

# Лекция 1

## ИЗМЕРЕНИЕ ПРЕВЫШЕНИЙ. ГЕОМЕТРИЧЕСКОЕ НИВЕЛИРОВАНИЕ

### 1. Виды нивелирования и его задачи

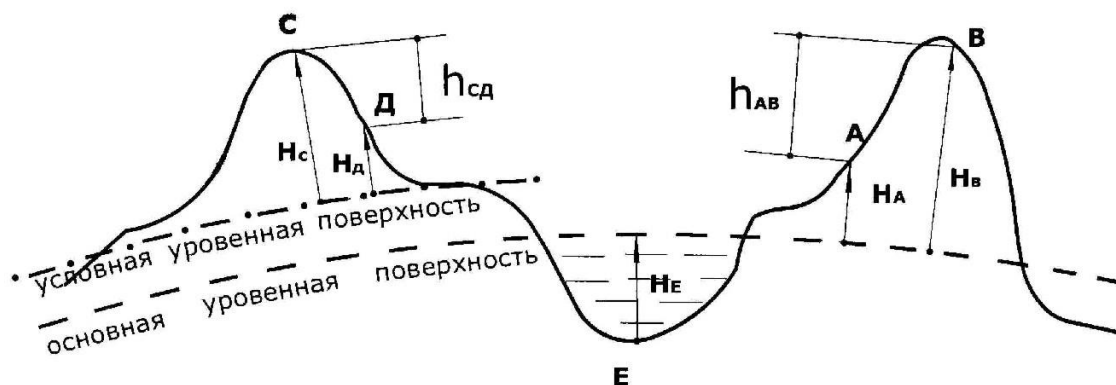


Рис. 1.1. Превышения между точками

Пусть есть точки A и B на поверхности Земли (рис. 1.1). Абсолютная отметка точки A известна (в каком случае это имеет место?). Как найти абсолютную отметку точки B? Для этого мы должны определить превышение  $h$  между точками A и B и вычислить абсолютную отметку точки  $H_B$

$$H_B = H_A + h_{A-B}.$$

*Нивелирование* – совокупность геодезических измерений, выполняемых для определения превышений между точками физической поверхности Земли.

Задачи нивелирования [1]:

- Определение высот точек при проектировании, строительстве и эксплуатации различных объектов (для составления карт, планов, профилей).

- Решение научных задач

- Изучение уровня моря (раздел физики Земли).

- Изучение горизонтальных и вертикальных движений земной коры.

Вид нивелирования зависит от применяемого прибора, что видно из табл. 1.1.

## Виды нивелирования [1.2.3]

Прибор	Вид нивелирования	Средняя квадратическая погрешность, мм на $l$ хода
Нивелир	геометрическое	до $\pm 50$ мм на 1 км
Теодолит, тахеометр	тригонометрическое	до $\pm 40$ мм на 100м
Гидростатическая система	гидростатическое	до $\pm 2$ мм на 50м
Барометр-анероид	барометрическое	$\pm 2,0$ м на 1 км

## 2. Устройство оптических нивелиров

### Основные части

Устройство оптического нивелира приведено на рис. 1.2.



Рис. 1.2. Основные части оптического нивелира Topcon

### Главное геометрическое условие нивелира

Главное геометрическое условие нивелира – горизонтальная ось цилиндрического уровня параллельна визирной оси трубы (рис. 1.3).

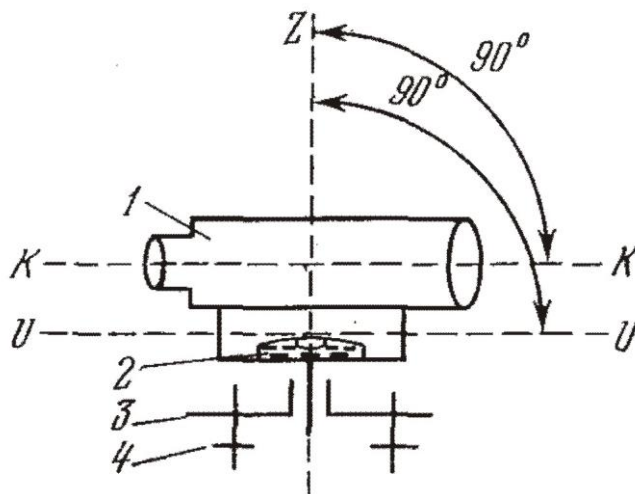


Рис. 1.3. Принципиальная схема и главные оси нивелира: 1 – труба, 2 – круглый уровень, 3 – треггер, 4 – подъёмные винты; UU – горизонтальная ось круглого уровня, KK – горизонтальная ось вращения нивелира, ZZ – вертикальная ось вращения нивелира

### Подготовка к работе

Визирная ось трубы может устанавливаться в горизонтальное положение двумя способами

- с помощью ручной корректировки цилиндрического уровня при трубе;
- с помощью компенсатора (самоустанавливающегося).

В последнем случае визирная ось автоматически удерживается в горизонтальном положении. При наклоне на некоторый малый угол компенсатор стабилизирует положение визирной оси, т.е. возвращает её в горизонтальное положение.

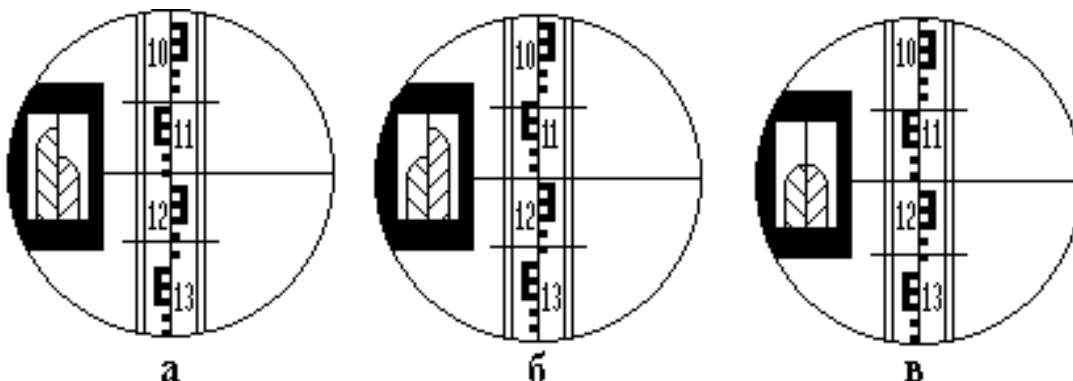


Рис. 1.4. Положение пузырька уровня: а, б – вертикальная ось вращения нивелира не перпендикулярна оси цилиндрического уровня при трубе; в – вертикальная ось вращения нивелира перпендикулярна оси цилиндрического уровня при трубе

### 3. Геометрическое нивелирование

При геометрическом нивелировании определение превышений производится с помощью горизонтального визирного луча, создаваемого геодезическим прибором – нивелиром.

#### 3.1. Способ нивелирования «из середины»

При нивелировании «из середины» в направлении от точки «А» к точке «В» рейка, установленная в точке «А», называется задней, а рейка в точке «В» – передней [2] (рис. 1.5).

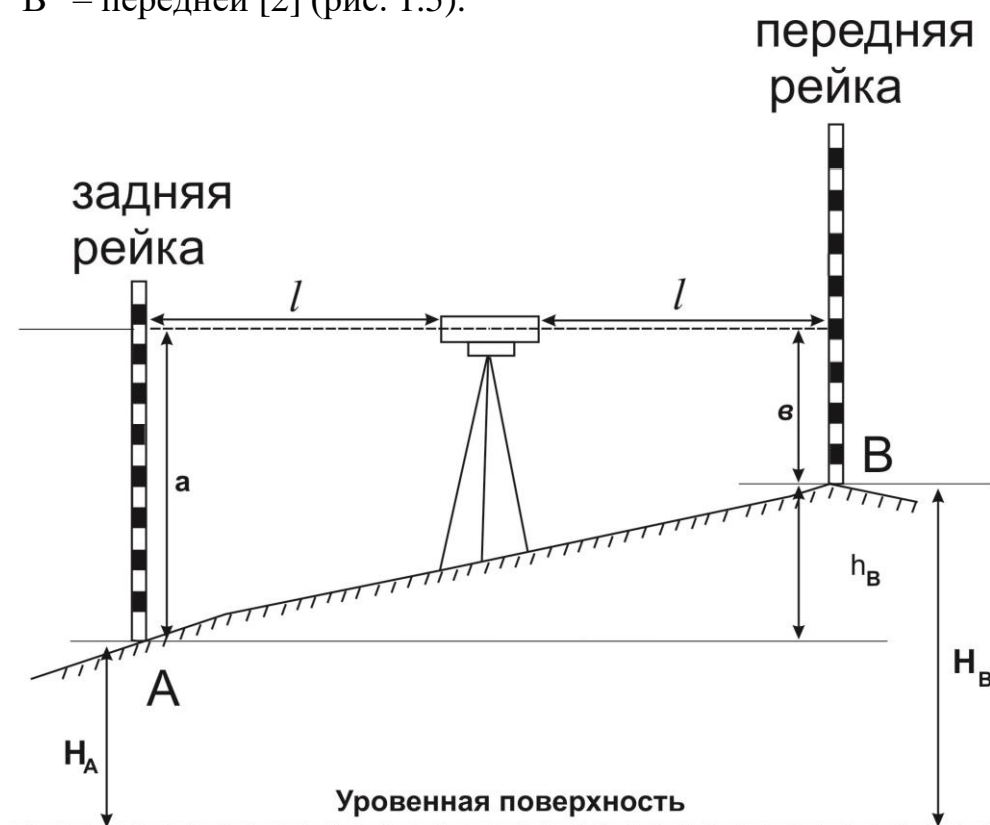


Рис. 1.5. Способ нивелирования из середины

Нивелир устанавливают на одинаковых расстояниях от реек, стоящих в точках «А» и «В» (не обязательно точно в створе линии).

По рейкам последовательно берут отсчеты «а» и «в», определяющие высоты визирного луча над точками установки реек.

*Превышение между двумя точками равно разности отсчетов на заднюю и переднюю рейки:*

$$h_B = a - v.$$

Тогда высота точки В определится:  $H_B = H_A + h_B$ .

Отсчеты берут по средней горизонтальной нити сетки нитей (рис. 1.6)

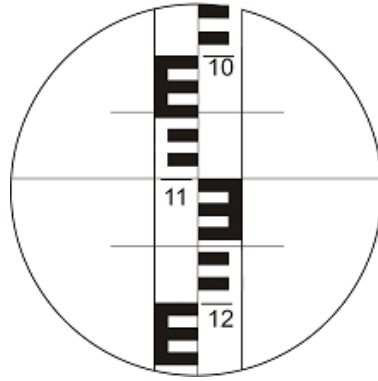


Рис. 1.6. Вид на рейку в окуляр (отсчёт 1100)

Отсчет читают в миллиметрах и записывают в виде четырехзначного числа.

Если ось визирная не совпадает с горизонтом, то возникает погрешность  $x$ , равная для отсчетов  $a$  и  $b$  по рейкам, когда нивелир устанавливают на равных расстояниях между точками А и В ( $l=l$ ). В этом случае, погрешность  $x$  компенсируется:

$$h_B = (a+x) - (b+x). \quad h_B = a+x - b - x = a - b.$$

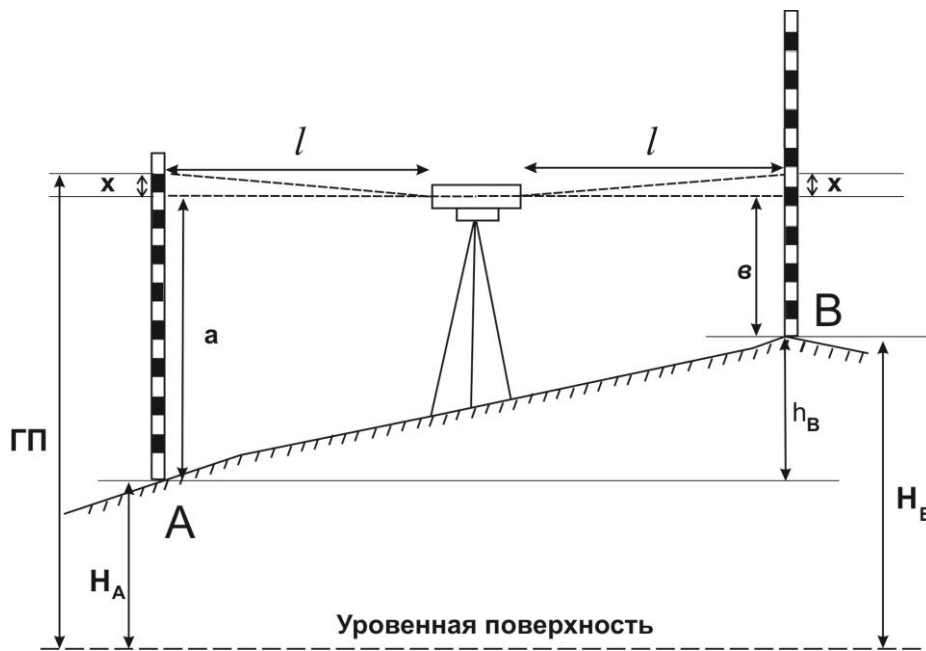


Рис. 1.7. Компенсирование погрешности  $x$  при несовпадении визирной оси с горизонтом [2]

### 3.2. Способ нивелирование «вперёд»

При определении превышения между точками А и В способом «вперед» нивелир устанавливают в начальной точке А, абсолютная высота которой  $H_A$  известна, а в точке В отвесно устанавливают нивелир-

ную рейку [2] (рис. 1.8). С помощью рейки предварительно измеряют высоту прибора  $i$  – отвесное расстояние от центра окуляра до верха кольшка (точки А), над которой установлен нивелир. Тогда

$$h_B = i - v.$$

*Превышение между двумя точками равно высоте прибора  $i$  минус отсчёт по передней рейке*

*Тогда высота точки В определится:*

$$H_B = H_A + h_B = H_A + i - v.$$

Величина  $H_A + i$  представляет собой горизонт прибора (ГП), поэтому  $H_B = ГП - v$ .

При отклонении луча визирования от горизонта возникающая погрешность  $x$  не компенсируется:

$$h_B = i - (v + x).$$

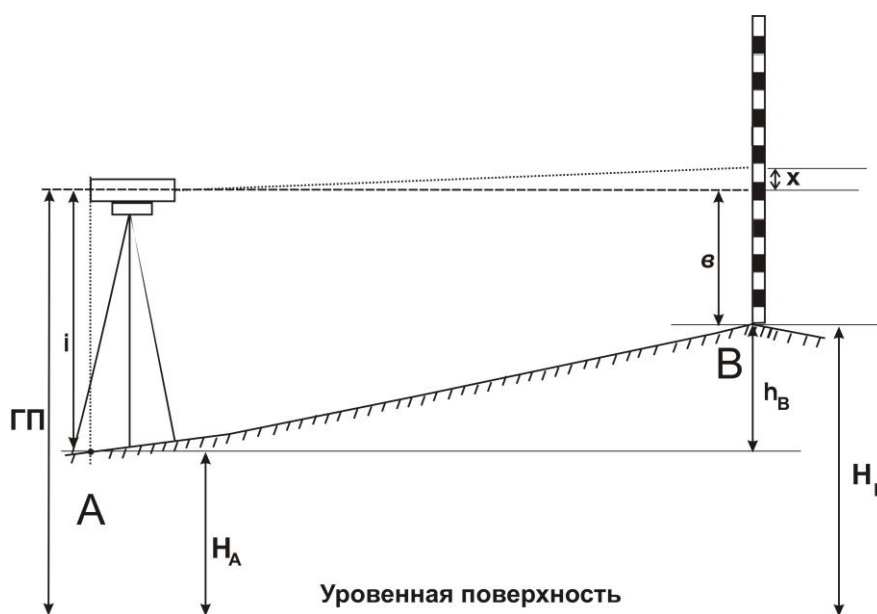


Рис. 1.8. Нивелирование вперед

Способ нивелирования «вперёд» менее точен, поэтому используется реже.

## 4. Поверки оптических нивелиров с цилиндрическим уровнем при трубе

### 4.1. Поверка 1

*Ось круглого уровня должна быть параллельна оси вращения нивелира [5].*

1. Тремя подъемными винтами пузырек круглого уровня приводят в нуль-пункт.

2. Визируя поверх трубы, заметить неподвижную точку какого-нибудь предмета, повернуть верхнюю часть нивелира вокруг оси на  $180^\circ$ . Если при этом пузырек остается в центре уровня, то условие соблюдено.

3. Если смещение пузырька более чем на  $\frac{1}{2}$  деления, производят юстировку:

- действуя юстировочными винтами уровня, смещают пузырек в сторону нуль-пункта на половину отклонения;

- действуя подъемными винтами пузырек доводят до нуль-пункта и вновь поворачивают трубу на  $180^\circ$ .

- поверку и юстировку повторяют 2...3 раза до выполнения условия с точностью до 0,1 - 0,2 деления.

#### 4.2. Поверка 2

*Горизонтальная нить сетки нитей должна быть перпендикулярна к оси вращения нивелира. (сетка нитей должна быть установлена без перекоса) [5].*

1. Привести ось вращения нивелира в отвесное положение по уже отъюстированному круглому уровню.

2. На краю поля зрения трубы замечают какую-либо неподвижную точку, изображение которой попало на среднюю горизонтальную нить сетки.

3. Плавно вращают трубу в горизонтальной плоскости. Если нить сетки не сходит с изображения точки (точка скользит по горизонтальной нити), проверяемое условие соблюдено.

4. Допускается смещение изображения точки с нити сетки не более чем на двойную толщину нити.

*Примечание.*

*Следует иметь в виду, что в заводских условиях эта поверка выполняется очень тщательно, и правильность установки сетки обычно гарантируется заводом-изготовителем. Точная установка сетки является весьма трудоемкой операцией, поэтому юстировку неправильной установки сетки нитей необходимо производить в специализированной мастерской по ремонту и обслуживанию геодезических приборов.*

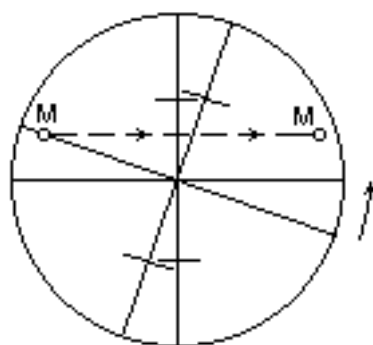


Рис. 1.9. Поверка 2 [5]

### 4.3. Поверка 3

Ось цилиндрического уровня должна быть параллельна визирной оси зрительной трубы (главное условие). (Визирный луч нивелира должен быть горизонтален)

Это главное условие нивелира - угол "i" должен быть равен нулю или не должен превышать 10". Для его соблюдения необходимо, чтобы у нивелиров с цилиндрическими уровнями - ось цилиндрического уровня была параллельна визирной оси зрительной трубы.

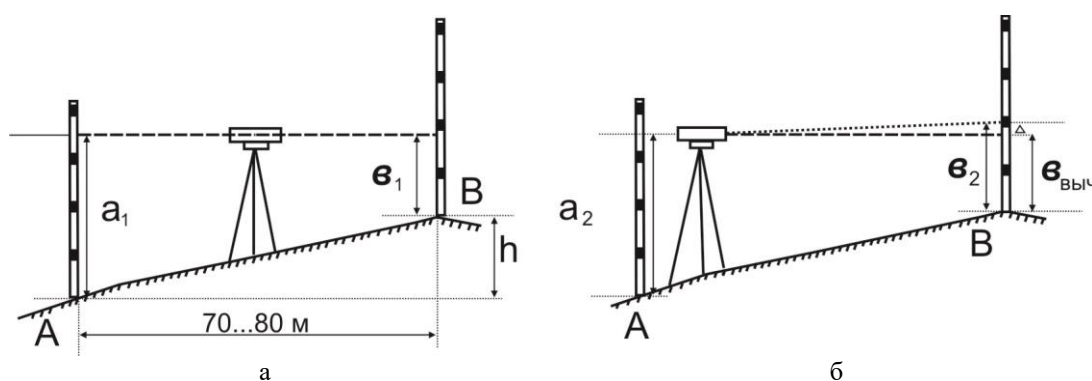


Рис. 1.10. Схема проверки главного условия нивелира [5]

1. Установить нивелирные рейки на расстоянии приблизительно 80 метров друг от друга и закрепить их неподвижно.

2. На первой станции установить нивелир в створе линии на равных расстояниях от реек (рис. 1.10 а). Привести нивелир в рабочее положение.

3. Взять отсчеты "а" по задней и "в" по передней рейкам, определить превышение:

$$h = a - в.$$

*Примечание.*



При поверке нивелира Н-3 перед каждым отсчетом пузырек цилиндрического уровня тщательно приводят в нуль-пункт с помощью элевационного винта.

4. На станции 2 установить нивелир на наименьшем расстоянии визирувания 2...3 метра (Рис.1.10 б). Взять отсчет по дальней и по ближней рейкам. Отсчет по ближней рейке считается практически безошибочным, так как его погрешностью  $\Delta_0$  можно пренебречь по малости расстояния от нивелира до рейки.

5. Вычислить правильный отсчет по дальней рейке:

$$V_{\text{выч}} = a_2 - h.$$

Сравнить отсчет по дальней рейке  $v_2$  и  $V_{\text{выч}}$ . Если соблюдается требование:

$$\Delta_1 = v_2 - V_{\text{выч}} \leq 4 \text{ мм} \quad \text{— то условие соблюдено.}$$

6. В случае несоблюдения главного условия у нивелира Н-3 с цилиндрическим уровнем проводят юстировку в следующей последовательности:

- вращением элевационного винта установить среднюю горизонтальную нить на вычисленный отсчет  $V_{\text{выч}}$ . При этом пузырек цилиндрического уровня сойдет с нуль-пункта, оптический контакт изображений половинок концов пузырька нарушится.

- ослабить боковые юстировочные винты цилиндрического уровня, находящиеся под крышкой в торцевой части коробки уровня. Вращением вертикальных винтов совместить пузырьки уровней в поле зрения нивелира, следя за тем, чтобы отсчет по рейке оставался равным  $V_{\text{выч}}$ .

7. После юстировки повторить поверку нивелира [5].

## 5. Линейки современных нивелиров

В настоящее время нивелиры можно разделить на 3 группы [6]:

- лазерные нивелиры (рис. 1.11);
- оптические нивелиры (рис. 1.12);
- цифровые нивелиры (рис. 1.13).



Рис. 1.11. Лазерные нивелиры [6]

Geo-Fennet  
AM



Pentax AP  
SETL AT



Nicon



Sokkia C



Рис. 1.12. Оптические нивелиры [6]

Topcon DL-  
101C & DL-102C



Topcon  
DL-103 & DL-  
103AF



Trimble  
DiNi12



Sokkia SDL



Рис. 1.13. Цифровые нивелиры [6]

Первая группа приборов, самая многочисленная, предназначена для нивелирования внутри и вне помещений в строительстве. Лазерные нивелиры подразделяются на ротационные и простые лазерные маркеры. Ротационные лазерные нивелиры образуют видимую горизонтальную или, реже, вертикальную плоскость при помощи лазерного луча, вращающегося со скоростью до 600 об/мин. Установка плоскости в горизонтальное положение производится при помощи электронных и жидкостных уровней или автоматической системы самонивелировки – компенсатора<sup>1</sup>. Погрешность в задании плоскостей и направлений составляет 10-15 сек.

Для фиксации заданной плоскости можно использовать как обычные нивелирные рейки, так и рейки, оснащенные специальным приём-

<sup>1</sup> Компенсатор позволяет автоматически горизонтировать нивелир, наклонённый в определённом диапазоне.

ником излучения, который сигнализирует о попадании на него лазерного луча. При использовании приемников излучения точность проводимых лазерным нивелиром работ значительно повышается.

Цифровая электроника гарантирует простоту управления в условиях строительной площадки. Клавиатура и оптическая система защищены от пыли и воды. Встроенные источники питания обеспечивают непрерывную работу в течение как минимум рабочего дня.

Для горизонтирования или прокладки трубопроводов с заданным уклоном, а так же для оценки уклона подземных трубопроводов созда-

ны специальные малогабаритные уклонофиксаторы или, иначе, "трубные" лазерные нивелиры (рис. 2.1).



Рис. 2.1. Трубный лазерный нивелир TP-L4 (Тор-

сон) имеют металлический корпус, могут задавать лазерные лучи отдельно в вертикальной и горизонтальной плоскостях. Дополнительные опции (автоматическое наведение по горизонтали, вертикали, автоматическое наведение уклона, фокусировка) могут быть реализованы при наличии специального шаблона-цели.

**Оптические нивелиры** – самые распространенные геодезические приборы. Несмотря на то, что современные оптические нивелиры являются глубоко усовершенствованными инструментами, их конструкция и принцип работы практически не изменились (рис. 2.2, 2.3).

Основные особенности современных оптических нивелиров:

- ударопрочный, пылевлагозащитный корпус;
- зрительная труба прямого изображения;
- некоторые фирмы производят нивелиры, у которых труба заполнена инертным газом, что делает их абсолютно непроницаемыми для влаги;
- увеличение трубы в различных моделях варьирует от 20х до 50х;
- минимальное фокусное расстояние от 0,3 м;
- большинство выпускаемых сейчас точных и технических нивелиров имеют автоматический компенсатор, который позволяет ускорить процесс измерений и повысить производительность труда;
- для быстрого затухания колебаний компенсатора и установки его в рабочее положение используют прикреплённый к компенсатору

воздушный, магнитный или жидкостной демпфер; магнитный демпфер позволяет компенсатору удерживать горизонтально визирную ось при порывистом ветре и в условиях вибрации.

Основные характеристики современных оптических нивелиров на примере Topcon AT-G7N приведены в *табл. 2.1*, а СКО<sup>2</sup> измерения превышения на 1 км двойного хода (одна из основных характеристик) для нивелиров разных компаний – в *табл. 2.2*.



*Рис. 2.3. Некоторые серии современных оптических нивелиров*

Следующим шагом усовершенствования нивелиров стало появление цифровых моделей (*рис. 2.4*). Главная их особенность – автоматическое снятие отсчётов по специальной рейке с нанесённым штрихкодом, для этого рейка должна быть достаточно освещена. Цифровой нивелир снабжён процессором, позволяющим выполнять вычисления превышений и отметок, жидкокристаллическим дисплеем для вывода результатов на экран, а также внутренней памятью для записи данных в цифровом виде.

Поскольку цифровые нивелиры считывают и записывают данные в цифровой форме, то ошибки наблюдателя при взятии отсчётов исключены. Возможность измерения расстояний позволяет контролировать расстояние до передней и задней реек и соблюдать равенство плеч в нивелирных ходах. Благодаря передовым технологиям цифровые нивелиры облегчают работу исполнителя и позволяют значительно увеличить производительность труда.

*Таблица 2.1*

*Основные технические характеристики Topcon AT-G7N [7]*

<i>Наименование</i>	<i>Значение</i>
Увеличение зрительной трубы, крат	22
Наименьшее расстояние визирования, м	0,5
Угловое поле зрения зрительной трубы	1°30′

<sup>2</sup> СКО – среднее квадратическое отклонение

Предел разрешения зрительной трубы, ''	4,0
Цена деления установочного уровня, '/2мм	10
Диапазон работы компенсатора, '	±15
Допускаемое СКО установки линии визирования, ''	0,5
Коэффициент нитяного дальномера	100
Диаметр горизонтального круга, мм	117
Цена деления горизонтального лимба, °	1
Допускаемая СКО измерения горизонтального угла, °	0,1
Допускаемое СКО измерения превышения на 1 км двойного хода, мм	
▪ при длине визирного луча 25 м	2,5
▪ при длине визирного луча 100м	5,0
Условия эксплуатации, °С	От -40 до +50
Габаритные размеры без футляра, мм	200 x 145 x 135
Масса нивелира в футляре, кг	2,9

Topcon DL-101C & DL-102C



Topcon DL-103 & DL-103AF



Trimble DiNi12



Sokkia SDL



Рис. 2.4. Цифровые нивелиры

Таблица 2.2

Точность современных нивелиров

Нивелир	СКО измерения превышения на 1 км двойного хода
Япония, Topcon AT-G	2,5-5,0 мм
Япония, Topcon DL <sup>3</sup>	до 0,4 мм

<sup>3</sup> Цифровой

Китай, Geo-Fennet BOIF AL	2,0-2,5 мм
Китай, AM	1,0-2,5 мм
США, GST SAL	1,0-2,5 мм
США, Nikon A	1,0-2,5 мм
США, Trimble DiNi <sup>3</sup>	0,3-0,7 мм
Япония, Sokkia B	0,5-1,0 мм
Япония, Sokkia C	2,0 мм
Япония, Sokkia SDL <sup>3</sup>	1,0 мм
США, Pentax AP SETL AT	1,5-2,5 мм
Россия, ПО УОМЗ	2,0-5,0 мм

## Литература

1. Инженерная геодезия/ Учебник для вузов / Ключин Е.Б., Киселёв М.И., Михелёв Д.Ш., Фельдман В.Д; Под ред. Д.Ш. Михелёва. – М.: Высшая школа, 2001. – 464 с.
2. Основы геодезии и топографии: учебное пособие / В.М. Передерин, Н.В. Чухарева, Н.А. Антропова. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. – 123 с.
3. Попов В.Н., Чекалин С.И. Геодезия: Учеб. для вузов. – М.: «Мир горной книги», Издательство Московского государственного горного университета, издательство «Горная книга», 2007. – 722 с.
4. Поклад Г.Г. Геодезия: Учебник для вузов. – М.: Недра, 1988. – 304 с.
5. ТД23.115-96" Технология геодезического обследования стальных вертикальных резервуаров"
6. Современные геодезические приборы, применяемые при строительстве и ремонте газонефтепроводов и газонефтехранилищ: методические указания к лабораторной работе / Томский политехнический университет, Институт геологии и нефтегазового дела ; сост. Н. А. Антропова. — Томск: Изд-во ТПУ, 2006.
7. Паспорт прибора Topcon AT-G7N