

Геометрическое нивелирование

Нивелирование — совокупность измерений на местности, в результате которых определяют превышения между точками местности с последующим вычислением их высот относительно принятой исходной поверхности.

Футишок – уровнемер в виде рейки (бруса) с делениями, установленный на водомерном посту для наблюдения и точного определения уровня воды в море, реке или озере.

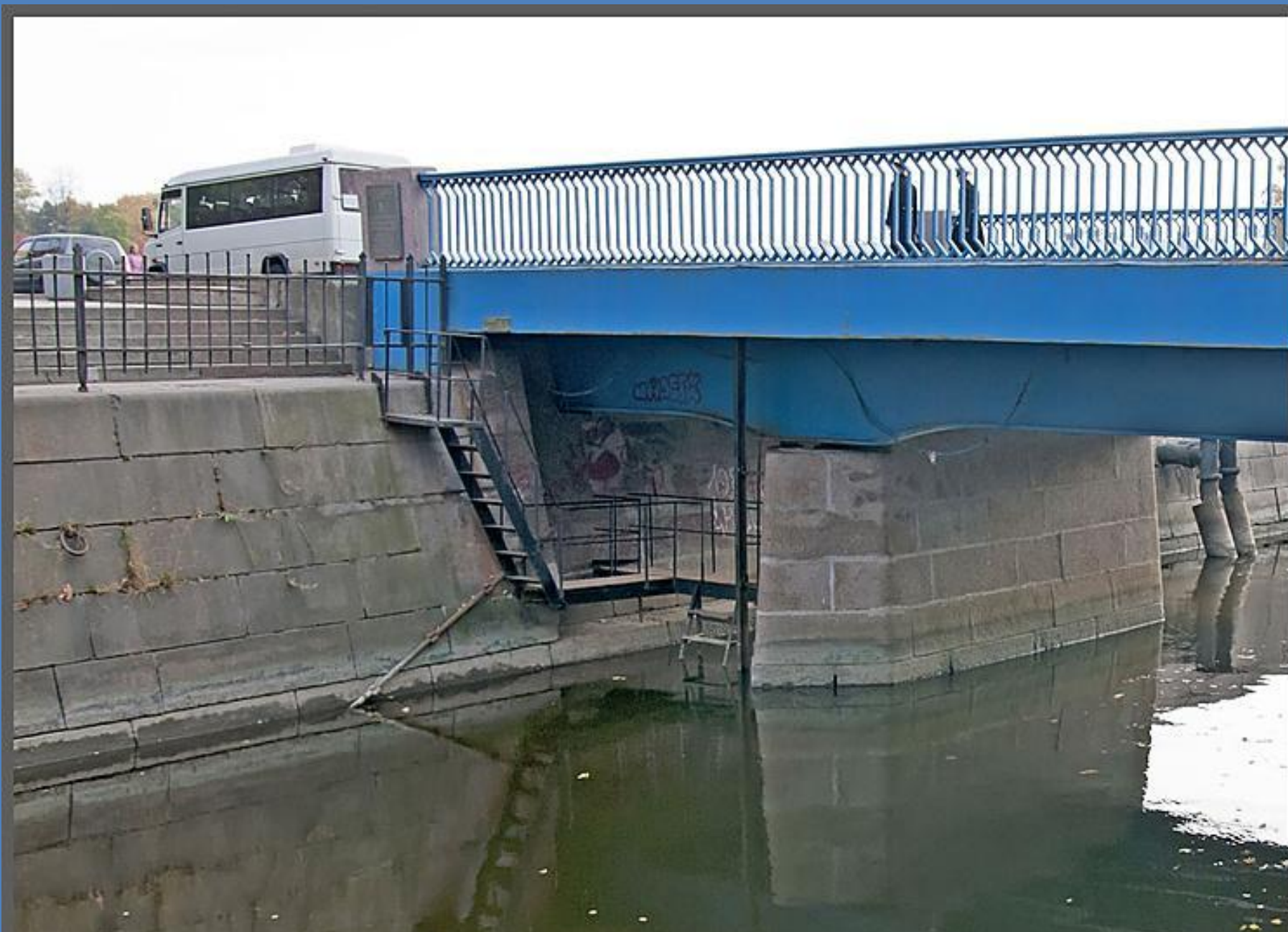


Рис. 1 Синий мост через Обводной канал



Рис. 2 Кронштадтский
футшток

1703 г. Санкт-Петербург - первый футшок

1707г. о-в Котлин – первая футшточная служба

1825 – 1839 гг. Русский гидрограф Михаил Францевич Рейнеке вывел средний уровень моря для нескольких мест Финского залива. Предложил совместить средний уровень моря с нулями футштоков.

1840 г. На граните были выбиты горизонтальные метки. Это нововведение позволяло производить наблюдения за уровнем моря от одной нулевой отметки.

1871 - 1904 гг. Астроном Виктор Егорович Фус осуществил нивелирную связь нуля Кронштадтского футштока с марками на материке. Фусу принадлежит большая заслуга в решении вопроса об основном нуле высот России.

1886 г. Астроном-геодезист Федор Федорович Витрам на месте нулевой метки вделал в камень медную пластину с горизонтальной чертой, которая и представляет нуль Кронштадтского футштока.

1898 г. Установлен мареограф — прибор, постоянно регистрирующий уровень воды в колодце относительно нуля футштока. Самописец мареографа беспристрастно фиксирует колебания моря, отмечая и отливы, и наводнения.



FotosergS.ya.ru 2010

Рис. 3 Будка мареографа

1913 г. Заведующий инструментальной камерой Кронштадтского порта Христофор Францевич Тонберг установил новую пластину с горизонтальной чертой, которая и служит до настоящего времени исходным пунктом всей нивелирной сети России.



Рис. 4 Нуль Кронштадтского футштока

Методы нивелирования

1. Геометрическое нивелирование

2. Тригонометрическое нивелирование

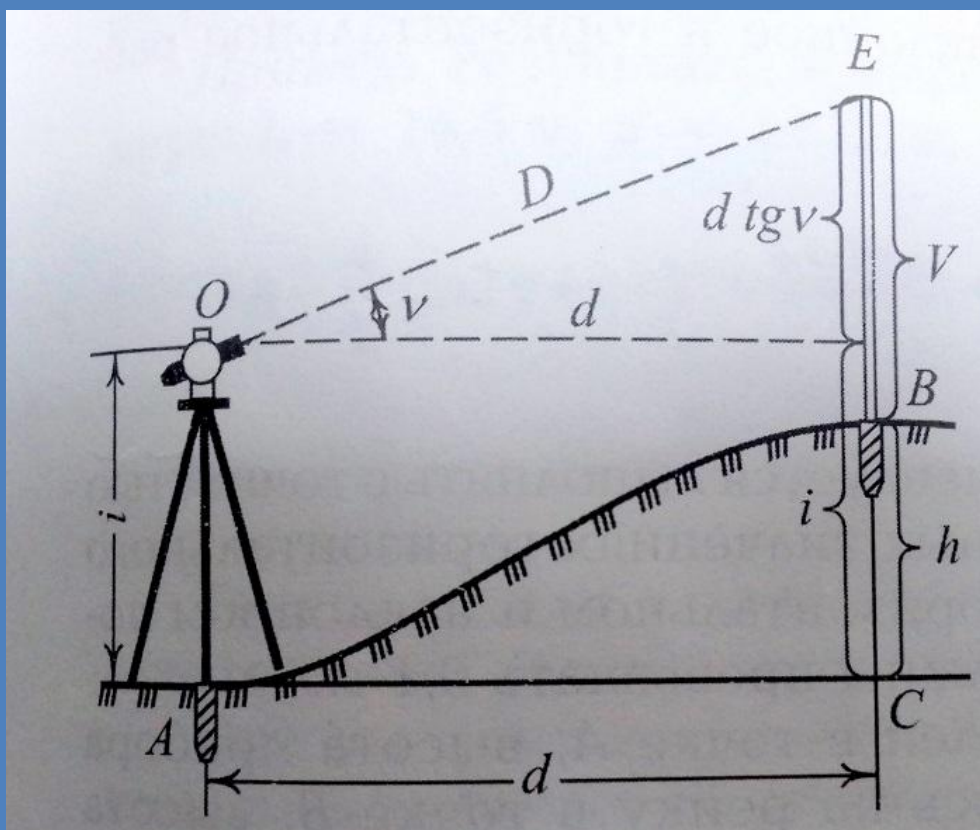


Рис. 5. Схема тригонометрического нивелирования

Превышение между точками равно

$$h = d \operatorname{tg} v + i - V,$$

где d – горизонтальная проекция расстояния м/у нивелиром и вехой; v – вертикальный угол; i – высота прибора; V – высота вехи.

Если расстояние измерено нитяным дальномером, то превышение между точками определится как

$$h = \frac{L}{2} \sin 2v + i - V,$$

где $L = Kn$ – дальномерное расстояние.

3. Барометрическое нивелирование

4. Гидростатическое нивелирование

5. Радиолокационное нивелирование

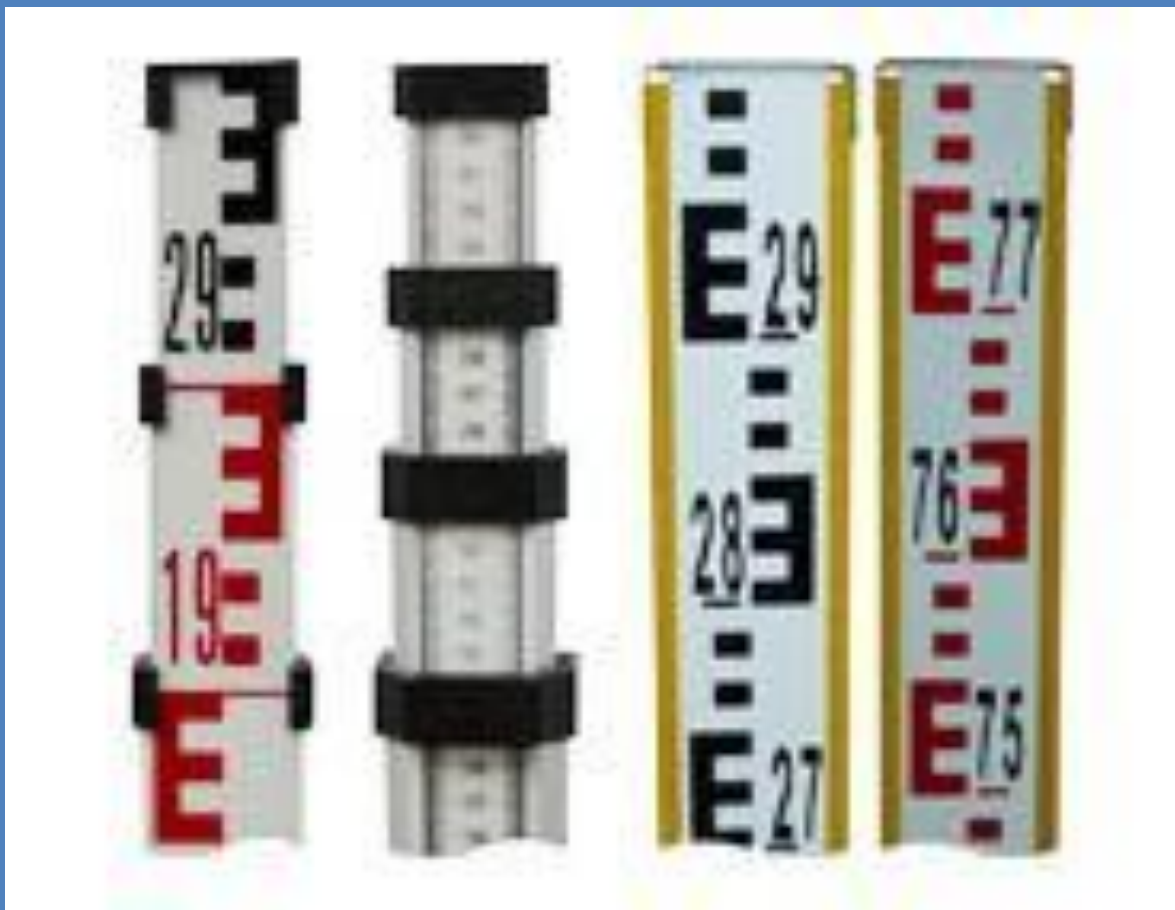
6. Механическое нивелирование

Геометрическое нивелирование



Нивелир (от фр. niveau - уровень) - это геодезический инструмент для нивелирования, т.е. определения разности высот между несколькими точками земной поверхности.

Рис. 6. Нивелир



Нивелирная рейка - проградуированная рейка для измерения разности в уровнях с помощью нивелира или другого геодезического оборудования.

Рис. 7. Нивелирные рейки

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.

$$\text{ГП} = H_A + i$$

Отсюда получаем

$$H_B = \text{ГП} - b$$

2. Способ из середины



Превышение точки B над точкой A равно

$$h = a - b,$$

т.е. при нивелировании из середины превышение равно отсчет по задней рейке минус отсчет по передней рейке («**взгляд назад**» минус «**взгляд вперед**»).

Высота точки B равна

$$N_B = N_A + h \text{ или } N_B = N_A + a - b.$$

Величина $N_A + a = N_B + b = \text{ГП}$,

т.е. представляет собой горизонт прибора.

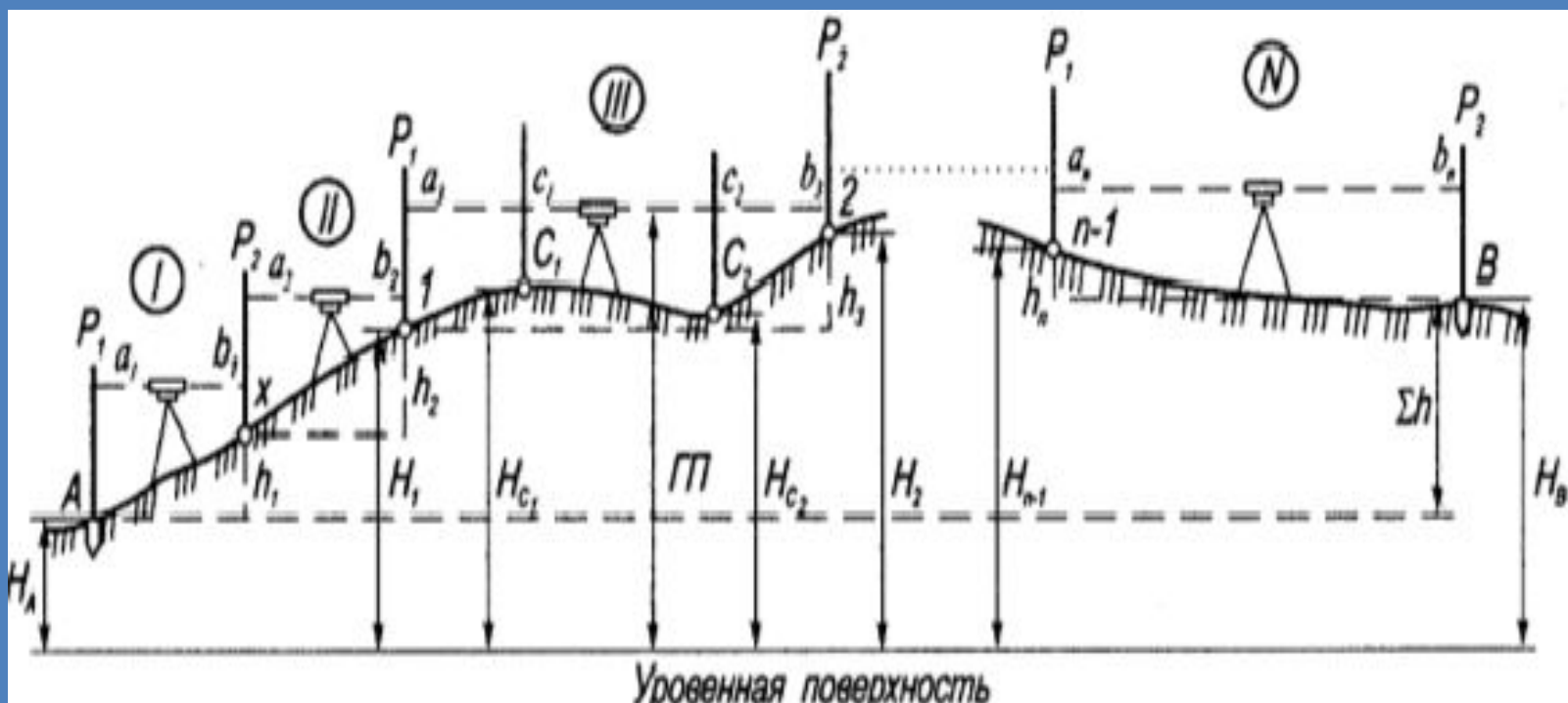
Отсюда $N_B = \text{ГП} - b.$

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



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

Если нивелирование выполняют с целью передачи отметок на значительное расстояние либо построения профиля местности, то оно проводится с нескольких станций; такое нивелирование называется **последовательным** или **сложным**.



Точки $x, 1, 2, \dots, n - 1$, являющиеся общими для двух смежных станций, называются **связующими**. Точки установки рейки, расположенные между связующими точками, называются **промежуточными** (например, точки C_1, C_2); они служат обычно для получения отметок характерных точек рельефа.

Отдельные превышения определяются как:

$$h_1 = a_1 - b_1; \quad h_2 = a_2 - b_2; \quad \dots; \quad h_n = a_n - b_n.$$

Общее превышение между точками *A* и *B* будет равно алгебраической сумме превышений:

$$h_{AB} = \sum_{i=1}^n h_i = \sum_{i=1}^n a_i - \sum_{i=1}^n b_i$$

Если требуется определить отметку только конечной точки хода, то ее вычисляют по формуле:

$$H_B = H_A + h_{AB} = H_A + \sum_{i=1}^n h_i$$

Влияние кривизны Земли и рефракции на результаты геометрического нивелирования

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



Проявляется при различных видах нивелирования:

- тригонометрическом (*земная Р.*);
- геометрическом (*нивелирная Р.*);
- при аэрофотосъёмке (*фотограмметрическая Р.*);
- при наблюдениях ИСЗ (*спутниковая Р.*).

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

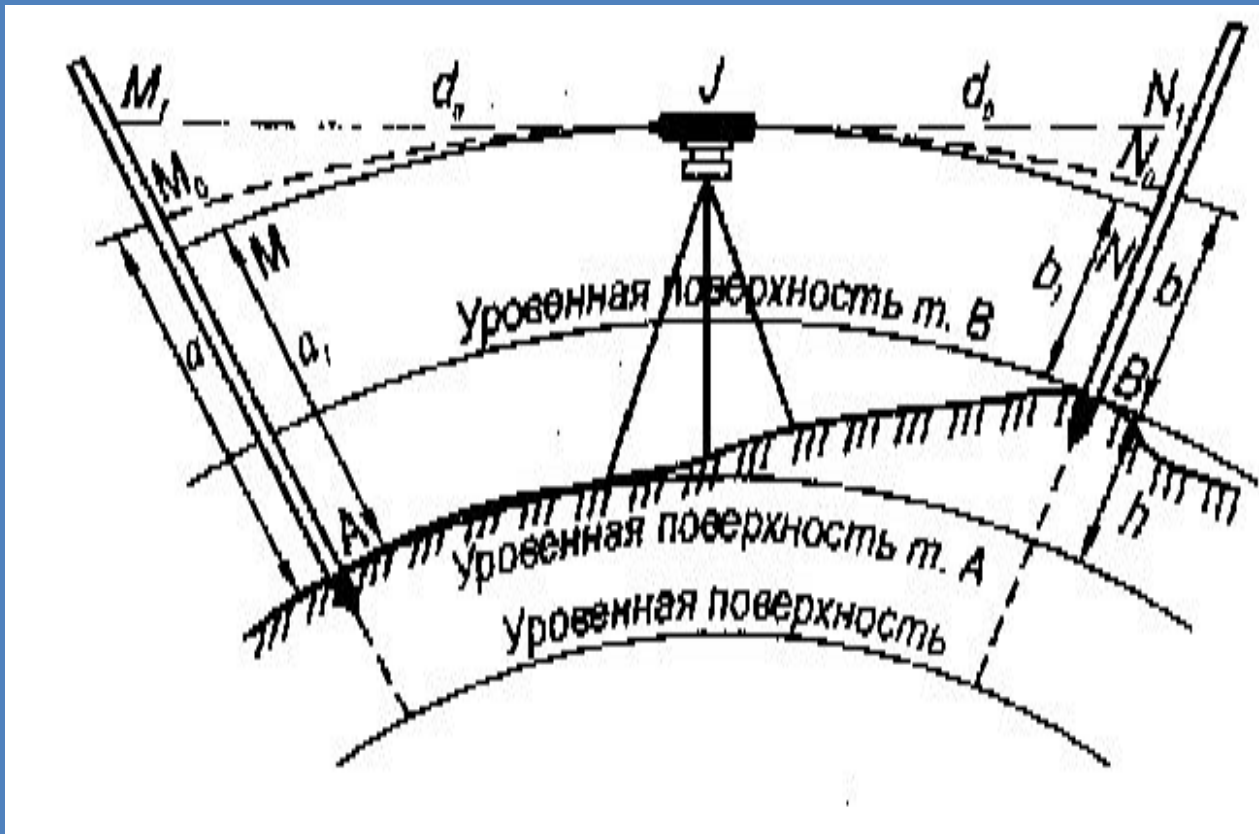


Рис. 12. Зависимость результатов геометрического нивелирования от кривизны Земли и рефракции

При условии совпадения визирного луча MJN с кривой, параллельной уровенной поверхности, превышение точки B над точкой A будет

$$h = a_1 - b_1$$

В случае прямолинейного распространения визирного луча превышение будет

$$H = (a_1 + MM_1) - (b_1 + NN_1),$$

где $MM_1 = k_1$, $NN_1 = k_2$ – поправки за кривизну

Земли, вычисляемые по формуле

$$k = \frac{d^2}{2R}$$

где d – длина визирного луча от нивелира до рейки; R – радиус Земли равный 6371 км.

Вследствие **рефракции** визирный луч за счет преломления пройдет по кривой M_0JN_0 , обращенной вогнутостью к поверхности Земли. Поэтому в отсчеты по рейкам следует внести **поправки за рефракцию**, которые рассчитываются по приближенной формуле

$$r = \frac{d^2}{14R}.$$

Поправка в отсчет по рейке за совместное влияние кривизны Земли и рефракции будет

$$f = k - r = \frac{d^2}{2R} - \frac{d^2}{14R} = 0,43 \times \frac{d^2}{R}.$$

Тогда превышение точки B над точкой A запишется:

$$h = (a - f_a) - (b - f_b) \text{ или } h = (a - b) - (f_a - f_b),$$

где f_a, f_b – поправки в отсчеты по рейкам за кривизну Земли и рефракцию; a, b – отсчеты по рейкам в точках A и B .

Если при нивелировании из середины нивелир установлен на равных расстояниях от реек, т.е. $d_a = d_b$, то $f_a = f_b$; тогда

$$h = a - b$$

Нивелиры

По точности

1. **Высокоточные.** Погрешность определения превышений не более 0,5 мм на 1 км двойного хода; предназначены для нивелирования *I* и *II* классов.
2. **Точные.** Погрешность определения превышений не более 3 мм на 1 км двойного хода; служат для нивелирования *III* и *IV* классов и при инженерно-геодезических изысканиях.
3. **Технические.** Погрешность определения превышений не более 10 мм на 1 км двойного хода; предназначены для нивелирования при обосновании топографических съемок, инженерно-геодезических изысканиях и в строительстве.

По способу приведения визирной оси в горизонтальное положение

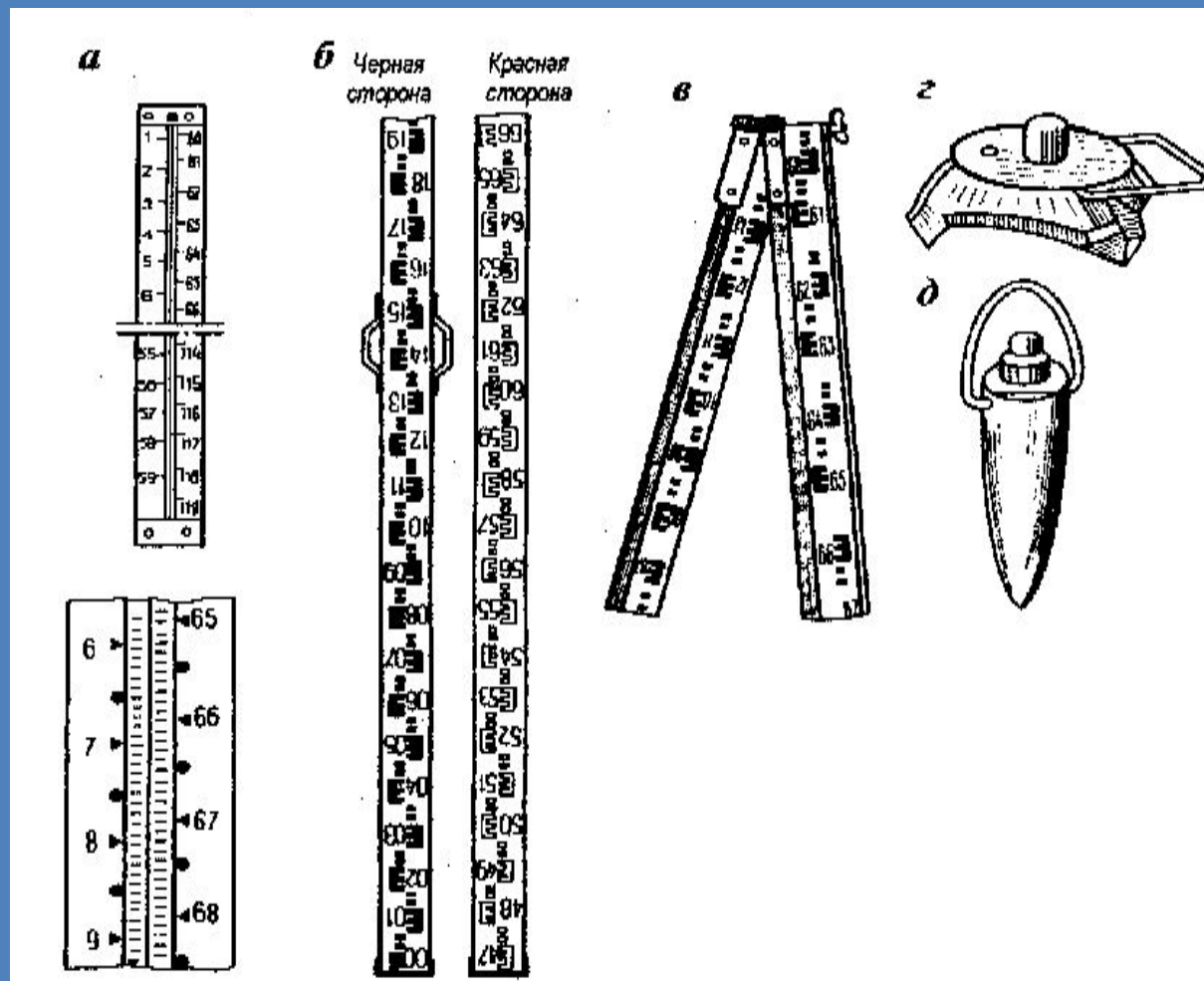
1. **Нивелиры с уровнем при зрительной трубе** (Н-05, Н-3, Н-10). **Главное условие**, предъявляемое к таким нивелирам, - **взаимная параллельность визирной оси и оси цилиндрического уровня**.
2. **Нивелиры с компенсатором** (Н-05К, Н-3К, Н-10К). **Главное условие**, предъявляемое к нивелирам данного типа, - **горизонтальность визирной оси в пределах углов стабилизации компенсатора ($\pm 8 - 25''$)**.

Нивелирные рейки

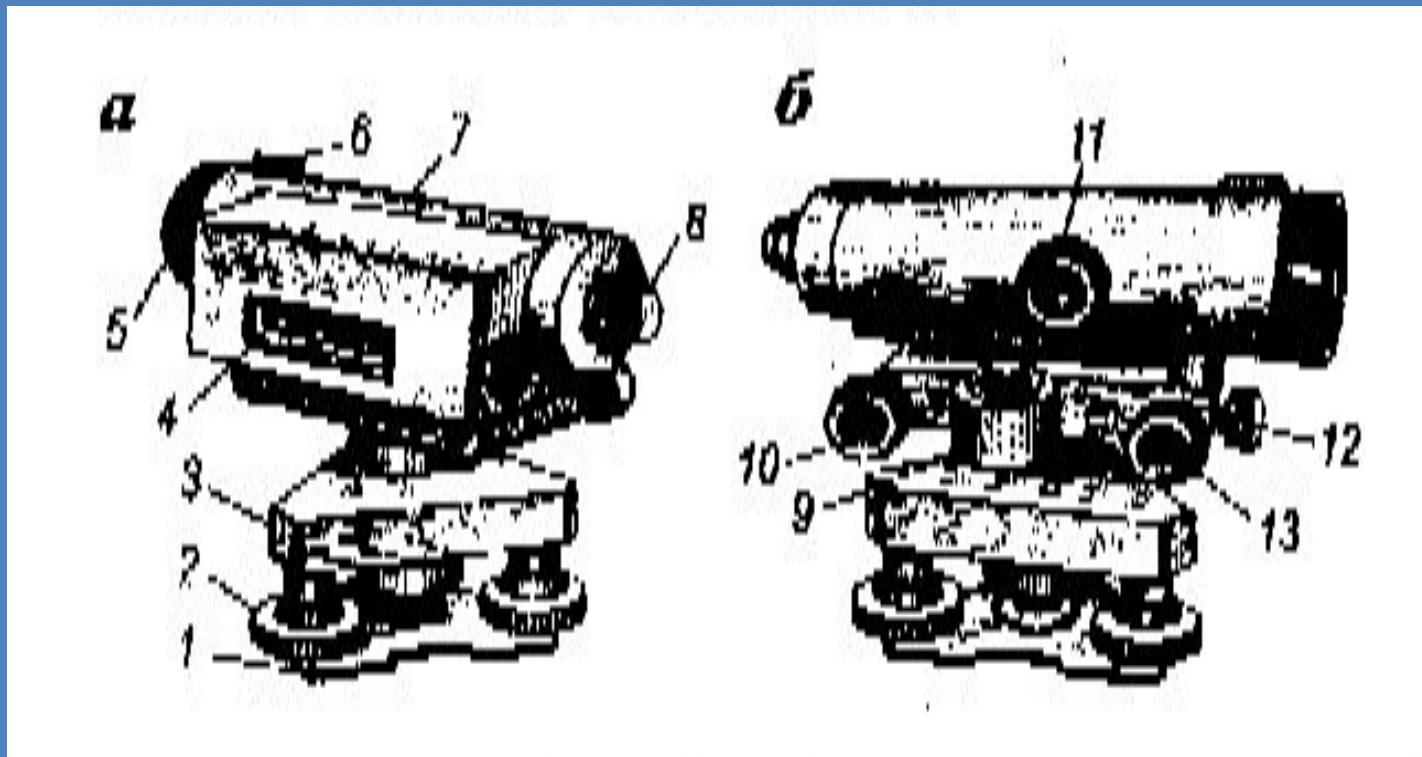
*Односторонние
штриховые инварные
рейки. Нивелирование I
и II классов*

*Двухсторонние
шашечные рейки.
Нивелирование III и IV
классов*

*Двухсторонние складные
шашечные рейки.
Техническое нивелирование*



Нивелиры с уровнем при трубе

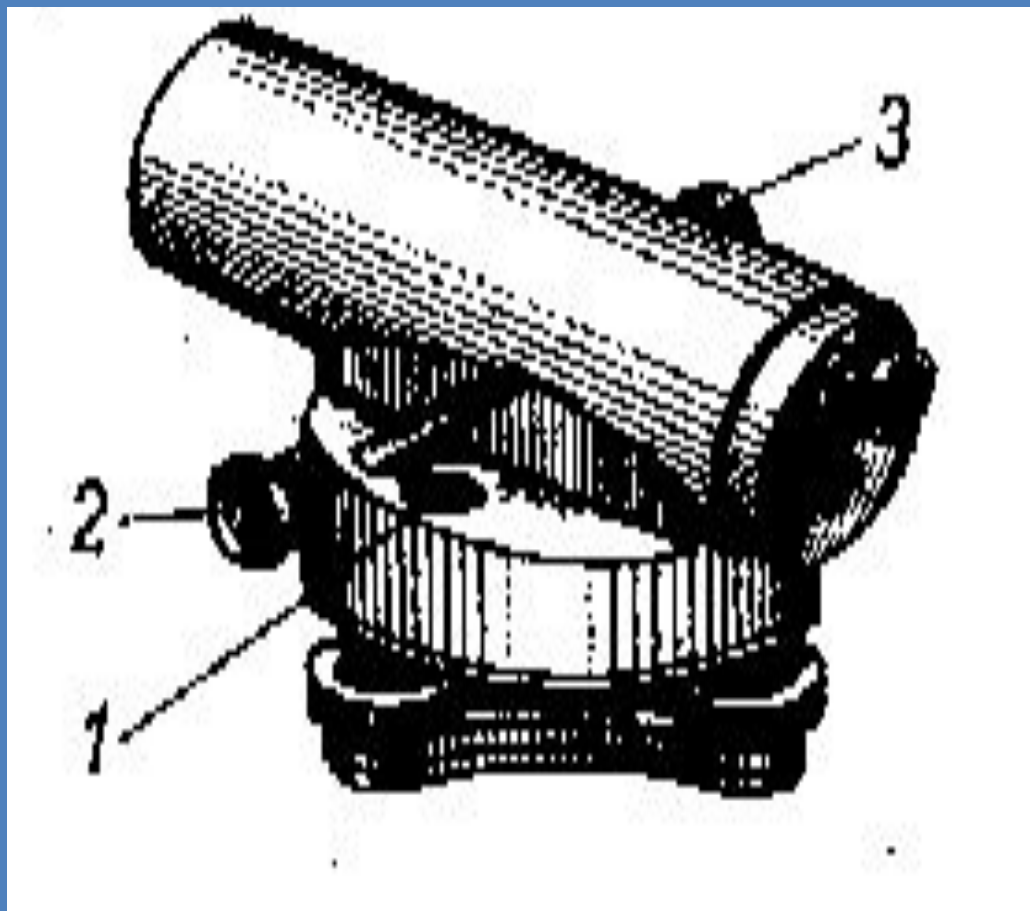


Точный нивелир Н-3: а - вид слева; б – вид справа

Состоит из:

1 – пружинящая пластина; 2 – подъемные винты; 3 – подставка; 4 – цилиндрический уровень; 5 – объектив; 6 – мушка; 7 – зрительная труба; 8 – окуляр; 9 – круглый уровень; 10 – элевационный винт; 11 – кремальера; 12 – закрепительный винт; 13 – наводящий винт.

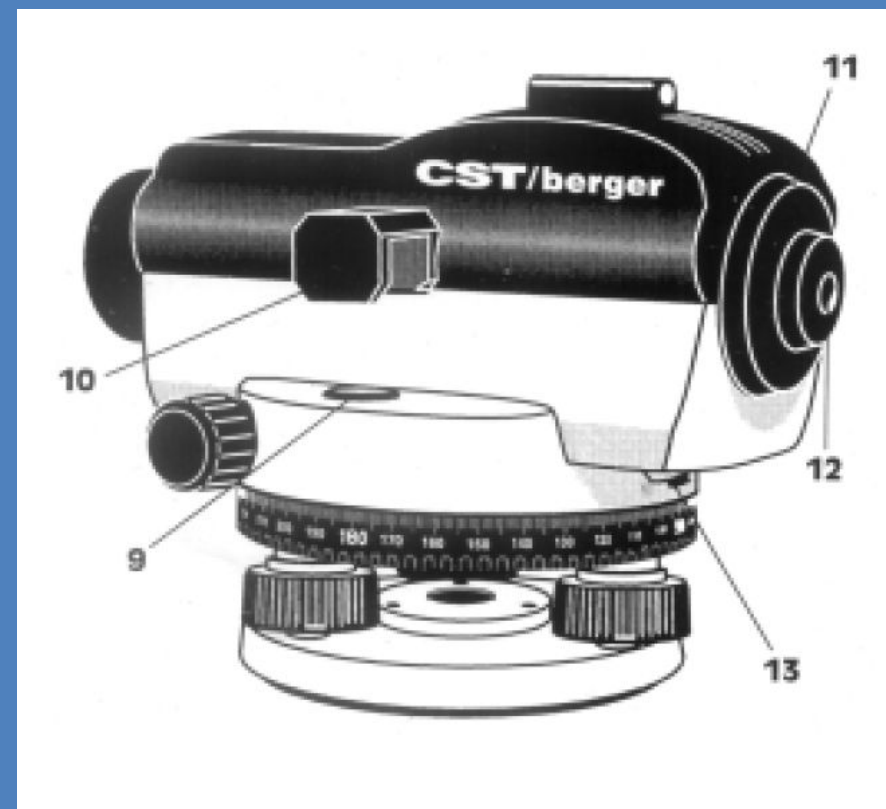
Нивелиры с компенсаторами



Точный нивелир Н-3К

1 – круглый уровень; 2 – бесконечный наводящий винт; 3 – кремальера.

Точный нивелир CST/berger серии SAL24N

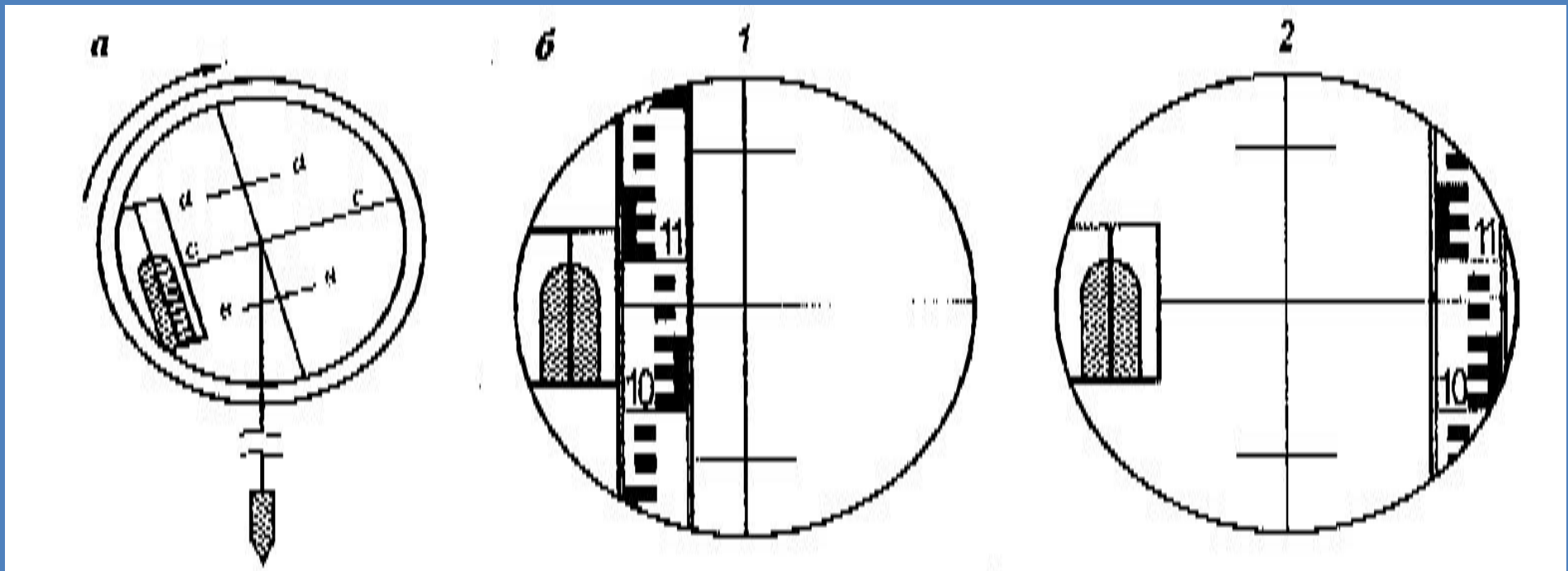


Состоит из:

1 – нивелируемая базовая пластина; 2 – лимб; 3 – метка горизонтального круга; 4 – кремальера; 5 – визир; 6 – объектив; 7 – микрометрический винт; 8 – подъемный винт; 9 – круглый уровень; 10 – призма, отражающая круглый уровень; 11 – диоптрийное кольцо; 12 – окуляр; 13 – кнопка компенсатора.

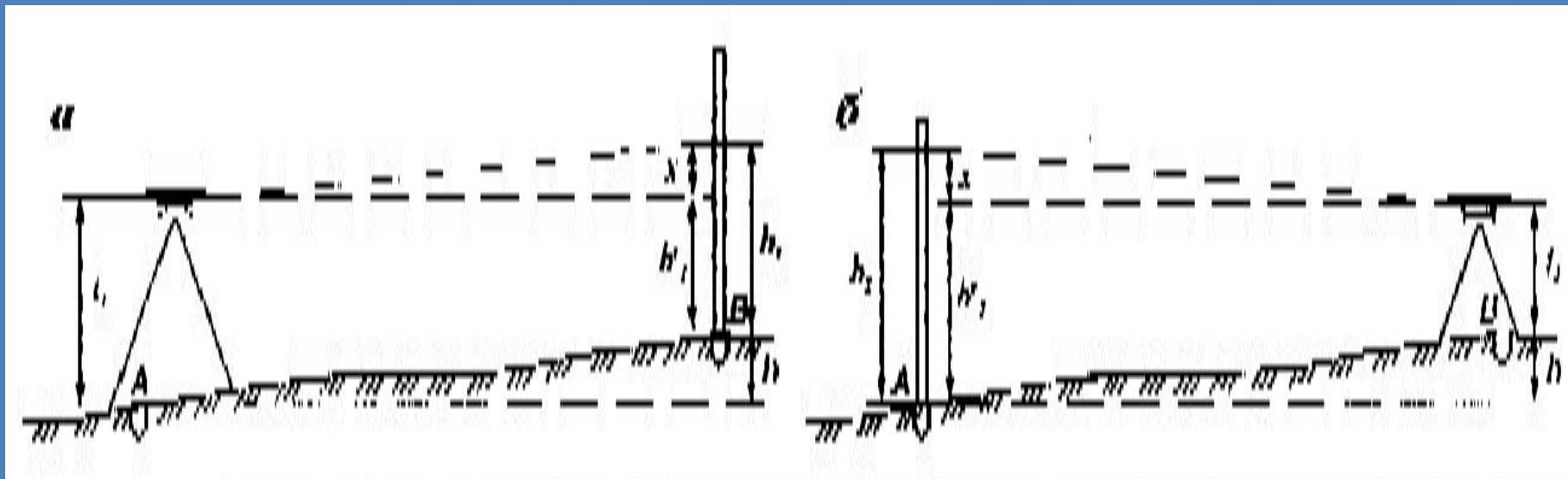
Поверки нивелиров

1. *Поверка круглого уровня. Ось круглого уровня должна быть параллельна оси вращения нивелира.*
2. *Поверка сетки нитей. Горизонтальный штрих сетки нитей должен быть перпендикулярен, а вертикальный штрих – параллелен оси вращения нивелира.*



3. *Проверка главного геометрического условия.* У нивелиров с цилиндрическим уровнем (Н-3, Н-10) ось цилиндрического уровня должна быть параллельна визирной оси зрительной трубы.

У нивелиров с компенсаторами (Н-3К, Н-10К, CST/berger серии SAL24N) визирная ось зрительной трубы должна быть горизонтальной в пределах работы компенсатора.



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

Нивелирные сети

```
graph TD; A[Нивелирные сети] --> B[I класса]; A --> C[II класса]; A --> D[III класса]; A --> E[IV класса];
```

I класса

II класса

III класса

IV класса

Нивелирование

III класса

Способ из середины прямо и обратно. Нормальная длина визирного луча 75 м. Неравенство плеч на станциях должно быть не более 2 м. В солнечные летние дни из-за сильного влияния рефракции не следует проводить нивелирование в течение 1 – 1,5 ч после восхода и перед заходом солнца.

Допустимая высотная невязка

$$f h_{\text{доп}} = 10 \text{ мм} \sqrt{L},$$

где L - длина хода в км.

IV класса

Способ из середины в одном направлении. Нормальная длина визирного луча 100 м. Расстояние от нивелира до реек измеряется шагами; неравенство плеч на станции не должно быть более 5 м.

Допустимая высотная невязка

$$f h_{\text{доп}} = 20 \text{ мм} \sqrt{L}.$$

Техническое

Способ из середины. Расстояние от нивелира до реек допускается до 150 м, неравенство плеч – не более 10 м. Отсчеты по рейкам берутся только по средней нити. Разность значений превышений на станции, определенных по черной и красной сторонам реек, не должна превышать 5 мм.

Допустимая высотная невязка

$$f h_{\text{доп}} = 50 \text{ мм} \sqrt{L}.$$