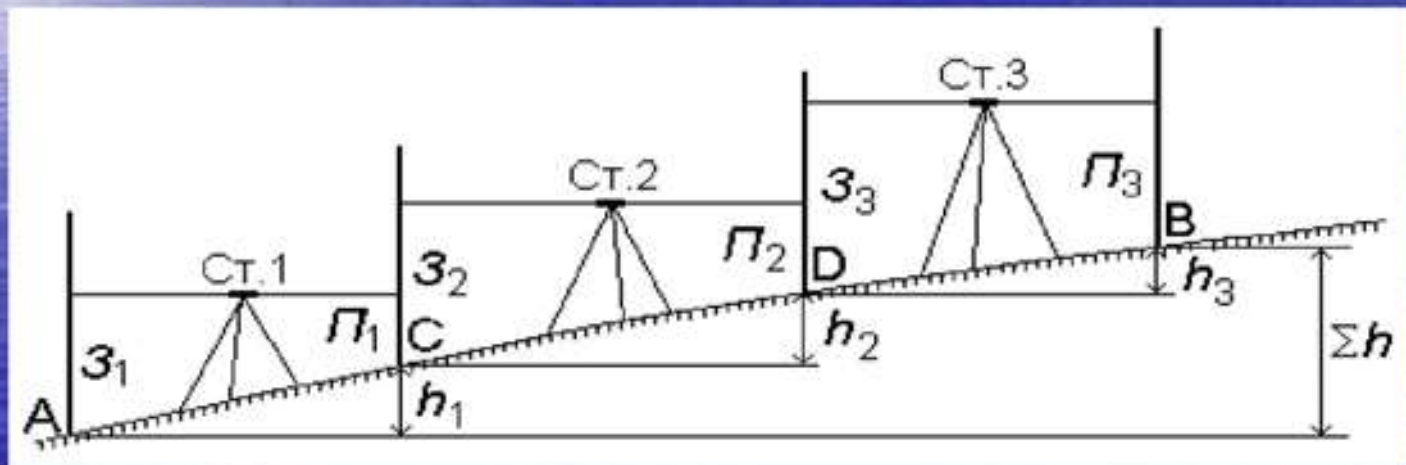
- Пусть задняя точка А является исходной с известной отметкой  $H=201,100$  м.
- Тогда превышение между точками определится:  $h = 1369 \text{ мм} - 1522 \text{ мм} = -153 \text{ мм} = -0,153 \text{ м}$ .
- Отметка точки НВ  $= 201,100 \text{ м} + (-0,153 \text{ м}) = 200,947 \text{ м}$ .
- Станции, следующие друг за другом, образуют ломаную линию, называемую **нивелирным ходом**.
- В этом случае нивелирование считают сложным. Сложное нивелирование служит для определения превышений точек, расположенных на значительном удалении.

Место установки нивелира называется станцией.

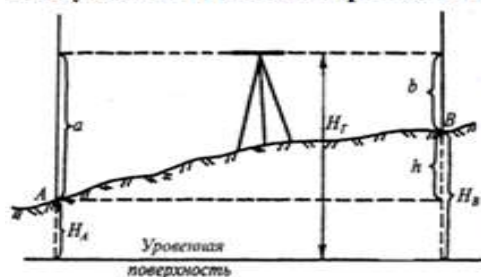
Если для определения превышения между точками А и В достаточно установить прибор один раз, то такой случай называется простым нивелированием.

Если превышение между точками определяют после нескольких установок нивелира, такое нивелирование называют сложным или последовательным.

Такую схему нивелирования называют нивелирным ходом.



### 13. Сущность и виды геометрического нивелирования.



Метод определения высот точек местности и превышений между ними называется нивелированием. Различают геометрическое, тригонометрическое, барометрическое, механическое и гидростатическое нивелирование. Геометрическое нивелирование - это нивелирование горизонтальным лучом визирования. Сущность геометрического нивелирования сводится к определению превышения точки В над точкой А. (Нивелирование выполняется на небольших участках земной поверхности, поэтому у.п. можно принять за плоскость) (рис) горизонтальным лучом визирования, используя нивелир и рейки. Нивелир - геодезический прибор, у которого в момент отсчета по рейке визирная ось устанавливается в горизонтальное положение. Пусть при наведении зрительной

трубы на рейку, установленную в точке А, получим отсчет по рейке  $a$ , а при визировании на рейку в точку В - отсчет  $b$ ; тогда искомое превышение  $h = a - b$ .

Если условно принять точку А задней, а точку В передней, то превышение равно взгляд назад минус взгляд вперед. Если высота точки А над уровенной поверхностью известна и равна  $H_A$ , то высоту точки В легко определить по формуле:  $H_B = H_A + h$ . То есть высота последующей точки хода равна высоте предыдущей плюс превышение.

Высота горизонта прибора  $H_c = H_A + a$

или  $H_c = H_B + b$ . Т.е. высота горизонта прибора равна высоте точки плюс отсчет по рейке, установленной в этой точке. Различают следующие способы геометрического нивелирования: нивелирование «из середины», нивелирование «вперед» и сложное (последовательное) нивелирование. Основным способом геометрического нивелирования является нивелирование «из середины» (см. рис.73), когда превышение определяют по формуле  $h = a - b$ .

В способе нивелирования «вперед» (рис 74) превышение определяется по формуле  $h = i - b$ . Способ нивелирования «вперед» применяется реже, чем способ нивелирования «из

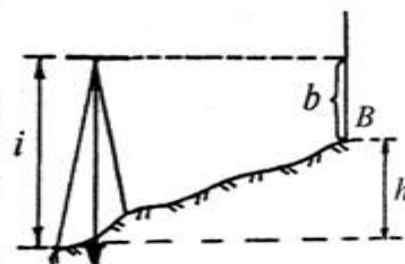


Рис. 74. Схема нивелирования «вперед»

середины» (в основном при выносе высот точек в натуру). При нивелировании «вперед» трудно измерять высоту прибора с необходимой точностью и темпы работ значительно снижаются. Кроме того, при нивелировании «вперед» (как будет доказано далее) необходимо учитывать влияние кривизны Земли и вертикальной рефракции (влияние искривления визирного луча в вертикальной плоскости из-за неодинаковой плотности слоев атмосферы).

Когда требуется определить разность высот  $h_{AB}$  между удаленными друг от друга точками А и В, применяют последовательное (сложное) нивелирование (рис. 75).

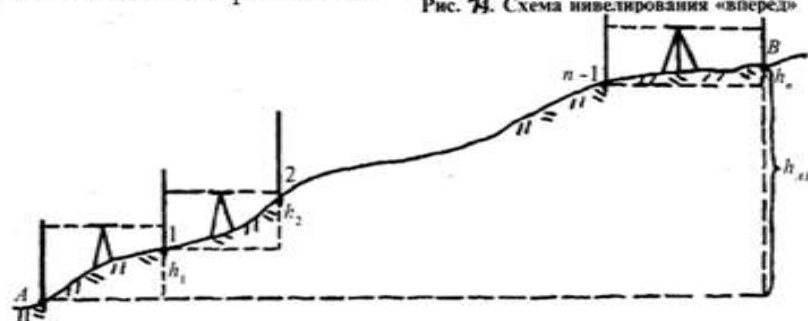


Рис. 75. Схема сложного нивелирования



Превышения вычисляют по формулам:

$$h_1 = a_1 - b_1;$$

$$h_2 = a_2 - b_2;$$

$$h_3 = a_3 - b_3;$$

Превышение между конечными точками хода  $A$  и  $B$  равно сумме вычисленных превышений:

$$h_{AB} = h_1 + h_2 + h_3,$$



## Журнал нивелирования

№ станц ии	Нивелируе мые точки	Отсчеты по рейкам, мм			Превышения, мм				ГН м	Условн. отметки, м
		задние <i>a</i>	передние <i>b</i>	промежу- точные <i>c</i>	<i>h<sub>ч</sub></i>	<i>h<sub>кр</sub></i>	<i>h<sub>ср</sub></i>	<i>h<sub>исп</sub></i>		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
I	Репер 31	1139 5388			+0355	+0353	+3 +0354	+357		148.735
	ПК 0		0784 5035							149.092
II	ПК 0	0386 4635					+3			149.092
	ПК 1			1785	-1788	-1789	-1788	-1785	149.478	147.693
	ПК 2			2147						147.331
	ПК 3		2174 6424							147.307

$$h_{\text{ч}} = a_{\text{ч}} - b_{\text{ч}}$$

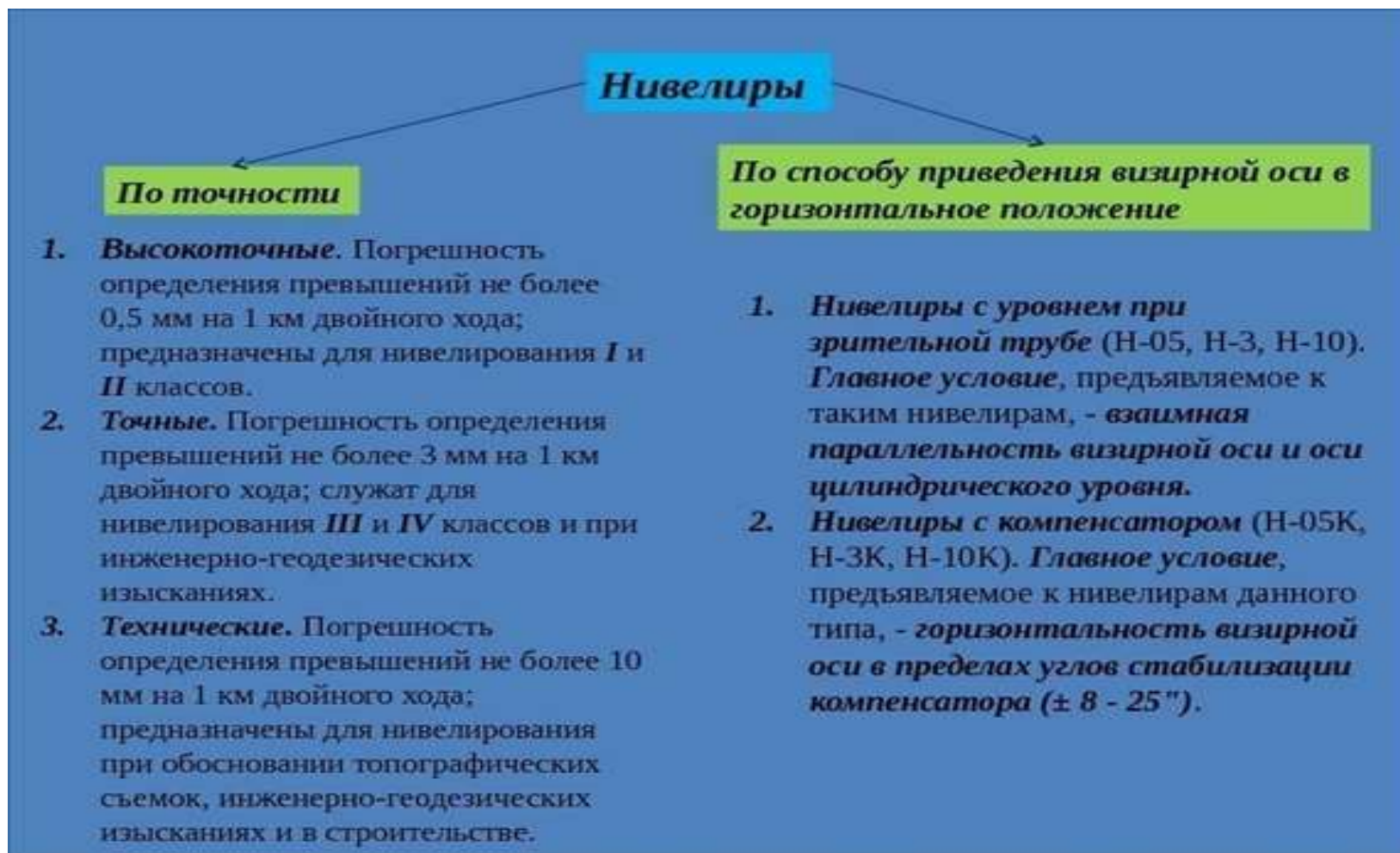
$$h_{\text{кр}} = a_{\text{кр}} - b_{\text{кр}}$$

$$h_{\text{ср}} = (h_{\text{ч}} + h_{\text{кр}})/2.$$

$$H_{\text{пер}} = H_{\text{зад}} + h_{\text{пер}}$$

MyShared

**Нивелиром** называют прибор для определения превышений методом геометрического нивелирования с помощью визирного луча и двух вертикальных реек с делениями.



## Классификация нивелиров

По конструкции нивелиры подразделяются на **уровенные** с цилиндрическим уровнем при трубе и нивелиры **с компенсатором**, для автоматического приведения визирной оси в горизонтальное положение при небольших наклонах нивелира.

### Маркировка приборов

Если нивелир оснащен компенсатором, то в обозначении отечественного нивелира добавляется буква **К**.

Если после буквы **К** стоит буква **Л** это указывает на наличие горизонтального лимба у данного нивелира.

**4 Н – 3 К Л**

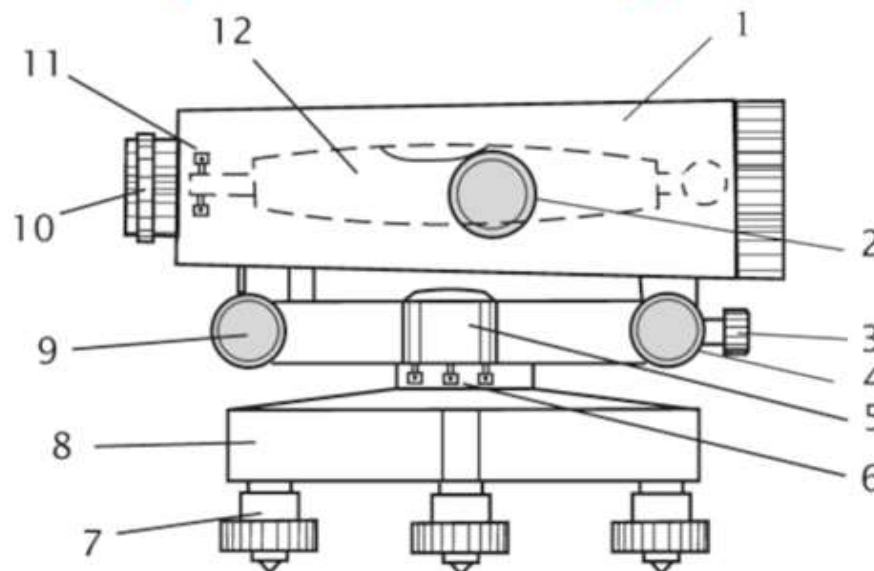


**3Н – 5 Л**





## Устройство нивелира Н-3.



1 – зрительная труба; 2 – фокусирующий винт зрительной трубы; 3, 4 – закрепительный и наводящий винты; 5 – круглый уровень; 6 – исправительные винты круглого уровня; 7 – подъемные винты; 8 – подставка; 9 – элевационный винт; 10 – окуляр с диоптрийным кольцом для фокусировки трубы по глазу; 11 – исправительные винты цилиндрического уровня; 12 – цилиндрический уровень.

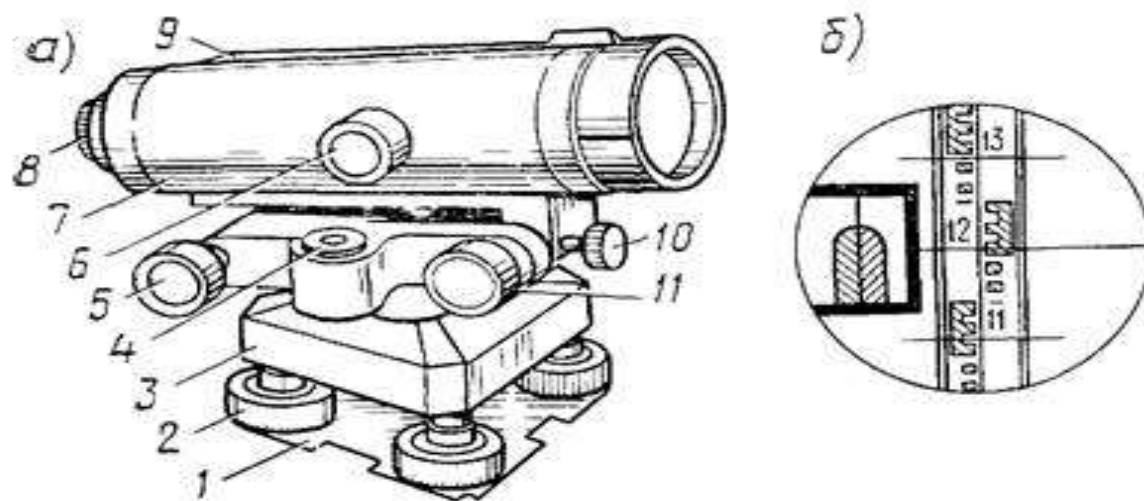


Рис. 85. Нивелир Н-3 (а) и поле зрения трубы (б):

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



- **Основные оси нивелира:**  $UU$  – ось цилиндрического уровня;  $WW$  – визирная ось;  $U'U'$  – ось круглого уровня;  $\Pi$  – ось инструмента

**Основные геометрические оси нивелира должны соответствовать следующим соотношениям:**

- $UU$  должна быть параллельной визирной оси  $WW$  (поверка главного условия нивелира, т.е. поверка угла  $i$ ).
- $U'U'$  должна быть параллельной оси инструмента  $\Pi$  (поверка круглого уровня).
- Осью круглого уровня называют нормаль к поверхности ампулы в точке касания центра пузырька с поверхностью.

# Влияние кривизны Земли и рефракции на результаты нивелирования

## Влияние кривизны Земли и рефракции на результаты геометрического нивелирования

Под **рефракцией** понимается преломление световых лучей в земной атмосфере вследствие различной плотности воздуха.

### РЕФРАКЦИЯ

#### Вертикальная

Проявляется при различных видах нивелирования:

- тригонометрическом (земная  $P$ .);
- геометрическом (нивелирная  $P$ .);
- при аэрофотосъёмке (фотограмметрическая  $P$ .);
- при наблюдениях ИСЗ (спутниковая  $P$ .).

#### Горизонтальная

Горизонтальная (боковая)  $P$ . на один-два порядка меньше, чем вертикальная, и сопутствует всем видам  $P$ .; она непосредственно влияет на результаты измерения горизонтальных углов и триангуляции, полигонометрии и астрономических наблюдений азимутов.



При выводе формул для способов нивелирования из середины и вперед принято, что уровенная поверхность является плоскостью, визирный луч прямолинеен и горизонтален, рейки, установленные в точках, параллельны между собой.

На самом деле уровенная поверхность не является плоскостью и рейки, установленные в точках А и В перпендикулярно поверхности, не параллельны между собой, следовательно отсчеты З и П преувеличены на величину поправок за кривизну Земли .

Поправки за кривизну Земли равны:

$$K_1 = \frac{S_1^2}{2R} \text{ и } K_2 = \frac{S_2^2}{2R},$$

$S_1, S_2$  - расстояние от нивелира до реек;

$R$  – радиус Земли.

Известно, что луч света распространяется прямолинейно лишь в однородной среде. В реальной атмосфере, плотность которой увеличивается по мере приближения к поверхности Земли, луч света идет по некоторой кривой, которая называется рефракционной кривой.

Следовательно превышение между точками А и В с учётом поправок за кривизну Земли и рефракцию равно

$$h = (З - f_1) - (П - f_2) = З - f_1 - П + f_2 = З - П + (f_2 - f_1),$$
$$h = З - П + 0.43 \frac{S_2^2 - S_1^2}{R}.$$

- где  $f_1$  и  $f_2$  – поправки за кривизну Земли

Необходимость учета поправки зависит от требуемой точности измерений.

Из формулы следует, что при равенстве расстояний от нивелира до реек и примерно одинаковых условиях можно считать, что  $f_1 = f_2$  и  $h = З - П$ .

Таким образом, при нивелировании из середины с соблюдением равенства плеч влияние кривизны Земли и рефракции практически устраняется.