

А.Н. СОЛОВЬЁВ

ОСНОВЫ ТОПОГРАФИИ И ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОДЕЗИИ



ЧАСТЬ 2

ОСНОВЫ ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОДЕЗИИ

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2015

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ
ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический
университет имени С.М.Кирова»

КАФЕДРА ГЕОДЕЗИИ И СТРОИТЕЛЬНОГО ДЕЛА

А.Н.СОЛОВЬЁВ

кандидат технических наук, доцент

ОСНОВЫ ТОПОГРАФИИ И ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОДЕЗИИ

Учебное пособие

Часть вторая

ОСНОВЫ ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОДЕЗИИ

Для подготовки бакалавров по направлениям:

23.03.01 «Технология транспортных процессов»

08.03.01 «Строительство»

21.03.02 «Землеустройство и кадастры»

35.03.02 «Технология лесозаготовительных и деревоперерабатывающих производств»

35.03.01 «Лесное дело»

35.03.10 «Ландшафтная архитектура»

Санкт – Петербург

2015

Рецензенты:

заведующий кафедрой геодезии СПбГАСУ к.т.н., доцент М.М. Орехов;
исполнительный директор ООО «Кадастр-Профи» к.т.н., доцент А.В.Волков

Основы топографии и инженерной геодезии: Учебное пособие/ сост.:
Соловьев А.Н.; СПбГЛТУ – СПб, 2015 –126с.

Во второй части учебного пособия дается содержание и порядок организации инженерно-геодезических работ различного вида, рассматривается общее устройство основных геодезических приборов, правила их хранения, обслуживания и эксплуатации. Даются практические рекомендации по выполнению различных геодезических измерений, в т.ч. и с применением современных электронных приборов.

Данное пособие предназначено для использования в учебном процессе студентами по направлению подготовки 23.03.01 «Технология транспортных процессов». Отдельные разделы и главы пособия могут быть использованы для подготовки студентов по направлениям 08.03.01 «Строительство», 21.03.02 «Землеустройство и кадастры», 35.03.02 «Технология лесозаготовительных и деревоперерабатывающих производств», 35.03.01 «Лесное дело», 35.03.10 «Ландшафтная архитектура», а также обучаемыми на факультете повышения квалификации.

Ил.100, табл. 20

Введение

Вторая часть учебного пособия «Основы топографии и инженерной геодезии» посвящена задачам инженерной геодезии, решаемым, в первую очередь, в интересах лесопромышленного комплекса.

Геодезия, как наука о земле, неразрывно связана с наукой о лесе и ее прикладными направлениями. На основе геодезических измерений осуществляют инженерные работы по лесоустройству, мелиорации земель, отведению участков под вырубку, проводят озеленение и благоустройство территории, составляют планы местности, строят дороги, здания и инженерные сооружения. Инженерная геодезия помогает решать и многие другие задачи.

Пособие не содержит фундаментальных теоретических основ, связанных с базовыми понятиями геодезии, за исключением раздела погрешности измерений. Знание теоретических основ природы возникновения погрешностей геодезических измерений, позволит в дальнейшем, глубже понять физический смысл правил измерения угловых и линейных величин при решении задач инженерной геодезии.

В учебном пособии изложены основные положения, принципы организации и правила проведения инженерно-геодезических измерений при топографической съемке, нивелировании, выполнении разбивочных работ, вертикальной планировки поверхности, а также проведения камеральной обработки результатов измерений.

Большое внимание уделено геодезическим приборам, их техническому устройству, принципам работы, правилам эксплуатации, обслуживания и хранения.

Автор надеется, что учебное пособие позволит читателям успешно изучить теоретический материал по наиболее сложным темам, научиться практически решать различные инженерно-геодезические задачи, производить полевые измерения с помощью приборов, а также проводить камеральную обработку их результатов и формировать отчетные графические документы.

СОДЕРЖАНИЕ

Глава 9. Геодезические измерения и их точность

- 9.1. Задачи инженерной геодезии
- 9.2. Погрешности геодезических измерений и их виды
 - 9.2.1. Свойства случайных погрешностей измерений
 - 9.2.2. Средняя квадратическая ошибка (погрешность)
 - 9.2.3. Предельная, абсолютная и относительная погрешности

Глава 10. Линейные измерения

- 10.1. Измерение длин линий с помощью лент и рулеток
- 10.2. Вешение линий на местности
- 10.3. Измерение расстояний нитяным дальномером
- 10.4. Электронные дальномеры
- 10.5. Определение недоступных расстояний

Глава 11. Угловые измерения

- 11.1. Принцип измерения углов в геодезии
- 11.2. Классификация теодолитов
 - 11.2.1. Теодолиты серии Т30. Особенности технического устройства и эксплуатации
 - 11.2.2. Подготовка теодолита к работе
- 11.3. Порядок измерения горизонтальных и вертикальных углов
 - 11.3.1. Измерение горизонтальных углов
 - 11.3.2. Измерение вертикальных углов

Глава 12. Нивелиры

- 12.1. Назначение, технические характеристики и общее устройство.
- 12.2. Подготовка нивелира к работе.

Глава 13. Правила эксплуатации, хранения и технического обслуживания

- 13.1. Правила эксплуатации теодолитов
- 13.2. Проверка технического состояния и юстировка теодолита
- 13.3. Проверка технического состояния и юстировка нивелиров
- 13.4. Особенности эксплуатации, хранения и обслуживания нивелиров

Глава 14. Геодезические сети Российской Федерации

Глава 15. Топографическая съемка

- 15.1. Теодолитная съемка.
 - 15.1.1. Создание исходной основы (съемочного обоснования)
- 15.2. Способы теодолитной съемки

Глава 16. Высотная съемка

- 16.1. Геометрическое (техническое) нивелирование.
 - 16.1.1. Нивелирование по квадратам.
- 16.2. Тригонометрическое нивелирование.
 - 16.2.1. Сущность тригонометрического нивелирования.
 - 16.2.2. Полевые работы при тригонометрическом нивелировании.

Глава 17. Тахеометрическая съемка.

- 17.1. Содержание тахеометрической съемки
- 17.2. Камеральные работы
 - 17.2.1. Обработка журнала тахеометрического хода
 - 17.2.2. Обработка журнала тахеометрической съемки.

Глава 18. Разбивочные работы.

- 18.1. Назначение и организация разбивочных работ
- 18.2. Нормы точности разбивочных работ
- 18.3. Способы выноса в натуру проектных величин

- 18.3.1. Построение проектного горизонтального угла.
 - 18.3.2. Вынос в натуру линии проектной длины.
 - 18.3.3. Вынос в натуру проектной высоты.
 - 18.3.4. Построение линии с проектным уклоном.
 - 18.3.5. Построение проектной плоскости.
 - 18.4. Детальная разбивка круговой кривой.
 - 18.4.1. Способ прямоугольных координат.
 - 18.4.2. Способ углов и хорд.
 - 18.4.3. Способ продолженных хорд.
 - 18.4.4. Способ полярных координат
 - 18.5. Знаки для закрепления пунктов разбивочной основы.
- Глава 19. Геодезические работы при лесоустройстве и таксации
- 19.1. Геодезические работы при лесоустройстве.
 - 19.2. Составление лесоустроительных планшетов
 - 19.3. Геодезические работы при отводе лесосек.
- Глава 20. Инженерно-геодезические работы при организации рельефа
- 20.1. Вертикальная планировка
 - 20.2. Составление плана земляных работ
- Литература

Глава 9. Геодезические измерения и их точность

9.1. Задачи инженерной геодезии

Инженерная геодезия является прикладным и самостоятельным разделом науки геодезия. Предмет изучения инженерной геодезии составляют геодезические методы, процессы и решения, выполняемые при инженерных изысканиях, проектировании, строительстве и монтаже новых или реконструкции и эксплуатации существующих инженерных сооружений; в землеустройстве; при лесохозяйственных работах; при поиске, разведке и разработке мест добычи полезных ископаемых и т.д.

Несмотря на многообразие практических задач, решаемых инженерной геодезией, все их можно свести к трем основным:

1. Топографическая съемка местности.
2. Инженерно-геодезическое проектирование и разбивочные работы.
3. Контроль линейно-пространственных параметров зданий, сооружений и конструкций при их возведении и в ходе эксплуатации.

Топографическая съемка местности производится при изысканиях строительных площадок, а также вдоль строящегося линейного объекта, при мелиорации, лесоустройстве и т.д. Съемка местности производится, как правило, в масштабах не мельче 1:5000 – 1:500. Геодезическое обоснование съемки строят в виде сетей триангуляции, полигонометрии, нивелирования (сети точек с известными прямоугольными координатами и высотными отметками).

Инженерно-геодезическое проектирование состоит в подготовке топографической основы проекта (планов, профилей) и аналитических данных (координат и отметок точек, длин и азимутов линий). Для перенесения проекта на местность создают разбивочную сеть опорных геодезических пунктов в виде строительной сетки, относительно которой строят проектные углы, линии и высотные отметки. От разбивочной сети переносят в натуру главные оси сооружений и детально разбивают все строительные оси и поперечники. На законченных сооружениях выполняют контрольную съёмку.

При возведении зданий, сооружений и монтаже различных инженерных конструкций осуществляют геодезический контроль их пространственного положения. Контроль проводится как на этапе строительства, так и при эксплуатации. Так, например, при воздействии неординарных внешних факторов природного или техногенного характера (ураганный ветер, смерч, пожар, землетрясение т.п.).

Установка в проектное положение конструкций и оборудования включает выверку осей в плане, по высоте и по вертикали. Конструкции по высоте устанавливают геометрическим или другим видом нивелирования. Вертикальность осей проверяют точными теодолитами (наклонным визи-

рованием). При наблюдениях за деформациями сооружений определяют осадки и плановые смещения закрепленных точек (марок). Осадки измеряют высокоточным нивелированием. Плановые смещения прямолинейных сооружений определяют створным методом.

Топографическая съемка местности подразделяется на плановую, высотную (вертикальную) и планово-высотную (тахеометрическую).

Плановая съемка заключается в съемке ситуации (местных предметов, их характеристик и взаиморасположения между собой) без учета высотного положения. Такой вид съемки еще называют теодолитной.

Высотная съемка предполагает изображение только рельефа местности и его характеристик без нанесения ситуации.

Планово-высотная или тахеометрическая съемка является универсальной и позволяет изобразить на плане ситуацию на фоне рельефа с указанием высотных характеристик элементов местности.

Для выполнения полевых работ по съемке местности необходимо создание исходной основы (съемочного обоснования, планово-высотного обоснования). Под исходной основой будем понимать точки с известными или вычисленными координатами, высотой, относительно которых в последующем будет производиться съемка ситуации. В зависимости от типа съемки создается и аналогичная основа: плановая (совокупность точек с известными координатами), высотная (совокупность точек с известной высотой), планово-высотная (совокупность точек с известными координатами и высотой).

Исходная основа создается одним из возможных по условиям обстановки способов выполнения полевых работ, обеспечивающим соответствующую точность результатов.

Плановая основа может быть создана:
прокладкой теодолитного хода;
прямой или обратной засечками;
полярным способом.

Высотная основа создается в ходе нивелирования поверхности.

Планово-высотная основа создается при прокладке тахеометрического хода.

Об основных способах создания исходной основы, правилах и приемах выполнения разбивочных работ речь пойдет ниже.

Любые изыскательские и строительные работы на местности начинаются с проведения инженерно-геодезических работ. Инженерно-геодезические работы подразделяются на полевые и камеральные. Главным содержанием полевых работ является процесс, разбивки проекта (выноса) в натуре и контрольных расчетов. Камеральные работы включают обработку полевых измерений, вычисления и графические построения на карте или листе бумаги.

1. Измерительный процесс состоит из определения с помощью геодезических приборов угловых и (или) линейных параметров отдельных элементов ситуации. К таким параметрам относятся горизонтальные и вертикальные углы, а также горизонтальные, наклонные и вертикальные расстояния.

При производстве измерений составляется схематический чертеж местности, называемый абрисом.

Кроме этого абрис содержит в себе графическое изображение последовательности выполнения и результаты полевых работ, а также различные информационные сведения, которые помогут в дальнейшем избежать ошибок при камеральных работах.

2. Камеральные работы (вычислительный процесс) заключаются в математической обработке результатов полевых геодезических работ. Конечным результатом вычислений является, как правило, составление отчетных документов в виде: плана местности, схемы разбивки объекта, продольного профиля и т.д., выполненных с соблюдением установленных условных знаков, правил топографического черчения и необходимых параметров – масштаб, направление и т.п.

В геодезии чертеж служит не иллюстрацией, прилагаемой к какому-либо документу, а продукцией производства геодезических работ.

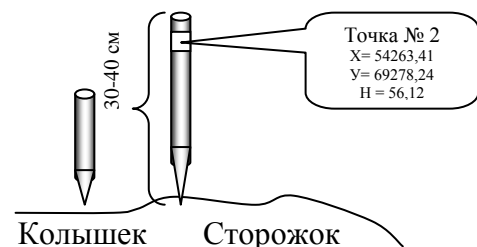
При выполнении геодезических работ принято придерживаться правила – вести работу от общего к частному.

Записи полевых измерений должны вестись только в специальных бланках, простым карандашом, без исправлений и подчисток. Ошибочно сделанная запись должна быть аккуратно перечеркнута, а рядом сделана правильная.

Все полевые измерения выполняются с контролем, а записи и вычисления ведутся в «две руки», т.е. двумя геодезистами. Для повышения надежности полученных результатов полевые измерения одних и тех же параметров выполняются, по возможности, разными способами или дважды.

Прибор снимается с рабочей точки только после того как будет проведен контроль выполненных работ и сделанных записей. Точки расстановки прибора закрепляются на местности колышками, рядом с которыми устанавливаются сторожки. Это дает возможность при необходимости найти точки на местности и произвести повторные измерения.

Местоположение колышков на местности отражается в абрисе, где указываются ее номер и, параметры, позволяющие быстрее найти данную точку.



Таким образом реализуется основной принцип геодезических работ – ни шага вперед без контроля предыдущих действий.

В современной практике геодезических измерений, когда все шире применяются электронные приборы со встроенными микропроцессорами, правила ведения полевой документации, становятся менее значимыми. Возможности современных приборов позволяют записывать и хранить измеренные геоанные непосредственно в оперативной памяти прибора, производить их предварительную обработку, решать отдельные прикладные задачи, а также передавать данные на компьютер для их дальнейшей обработки. Однако, опыт, накопленный несколькими десятилетиями полевых работ, свидетельствует, что вышеизложенные правила остаются актуальными и сегодня.

9.2. Погрешности геодезических измерений и их виды

Процесс производства геодезических работ можно подразделить на два этапа. На первом этапе, составляющим основную часть, выполняют полевые измерения, а на втором камеральную обработку измеренных величин в соответствии с установленными математическими правилами и стандартами.

Любые полевые геодезические измерения производят при наличии следующих факторов:

- объект измерения – угол, расстояние, превышение и т.п.;
- субъект измерения – наблюдатель (геодезист);
- мерный прибор – теодолит, нивелир, мерная лента и т.п.;
- метод измерений – совокупность правил и действий при измерениях;
- внешняя среда, в которой производят измерение – температура, влажность, освещенность и т.п.

В зависимости от условий измерения могут быть равноточными и неравноточными. Если в процессе измерений сохраняются неизменными все пять факторов, то такие измерения называют *равноточными*. При неодинаковых условиях, т. е. когда изменяется хотя бы одно из пяти условий (например, наблюдатели были разной квалификации), производимые измерения называются *неравноточными*.

Каждый из перечисленных факторов в процессе измерений порождает множество элементарных ошибок. Такие ошибки в геодезии принято называть *погрешностями*. Суммарное действие элементарных погрешностей образует погрешность результата измерений, в связи с чем результат измерений никогда не совпадает с истинным значением измеряемой величины.

Различают три основных вида погрешностей: грубые, систематические и случайные.

Грубые погрешностей резко отклоняют результат измерения от истинного значения измеряемой величины. Возникают грубые погрешности

в результате неверных действий наблюдателя. Примером таких погрешностей могут быть неправильно снятые отсчеты, неверные записи, ошибки в вычислениях и т.д. Такие погрешности обнаруживают и устраняют путем проведения повторных наблюдений или пересчетом. Следовательно, устранение грубых погрешностей зависит от теоретических знаний и практических навыков наблюдателя в производстве геодезических измерений и вычислений

Систематические погрешности, повторяющиеся от измерения к измерению, входят в каждый результат проводимого измерения. Систематические погрешности делят на постоянные, т. е. неизменные по знаку и величине, и переменные - изменяющие свою величину от одного измерения к другому по определенному закону. Источником систематических погрешностей могут быть, например, не учет кривизны земной поверхности в ходе измерения расстояний, технические ошибки самого прибора, неправильная длина мерного шнура, отклонение визирного луча от горизонтали при нивелировании, личная погрешность наблюдателя и т. д. Такие погрешности должны быть обнаружены и исключены из результатов наблюдений путем тщательной выверки измерительных приборов, а также введением соответствующих поправок в результаты измерений.

Случайные погрешности носят случайный характер, их возникновение не подчиняется определенным математическим законам, они связаны между собой статистической закономерностью, т. е. проявляются в массовых явлениях. Случайные погрешности не устранимы.

По источнику происхождения различают погрешности приборов (технические), внешние и личные.

Погрешности приборов обусловлены их несовершенством, конструктивными особенностями, наличием технологических допусков, люфтов и т.д.

Внешние погрешности происходят из-за влияния внешней среды, в которой протекают измерения, например изменение длины мерной ленты в зависимости от температуры окружающего воздуха, погрешность в наведении линии визирования из-за рефракции воздуха и т.п.

Личные погрешности связаны с особенностями наблюдателя, его квалификацией, привычками, навыками, физиологией и т.п.

Так как грубые погрешности должны быть устранены, а систематические исключены или доведены до минимально допустимого предела, то точность измерений будет определяться только случайными погрешностями.

В дальнейших рассуждениях будем считать, что результаты измерений свободны от грубых и систематических погрешностей и содержат только случайные погрешности.

9.2.1. Свойства случайных погрешностей измерений

Случайной погрешностью Δ называют разность между измеренным значением ℓ величины и ее истинным значением X , т. е.

$$\Delta = \ell - X$$

Случайные погрешности обладают следующими свойствами:

- случайные погрешности не могут превышать по абсолютной величине известного предела

$$|\Delta| \leq \Delta_{np};$$

- малые по абсолютной величине погрешности встречаются чаще больших

$$P(\Delta_{мин}) > P(\Delta_{max});$$

- положительные погрешности появляются также часто, как и отрицательные погрешности

$$P(\Delta > 0) = P(\Delta < 0);$$

- среднее арифметическое из случайных погрешностей равнооточных измерений при неограниченном возрастании числа измерений одной и той же величины стремится к нулю

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\sum_{i=1}^n \Delta_i}{n} = 0.$$

Перечисленные свойства случайных погрешностей являются основой для определения качества выполненных работ и для выбора наиболее надежных способов их выполнения.

Ослабление влияния случайных погрешностей на результаты геодезических работ называется **уравниванием** результатов измерений.

Задача уравнивания ряда измерений состоит в определении наиболее надежного значения измеряемой величины. Пусть некоторая величина, истинное значение которой равно X , измерена n раз. При этом получены значения $\ell_1, \ell_2, \ell_3, \dots, \ell_n$. На основании определения случайной величины имеем:

$$\ell_1 - X = \Delta_1,$$

$$\ell_2 - X = \Delta_2,$$

$$\ell_3 - X = \Delta_3,$$

...

$$\ell_n - X = \Delta_n;$$

тогда

$$\sum_{i=1}^n \ell_i - n \cdot X = \sum_{i=1}^n \Delta_i,$$

откуда
$$\frac{\sum_{i=1}^n A_i}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n \ell_i}{n} - X = \tilde{x} - X,$$

где $\tilde{x} = \frac{\sum_{i=1}^n \ell_i}{n}$ – среднее арифметическое из результатов равноточных измерений.

При увеличении количества измерений $\frac{\sum_{i=1}^n v_i}{n}$ стремится к нулю, следовательно, с увеличением числа измерений арифметическое среднее стремится к истинному значению измеряемой величины.

Принято считать *среднее арифметическое* наиболее надежным значением величины, определяемой из данной серии измерений при всяком n . То есть, при бесконечно большом числе измерений средняя арифметическая величина будет равна истинному значению, а при конечном числе измерений она является вероятнейшим значением искомой величины.

9.2.2. Средняя квадратическая ошибка (погрешность)

Чтобы судить о степени точности (качестве работ) необходимо ввести среднее значение погрешности серии измерений. Однако из-за присутствия положительных и отрицательных значений погрешности среднее их значение будет стремиться к нулю, следовательно, не показательно для разной серии измерений.

Поэтому в качестве оценочной характеристики принята *средняя квадратическая ошибка (СКО)*, определяемая по формуле Гаусса

$$m = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n v_i^2}{n}}.$$

Во многих случаях истинное значение измеряемой величины неизвестно. В таких случаях среднеквадратическую ошибку определяют по отклонениям отдельных результатов от среднего арифметического:

$$v_i = \ell_i - \tilde{x},$$

тогда среднеквадратическая ошибка определяется по формуле Бесселя:

$$m = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n v_i^2}{n-1}}.$$

Измеренное значение, м	v, см	v ² , см ²
76,38	- 1	1
76,42	+ 3	9
76,37	- 2	4
76,39	0	0

Пример. В результате шести измерений длины линии получены данные, приведенные в табл.15.

76,40	+ 1	1
76,38	- 1	1
$\bar{x} = 76,39$	$\Sigma = 0$	$\Sigma = 15$

Средняя квадратическая ошибка результатов измерения составит:

$$m = \sqrt{\frac{15}{6-1}} = \pm 3\text{см};$$

Средней квадратической погрешности всегда приписывается двойной знак, что выражает одинаковую возможность положительной или отрицательной погрешности.

9.2.3. Предельная, абсолютная и относительная погрешности

По величине среднеквадратической ошибки можно судить о надежности и качестве измерений, это сравнение называется *оценкой точности*.

Частота (*вероятность*) появления случайной погрешности зависит от величины этой погрешности. Зависимость описывается *нормальным законом распределения* случайных погрешностей.

$$f(\Delta) = \frac{1}{m\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{\Delta^2}{2m^2}}$$

Такая зависимость имеет вид кривой Гаусса (рис. 94).

Так, откладывая вдоль оси абсцисс значение случайных погрешностей, а по оси ординат вероятности их появления, получим кривую распределения.

Из графика видно, что наибольшая часть измерений сосредоточена около наиболее вероятного значения. Площадь фигуры ограниченной значением $\pm 1m$ составляет 68,3% от общей площади, находящейся под кривой.

Это означает, что случайная погрешность по абсолютному значению не превысит значение СКО в 68,3 случаях из 100. Величины в 2 СКО в 95,4 случаях из 100 и величины в 3 СКО в 99,7 случаях из 100. Поэтому утроенную СКО считают **предельной**

$$\Delta_{пр} = 3m$$

Из формулы Бесселя можно определить количество измерений, требуемое для достижения заданной точности

$$n = \frac{m_1^2}{m_{ТР}^2} - 1$$

где m_1 – СКО одного измерения, зависящая от точности применяемого геодезического прибора,

$m_{ТР}$ – СКО измерений, которую необходимо достигнуть.

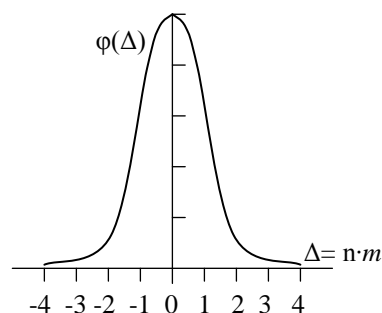


Рис. 94. График функции плотности вероятности нормального распределения случайных погрешностей

Например, точность теодолита Т30 составляет 30", а угол необходимо измерить с точностью 10", тогда $30^2 : 10^2 - 1 = 8$. Таким образом, для достижения требуемой точности измерения угла, необходимо произвести 8 независимых измерений и найти среднее арифметическое.

Измерения, произведенные в условиях, при которых все результаты нельзя считать одинаково надежными, называют *неравноточными*.

Надежность одного результата измерения в этом случае определяется *весом* этого результата. Вес выражает степень доверия, оказываемого данному результату по сравнению с другими измерениями, и определяется по зависимости

$$p = \frac{C}{m^2} \text{ или } p = \frac{C}{n};$$

где n – число измерений в серии.

Для неравноточных измерений вместо среднего арифметического применяется другое название величины, наиболее приближенной к истинному значению измеряемого параметра. Величина имеет название – *математическое ожидание* и определяется по зависимости

$$M = \tilde{x} = \frac{\sum_i \ell_i p_i}{\sum_i p_i}$$

Формула применима для любого числа как неравноточных, так и равноточных измерений. Для равноточных измерений выражение $\sum_i p_i$ будет равно количеству измерений n .

Для неравноточных измерений формулы Гаусса и Бесселя трансформируются в следующие зависимости

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_i v_i^2 p_i}{n}}; \quad \sigma = \sqrt{\frac{\sum_i v_i^2 p_i}{n-1}}.$$

Для правильной организации геодезических работ необходимо заранее знать *требуемую точность* измерений и умело выбирать для этого геодезические приборы, приемы и методы работ. Поэтому для разного вида работ применяются требуемые показатели, которые выражаются в виде абсолютных и относительных погрешностей.

Абсолютной погрешностью называется общее расхождение между измеренными и известными величинами, в геодезии абсолютная погрешность называется *невязкой* и обозначается f с индексом измеряемой величины (f_x, f_y, f_z, f_α). Например, в ходе измерений углов в треугольнике сумма измерений составила $180^\circ 00' 10''$. Как известно сумма углов должна составлять 180° , следовательно, угловая невязка составляет $+10''$. Абсолютная погрешность не отражает качество выполненных работ. Допустим, что при выполнении двух однотипных геодезических работ по передачи координат теодолитным ходом были получены одинаковые абсолютные погрешно-

сти, к примеру, 1 метр. На первый взгляд точность выполнения этих геодезических работ кажется одинаковой. На самом деле точность будет выше там, где объем работ больше, т.е. где больше длина (периметр) теодолитного хода. Поэтому, что бы оценить точность выполненных работ, необходимо ввести понятие относительной погрешности.

Относительная погрешность выражается простой дробью, например, 1:300, и означает расхождение в измеряемой величине на единицу измерения. Следует различать **допустимые и фактические** погрешности. Так при передаче координат от одной точки к другой фактическая относительная погрешность определяется по зависимости:

$$f_{\text{отн}} = \frac{\sqrt{f_x^2 + f_y^2}}{\sum d_i};$$

где $\sum d_i$ – сумма длин сторон или периметр хода.

Предположим, допустимое расхождение составляет 1:300, это означает, что расхождение в измерениях и вычислениях не должно превышать 1 метра на каждые 300 измеренных метров. Если рассчитанная фактическая невязка составит 1:200, то требования по точности не будут выполнены.

Глава 10. Линейные измерения

10.1. Измерение длин линий с помощью лент и рулеток

Одним из основных элементов геодезических измерений является определение длины линии. Измерения производят в горизонтальной, наклонной или вертикальной плоскостях. Для этого применяются специальные геодезические приборы и приспособления. Это различного рода дальномеры, рулетки, мерные ленты, колеса, шнуры и т.д. В зависимости от требуемой точности измерений и иных факторов, применяют те или иные приборы.

Самыми простыми приспособлениями для измерения длины линии, не позволяющим получить результат с высокой точностью, являются различные рулетки. Наибольшее практическое применение в настоящее время получили рулетки длиной 10, 20, 30, 50 и 100 метров, в открытых или закрытых корпусах. Рулетки выпускают с металлической, фиброглассовой и тесемочной лентами, с ценой деления шкалы 1-2 мм (рис. 95).



Рис. 95. Измерительные рулетки и колеса

Наряду с рулетками широко используются 20 метровые землемерные

ленты (ЛЗ), которые позволяют получить более точный результат измерений.

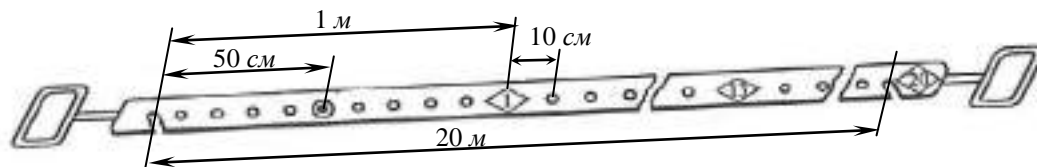


Рис. 96. Землемерная лента

Землемерная лента представляет собой стальную полосу шириной 10...15 мм и толщиной 0,5 мм (рис. 96). Для удобства работы на концах ленты сделаны ручки. На каждой плоскости ленты отмечены деления через 1 метр, 50 и 10 см. Метры на ленте отмечены медными пластинами, полуметровые деления – заклепками, дециметровые – отверстиями (рис. 96). Более мелких делений не делают. Длину отсчитывают с точностью до сотых долей метра делением дециметровых частей (между отверстиями) «на глаз». Для исключения просчетов при измерении линий короче номинальной длины ленты оцифровка метровых делений на противоположных плоскостях ленты выполнена на встречу друг другу.

В комплекты ЛЗ входит набор из 11 *шпилек* - металлических стержней с заостренными концами и кольцами – ручками (рис. 97). Для переноски шпильки надевают на проволочное кольцо. Для транспортировки и хранения ленты наматывают на металлическое кольцо – станок.

Для выполнения отдельных наиболее ответственных измерений с высокой точностью применяют специальные *инварные проволоки* стандартной длины. Инвар (от лат. *invariabilis* – неизменный) это

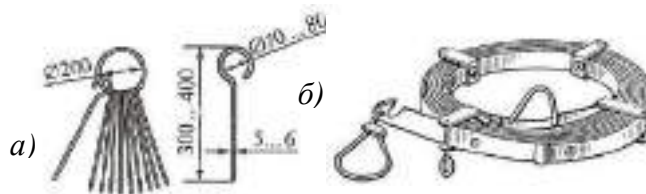


Рис. 97. а) Набор шпилек, б) Лента на станке

сплав на основе железа и содержащий 36% никеля. Особенностью инвара является то, что он обладает малым коэффициентом теплового расширения ($1,5 \times 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C}$ при температуре от -80°C до $+100^\circ\text{C}$), а соответственно обеспечивает высокую точность измерения независимо от внешних условий.

Перед началом полевых измерений ленты и рулетки должны быть прокомпарированы, т.е. должна быть определена их истинная длина путем сравнения с эталоном. За эталоны принимают отрезки линий на местности или в лаборатории, длины которых известны с высокой точностью. Если поправка за компарирование превышает 0,00001 длины мерного прибора, ее следует учитывать при определении длин линий. Кроме того, на точность измерений будет влиять и температура окружающей среды. Отклонение температуры воздуха от номинальной также приводит к изменению длины ленты. Таким образом, длина используемой для

измерений ленты (рулетки) выражается зависимостью:

$$L = L_0 + \delta L_k + \delta L_t;$$

где: L_0 – номинальная длина ленты при температуре компарирования 20°C ;

δL_k – поправка на компарирование;

$\delta L_t = \alpha(t - t_0)$ – поправка на температуру;

α – коэффициент линейного расширения стали;

t – температура эксплуатации мерного прибора;

t_0 – эталонная температура компарирования 20°C .

При измерении лента (рулетка) укладывается в створе измеряемой линии и натягивается. При измерениях конец ленты фиксируется шпилькой (рис. 98). Если длина линии больше номинальной длины ленты, то лента откладывается в створе линии несколько раз, при этом ее начало совмещается с концом предыдущего интервала. Затем измеряется остаток.

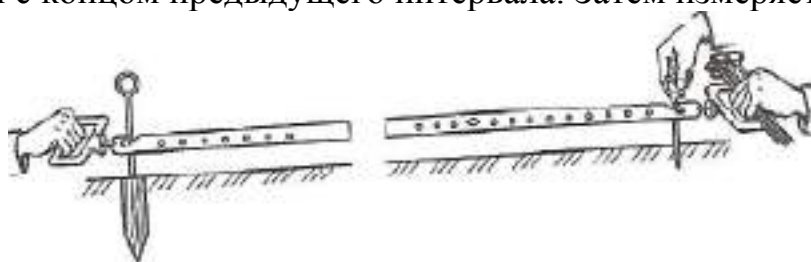


Рис. 98. Измерение длины линии мерной лентой

Для контроля длина линии измеряется дважды, в прямом и обратном направлениях.

Точность линейных измерений на грунте оценивается в относительной мере:

$$\frac{1}{2000} \geq \frac{\Delta L}{L};$$

где: ΔL – расхождение результатов двух измерений;

L – длина линии.

Это означает, что при длине линии 200 метров, расхождение результатов двух измерений не должно превышать 10 см.

При работе на асфальте требования по точности ужесточаются и составляют $1/3000$.

10.2. Вешение линий на местности

Важнейшим условием, обеспечивающим требуемую точность измерения длины линии, является расположение ленты в створе между ее начальной и конечной точками. Для этого выполняют вешение линии. При измерении коротких расстояний вехи устанавливают в створе «на глаз». При измерении линий длиной более 200 м (60 м на застроенной территории) вешение выполняют с помощью приборов (рис. 99).

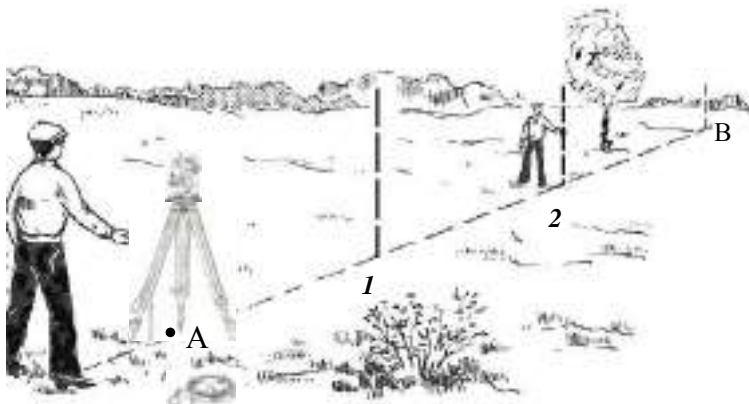


Рис. 99. Вешение линии «на себя»

Теодолит (нивелир) устанавливают в начальной точке А и наводят зрительную трубу в конечную точку В, отмеченную на местности вехой. Затем помощник по команде наблюдателя последовательно устанавливает вехи в точках 1 и 2 так, чтобы их изображение совпадало с вертикальной нитью сетки зрительной трубы инструмента. Этот способ вешения называется вешением линии «на себя». После вешения линии производят ее измерение.

10.3. Измерение расстояний нитяным дальномером

В оптическую систему зрительной трубы геодезических приборов вмонтировано устройство называемое сеткой (рис. 100). Сетка представляет собой отшлифованное стекло с выгравированными на нем линиями (нитьями). Вертикальная и основная горизонтальная нити предназначены для проведения угловых измерений, а две короткие горизонтальные линии являются нитяным дальномером. Для измерения расстояния с помощью нитяного дальномера используют дальномерную рейку, входящую в комплект прибора.

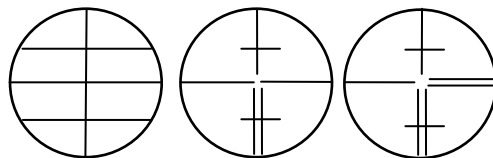


Рис. 100. Сетка зрительной трубы различных приборов

Принцип измерения расстояния с помощью нитяного дальномера основан на решении прямоугольного или равнобедренного треугольников, которые образуются между наблюдателем и рейкой. Угол β , под которым наблюдатель видит рейку, ограничен штрихами нитяного дальномера, по-

этому его величина постоянная и рассчитывается на этапе проектирования прибора (рис. 101). В геодезии такой угол называют *параллактическим*.

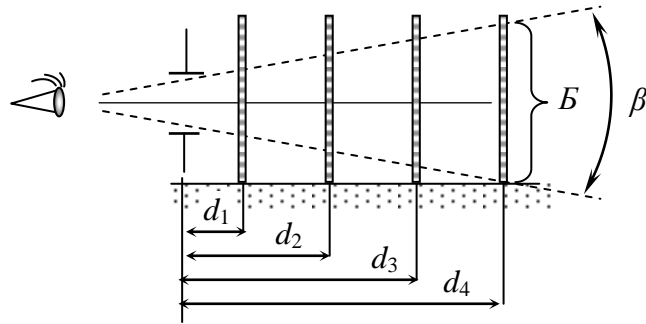
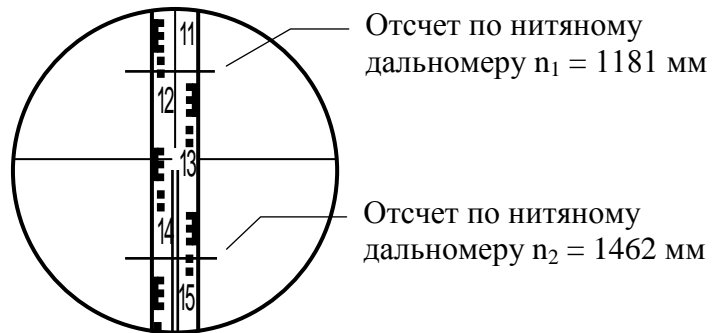


Рис. 101. Принцип измерения расстояния нитяным дальномером.

Зная величину параллактического угла β и базис – B , легко вычислить расстояние по формуле:

$$d = \frac{B}{2} \operatorname{ctg} \frac{\beta}{2}.$$

В практике геодезических работ величину базиса находят с помощью дальномерной рейки как разность отсчетов по штрихам нитяного дальномера (рис. 102). Отсчеты берутся с точностью 1 мм, при этом доли сантиметрового деления шкалы рейки оцениваются «на глаз».



Расстояние по нитяному дальномеру от инструмента до рейки вычисляют по формуле:

Рис. 102. Снятие дальномерных отсчетов по рейке

$$d = K \cdot (n_2 - n_1) + C$$

где: n_2 ; n_1 – отсчеты по нитяному дальномеру;

K – коэффициент дальномера;

C – постоянная дальномера.

В современных приборах с внутренней фокусировкой постоянная дальномера весьма мала, и ею можно пренебречь без ущерба для точности измерений. Коэффициент дальномера у большинства приборов равен 100, это очень удобно при практических вычислениях, т.к. величина базиса в сантиметрах будет соответствовать расстоянию до рейки в метрах. Такой коэффициент дальномера может быть получен при значении параллактического угла $\beta = 34,38'$

В примере на рис. 95 величина базиса равна $1462 - 1181 = 281$ мм, следовательно, расстояние до рейки равно $281 \text{ мм} \cdot 100 = 28,1 \text{ м}$.

Для более точного определения коэффициента дальномера проводят его уточнение. Устанавливая рейку на различных эталонных расстояниях

от прибора, каждый раз вычисляют новое значение коэффициента даль-
номера и из полученных значений находят среднее.

При работе с нитяным дальномером следует придерживаться прави-
ла – визирная ось прибора должна быть перпендикулярна рейке. В против-
ном случае будут возникать ошибки в измерениях, которые следует учи-
тывать путем введения поправок Δd в расстояния.

Для малых значений угла отклонения визирной оси от нормали эти
поправки незначительны и при угле наклона до 5° составляют:

Наклонное расстояние D , м	Поправка Δd , м
до 10	0,1
10...50	0,4
50...100	0,8

С возрастанием угла наклона величина поправки увеличивается.

На практике при определении расстояний с помощью нитяного
дальномера по вертикальной рейке визирование обычно производится
наклонным лучом (рис. 103). Если бы рейка была перпендикулярна к ви-
зирной оси, т. е. наклонена к визирному лучу на угол v , то наклонное рас-
стояние $D = KL_1 + C$. Но поскольку рейка устанавливается вертикально,
фактический дальномерный отсчет по
ней будет равен L , но

$$L_1 = L \cdot \cos v.$$

Отсюда наклонное расстояние равно:

$$D = KL \cdot \cos v + C,$$

а его горизонтальное проложение

$$d = (KL \cdot \cos v + C) \cdot \cos v.$$

Принимая что величина $C = 0$, получил
окончательную зависимость:

$$d = KL \cdot \cos^2 v = D \cos^2 v.$$

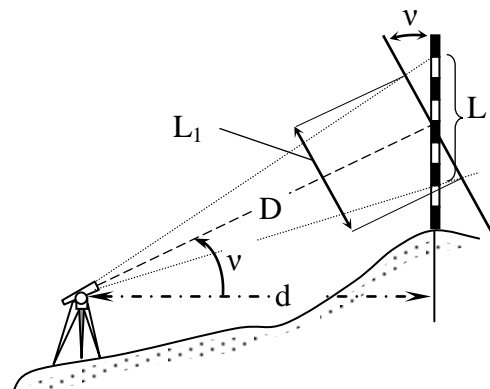


Рис. 103. Редуцирование наклонной
линии на горизонтальную плоскость

Для определения коэффициента
нитяного дальномера теодолита посту-
пают следующим образом. На ровной местности разбивают базис длиной
100 – 120 метров. От начальной точки базиса отмеряют лентой расстояние
(в прямом и обратном направлении), кратные 20 м, концы отрезков за-
крепляют кольями. Инструмент устанавливают над первой точкой и при
горизонтальном положении трубы, с точностью до 0,1 см., берут дально-
мерные отсчёты по рейке до точек соответствующих отметкам в 20, 40, ...
, 120 м. Полученные результаты записывают (табл. 16) и вычисляют ко-
эффициент нитяного дальномера по формуле:

$$K = \frac{d}{n}.$$

В этой же таблице приведены поправки Δd м, в измеренные расстояния, вычисленные при $K = 100,3$. Значения поправок округляют до десятых метра.

$$\Delta d = (K - 100) \cdot n.$$

Таблица 16. Определение коэффициента нитяного дальномера (пример)

№ точки	Расстояние $d, \text{м}$	Отсчеты по рейке $n, \text{см}$	Коэффициент дальномера K	Среднее значение $K_{\text{ср}}$	Поправки $\Delta d, \text{м}$
1	20,0	20,0	100,00	100,3	0,1
2	40,0	39,9	100,25		0,1
3	60,0	59,7	100,50		0,2
4	80,0	79,8	100,25		0,3
5	100,0	99,7	100,30		0,3
6	120,0	119,6	100,33		0,4

Точность измерения линии нитяным дальномером равна $1/300$ длины линии. Например, при расстоянии 100 м допустимая погрешность измерения составит 0,3 м. Очевидно, что такая точность приемлема в тех случаях, когда при съемке определяется положение площадных объектов с нечеткими контурами (границы лесов, озер, сельскохозяйственных угодий и т.п.), а также при съемке рельефа местности.

10.4. Электронные дальномеры

В основе процесса измерения расстояния D с помощью электронных дальномеров лежит известная из курса физики зависимость:

$$D = 0,5 V \cdot t,$$

где: t – время распространения электромагнитных колебаний вдоль измеряемой линии и обратно;

V – скорость распространения электромагнитных волн в воздухе, равная $\sim 300\,000$ км/с;

Если измерить время прохождения электромагнитных волн от электронного дальномера, установленного на одном конце измеряемой линии, до отражателя - на другом ее конце и обратно, то при известной скорости распространения электромагнитных волн можно вычислить искомую длину линии. Время распространения электромагнитных колебаний может быть определено как прямым, так и косвенным методами.

Импульсные дальномеры служат для прямого определения промежутка времени t по запаздыванию принимаемого после отражения электромагнитного импульса по отношению к моменту его излучения. С появлением оптических квантовых генераторов при известной длительности импульсов время t подсчитывают с помощью электронного счетчика методом дискретного счета. В навигационных радиолокационных системах для определения времени прохождения импульса используют электронно-

лучевые рубки, на экране которых отражается момент излучения импульса и приема отраженного сигнала.

Косвенный метод основан на измерении какого-либо параметра электромагнитных колебаний, являющегося определенной функцией временного интервала, в частности разности фаз исходного и принятого колебаний. Такие дальномеры называют фазовыми.

Фазовые дальномеры позволяют получить более точный результат, они более компактны и менее подвержены воздействию внешних факторов. Поэтому дальномеры такого типа получили наибольшее применение для решения задач инженерной геодезии.

К дальномерам такого типа относятся современные электронные тахеометры, лазерные рулетки, дальномерные насадки на оптические теодолиты (рис. 104). В зависимости от мощности электромагнитного излучения тахеометры подразделяются на дальномеры с пассивным отражением, которые используют отражательные свойства самих предметов, и дальномеры, использующие специальные отражатели. В зависимости от типа тахеометра, его конструктивных особенностей, электронные дальномеры позволяют измерить расстояние до 2000...3000 метров с точностью $\pm 1...3$ мм. С помощью лазерных рулеток измеряют относительно небольшие расстояния, от нескольких сантиметров до 150...200 метров. Точность измерения расстояния лазерной рулеткой, сопоставима с точность тахеометра.

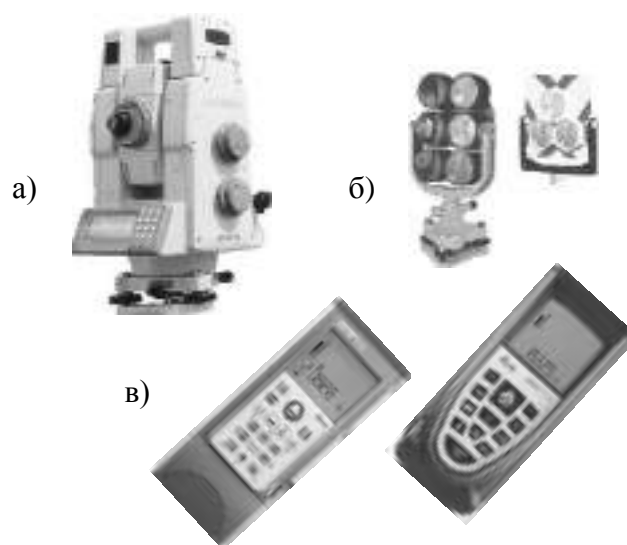


Рис. 104. Электронные дальномерные приборы: а) - тахеометр, б) – отражатели, в) – рулетки

10.5. Определение неприступных расстояний

В практике инженерно-геодезических работ в силу местных условий часто оказывается невозможным непосредственно измерить расстояние между двумя точками. Это бывает если точки расположены по разным берегам реки, оврага, заболоченного участка, котлована здания и т. п. или вообще не имеют взаимной видимости. В таких случаях искомое расстояние, называют *неприступным* и определяют косвенным путем, выполнив соответствующие измерения на местности. Возможны два варианта: первый – когда есть прямая видимость между точками, и второй – когда види-

мость между точками отсутствует. Рассмотрим оба варианта.

Первый вариант – построением базиса.

Пусть требуется определить расстояние D_{AB} (рис. 105а), которое не может быть измерено непосредственно, поскольку точки лежат на противоположных берегах реки. При этом с точки А видна точка В.

Искомое расстояние определяется из решения двух треугольников, в которых измерены на местности стороны АС и АК (базисы – Б, Б₁), а также горизонтальные углы α, β (α_1, β_1). Значение неприступного расстояния вычисляют по теореме синусов дважды по формулам:

$$D_{AB} = \frac{B \cdot \sin\beta}{\sin(180^\circ - \alpha - \beta)}; D_{AB} = \frac{B_1 \cdot \sin\beta_1}{\sin(180^\circ - \alpha_1 - \beta_1)}.$$

Расхождение между обоими результатами не должно превышать некоторой величины, устанавливаемой в зависимости от требуемой точности. За окончательное значение искомого расстояния принимается среднее арифметическое от полученных результатов.

Точность определения неприступного расстояния зависит от точности измерения длин базисов и углов, а также от формы треугольников. Для получения наиболее точных результатов (при прочих равных условиях) треугольники по форме должны приближаться к равносторонним.

Второй вариант. Если между точками А и В нет взаимной видимости (рис. 105б) и невозможно измерить углы в точках А и В, измеряют длины линий АС = d_1 и ВС = d_2 и угол между ними. Неприступное расстояние вычисляют по теореме косинусов:

$$D_{AB} = \sqrt{d_1^2 + d_2^2 - 2d_1 \cdot d_2 \cdot \cos\beta}.$$

Для контроля вычислений выбирают новое положение вершины С и вновь находят расстояние D_{AB} . Положение точки С на местности выбирают по возможности так, чтобы длины сторон АС и ВС были примерно равны, а угол β близок к 90° .

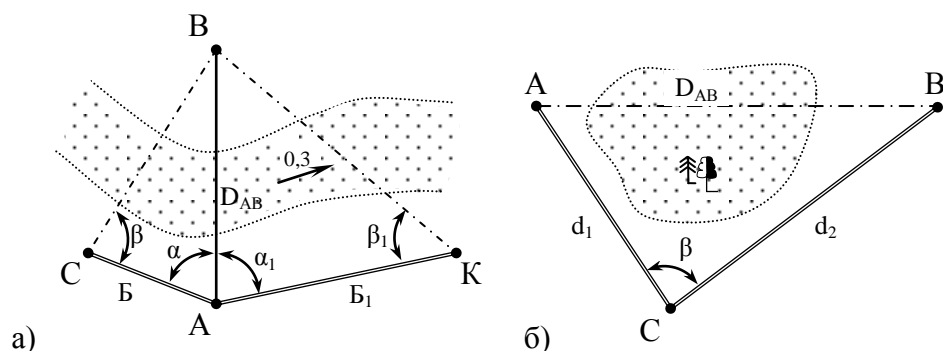


Рис. 105. Определение неприступных расстояний: а) при наличии видимости между точками; б) при отсутствии взаимной видимости.

Глава 11. Угловые измерения

11.1. Принцип измерения углов в геодезии

При выполнении геодезических работ на местности основными элементами, подлежащими измерению, являются горизонтальные и вертикальные углы, а также уклоны линий.

Пусть на местности имеются точки A , B и точка P_0 (станция – место расстановки прибора), расположенные на разных высотах (рис. 106). Требуется измерить горизонтальный угол β_{AB} при вершине P_0 . Этот угол образован проекцией направлений P_0A и P_0B на плоскость горизонта станции, т.е. является мерой двугранного угла, образованного вертикальными плоскостями A' и B' .

Измерительный прибор устанавливается так чтобы лимб (стеклянный круг с нанесенной шкалой) лежал в плоскости горизонта, а его вертикальная ось проходила через станцию.

Если шкала лимба оцифрована по часовой стрелке, то горизонтальный угол будет равен разности отсчетов направлений на точки B и A :

$$\beta_{AB} = v - a.$$

Аналогично измеряют и вертикальные углы, используя для этого вертикальный лимб прибора. Угол образованный линией P_0A и ее горизонтальной проекцией P_0A_0 , является вертикальным углом или углом наклона (уклоном линии P_0A). Если наблюдаемая точка лежит выше горизонта станции, то уклоны считаются положительными, если ниже – отрицательными.

На рис. 106 угол наклона линии P_0A положительный, угол линии P_0B – отрицательный. Такой принцип измерения горизонтальных и вертикальных углов реализован в геодезическом приборе – теодолите.

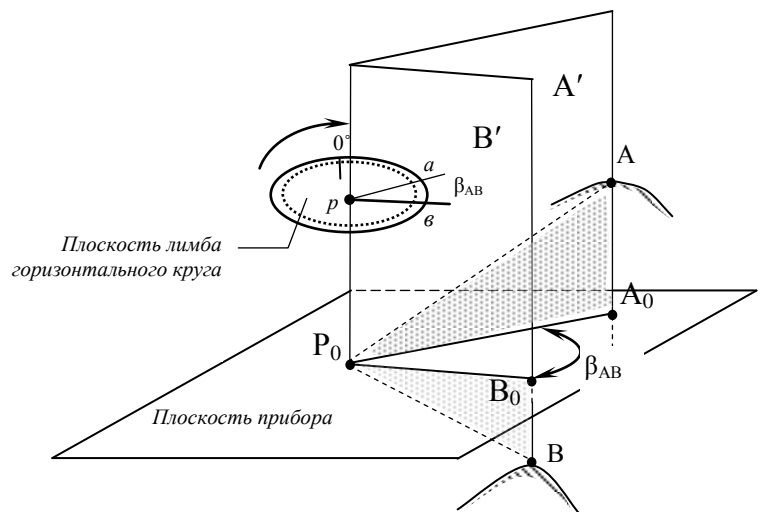


Рис. 106. Принцип измерения углов.

11.2. Классификация теодолитов

Теодолит это оптический или электронно-оптический прибор, предназначенный для измерения горизонтальных и вертикальных углов, уклонов, магнитных азимутов направлений с помощью ориентир-буссоли и расстояний при инженерно-геодезических изысканиях, топографических съёмках, геодезических разбивочных работах в строительстве, лесоустройстве, мелиорации, межевании земель и других областях деятельности человека.

В зависимости от точности измерения горизонтальных углов теодолиты подразделяются на три класса: высокоточные; точные; технические. Характеристикой точности измерения горизонтального угла выступает средняя квадратическая (m) погрешность одного измерения в секундах. Так для высокоточных теодолитов $m \leq 2''$, точных $m \leq 10''$, а технических $m \leq 30''$.

Точность теодолитов отечественного производства указывается в их маркировке. Например, для теодолита Т05 $m=0,5''$, Т5 $m=5''$, 2Т30 $m=30''$ и т.д.



Рис. 107. Теодолит 4Т30

Независимо от класса точности теодолита общие принципы устройства, порядок подготовки к работе и выполнения измерений остаются едиными.

Для выполнения инженерно-строительных, кадастровых, мелиорационных, лесоустроительных работ наибольшее распространение получили оптические теодолиты типа Т30 (рис. 107), Т15 и Т5.

11.2.1. Теодолиты серии Т30. Особенности технического устройства и эксплуатации

Теодолиты серии Т30 относятся к техническим теодолитам, поскольку их точность измерения угловых величин характеризуется среднеквадратической ошибкой в пределах 15...30 угл. сек. Технические характеристики теодолитов этого ряда приведены в табл. 17.

Таблица 17. Основные технические характеристики теодолитов серии Т30

Параметр	Т30	2Т30	3Т30	4Т30
Средняя квадратическая ошибка измерения угла одним приемом, не более:				
горизонтального	30''	20''	20''	20''
вертикального	45''	30''	30''	30''
Поле зрения трубы	2°			
Увеличение зрительной трубы, крат	18	20	20	20
Наименьшее расстояние визирования, м	1,2			
Пределы измерения угла в вертикальной плоскости	-50°... +60°			

Масса теодолита, кг	2,5	2,3	2,3	2,3
---------------------	-----	-----	-----	-----

Маркировка современных теодолитов любого класса точности может содержать дополнительно буквы К и (или) П. Наличие в маркировке теодолита буквы «П» говорит о том, что его оптическая система (рис. 108) позволяет получить прямое изображение наблюдаемого в окуляр предмета. Буква «К» свидетельствует, что теодолит снабжен компенсатором для измерения углов наклона.

Теодолит состоит из следующих основных узлов: вертикальной оси с горизонтальным кругом - 1, горизонтальной оси с вертикальным кругом - 2, зрительной трубы - 3, колонки с отсчетной системой - 4 и треножника - 5 (рис. 109).

Вертикальная ось пустотелая, внутренняя полость ее используется для прохождения лучей зрительной трубы при центрировании теодолита над точкой. Горизонтальный круг (ГК) представляет собой стеклянное кольцо – лимб (от лат. *limbus* – кайма), на поверхности которого нанесена круговая шкала, оцифрованная по ходу часовой стрелки от 0° до 359° , с ценой деления 1° .

Горизонтальная ось, составляет единое целое с корпусом зрительной трубы, установленным между стойками колонки.

Вертикальный круг (ВК) жестко закреплен на горизонтальной оси и оцифрован от 0° в одну сторону до $+90^\circ$, а в другую до -90° , с ценой деления 1° .

Колонка является основной несущей частью любого теодолита и вместе с отсчетной системой составляет вращающуюся (алидадную; от араб. *аль-идада* – линейка) часть прибора.

Общий вид теодолита 2Т30 представлен на рис. 110. В правой стойке колонки располагается вертикальный круг, микрометр (12), а также оптические узлы отсчетной системы.

В левой стойке колонки находятся механизм вертикальной наводки зрительной трубы (20) и кремальера (5).

В нижней части колонки установлен цилиндрический уровень (4) для придания вертикальной оси теодолита отвесного положения.

Правая стойка колонки закрыта крышкой (14), на которой закреп-

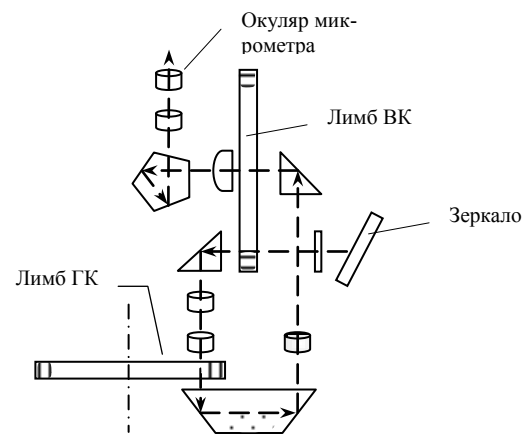


Рис.108. Оптическая схема теодолита

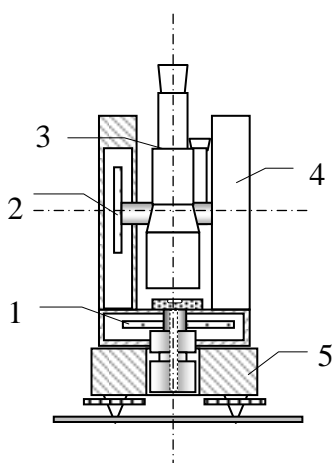


Рис. 109. Основные узлы теодолита

лено зеркало (13) для освещения отсчетной системы. В верхней части левой стойки установлен кронштейн (15) для закрепления ориентир-буссоли.

При полевых измерениях колонка крепится с помощью зажимного винта (3), ее точное горизонтальное наведение осуществляется винтом (21).

Зрительная труба служит для точного визирования на цель. В окуляре зрительной трубы крепится сетка нитей в оправе, которая может перемещаться в двух взаимно перпендикулярных направлениях (горизонтальном и вертикальном) с помощью юстировочных винтов, закрытых колпачком (18).

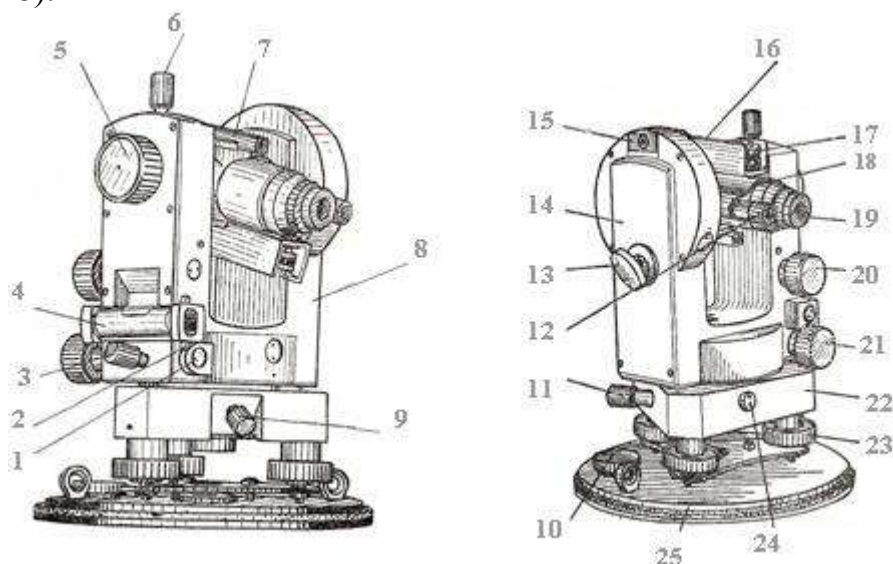


Рис. 110. Общий вид теодолита 2Т30. 1 – крышка механизма горизонтального наведения; 2 – юстировочные винты уровня; 3 – стопорный винт горизонтального круга; 4 – цилиндрический уровень при алидаде горизонтального круга; 5 – кремальера; 6 – стопорный винт зрительной трубы; 7 – оптический визир; 8 – колонка; 9 – стопорный винт алидады горизонтального круга; 10 – место крепления окулярной насадки; 11 – наводящий винт алидады горизонтального круга; 12 – окуляр микрометра; 13 – откидное зеркало; 14 – крышка колонки; 15 – кронштейн крепления ориентир-буссоли; 16 – уровень зрительной трубы; 17 – юстировочные винты уровня зрительной трубы; 18 – колпачок закрывающий юстировочные винты сетки зрительной трубы; 19 – диоптрийное кольцо окуляра; 20 – винт точного наведения в вертикальной плоскости; 21 – винт точного наведения в горизонтальной плоскости; 22 – треножник (трегер); 23 – подъемные винты; 24 – крышка; 25 – основание

На зрительной трубе имеется оптический визир (7) для предварительного (грубого) наведения трубы на предмет.

При пользовании визиром глаз наблюдателя должен быть расположен на расстоянии 25...30 см от него. При наблюдении в оптический визир на черном фоне видно светящееся перекрестие (рис. 111). Если перекрестие визира наведено на предмет, то этот предмет будет обязательно виден и в зрительную трубу.

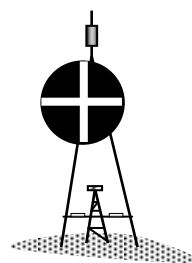


Рис. 111. Наведение оптического визира на предмет

Точное наведение зрительной трубы на предмет в горизонтальной плоскости осуществляется наводящим винтом 21 после закрепления алидады винтом 3, в вертикальной плоскости - наводящим винтом 20 после закрепления зрительной трубы винтом 6. Точка наблюдения, по которой будет производиться снятие отсчетов, должна находиться в центре перекрестия сетки (рис. 112). Фокусирование зрительной трубы на цель осуществляется вращением кремальеры 5. Вращением диоптрийного кольца окуляра (19) добиваются резкости изображения сетки нитей.

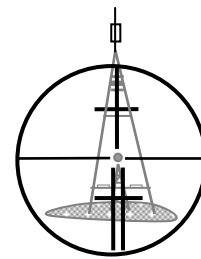


Рис. 112. Наведение зрительной трубы теодолита на предмет

Изображения штрихов и цифр обоих кругов передаются в поле зрения микрометра, окуляр 3 которого устанавливают по глазу до появления четкого изображения шкал вращением диоптрийного кольца. Поворотом и наклоном зеркала 5 достигают оптимального освещения шкал микрометра.

Конструктивные особенности устройства теодолита 4Т30П представлено на рис. 113.

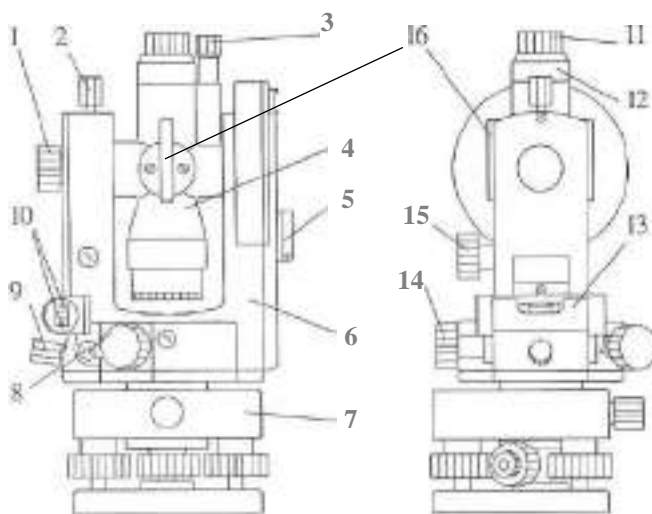


Рис. 113. Общий вид теодолита 4Т30П.

1 - кремальера; 2 - стопорный винт зрительной трубы; 3 - окуляр микроскопа; 4 - зрительная труба; 5 - зеркало подсветки оптической системы; 6 - колонка; 7 - треножник; 8 - рукоятка перевода лимба; 9 - стопорный винт алидады горизонтального круга; 10 - юстировочный винт цилиндрического уровня; 11 - диоптрийное кольцо окуляра; 12 - колпачок, закрывающий юстировочные винты сетки зрительной трубы; 13 - уровень при алидаде горизонтального круга; 14 - винт точного горизонтального наведения; 15 - винт точного вертикального на-

ведения; 16 - оптический визир.

Отсчетные системы теодолитов 2Т30 и 4Т30 одинаковы. При изме-

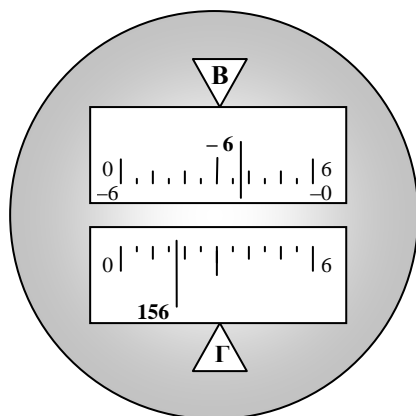


Рис. 114. Поле зрения микрометра:

Отсчеты: Горизонтальный круг $156^{\circ}17,5'$

Вертикальный круг $-6^{\circ}22,5'$

рени углов снятие отсчетов производят с помощью микрометра по шкалам соответствующего лимба. В поле зрения микрометра в двух окнах наблюдаются шкалы вертикального и горизонтального кругов, а также шкалы самого микрометра (рис. 114). В нижнем окне, над индексом «Г» снимается отсчет по горизонтальному, а в верхнем «В» - по вертикальному кругу. Шкала микрометра неподвижна и

оцифрована от $0'$ до $60'$, с ценой деления $5'$. Части малых делений оцениваются на глаз с точностью до $0,1'$.

В общем случае отсчет будет состоять из целого числа градусов XXX° , числа минут и их долей XX,X' . Число градусов будет соответствовать тому значению шкалы лимба, штрих которого лежит в пределах шкалы микрометра. Число минут и их долей снимается со шкалы микрометра, относительно штриха числа градусов. При этом следует отметить, что если на шкале лимба вертикального круга, градусное значение имеет знак минус, то число минут и их долей снимается со шкалы микрометра, оцифрованной от « -0 » до « -6 », т.е. справа налево.

Основанием теодолита служит треножник (трегер). Кроме того, в треножнике смонтированы стопорный винт алидады горизонтального круга (9) и наводящий винт алидады горизонтального круга (11). Эти устройства позволяют установить на шкале горизонтального круга любой отсчет при наведении теодолита на ориентир. К примеру, если известен дирекционный угол на ориентир. Это позволит сориентировать теодолит по дирекционным углам.

В комплект теодолита входит:

- Окулярные насадки.
- Ориентир-буссоль.
- Штатив.
- Футляр.
- ЗИП (запасные части и принадлежности).

Рассмотрим назначение каждой составляющей комплекта.

При больших углах наклона окуляр зрительной трубы располагается над основанием колонки, что затрудняет наведение теодолита и снятие отсчетов. В таких условиях используют окулярные насадки (рис. 115).

Окулярные насадки входят в комплект теодолита и применяются для удобства наблюдения предметов, расположенных под углами более 45° к горизонту. Насадки надеваются на окуляры зрительной трубы и отсчетного микроскопа. Окулярная насадка представляет собой призму, изменяющую направление визирной оси на 80° . Призма заключена в оправу, свободно вращающуюся в обойме. Насадка на зрительную трубу снабжена откидным светофильтром для визирования на Солнце.

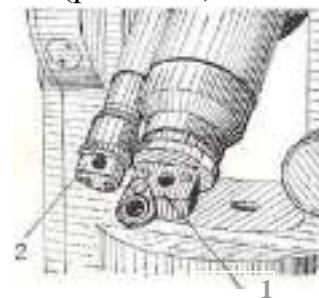


Рис.115. Окулярные насадки: на зрительную трубу – 1; на микрометр – 2.

Теодолит может быть ориентирован не только по дирекционному углу, но и по направлению магнитного меридиана. Для этого используется, входящая в комплект теодолита, ориентир-буссоль (рис. 116). Устанавливается она на кронштейн 2, расположенный на боковой крышке теодолита и крепится винтом 1. Положение магнитной стрелки наблюдают в откид-

ном зеркале, которому придают нужный наклон. Магнитную стрелку в нерабочем состоянии арретируют вращением винта 3, расположенного в нижней части корпуса буссоли. Северный конец стрелки окрашен в синий цвет. Для уравновешивания стрелки на южном конце установлен передвижной грузик.



Рис. 116. Ориентир-буссоль

Штатив (рис. 117) служит для установки теодолита над точкой местности – станцией (вершиной измеряемого угла). Раздвижные ножки штатива шарнирно соединены с головкой, на которую становым винтом крепится теодолит. На одной из ножек имеется пенал для нитяного отвеса и гаечного ключа.

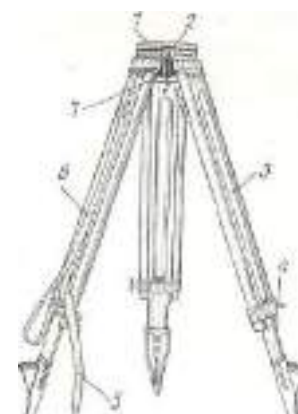


Рис. 117. Штатив. 1 – установочный столик; 2 - болт шарнира; 3 - ножка штатива; 4 - зажимной винт; 5, 6 - ремни; 7 - становой винт

Любой прибор имеет собственный футляр для его хранения и переноски. Футляры могут быть металлическими, пластмассовыми или деревянными. Форма и устройство футляра зависит от конструкции и особенностей прибора.

ЗИП теодолита предназначен для самостоятельного мелкого ремонта прибора, выполнения проверок и технического обслуживания. ЗИП включает: набор отверток, специальные ключи (шпильки), масленку, беличью кисть и фланель для протирки оптики, запасные латунные винты, бленду объектива зрительной трубы.

11.2.2. Подготовка теодолита к работе

Подготовка теодолита 2Т30 к работе включает:

- ✓ установку штатива над точкой, с которой будут производиться измерения;
- ✓ центрирование и горизонтирование теодолита;
- ✓ ориентирование лимба горизонтального круга (при необходимости).

Установку штатива необходимо производить следующим образом:

ослабить винты 4 (рис. 117) и выдвинуть ножки штатива на необходимую длину, после чего винты вновь затянуть;

используя нитяной отвес, установить штатив над

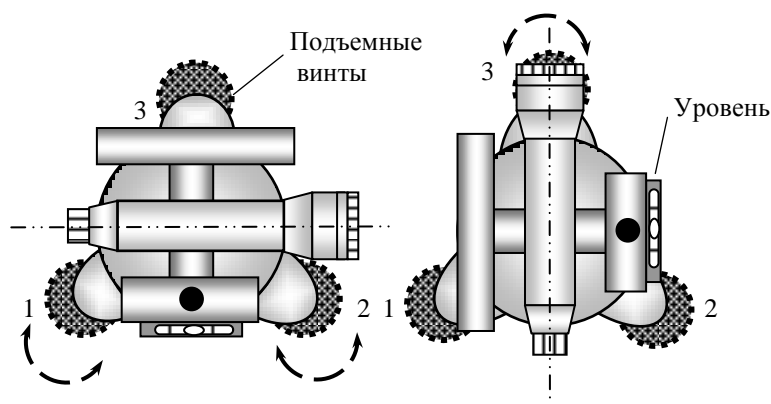


Рис. 118. Порядок горизонтирования теодолита (вид сверху)

точкой так, чтобы плоскость установочного столика была горизонтальна, а высота соответствовала росту наблюдателя.

После этого устанавливают теодолит на штативе и закрепляют станковым винтом так, чтобы прибор можно было перемещать по головке штатива. Используя зрительную трубу в качестве оптического центрира, совмещают перекрестие сетки с точкой и окончательно зажимают становой винт. Центрирование инструмента выполняют с точностью до 0,5 см.

Закрепив инструмент на установочном столике, приводят плоскость лимба в горизонтальное положение с помощью уровня при алидаде горизонтального круга, действуя подъемными винтами теодолита. Для этого устанавливают уровень параллельно двум подъемным винтам (рис. 118). Одновременным вращением этих винтов в разные стороны (во внутрь или наружу) добиваются чтобы пузырек уровня занял среднее положение. Затем поворачивают колонку теодолита на 90° и, вращением третьего подъемного винта, вновь выводят пузырек уровня на середину. Если горизонтирование выполнено правильно, то при вращении теодолита вокруг вертикальной оси пузырёк уровня не должен отклоняться более чем на одно деление. В противном случае горизонтирование повторяют заново.

Затем, вращением диоптрийного кольца добиваются резкого изображения сетки зрительной трубы, а вращением кремальеры резкости изображения наблюдаемого предмета.

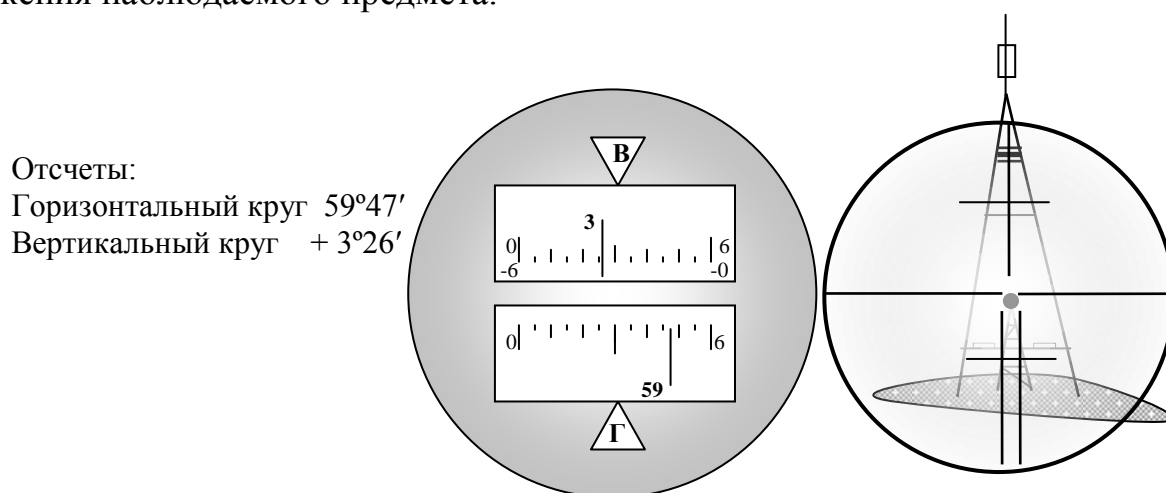


Рис. 119. Ориентирование теодолита по дирекционным углам

При необходимости теодолит может быть ориентирован по дирекционному углу или магнитному азимуту известного направления.

Пусть известен дирекционный угол с точки расстановки теодолита — А, на некую точку В, к примеру $\alpha_{AB} = 59^\circ 47'$. Ориентирование теодолита по дирекционным углам выполняют в следующей последовательности. Ослабив винт горизонтального круга 3 (рис. 110), поворачивают колонку вокруг своей оси до тех пор, пока в поле зрения микроскопа на лимбе горизонтального круга не появится отсчет близкий к известному, после чего лимб горизонтального круга стопорится. Точное значение дирекционного угла

устанавливают вращением винта точного наведения зрительной трубы 21 (рис. 110).

Ослабив стопорный винт алидады горизонтального круга 9, поворачивают колонку до совмещения перекрестия сетки зрительной трубы с точкой В, точное наведение осуществляют наводящим винтом алидады горизонтального круга 11 (рис. 110).

В результате этих действий визирная ось зрительной трубы должна быть направлена на точку В, а на лимбе горизонтального круга должен быть исходный отсчет (рис. 119).

При последующих поворотах колонки, при застопоренном лимбе, отсчет на шкалах горизонтального круга будет соответствовать дирекционному углу данного направления.

Для ориентирования теодолита по магнитному азимуту на шкалах горизонтального лимба, выше описанным порядком, устанавливают отсчет равный $0^{\circ}00,0'$. Устанавливают на теодолит ориентир-буссоль и разарретируют магнитную стрелку. Застопорив лимб горизонтального круга винтом 3 и ослабив стопорный винт алидады горизонтального круга 9, поворачивают колонку до совмещения северного конца магнитной стрелки с индексом «С», точное наведение осуществляют наводящим винтом алидады горизонтального круга 11 (рис. 110).

При последующих поворотах колонки, при застопоренном лимбе, отсчет на шкалах горизонтального круга будет соответствовать магнитному азимуту данного направления.

11.3. Порядок измерения горизонтальных и вертикальных углов

11.3.1 Измерение горизонтальных углов

Измерение горизонтальных углов выполняется подготовленным к работе теодолитом. Оптическую систему зрительной трубы настраивают для наблюдений по глазу и по предмету. С этой целью вращением диоптрийного кольца добиваются четкой видимости сетки нитей, а действуя кремальерой, - резкости изображения предмета наблюдения.

В практике геодезических работ отдельные горизонтальные углы измеряются *способом приемов*. Измерения производят двумя полу приемами - при круге лево (КЛ), затем при круге право (КП). Положение круга определяется расположением лимба вертикального круга относительно наблюдателя. Два полу приема составляют полный приём. Сначала измеряют угол при круге лево, затем при круге право.

Закрепив стопорный винт алидады (9) и открепив стопорный винт лимба горизонтального круга 3 (рис. 110), наводят вертикальную нить сетки на основание вехи, установленной в точке В (рис. 106). Когда веха появится в поле зрения, зажимают стопорный винт лимба и точную наводку осуществляют винтами 20 и 21. Совместив перекрестие сетки с

точкой, производят снятие отсчета. Отсчет по точке А производят аналогично.

Результаты наблюдений записывают в угломерный журнал (табл.18). Разность отсчетов на первую и вторую веши определяет значение горизонтального угла в полу приёме.

Разность в значениях измеренного угла между полу приёмами не должна превышать двойной точности теодолита 2Т30, т.е. 1'.

Среднее значение угла из двух полу приёмов записывают в журнал до десятых долей минуты.

Таблица 18. Журнал измерения горизонтального угла

Номер станции	Точки наблюдения	Отсчеты по горизонтальному кругу		Значение угла в полу приеме	Средне значение угла
I	В	КЛ	263° 40',0	89° 22',0	89° 21,5'
	А		174° 18',0		
	В	КП	83° 41',0	89° 21',0	
	А		354° 20',0		

Если с точки необходимо измерить несколько горизонтальных углов относительно одного исходного направления, то применяют **способ круговых приемов** (рис. 120).

Очевидно, что углы между двумя направлениями могут быть вычислены, если известны отсчеты по каждому из направлений. Для этого устанавливают на шкале лимба горизонтального круга отсчет близкий к 0°. Вращая колонку теодолита по ходу часовой стрелки, последовательно визируют на наблюдаемые точки 1, 2, 3...n и повторно на точку 1 (рис. 120). Повторное наведение на начальную точку называется **замыканием горизонта** и выполняется, чтобы убедиться в неподвижности лимба. Величина замыкания горизонта не должна превышать двойной точности прибора. Измерения производят двумя полу приемами, при КЛ и КП.

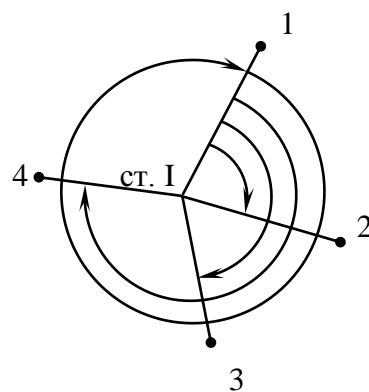


Рис.120. Способ круговых приемов

Отсчеты, полученные на начальную точку до и после замыкания, осредняют и записывают в журнал измерения углов способом круговых приемов (табл. 19).

Таблица 19. Журнал измерения углов способом круговых приемов

№ станции	Точки	Отсчеты по горизонтальному кругу		Значение угла в полу приеме		Среднее значение угла
		КЛ	КП	КЛ	КП	
I	1	<u>0° 07',6</u> 0° 07',4	<u>180° 07',3</u> 180° 07',1	0° 00',0	0° 00',0	0° 00',0
	2	46° 15',3	226° 15',1	46° 07',7	46° 07',8	46° 07',8
	3	114° 26',4	294° 26',0	114° 18',8	114° 18',7	114° 18',8
	4	183° 26',9	3° 26',8	183° 19',3	183° 19',5	183° 19',4
	5	265° 43',7	85° 43',6	265° 36',1	265° 36',3	265° 36',2
	1	0° 07',8	180° 07',5			

Принимая исходное направление за 0° 00',0, вычисляют значение горизонтального угла в полу приемах. Для этого из отсчета по точке вычитают усредненный отсчет по начальной точке.

Пример: $\beta_{1-2} = 46^\circ 15',3 - 0^\circ 07',6 = 46^\circ 07',7$ (КЛ)

$\beta_{1-2} = 6^\circ 15',1 - 180^\circ 07',3 = 46^\circ 07',8$ (КП)

Способ *совмещения нулей лимба и алидады* используется когда не требуется высокая точность измерения и одно из направлений принимается за исходное, а все горизонтальные углы измеряются относительно него. Для этого устанавливают на горизонтальном лимбе отсчет равный нулю и наводят теодолит в исходное направление и фиксируют положение лимба. Визируют правый предмет и снимают отсчет только при положении КП. Тогда горизонтальный угол β будет равен непосредственно самому отсчету.

Для измерения углов с большей точностью, чем точность применяемого для этого прибора, используют *способ повторений*. Для этого последовательно наводят прибор на правую и левую точку наблюдения и снимают отсчеты при положении КП необходимое количество n - раз. При этом каждый раз сначала сбивают наведение зрительной трубы на точку, а затем вновь осуществляют визирование. Далее рассчитывают угол:

$$a' = \frac{\sum a_i}{n}; \quad b' = \frac{\sum b_i}{n};$$

$$\beta = a' - b'$$

где: a, b – соответственно отсчеты на правую и левую точки.

Требуемое число измерений находят по формуле:

$$n = \frac{m_{np}^2}{m_{треб}^2}$$

где: m_{np} – средняя квадратическая ошибка прибора;
 $m_{треб}$ – требуемая точность измерения горизонтального угла.

11.3.2. Измерение вертикальных углов

Измерение вертикальных углов теодолитом производится аналогично измерению горизонтальных углов одним полуприемом. Подготовка теодолита к работе осуществляется по общим правилам. Снятие отсчетов при измерениях производится по шкале вертикального круга. При этом различают отсчеты при наведении на точку при круге лево и при круге право.

Для разных типов теодолитов возрастание и убывание отсчетов будет соответствовать разному положению круга (лево или право). Положение круга, когда положительные и отрицательные отсчеты совпадают с положением точек местности, называется **основным**.

Результаты наблюдений записывают в журнал (табл. 20).

Таблица 20. Журнал измерения вертикальных углов

Номер станции	Точки наблюдения	Отсчеты по вертикальному кругу		Значение угла в полу приеме	Средне значение угла	Место нуля МО	Уклон v
1	А	КЛ	14° 18',0	12° 22',0	12° 21,5'	- 0° 01'	14° 19',0
	В		26° 40',0				26° 41',0
	А	КП	- 14° 20',0	12° 21',0			
	В		- 26° 41',0				

В геодезии натуральное значение вертикального угла используется редко. Чаще используют **угол наклона (уклон)**, который составляет вертикальный угол между плоскостью горизонта и направлением на точку (рис. 114). Если наблюдаемая точка лежит выше линии горизонта, то уклон считается положительным (+ v), если ниже - отрицательным (- v). Для измерения уклона необходимо знать отсчет по вертикальному кругу, при котором оптическая ось зрительной трубы теодолита будет лежать в плоскости горизонта.

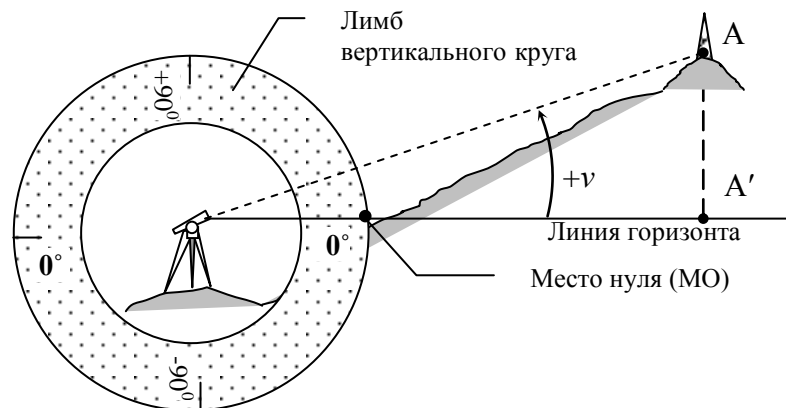


Рис. 121. Сущность измерения уклона

Этот отсчет в геодезии принято называть *место нуля* вертикального круга (МО). Эта величина является постоянной и для каждого прибора имеет свое значение. По сути это техническая ошибка прибора. Итак, *местом нуля* называют отсчет по лимбу вертикального круга, соответствующий горизонтальному положению визирного луча зрительной трубы теодолита (рис.121). Конструктивно лимб вертикального круга стремятся установить в прибор так, чтобы место нуля по своему значению было близко к нулю градусов или не превышать двойной точности теодолита. Для теодолита 2Т30, напомним, эта величина составит 60".

Для теодолита 2Т30, у которого основное положение КЛ, место нуля определяют по зависимости:

$$МО = \frac{КЛ + КП}{2},$$

где: КЛ, КП – отсчеты по вертикальному кругу на точку.

Тогда углы наклона (уклоны) будут равны

$$v = КЛ - МО = МО - КП.$$

Для решения задач инженерной геодезии необходимо производить не только линейные и угловые измерения, но и определять высотное положение объектов. Решение подобных задач осуществляется с помощью специальных геодезических приборов – нивелиров.

Глава 12. Нивелиры

12.1. Назначение, технические характеристики и общее устройство.

Нивелир (от франц. *niveler* – выравнивать, *niveau* – уровень), геодезический инструмент, предназначенный для измерения превышения точек земной поверхности - нивелирования, а также для задания горизонтальных направлений при монтажных и т.п. работах. Наибольшее распространение имеют оптико-механические нивелиры, снабженные зрительной трубой, при помощи которой производят отсчёт по специальной рейке. Перед отсчётом визирную ось зрительной трубы устанавливают горизонтально при помощи уровня, а в нивелирах с самоустанавливающейся линией визирования это осуществляется автоматически, с помощью компенсатора.

По точности нивелиры делятся на высокоточные, точные и технические, дающие на 1 км хода ошибки, не превышающие, соответственно, 0,5...1,0 мм, 4...8 мм и 15 мм.

При решении задач инженерной геодезии в основном используются точные и технические нивелиры типа Н-3 и Н-10, основные технические характеристики которых представлены в табл. 21.

Таблица 21. Технические характеристики нивелиров

Техническая характеристика	Нивелир	
	Н-3К	Н-10КЛ
Увеличение зрительной трубы, крат	30	20
Коэффициент нитяного дальномера	100	100
Наименьшее расстояние визирования, м	2,0	2,0
Цена деления круглого уровня, угл. мин на 2 мм	10	10
Диапазон работы компенсатора, угл. мин	± 16	± 15
Масса нивелира, кг	1,8	1,5

Нивелир Н-3 – точный нивелир с цилиндрическим уровнем и элевационным винтом (рис. 122). Предназначен для инженерно-геодезических работ при изысканиях и строительстве.

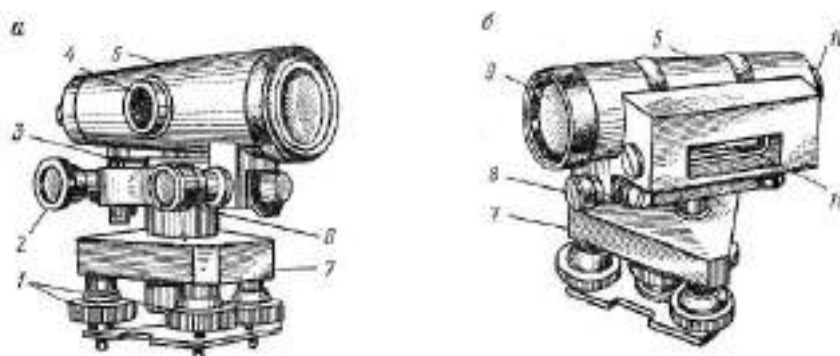


Рис. 122. Внешний вид и общее устройство нивелира Н-3.

1-подъемные винты; 2-элевационный винт; 3-круглый уровень; 4-кремальера; 5-корпус зрительной трубы; 6-наводящий винт; 7-трегер; 8-закрепительный винт; 9- объектив; 10-окуляр; 11-контактный цилиндрический уровень.

Основанием нивелира служит подставка (трегер) 7 с тремя подъемными винтами 1. Подъемные винты упираются в прорези треугольной пружинящей пластинки, которая для крепления прибора к штативу снабжена втулкой с резьбой.

Зрительная труба и контактный цилиндрический уровень 11 жестко скреплены между собой и имеют общий корпус 5, вращающийся вокруг вертикальной оси прибора. После грубой наводки на рейку положение зрительной трубы фиксируют закрепительным винтом 8 и, сфокусировав вращением кремаль-

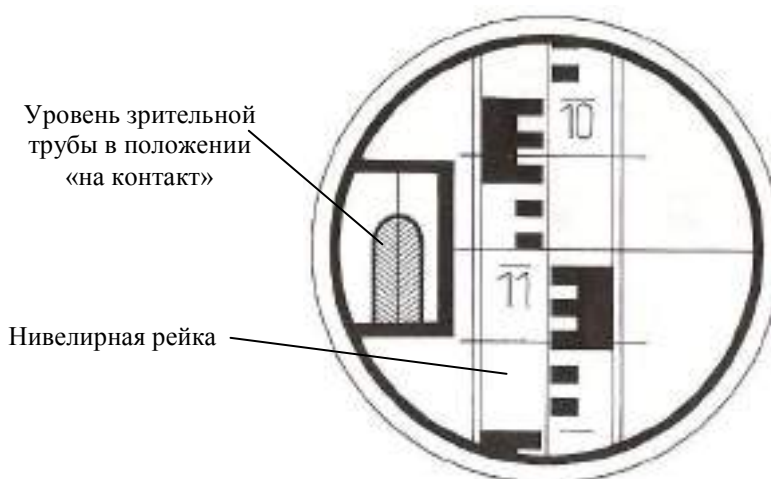


Рис. 123. Поле зрения нивелира

еры 4 изображение рейки, уточняют наведение с помощью наводящего винта 6.

Элевационным винтом 2 зрительная труба вместе с цилиндрическим уровнем может наклоняться в малых пределах в вертикальной плоскости.

Со стороны окуляра коробка цилиндрического уровня закрывается крышкой, под которой находятся юстировочные винты. С помощью этих винтов добиваются параллельности оси уровня и визирной оси зрительной трубы.

Приведение нивелира в рабочее положение (установка оси вращения нивелира в отвесное положение) выполняется подъемными винтами 1 по круглому уровню 3. Перед отсчетом по рейке, глядя в окуляр зрительной трубы, наблюдают за положением пузырька цилиндрического уровня и вращением элевационного винта 2 выводят пузырек в нуль-пункт, т. е. приводят в контакт изображения половинок противоположных концов пузырька в поле зрения трубы (рис. 123).

Нивелир может быть оснащен компенсатором, о чем свидетельствует наличие буквы «К» в его наименовании. Такие нивелиры более удобные в работе и получили наибольшее распространение на практике (рис.124).

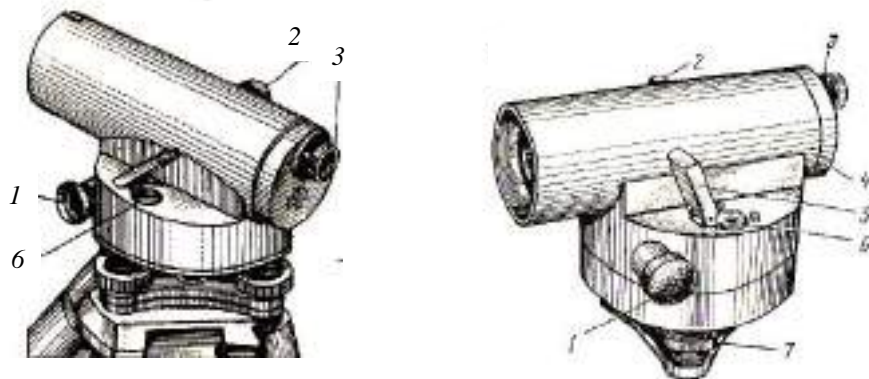


Рис. 124. Точный нивелир Н – 3К.

1 – винт наводящего устройства; 2 – кремальера; 3 – окуляр; 4 – корпус; 5 – откидное зеркало; 6 – круглый уровень; 7 – подъемный винт.

Для того чтобы понять принцип устройства и работы компенсатора, рассмотрим оптическую систему зрительной трубы нивелира Н–3К (рис.125).

Как видно из рисунка, компенсатор представляет собой свободно подвешенную на торсионах (стальных нитях) прямоугольную призму, которая под действием силы тяжести всегда висит вертикально и таким образом обеспечивает горизонтальное расположение оси зрительной трубы.

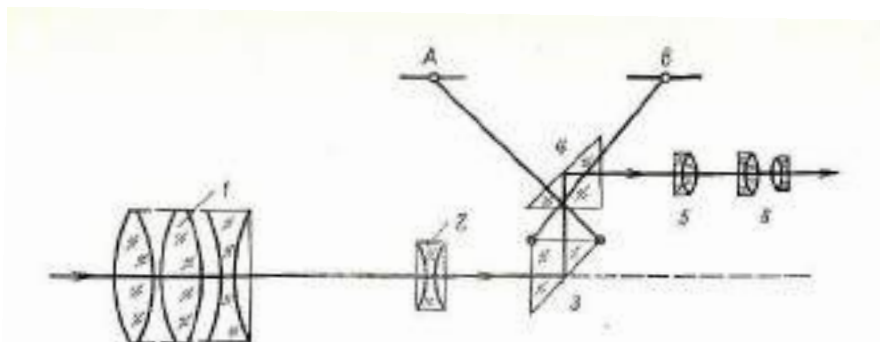
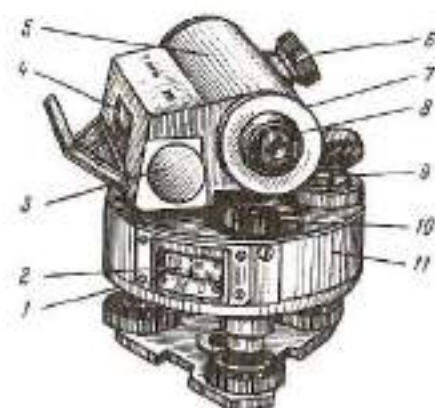


Рис. 125. Оптическая схема нивелира Н-3К. 1 - объектив; 2 - кремальера ; 3 - призма компенсатора; 4 - призма; 5 - сетка зрительной трубы; 6 - окуляр. А, В – точки подвеса призмы компенсатора.

Нивелир 2Н-10Л является техническим. Компенсатор в этом приборе отсутствует, зато имеется лимб для измерения горизонтальных углов. О наличии у нивелира лимба говорит буква «Л» в наименовании (рис. 126).



1 – подъемные винты; 2 – лимб; 3 – заглушка юстировочных винтов цилиндрического уровня зрительной трубы; 4 - цилиндрический уровень; 5 – зрительная труба; 6 – кремальера; 7 – корпус; 8 – окуляр; 9 – круглый уровень; 10 – элевационный винт; 11 – основание

Рис. 126. Нивелир 2Н-10Л.

12.2. Подготовка нивелира к работе.

Подготовка нивелира к работе заключается в последовательном выполнении следующих мероприятий.

1. Расставить штатив нивелира на станции, с которой будут производиться измерения.

2. Установить нивелир на штатив и закрепить его становым винтом.

3. Отгоризонтировать прибор. Для чего:

- Поворотом основания нивелира установить круглый уровень над одним из подъемных винтов (рис. 127).
- Одновременным вращением подъемных винтов 1 и 2 вывести пузырек уровня на линию АА.
- Вращением подъемного винта 3 вывести пузырек уровня в точку пересечения линий АА и ББ.

- При необходимости откорректировать положение пузырька последовательным вращением подъемных винтов 1,2 и 3.
- Вращением диоптрийного кольца окуляра, добиваются резкого изображения сетки нивелира. Наводят прибор на рейку, установленную на точке, и, вращением кремальеры, достигают резкости в изображении.

После выполненных действий нивелир с компенсатором готов к работе. Если нивелир без компенсатора, то перед каждым снятием отсчетов вращением элевационного винта 10 необходимо установить пузырек цилиндрического уровня зрительной трубы в положении «на контакт».

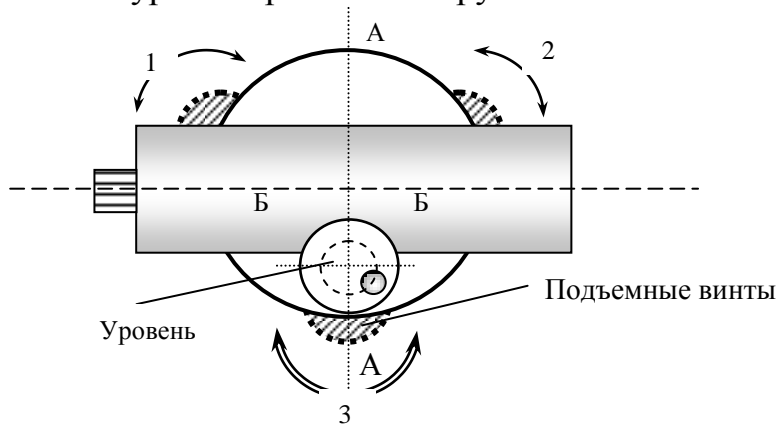


Рис. 127. Порядок горизонтирования нивелира.

В комплект нивелира входят:

- собственно нивелир;
- штатив с нитяным отвесом;
- укладочный ящик (футляр);
- ЗИП и документация (техническое описание, паспорт прибора);
- две нивелирные рейки.

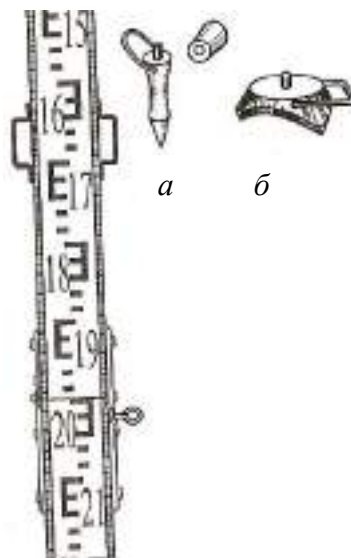


Рис. 128. Нивелирная рейка; а – костыль, б – башмак.

Нивелирная рейка (рис. 128) состоит из двух деревянных брусков, соединенных между собой металлической фурнитурой. Это позволяет складывать рейку для транспортирования. Рейка имеет шкалу на обеих сторонах. Сантиметровые шашки наносят по всей длине рейки с погрешностью 0,5 мм и оцифровывают через 10 см. Высота подписанных цифр не менее 40 мм. На основной стороне рейки шашки черные на белом фоне, на другой (контрольной) - красные на белом фоне. На каждой стороне рейки первые 5 см каждого дециметра соединяют вертикальной полосой. В результате получается фигура, напоминающая печатную букву «Е», указывающая начало нового десятка. Для контроля при отсчетах по двум сторонам рейки начало красной шкалы смещено по отношению к началу основной шкалы. Основная черная шкала начинается с «0», а красная с 4687 или 4787.

Для удобства и быстроты установки нивелирные рейки иногда снабжают круглыми уровнями и ручками. На торцах нивелирной рейки укрепляют пятки в виде металлических полос толщиной 2 мм.

Рейки маркируют так: например, тип РН-10П-3000С означает, что это рейка нивелирная, со шкалой деления 10 мм, подписью цифр «прямо», длиной 3000 мм, складная. Для точных и технических работ выпускают рейки длиной 3 и 4 м.

Нивелирные рейки можно применять в разное время года при различных метеорологических условиях. Температурный диапазон работы реек от -40 до $+50^{\circ}\text{C}$.

Во время работы рейки устанавливают на деревянные колья, костыли или башмаки.

Костыль (рис. 128а) - это металлический стержень с заостренным концом с одной стороны и сферической шляпкой с другой. Для забивки костыля в грунт на его верхний торец надевают крышку.

Башмак (рис. 128б) - это толстая круглая или треугольная металлическая пластина на трех ножках. В середине пластины укреплен стержень со сферической шляпкой, на которую опираются нивелирные рейки.

Рейки устанавливают вертикально «на глаз» или с помощью уровня. Если уровня нет, отсчет по рейке берут при покачивании рейки в сторону нивелира и от него. Из всех видимых отсчетов берут наименьший, он соответствует отвесному положению рейки.

Отсчеты по рейкам (рис. 129) производят по средней нити нивелира - по месту, где проекция средней нити пересекает рейку. Сделать отсчет по рейке - это значит определить высоту визирной оси нивелира над нулем (основанием) рейки. Цифры считывают в такой последовательности: сначала считывают число сотен миллиметров, затем прибавляют к нему число десятков, а число единиц миллиметров определяют на глаз.

Отсчет записывают в миллиметрах, к примеру, на рис. 129 он равен $1100 + 70 + 8 = 1178$.

Практически все оптические приборы, применяемые в инженерной геодезии, имеют одинаковые сетки зрительной трубы. Сетка зрительной трубы нивелира тоже имеет штрихи нитяного дальномера, которые позволяют измерять расстояния по дальномерной рейке, как и с помощью теодолита.

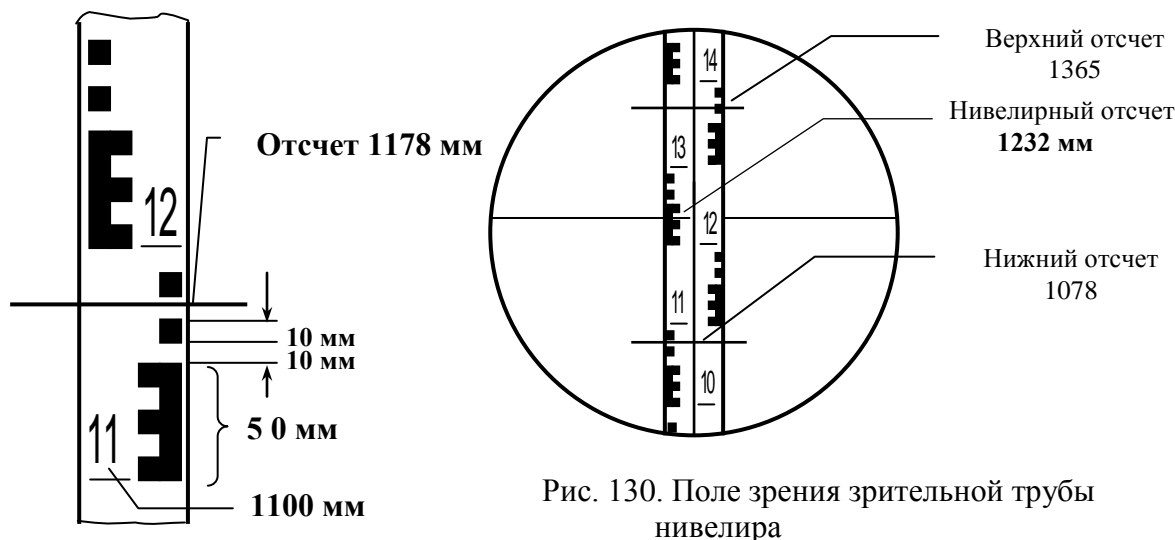


Рис. 130. Поле зрения зрительной трубы нивелира

Рис. 129. Устройство шкалы рейки.
Порядок снятия отсчетов.

В последнее время в практике геодезических работ широкое применение получили электронные нивелиры различных конструкций и производителей. Представителем этого класса приборов является электронный нивелир ZDL700 швейцарской фирмы GEOMAX (рис. 131).

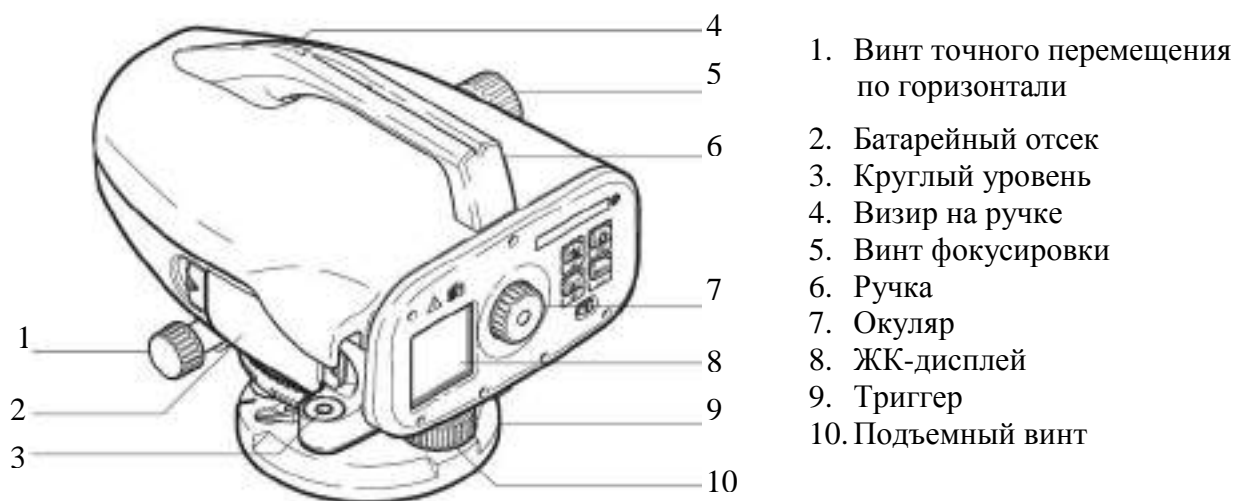


Рис. 131. Общий вид электронного нивелира ZDL700

Электронный нивелир позволяет решать такие задачи как:

- измерение расстояний;
- запись измерений;
- электронное и оптическое измерение превышений по рейке;
- оптическое измерение превышений;
- оптическое измерение расстояния с использованием показателей дальномерной съемки;
- обмен данными с внешним устройством.

Технические характеристики большинства электронных нивелиров схожи и имеют значения, приведенные в табл. 22.

Таблица 22. Технические характеристики нивелира ZDL700

Измерение превышений	Стандартное отклонение на 1 км двойного хода: Электронное измерение с помощью штриховой рейки – 0,7 мм Оптическое измерение - 2,5 мм
Точность измерения расстояний	10 мм для расстояния до 10 м; 0,001D для расстояния, более 10 м
Диапазон	измерения расстояний 2...105 м
Минимальное расстояние фокусировки	50 см
Время отдельного измерения (электронно)	3 секунды
Хранение во внутренней памяти	Объем до 2000 точек

Нивелир ZDL700 имеет удобный, логично построенный интерфейс, позволяющий быстро адаптироваться геодезисту к данному прибору и успешно производить измерения (рис. 132).

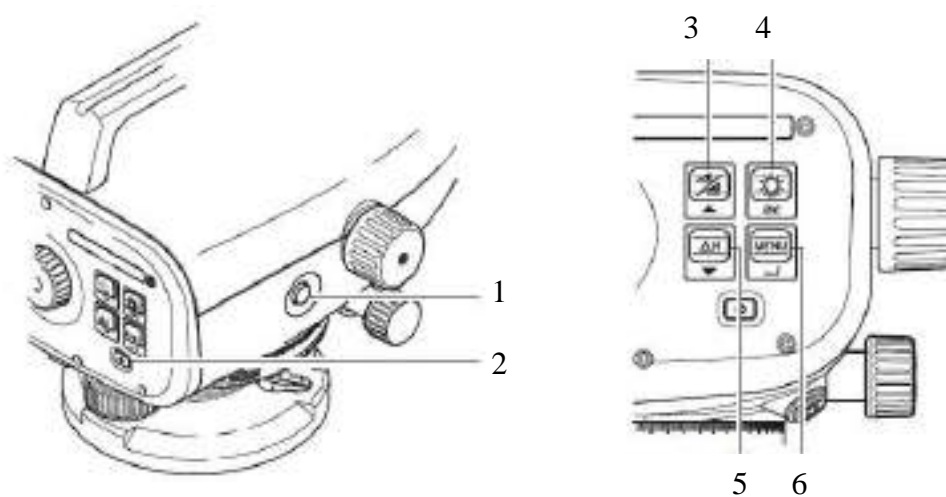


Рис. 132. Интерфейс прибора: 1 - Вкл\Выкл; 2 - ИЗМЕРЕНИЕ; 3 - Превышение\расстояние; 4 - dH; 5 - МЕНЮ; 6 - Подсветка

Следует отметить, что результаты геодезических измерений, их точность и достоверность, зависят не только от типа прибора, его конструктивно-технических параметров, но и от условий хранения, бережного обращения и грамотного обслуживания, своевременного проведения необходимых проверок.

Глава 13. Правила эксплуатации, хранения и технического обслуживания

13.1. Правила эксплуатации теодолитов

Теодолит является точным оптическим прибором и требует внимательного и бережного обращения. Теодолит следует содержать в исправности и постоянной готовности к применению. Соблюдение правил хранения и эксплуатации теодолитов, а также своевременное и квалифицированное их техническое обслуживание обеспечивает надежную работу и длительный срок службы прибора без ремонта.

При эксплуатации рекомендуется соблюдать следующие правила:

во избежание конденсации влаги, приводящей к загрязнению оптики, вносить теодолит с холода в теплое помещение следует в футляре, и вынимать из футляра не ранее чем через 2 часа;

вынося теодолит на холод, вынимать его из футляра через 30 мин во избежание больших местных напряжений в оптических деталях, приводящих к разъюстировке прибора;

при вращении зажимных и наводящих винтов, не прилагать чрезмерных усилий;

при длительной работе на станции оберегать теодолит от прямых солнечных лучей, укрывать от пыли и атмосферных осадков;

запрещается использовать футляр прибора в качестве сидения;

разрешается переносить теодолит со станции на станцию непосредственно закрепленным на штативе.

Комплекты теодолитов хранят в чистом помещении при температуре $+5...+40^{\circ}\text{C}$ и относительной влажности воздуха, не превышающей 65%. При температуре ниже 25°C допускается увеличение относительной влажности до 80% .

Воздух в помещении не должен содержать примесей, вызывающих коррозию металлов, налеты на поверхностях оптических деталей.

Хранить в помещении вместе с теодолитом аккумуляторы, кислоты, щелочи и другие материалы, выделяющие химически активные вещества, **категорически запрещается.**

Во избежание деформации футляров и повреждения отделки теодолиты, упакованные в футляры, размещают на стеллажах или в шкафах в один ряд. Штативы хранят с выдвинутыми и закрепленными ножками, стянутыми внизу ремнем.

Запрещается хранить комплекты теодолитов на полу, возле печей, батарей центрального отопления, у окон, пропускающих прямые солнеч-

ные лучи.

Транспортировать теодолиты разрешается только в штатном футляре, в вертикальном положении. Упакованные таким образом приборы допускается перевозить любым видом крытого транспорта. При этом теодолит нельзя подвергать резким толчкам и ударам, так как - это может привести к его повреждению и разъюстировке, нельзя бросать и кантовать.

После каждого применения теодолита, перед его укладкой в футляр необходимо производить чистку оптических поверхностей. Теодолит имеет просветленную оптику, которая особенно чувствительна к механическим повреждениям.

С наружных оптических поверхностей зрительной трубы, микроскопа, оптического визира пыль удаляют с помощью беличьей кисти, а затем сухой фланеливой салфеткой легкими движениями удаляют загрязнения.

Жирные пятна (например, следы пальцев) смывают ватным тампоном, смоченным спирто-эфирной смесью (50 % спирта и 50 % эфира), после чего осторожно, без нажима протирают эти поверхности вращательными движениями от центра к краю.

Внутренние оптические детали чистят ватой, накрученной на деревянную палочку и смоченной спиртом или эфиром.

13.2. Проверка технического состояния и юстировка теодолита

Проверка технического состояния позволяет своевременно выявить и устранить неисправности теодолита, а также избежать грубых ошибок при полевых измерениях.

Внешний осмотр.

Проводится при приобретении прибора, получении его из ремонтных мастерских, а также перед каждым выходом на полевые измерения. При внешнем осмотре необходимо проверить комплектность в соответствии с паспортом или договором на поставку теодолита. Убедиться в целостности оптических деталей, отсутствии механических повреждений, влияющих на эксплуатационные свойства, метрологические характеристики и сохранность прибора.

Наблюдением в окуляры соответствующих оптических систем проверяют чистоту поля зрения. Вращением диоптрийного кольца и кремальеры убедиться в возможностях фокусирования оптической системы. Оценивают четкость изображения штрихов лимбов и отсчетных шкал, проверяют параллакс.

Не допускаются дефекты, мешающие использованию теодолита по своему назначению.

Проверка взаимодействия узлов

Взаимодействие узлов теодолита проверяют следующим образом.

Вращением стопорных и наводящих винтов теодолита проверяют

плавность вращения зрительной трубы, алидады горизонтального круга, наводящих винтов, механизма перевода горизонтального круга, диоптрийных колец, кремальеры, подъемных винтов триножника, работу закрепительных винтов и зеркала подсветки.

Проверка устойчивости штатива.

Установить теодолит на штативе, привести вертикальную ось в отвесное положение и навести зрительную трубу на визирную цель. Сместить визирную ось теодолита с выбранной цели примерно на половину ширины бисектора сетки нитей, приложив к головке штатива крутящее усилие в горизонтальной плоскости.

После снятия усилия оценить остаточное смещение вертикального штриха сетки нитей теодолита относительно изображения цели. Повторить проверку, поворачивая головку штатива в противоположном направлении.

При наличии остаточных смещений штатива затянуть гаечным ключом болты в шарнирах головки, крепежные винты, соединяющие выдвижные планки ножек с наконечниками, и винты, крепящие стержни ножек в верхней металлической обойме.

Проверка уровня при алидаде горизонтального круга

Любой теодолит имеет четыре оси (рис. 133):

- JJ – вертикальная ось вращения теодолита.
- UU – горизонтальная ось цилиндрического уровня;
- VV – визирная ось зрительной трубы;
- HH – ось вращения зрительной трубы;

У «идеального прибора» эти оси между собой должны располагаться определенным образом, так ось $UU \parallel HH$; $JJ \perp UU$; $JJ \perp HH$; $VV \perp HH$.

В исправном теодолите взаимное расположение его осей задается конструктивными параметрами близкими к «идеальному прибору». В ходе эксплуатации проводят проверку соблюдения этих условий, а также необходимые юстировки теодолита.

Перпендикулярность оси уровня и вертикальной оси теодолита проверяют следующим образом. Поворачивают алидаду так, чтобы ось уровня расположилась параллельно двум подъемным винтам триножника. Вращением этих винтов в противоположные направления, выводят пузырек уровня на середину. Поворачивают алидаду на 90° и третьим подъемным винтом выводят пузырек уровня на середину, затем повернув алидаду на 180° , оценивают смещение пузырька от среднего положения. Если пузырек остался на середине или отклонился на величину ме-

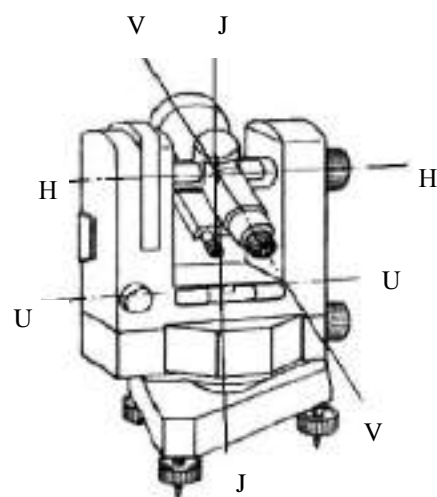


Рис. 133. Оси теодолита

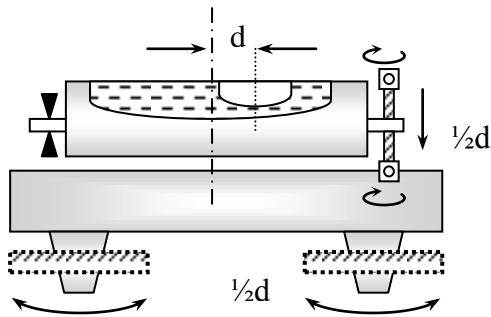


Рис. 134. Юстировка уровня горизонтального круга

нее одного деления, то условие выполнено.

В противном случае половину величины отклонения пузырька от середины d (рис. 134) устраняют исправительными винтами уровня, а вторую половину исправляют подъемными винтами треножника. Затем теодолит поворачивают на 180° и все действия повторяют до

тех пор, пока условие не будет выполнено.

Определение наклона сетки нитей зрительной трубы

Для выполнения этой проверки необходимо: закрепить теодолит на штативе и привести вертикальную ось в отвесное положение. Навести зрительную трубу на удаленную точку, совместить изображение цели с левым концом горизонтального штриха сетки нитей и, вращая колонку наводящим винтом горизонтального круга, повернуть зрительную трубу. Оценить смещение цели с правого конца штриха сетки нитей. Если смещение превышает три ширины штриха, следует выполнить юстировку. Для чего, ослабив исправительные винты сетки нитей, поворачивают диафрагму с сеткой до соблюдения, поставленного условия. Перпендикулярность нитей гарантируется заводом, поэтому после исправления положения горизонтальной нити другая нить сетки будет вертикальна.

Определение коллимационной ошибки

Коллимационная ошибка возникает в результате неперпендикулярность визирной оси зрительной трубы и горизонтальной оси ее вращения. Определяют коллимационную ошибку следующим образом:

с помощью подъемных винтов приводят алидаду в горизонтальное положение, наводят центр сетки нитей на удаленную точку при двух положениях вертикального круга и производят отсчеты (КП1, КЛ1) по горизонтальному лимбу (рис. 135).

При закреплённой алидаде отпускают закрепительный винт горизонтального лимба и поворачивают алидаду приблизительно на 180° . Затем закрепляют лимб и, открепив алидаду, вновь наводят центр сетки нитей на ту же самую точку и при двух положениях вертикального круга производят отсчеты (КП2, КЛ2).

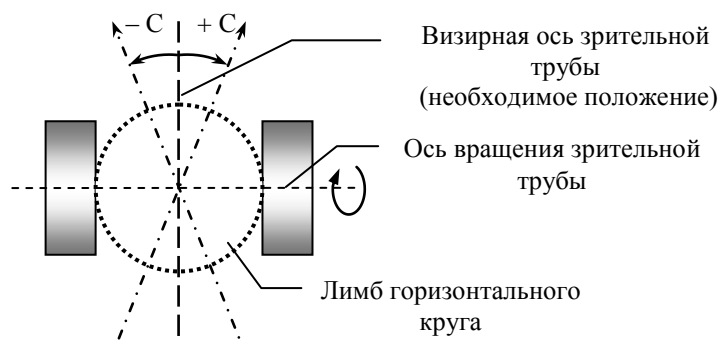


Рис. 135. Сущность коллимационной ошибки

Величину коллимационной ошибки C находят по формуле:

$$C = \frac{\overset{\sim}{\text{КП1}} - \overset{\sim}{\text{КЛ1}} \pm 180^\circ + \overset{\sim}{\text{КП2}} - \overset{\sim}{\text{КЛ2}} \pm 180^\circ}{4}$$

Если $C \leq 2m$, где m – точность теодолита, то считаем, что проверяемое условие соблюдается. В противном случае выполняют исправление коллимационной ошибки.

Если коллимационная ошибка $C > 2m$, то ее следует устранить. Для чего микрометрическим (наводящим) винтом алидады устанавливают на лимбе средний отсчёт M , который вычисляют по формуле:

$$M = \overset{\sim}{\text{КП2}} - C \text{ или } M = \overset{\sim}{\text{КЛ2}} + C$$

Затем, горизонтальными (боковыми) исправительными винтами сетки нитей, слегка ослабив вертикальные исправительные винты, её центр совмещают с выбранной точкой и закрепляют винты сетки нитей. Для контроля поверку повторяют.

Определение наклона горизонтальной оси

Перпендикулярность горизонтальной и вертикальной осей теодолита проверяют следующим образом:

Наводят трубу на высокую и близко расположенную точку. Закрепив алидаду, опускают трубу примерно до горизонтального положения и отмечают карандашом на стене здания проекцию центра сетки нитей. То же самое проделывают при другом положении круга.

Если проекции центра сетки нитей при двух положениях круга не совпадают и выходят за пределы бисектора, инструмент должен быть исправлен. Исправление производится в мастерской.

Определение рена отсчетной системы

Реном называется несоответствие размера шкалы микрометра расстоянию между градусными штрихами лимба. Значение рена определяется отдельно для вертикального и горизонтального лимбов исходя из условия: 1° (величина шкалы лимба) равна $60'$ (величина шкалы микрометра). Для этого следует совместить градусный штрих лимба со штрихом отсчетной шкалы микрометра соответствующим $60'$ и снять показание по нулевому штриху (рис. 136).

Затем вычисляют разность показаний по штрихам, которая равна рену микрометра на данном участке лимба:

горизонтальный круг

$$59^\circ 00,5' - 58^\circ 60' = 0^\circ 00,5'$$

вертикальный круг

$$3^\circ 00,5' - 2^\circ 60' = 0^\circ 00,5'$$

Рен вертикального лимба определяют на участках от 0°

Отсчеты:

Горизонтальный круг:

$$59^\circ 00,5'$$

Вертикальный круг:

$$+ 3^\circ 00,5'$$

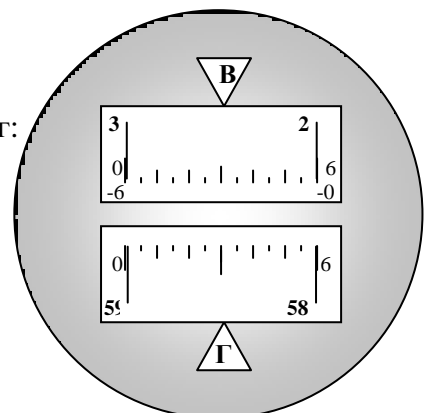


Рис. 136. Определение рена микрометра

до $\pm 2^\circ$ при круге слева и справа, рен горизонтального круга - через 60° .

Вычисляют среднее арифметическое значение рена для каждого круга из шести определений.

Расхождение между значениями рена для разных участков лимба не должно превышать $30''$. При среднем значении рена более $15''$ производят его исправление. Рен горизонтального и вертикального кругов исправляют перемещением обеих линз соответствующих кругов (рис. 137). Если изображение круга необходимо уменьшить, обе линзы нужно удалить от круга, если увеличить – приблизить. Одновременно следят за отсутствием параллакса между изображениями штрихов лимба и шкалы микрометра.

Параллакс устраняют следующим образом:

снимают боковую крышку теодолита со стороны вертикального круга; наблюдая в микрометр, устанавливают окуляр по глазу до четкого изображения шкалы;

слегка открепив винт 2 (рис. 137), перемещением линзы вдоль паза кронштейна добиваются четкого изображения горизонтального лимба, винт закрепить;

аналогично устраняют параллакс вертикального круга нижним винтом, расположенным в глубине боковой продольной прорези.

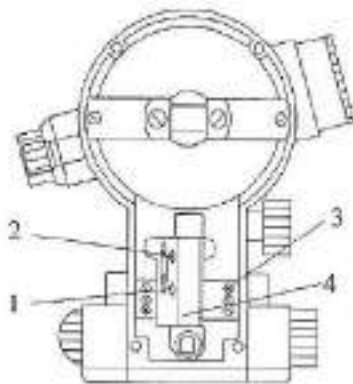


Рис. 137. Теодолит без боковой крышки. 1, 2 - винты крепления линз горизонтального круга; 3 – винт крепления кронштейна; 4 – кронштейн.

13.3. Проверка технического состояния и юстировка нивелиров

Несмотря на то, что все нивелиры юстируются перед продажей, периодически необходимо проводить проверку их технического состояния. Грамотное и своевременное обслуживание прибора, позволит исключить грубые ошибки в ходе полевых измерений и продлить срок службы прибора. К основным поверкам нивелира относятся: поверка круглого уровня, компенсатора и проверка параллельности визирной оси прибора уральной поверхности.

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

Для проверки этого условия выполняют следующие действия. Вращением подъёмных винтов приводят пузырёк уровня в нуль-пункт и поворачивают верхнюю часть нивелира на 180° . Если после этого пузырёк уровня отклонился от нуль-пункта не более чем на $\frac{1}{4}$ своего диаметра, то условие выполнено. В противном случае, действуя исправительными винтами уровня, перемещают его в направлении нуль-пункта на половину дуги отклонения, а затем подъёмными винтами выводят пузырёк в нуль-пункт. Поверку для контроля повторяют.

2. Средняя горизонтальная нить сетки должна быть перпендикулярна к оси вращения нивелира.

Производится аналогично соответствующей поверке теодолита.

3. Проверка работы компенсатора.

Вращением подъёмных винтов смещают пузырек круглого уровня в центр. Выбирают удаленную, четко видимую цель и наводят на нее зрительную трубу. После чего поворачивают подъёмный винт, направленный в сторону цели, на $\frac{1}{8}$ оборота вправо или влево. При этом контролируют смещение горизонтальной нити сетки нивелира относительно цели. Нить должна дернуться и вернуться на место. Рекомендуется проверять поведение компенсатора каждый раз перед началом работы

4. Визирная ось зрительной трубы и ось цилиндрического уровня должны быть параллельны (главное условие).

Первый способ. Выбирают на местности две точки А и В на расстоянии 60 – 80 м., одна от другой и закрепляют их кольями. Устанавливают нивелир посередине, горизонтируют, элевационным винтом добиваются положения уровня зрительной трубы «на контакт» и, взяв отсчёты a_1 по рейке А и v_1 по рейке В, определяют превышение h_1 . **При этом каждый раз выводят пузырек уровня на середину.** В этом случае даже при негоризонтальном положении визирной оси превышение будет определено правильно, так как нивелирование производилось при равных плечах. Затем, устанавливают нивелир в 3...4 метрах от рейки А, приводят его в рабочее положение и снимают отсчёты a_2 и v_2 по соответствующим рейкам (рис. 138). **При этом вновь каждый раз выводят пузырек уровня на середину.** Сняв отсчёты, вычисляют превышение h_2 и сравнивают его с h_1 .

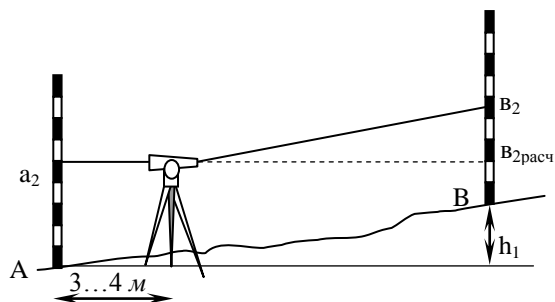


Рис. 138. Поверка основного условия нивелирования

Если $h_1 = h_2$ или отличаются не более чем на 3 – 4 мм, это свидетельствует о параллельности визирной оси трубы оси цилиндрического уровня. В противном случае, зная правильное значение превышения h_1 , определя-

ют вычислением отсчёта по рейке $v_{2\text{расч}}$, соответствующий горизонтальному положению визирной оси, т.е.:

$$v_{2\text{расч}} = a_2 - h_1$$

Визируя на рейку в точке В, вращают элевационный винт и устанавливают среднюю горизонтальную нить на вычисленный отсчёт v_2 . Затем, действуя вертикальными исправительными винтами цилиндрического уровня, совмещают изображения концов пузырька уровня. Для контроля поверку повторяют.

Второй способ. С помощью мерной ленты откладывают три равных отрезка длиной по 20 – 30 м., концы, которых закрепляют кольями (рис. 139). Устанавливают нивелир на одном из концов линии, например в точке «ст.1», и, выведя пузырёк уровня зрительной трубы на середину («на контакт»), берут отсчёты a_1 и v_1 по отвесно стоящим рейкам в точках А, В. При не параллельности визирной оси и оси цилиндрического уровня превышение между точками А и В будет равно:

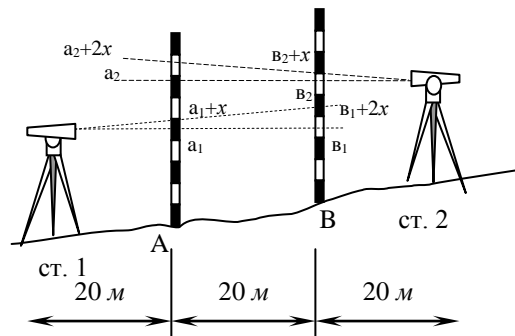


Рис.139. Поверка главного условия нивелира

$$h = (a_1 - x) - (v_1 - 2x).$$

Переносят инструмент на вторую станцию и подобным образом находят отсчёты a_2 и v_2 . Превышение h на второй станции определяется из равенства:

$$h = (a_2 - 2x) - (v_2 - x)$$

Для определения отсчёта $a^*_2 = a_2 - 2x$, соответствующего горизонтальному положению визирной оси трубы, приравнивают правые части уравнений

$$a_1 - x - v_1 + 2x = a_2 - 2x - v_2 + x$$

откуда

$$a^*_2 = a_1 - v_1 + v_2$$

Вычисленный отсчёт a^*_2 устанавливают по рейке элевационным винтом с последующим совмещением концов пузырька уровня его исправительными винтами.

13.4. Особенности эксплуатации, хранения и обслуживания нивелиров

При эксплуатации нивелиров следует помнить и неукоснительно выполнять следующие правила. Устанавливать на станции штатив с прикрепленным к нему прибором необходимо осторожно, чтобы не подвергать

прибор резким толчком, что может привести к падению и выходу его из строя.

Если на оптические детали прибора попали капли влаги, нужно дать им высохнуть и только после этого можно протереть чистой фланелевой салфеткой.

Нельзя подвергать прибор резким перепадам температур. Если работа велась при низкой температуре, нивелир, после внесения в теплое помещение, оставляют на два-три часа в закрытом футляре и только после этого его вынимают и протирают. Так как прибор снабжен просветленной оптикой, чистку оптических деталей, при их загрязнении, необходимо производить осторожно, не прилагая больших усилий во избежание повреждения просветляющего слоя.

Нельзя вести работу, если подвижные части и винты нивелира туго вращаются. Необходимо выяснить и устранить причины этого.

Для смазки следует применять масло, находящееся в масленке. Смазка не должна быть обильной, так как она быстро загрязняется.

Нельзя слишком туго завинчивать исправительные и другие винты нивелира, чтобы не сорвать резьбу и не создать лишних натяжений.

При перевозках футляр с прибором во избежание разъюстировки и поломок нужно предохранять от сильных толчков, ударов и падений.

Перед упаковкой на длительное хранение прибор и принадлежности должны быть подвергнуты тщательной консервации. Для этого смазывают все неокрашенные наружные поверхности консервационной смазкой, обеспечивающей их сохранность на длительный период хранения. Консервацию нужно производить в сухом и чистом помещении с температурой воздуха не ниже + 15°C. Перед консервацией поверхности необходимо промыть тампоном, смоченным смесью, состоящей из 80...90 объемных частей эфира и 10...20 объемных частей этилового ректифицированного спирта или авиационным бензином, затем протереть чистой ветошью.

Консервационную смазку следует подогреть до 25-30°C и тампоном или кистью тонким слоем нанести на консервируемые поверхности.

Попадание смазки на оптические детали не допускается!

Перед началом эксплуатации прибор и принадлежности необходимо расконсервировать. Для этого с законсервированных поверхностей ветошью снимают слой смазки и промывают их тампоном, смоченным в спирто-эфирной смеси или авиационном бензине. При загрязнении оптических деталей их нужно протереть чистой салфеткой.

Нивелир является оптическим прибором, поэтому требует бережного обращения. Для хранения и перевозки используют штатный футляр. При выполнении полевых измерений допускается переносить нивелир со станции на станцию непосредственно на штативе. В перерывах между измерениями на станции нивелир следует укрывать от прямых солнечных лучей, пыли, снега или дождя.

В нерабочее время нивелир следует хранить в футляре в сухом отапливаемом помещении при температуре не ниже $+5^{\circ}\text{C}$. Суточные колебания температуры не должны быть резкими и вызывать повышение относительной влажности более чем до 70%.

Глава 14. Геодезические сети Российской Федерации

Сущность топографической съемки, с точки зрения методологии решения задач инженерной геодезии, сводится к определению местоположения множества точек ситуации и рельефа относительно съемочного обоснования, о чем речь шла ранее в главе 9.

В свою очередь исходной основой для создания съемочного обоснования служат геодезические сети.

Геодезической сетью называют совокупность закрепленных точек земной поверхности, положение которых определено в общей системе прямоугольных координат и абсолютных высот.

Геодезическая сеть, охватывающая всю территорию РФ, называется государственной (ГГС). Геодезические сети созданные в интересах заказчиков инженерно-геодезических работ называются специальными или сетями сгущения (ГСС). Такие сети развиваются путем создания геодезических пунктов внутри государственной сети.

Создание единой геодезической сети для такого государства, как Российская Федерация, с территориальной протяженностью в меридианном направлении до 10 000 км, является чрезвычайно трудной задачей, как в научном плане, так и в практическом исполнении.

Основными документами, регламентирующими требования к геодезическим сетям и порядок их построения, являются:

1. «Основные положения о государственной геодезической сети Российской Федерации» 2004г.;
2. «Инструкция о построении государственной геодезической сети СССР» 1966г.;
3. «Инструкция о ГСС и съемочных сетях» 1982г., а также ряд ведомственных положений и инструкций.

В настоящее время важной задачей является создание единой классификации всех существующих и перспективных геодезических сетей, соответствующей международным стандартам.

Государственная геодезическая сеть является основой для топографических съемок всех масштабов и подразделяется на сети 1, 2, 3 и 4 классов, различающиеся точностью измерения углов, расстояний и превышений, длиной стороны сети и порядком развития.

Плановые геодезические сети строятся методами триангуляции, трилатерации или полигонометрии.

Триангуляцией (от лат. *triangulum* — треугольник), называют метод построения геодезической сети в виде треугольников, в которых измеряются все внутренние углы и некоторые из сторон.

Если в геодезической сети измеряются только стороны треугольников, то такая сеть относится к трилатерации.

Методом полигонометрии строят геодезические сети, в которых между геодезическими пунктами прокладывают ряд связующих точек (геодезические ходы) между которыми измеряют все расстояния и углы.

Таблица 23. Требования к государственной геодезической сети

Класс	Длина сторон треугольников, км	Среднеквадратическая погрешность измерения угла, сек	Относительная погрешность создания сети
1	20-25	0,7	1:400 000
2	7-20	1,0	1:300 000
3	5-8	1,5	1:200 000
4	2-5	2,0	1:200 000

Геодезическая сеть 1 класса проложена рядами триангуляции по меридианам и параллелям. Ряды, пересекаясь между собой, образуют систему полигонов. Часть ряда между пересечениями называется звеном, длина которого составляет 200-250 км.

Площади внутри полигонов 1 класса заполняются сплошной сетью треугольников 2 класса, сгущаемой по необходимости сетями 3 и 4 классов.

Геодезические пункты ГГС выбирают по возможности так, чтобы они равномерно покрывали территорию и чтобы из каждой точки было видно не менее 3-х соседних пунктов.

Обозначение на местности пунктов ГГС осуществляется внешними геодезическими знаками, которые бывают следующих видов: сигналы, пирамиды, туры, реперы и марки (рис. 140).

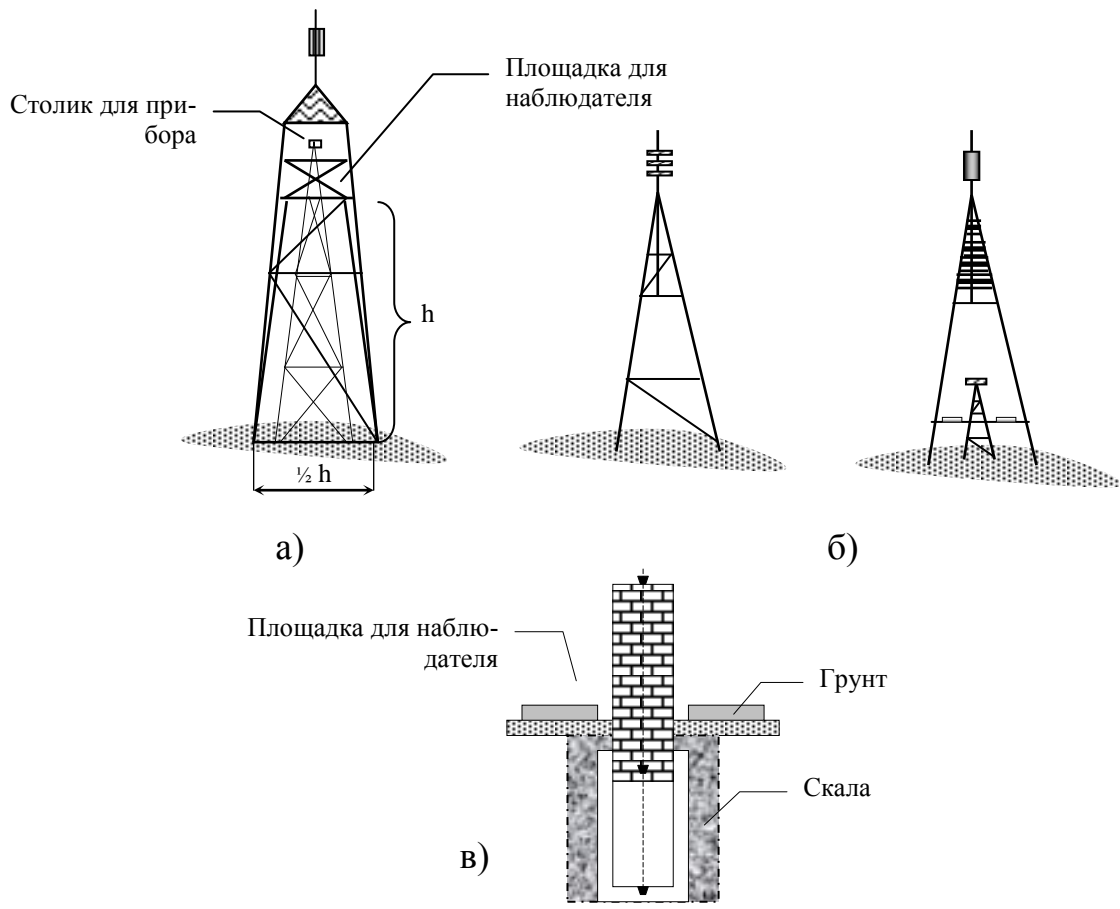


Рис. 140. Сигнал, пирамида, тур.

Закрепление на местности пунктов ГГС осуществляется закладкой подземных центров, которые и несут непосредственно координаты и высоту геодезического пункта (рис. 141).

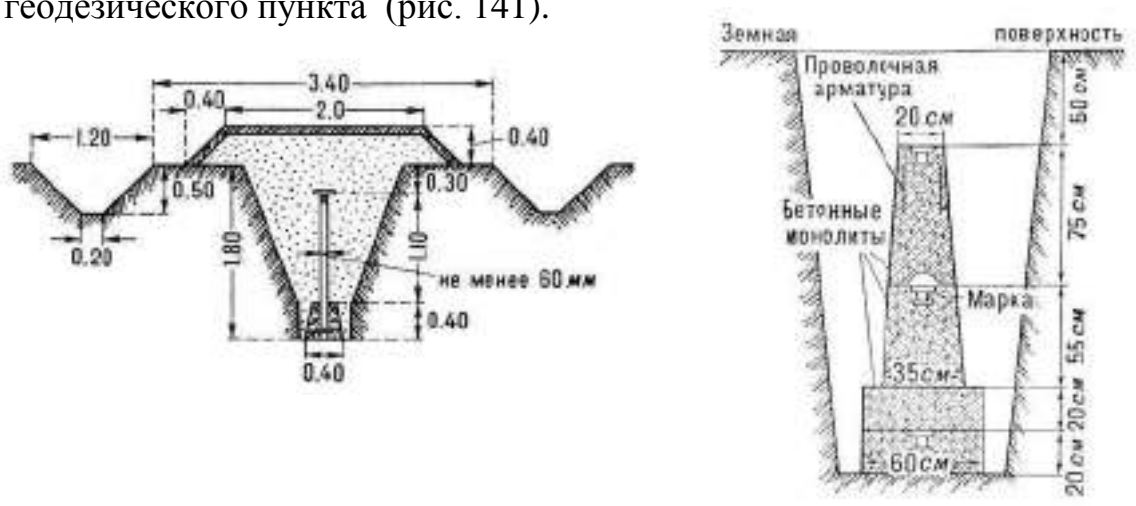


Рис. 141. Разрез подземного центра репера и геопункта.

Кроме координат и высоты на пунктах определяют 1-2 ориентирных направления. В качестве ориентиров выбирают контурные точки местности или создают их искусственно.

Результаты работ по созданию государственной геодезической сети и сетей сгущения отображаются в каталогах координат геодезических пунктов. Каждый каталог охватывает пункты, расположенные на листе карты масштаба 1:200 000.

Пример выписки из каталога координат ГГС

№ по каталогу	Наименование пункта, высота знака, тип центра	Класс	Координаты, м	Высота центра над уровнем моря, м	Дирекционный угол		Длина стороны, м
					Значение	Направление на пункт	
57	Федоровка, пир. 8,6 м Центр 3	4	6064870,1 4309629,7	201,6	328°14'27"	Пирогово, сигн. Азимутальный пункт	1456,3
58	Новоселки, сигн. 35,6 м Центр 1а	3	6071432,8 4307517,5	164,2	275°45'37"	Громово, сигн. Кротово, пир.	12358,4 6489,3

Геодезические сети сгущения являются планово-высотным обоснованием топографических съемок масштабов от 1:5000 до 1:500, а также служат основой для производства различных инженерно-геодезических работ. ГСС бывают 4 класса, 1-го и 2-го разрядов.

Плотность пунктов ГСС должна составлять 1 пункт на 1 км² на незастроенной территории и до 4 пунктов на территории населенных пунктов и промышленных площадках.

Требования к государственным сетям сгущения

Класс, разряд	Среднеквадратическая погрешность измерения угла, сек	Относительная погрешность измерения сторон
4	2,0	1:25 000
1	5,0	1:10 000
2	10,0	1:5 000

Геодезические съемочные сети служат непосредственной основой для съемки всех масштабов, подробностей ситуации и рельефа, а также для других работ, например, перенесения проектов инженерных сооружений на местность. Съемочные сети могут иметь погрешности измерения углов 30"- 60", сторон 1:3 000 и ниже в зависимости от назначения работ. Отметки пунктов ГСС определяются из нивелирования 4 класса (при высоте сечения рельефа более 1м) или из технического нивелирования (при высоте сечения рельефа до 1м).

Сопоставляя исходные данные геодезических пунктов различных сетей с полученными в ходе измерений, исполнитель обнаруживает несогласие между ними, называемыми невязками. По величине невязок можно контролировать правильность исполнения работ и судить об их качестве.

В настоящее время для построения государственных сетей наибольшее распространение получают спутниковые методы измерений.

Создание в Российской Федерации собственной спутниковой навигационной системы, позволило разработать и принять новую концепцию построения государственной геодезической спутниковой системы. Эта концепция предусматривает построение:

- Фундаментальной астрономо-геодезической сети (ФАГС);
- Высокоточной астрономо-геодезической сети (ВАГС);
- Спутниковой геодезической сети I класса (СГС-1).

Фундаментальная АГС представляет систему закрепленных на территории России 50...70 пунктов, удаленных друг от друга на расстоянии 700...800 км. Часть этих пунктов (10...15) должны стать постоянно действующими астрономическими обсерваториями, оснащенных спутниковыми приемниками GPS-ГЛОНАСС. Точность их местоположения будет составлять порядка 1...2 см.

Высокоточная АГС должна будет заменить точки триангуляции I класса. Общее число таких пунктов будет порядка 500...700, а расстояния между смежными точками составит 150...300 км.

Спутниковая геодезическая сеть I класса заменит пункты триангуляции I–III класса. Общее число пунктов СГС, удаленных друг от друга на расстоянии 30...35 км, составит 10...15 тысяч. Взаимное положение пунктов будет определяться с погрешностью 1...3 см. Реализовать данную концепцию планируется к 2020 году.

Глава 15. Топографическая съемка

15.1. Теодолитная съемка.

Съемка любого объекта, точечного, линейного или площадного, сводится к съемке его границ – прямых или кривых линий. Кривую линию можно представить как бесконечное число бесконечно малых прямолинейных отрезков. Прямолинейный же отрезок вполне однозначно определяется положением двух точек.

Таким образом, точка является элементарным объектом съемки, а суть съемки заключается в определении ее местоположения в соответствующей системе координат.

В инженерной геодезии плановую съемку, которая выполняется с помощью теодолита, часто называют теодолитной. Напомним что плановая (теодолитная) съёмка выполняется для получения контурного плана местности, т.е. без высотной характеристики рельефа. На топографическом плане, построенном по результатам теодолитной съемки, будет отображаться только ситуация без изображения рельефа.

Обычно такой вид съемки применяется на равнинной местности, в населённых пунктах, на железнодорожных узлах, на участках с развитой

инфраструктурой, для съёмки местности вдоль дорог, рек, каналов, линий электропередач, трубопроводов и т.п.

Как правило, теодолитная съёмка включает следующие этапы: подготовительные работы (рекогносцировка участка, выбор способа создания съёмочного обоснования, выбор местоположения станций и т.д.), полевые измерения, съёмка подробностей (ситуации), и, если необходимо, привязка теодолитного хода к пунктам геодезической сети.

15.1.1. Создание исходной основы (съёмочного обоснования)

Основным способом создания исходной основы для выполнения теодолитной съёмки является *теодолитный ход*.

Ходом называется способ геодезических работ по построению на местности ломаной линии. Целью является последовательное определение координат вершин хода (ломаной) полярным способом. В последующем вершины теодолитного хода будут являться точками съёмочного обоснования. Поэтому их местоположение выбирают так, что бы с каждой точки максимально просматривалась территория съёмки.

Стороны теодолитного хода прокладываются обычно по ровным, твёрдым и удобным для измерений местам. Длина их может составлять от 50 до 400 м, угол наклона до 5° . Допустимый периметр хода зависит от масштаба съёмки и условий выполнения измерений. Для съёмки застроенной территории в масштабе 1:5000 длина хода не должна превышать 4,0 км; в масштабе 1:500 – 0,8 км; на открытой не застроенной территории – 6,0 и 1,2 км соответственно. Вершины углов теодолитного хода закрепляют временными и постоянными знаками.

В ходе полевых работ при прокладке теодолитного хода измеряют горизонтальные углы при его вершинах и длины сторон. Углы измеряются теодолитом, как правило, *справа по ходу лежащие*, а длины сторон дальномером или стальной 20-ти метровой лентой.

Виды ходов зависят от характера снимаемой территории и наличия на местности пунктов геодезической сети. Теодолитные ходы подразделяются на:

- замкнутый, имеет вид замкнутой ломаной кривой и опирается на одну точку ГС с известными координатами;
- разомкнутый, имеет вид ломаной кривой, опирающийся своими концами на два пункта ГС с известными координатами;
- диагональный ход.

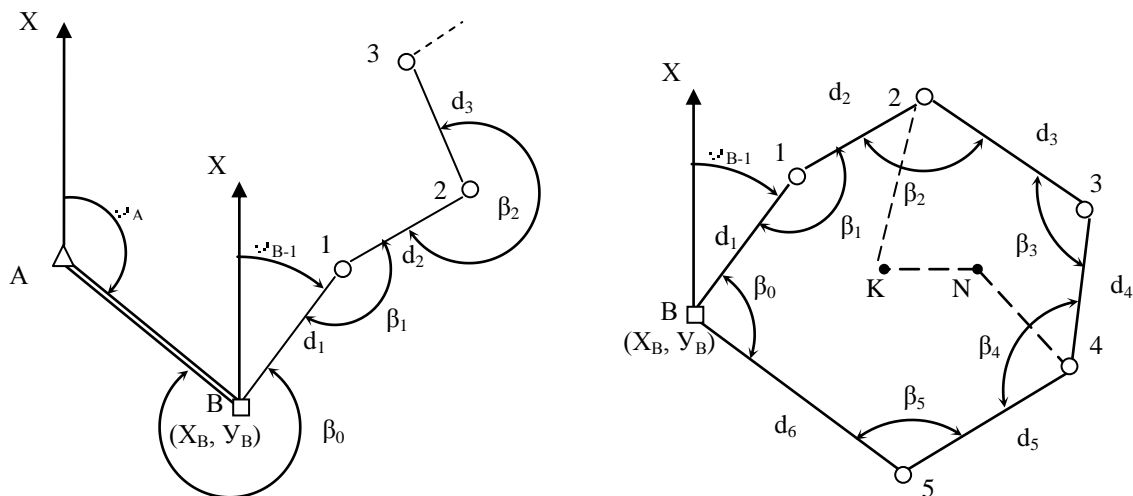


Рис. 142. Разомкнутый, замкнутый, диагональный (точки 4, N, K, 2) ходы.

Разомкнутый ход применяется для создания основы при съемке ситуации вдоль линейных местных или инженерных сооружений (дороги, реки, каналы, линии электропередач, газопроводы и т.п.).

Замкнутый ход применяется для создания основы при съемке ситуации отдельного участка местности, населенного пункта.

Территория, ограниченная сторонами хода в инженерной геодезии называется полигоном. Поскольку площадь участка может быть значительной, то вся ситуация с вершин замкнутого хода может не просматриваться. Тогда создают дополнительные точки исходной основы для съемки внутри полигона. Для этого применяют диагональный ход, прокладывая его между вершинами основного замкнутого хода.

Точки теодолитного хода выбирают так, чтобы между ними была прямая видимость. Вершины углов поворотов обычно совмещают с углами трассы, или выбирают так, чтобы окружающая местность была открытой и позволяла максимально использовать их для съемки подробностей местности (ситуации).

Вершины углов поворота закрепляют на местности для их дальнейшего использования в качестве опорных точек с известными координатами. Вершины углов поворота закрепляют путем забивки колышка с обозначенным центром для центрирования теодолита и установки рядом сторожка, с обозначением номера точки хода.

Правила прокладки хода:

Горизонтальные углы измеряют двумя полуприемами.

Первый горизонтальный (примычный угол) измеряют от известного направления.

Измерение углов завершают направлением, дирекционный угол которого известен или получен с высокой точностью.

Измеряют примычные и последующие углы как вправо по ходу лежащие.

Длины сторон хода измеряют дважды, в прямом и обратном направлении.

Результаты полевых измерений заносят в журналы установленной формы.

Журнал измерения углов и расстояний (пример заполнения)

Номер станции	Номер точки наблюдения	Длина линий d, м	Отсчеты на горизонтальном лимбе		Величина гориз. угла	Средняя величина гориз. угла
			КП	КЛ		
I	A		321°15'	141°13'	165° 18'	165° 18'
	II	168.4	155°57'	335°55'	165° 18'	
II	I	168.0	48°17'	228°19'	158° 38'	158° 37.5'
	III	187.4	249°39'	69°42'	158° 37'	
III	II	187.6	358°25'	178°27'	136° 14'	136° 14'
	B		222°11'	42°13'	136° 14'	

Результаты полевых измерений всегда содержат в себе погрешности. Значения этих погрешностей называют **невязками** и находят в ходе вычислений. Различают угловую и линейную невязки, которая в свою очередь подразделяется на абсолютную и относительную.

После завершения полевых работ приступают к камеральной обработке материалов теодолитной съёмки, проводят вычисления и графические построения – вычерчивание плана.

Часть вычислительных работ выполняют еще в полевых условиях, например, проверку вычислений горизонтальных углов и длин линий, определение горизонтальных проложений.

На основании полевых документов (журнала теодолитной съёмки и абриса теодолитного хода) составляется ведомость координат (табл. 24).

Данными для её составления служат измеренные горизонтальные углы при вершинах теодолитного хода, длины линий (горизонтальные проложения), а также исходный дирекционный угол и координаты исходного пункта, к которому привязан полигон.

При составлении ведомости координат вычислительные работы проводят в определённой последовательности.

Сначала оценивают точность измерения горизонтальных углов. Для чего вычисляют фактическую угловую невязку хода по формуле:

$$f_{\beta_{\text{фак}}} = \sum \beta_{\text{пр}} - \sum \beta_{\text{теор}}$$

где: $\sum \beta_{\text{теор}} = 180^\circ \cdot (n - 2)$, для замкнутого хода;

$\sum \beta_{\text{теор}} = \alpha_{\text{нач}} - \alpha_{\text{кон}} + 180^\circ \cdot n$, для разомкнутого хода

n – число измеренных углов;

$\sum \beta_{\text{пр}}$ – сумма практически измеренных горизонтальных углов.

Полученную угловую невязку сравнивают с допустимой величиной. Которая составляет:

для теодолитных ходов съёмочного обоснования

$$f_{\beta}^{\text{доп}} = \pm 1.5' \sqrt{n},$$

для трасс проектируемых дорог

$$f_{\beta}^{\text{доп}} = \pm 3' \sqrt{n}.$$

Если фактическая угловая невязка не превышает допустимую величину, то в измеренные горизонтальные углы вводят поправки. Поскольку все углы измерялись одним прибором с соответствующей технической точностью, то и поправки следует вводить равномерно во все углы (в первую очередь в углы с короткими сторонами). При этом необходимо помнить, что знак поправки всегда противоположен знаку невязки.

$$\delta \beta_i = - \frac{f_{\beta_{\text{фак}}}}{n}$$

После уравнивания исправленная сумма углов замкнутого полигона должна равняться теоретически вычисленной сумме углов.

Затем приступают к вычислению дирекционных углов сторон хода по формуле:

$$\alpha_n = \alpha_{n-1} \pm 180^\circ - \beta_{n \text{ испр}};$$

где: α_{n-1} – дирекционный угол предыдущей стороны;

$\beta_{n \text{ испр}}$ – исправленный горизонтальный угол при точке n ;

Вывод этой формулы для перехода от измеренного горизонтального угла к дирекционному углу стороны теодолитного хода наглядно иллюстрирует рис. 143.

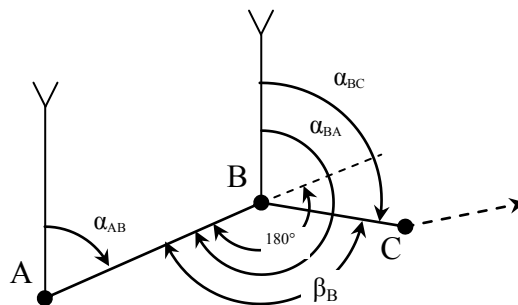


Рис. 143. Вычисление дирекционного угла стороны теодолитного хода

Далее, используя вычисленные дирекционные углы и длины линий (горизонтальные проложения), вычисляют приращения координат Δx и Δy по формулам прямой геодезической задачи:

$$\Delta x = d \cos \alpha, \Delta y = d \sin \alpha$$

Рассчитав значения приращений координат вершин теодолитного хода, находят их сумму $\sum \Delta x_{\text{прак}}$, $\sum \Delta y_{\text{прак}}$. Полученные величины сравнивают с их теоретическими значениями и определяются фактические линейные невязки.

$$f_x = \sum \Delta x_{\text{прак}} - \sum \Delta x_{\text{теор}}$$

$$f_y = \sum \Delta y_{\text{прак}} - \sum \Delta y_{\text{теор}}$$

Теоретические значения сумм приращений координат должны быть равны:

$$\text{в замкнутом теодолитном ходе: } \sum \Delta x_{\text{теор}} = 0; \sum \Delta y_{\text{теор}} = 0$$

$$\text{в разомкнутом ходе: } \sum \Delta x_{\text{теор}} = x_{\text{кон}} - x_{\text{нач}}; \sum \Delta y_{\text{теор}} = y_{\text{кон}} - y_{\text{нач}}$$

Фактическая линейная невязка не характеризует точность выполненных полевых измерений, поскольку ее значения могут быть получены при разной длине хода. Поэтому необходимо найти относительную невязку, т.е. величину средней ошибки на каждый метр длины хода:

$$f_{\text{л.омн}} = \frac{\sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}}{\sum d_i}$$

где: $\sum d_i$ – сумма длин сторон хода (периметр).

Относительную линейную невязку сравнивают с допустимой величиной, которая зависит от требуемой точности выполняемых геодезических работ, условий рельефа и применяемых при этом дальномерных приборов. При измерении расстояний оптическими дальномерами и мерными лентами относительная невязка не должна превышать:

$$f_{\text{л.омн}} \leq \frac{1}{2000}$$

Таблица 24. Ведомость вычисления координат (пример заполнения)

Номера точек	Измеренные углы β	Поправки	Исправленные углы β	Дирекционные углы α	Румбы ρ	Длина линий (протяжение) d_i , м	Вычисленные приращения				Исправленные приращения		Координаты	
							$\pm \Delta x$	поправки	$\pm \Delta y$	поправки	$\pm \Delta x$	$\pm \Delta y$	x	y
А	-													
				132°45'	ЮВ: 47°15'	-								
I	165°18'	-	165°18'										393,00	110,00
				147°27'	ЮВ: 32°33'	168,3	-141,86	+0,11	+90,55	-0,08	-141,75	+90,47		
II	158°37,5'	+0,5'	158°38'										251,25	200,47
				168°49'	ЮВ: 11°11'	187,4	-183,84	+0,13	+36,35	-0,09	-183,71	+36,26		
III	136°14'	-	136°14'										67,54	236,73
				212°35'	ЮЗ: 32°35'	-								
Б	-													
	$\Sigma \beta_{изм}$		$\Sigma \beta_{испр}$			Σd	$\Sigma \Delta x_{выч}$		$\Sigma \Delta y_{выч}$		$\Sigma \Delta x_{исп}$	$\Sigma \Delta y_{исп}$		
	460°09,5'	+0,5'	460°10'	-		355,7	-325,7	+0,24	+126,90	-0,17	-325,46	+126,73	-	-

$$f_{\text{фак}} = \alpha_{кон} - (\alpha_{нач} + 180 \cdot n - \sum \beta_{изм}) = 212^\circ 35' - (132^\circ 45' + 180 \cdot 3 - 460^\circ 09,5') = -0^\circ 00',5$$

$$f_{\text{доп}} = \mp 1,5' \sqrt{n} = 1,5 \cdot 3 \approx 2,6'$$

$$f_x = \sum \Delta x_{выч} - (x_{кон} - x_{нач}) = -325,70 - (67,54 - 393,00) = -0,24 \text{ м,}$$

$$f_y = \sum \Delta y_{выч} - (y_{кон} - y_{нач}) = 126,90 - (236,73 - 110,00) = +0,17 \text{ м,}$$

$$f_d = \sqrt{f_x^2 + f_y^2} = \sqrt{(-0,24)^2 + (0,17)^2} \approx 0,30 \text{ м,}$$

$$f_{отн} = f_d / \sum d_i = 0,30 / 355,7 = 1/1186 < 1/300.$$

$$\delta_{x_i} = -\frac{f_x}{\sum_{i=1}^n d_i} \cdot d_i; \quad \delta_{y_i} = -\frac{f_y}{\sum_{i=1}^n d_i} \cdot d_i$$

Если относительная линейная невязка не превышает допустимую, то теодолитный ход уравнивается путем введения поправок в приращения координат. Поправки вводят со знаком обратным знаку невязки и пропорционально длинам сторон. Поправки вычисляют по формулам:

$$\delta_{x_i} = -\frac{f_x}{\sum_{i=1}^n d_i} \cdot d_i; \quad \delta_{y_i} = -\frac{f_y}{\sum_{i=1}^n d_i} \cdot d_i$$

Произведя уравнивание приращений координат, суммируют их значения, в итоге получают равенство практических и теоретических значений.

Убедившись в правильности расчетов, приступают к вычислению координат вершин теодолитного хода:

$$\begin{aligned} X_{i+1} &= X_i + \Delta x_{\text{испр}}; \\ Y_{i+1} &= Y_i + \Delta y_{\text{испр}}. \end{aligned}$$

Вычислив координаты точек исходной основы, приступают к плановой съемке местности.

15.2. Способы теодолитной съемки

Произвести съёмку местных предметов (ситуации) – значит определить их положение в плане относительно вершин и сторон теодолитного хода, а также относительно друг друга. Опытные геодезисты съёмку ситуации производят параллельно с прокладкой теодолитного хода. Это удобно тем, что нет необходимости заново устанавливать теодолит в точку съёмочного обоснования (вершину теодолитного хода).

При съёмке местных предметов пользуются следующими основными способами:

1.) Способ прямоугольных координат. При этом способе съёмки от вершин угла теодолитного хода, принимаемой за начало координат, протягивают ленту вдоль стороны хода (ось абсцисс) и измеряют расстояние до основания перпендикуляра, опущенного из контурной точки (абсцисса). Затем рулеткой измеряют длину перпендикуляра от его основания до точки контура (ордината). Измерение абсцисс и ординат выполняют до 0.01м. Съёмку контуров, имеющих криволинейные очертания, выполняют по характерным точкам изгиба контура. Прямые углы для построения перпендикуляров разбивают экером или на глаз, в последнем случае длина перпендикуляра не должна превышать 8м. (рис. 144).

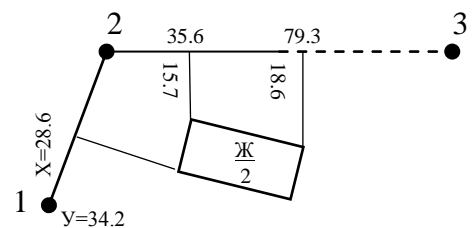


Рис. 144. Способ прямоугольных координат

2.) Способ полярных координат (рис. 145). Он состоит в том, что положение контурной точки определяют горизонтальным углом от стороны хода или исходного ориентирного направления и измеренным расстоя-

нием от вершины угла. Установив теодолит над вершиной угла, совмещают нули лимба и алидады, при КЛ направляют трубу на ве-ху, установленную в конце стороны хода, принимая это направление за начальное. Открыв винт алидады, измеряют горизонтальный угол от этого направления до контурной точки и расстояние (мерной лентой или оптическим дальномером).

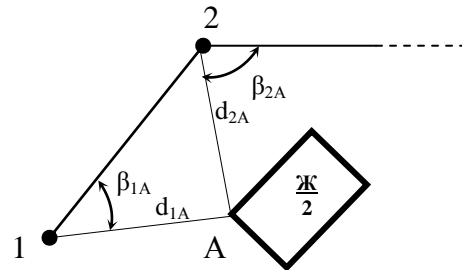


Рис. 145. Способ полярных координат

3.) Способ угловых засечек.

Этот способ применяют на открытой местности, когда положение местных предметов определяют измерением горизонтальных углов теодолитом с двух опорных точек между стороной хода и контурной точкой. Углы засечек должны быть не менее 30° и не более 150° . Для контроля выполняют засечку с третьей опорной точкой.

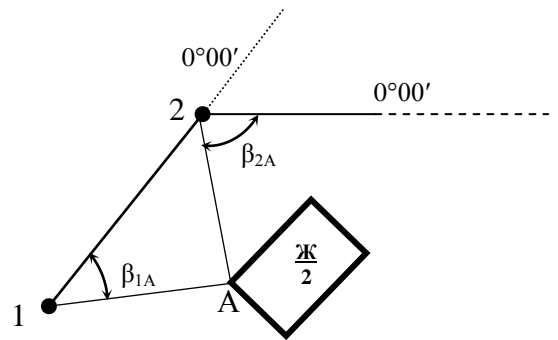


Рис. 146. Угловая засечка

4.) **Способ линейных засечек** (рис. 147). Его используют, в частности, при съёмке застроенных территорий. Положение контурной точки определяют измерением до неё расстояний от двух или трёх известных точек на линии теодолитного хода. Длины засечек не должны превышать 10–20 м, т.е. длины рулетки. Если измерения проводятся с помощью прибора, то длина засечки не должна превышать технических возможностей прибора.

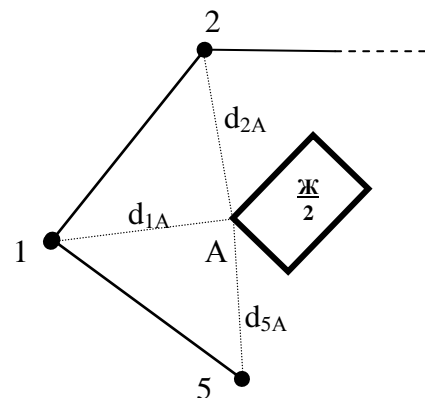


Рис. 147. Линейная засечка

5.) **Способ створных промеров (створов)** применяется когда какой-либо местный предмет линейного типа (река, дорога, забор и т.п.) пересекает сторону теодолитного хода. Тогда, местоположение точки пересечения может быть определено только одной координатой. Такой координатой будет являться расстояние до точки от предыдущей вершины теодолитного хода. На рис. 141

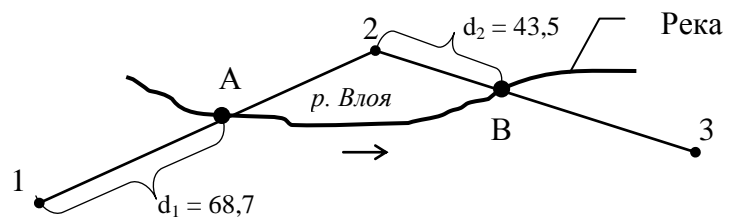


Рис. 148. Способ створных промеров

точка А находится в створе вершин теодолитного хода 1 – 2 и расстояние до нее составляет 68,7 метра.

6). Способ обхода.

Если снимаемый участок однородный (озеро, пашня, луг и т.п.) и имеет значительные размеры, то по его контуру прокладывают замкнутый теодолитный ход (обходят участок) относительно точек исходной основы. При этом углы измеряют только одним приемом - круг лево, а расстояния мерной лентой или с помощью нитяного дальномера.

7). Способ обмера применяется для съемки архитектурных особенностей зданий, сооружений, изысков ландшафтного проектирования и в других случаях, где иные способы съемки не применимы.

При любом способе съёмки производится обмер по периметру рулеткой всех снимаемых зданий.

В ходе съёмки ведут глазомерный чертёж участка местности в произвольном масштабе, называемый абрисом. При составлении абриса придерживаются использования общепринятых условных знаков. Прямые линии вычерчивают по линейке, кривые – от руки. Ситуацию вычерчивают утолщенными сплошными линиями, а направления угловых и линейных измерений съёмки пунктиром. В абрисе указывают вершины углов и стороны теодолитных ходов, с которых производится съёмка, а также результаты выполненных измерений с необходимой характеристикой местных предметов (характер построек, этажность зданий, тип покрытия дорог, их ширина, преобладающая порода лесного массива, средняя высота, диаметр ствола деревьев, направление ската и т.д.)

Надписи результатов измерений делают вдоль линии соответствующего измерения. Так абсциссы точек подписывают вдоль опорной линии хода у основания перпендикуляра, опущенного из контуров точки, ординаты – на перпендикулярах, непосредственно у контура. Результаты обмера зданий записывают вдоль соответствующих линий контура. Промежуточные отсчеты заключают в скобки. Подобным образом на абрисе указывают числовые данные при съёмке способом засечек.

При большой густоте местных предметов часть абриса может быть составлена в более крупном масштабе с соответствующими пояснениями.

Каждый абрис подписывается исполнителем.

Результаты полевых измерений, отображенные в абрисе, используют для составления топографического плана. Для этого вычерчивают координатную сетку.

Построение координатной сетки производят в следующей последовательности:

1. Рассчитывают необходимое число квадратов по осям X и Y

$$N_x = \frac{X_{\max} - X_{\min}}{M}; \quad N_y = \frac{Y_{\max} - Y_{\min}}{M},$$

где: $X_{\max}, X_{\min}, Y_{\max}, Y_{\min}$ – максимальные и минимальные значения координат точек съемочного обоснования, округленные в большую сторону до величин, кратных длине стороны квадрата сетки в масштабе 1:2000.

2. Определяют размеры листа основы плана по осям X и Y

$$l_x = N_x \cdot a + 15 \text{ см}; \quad l_y = N_y \cdot a + 10 \text{ см},$$

где: a – сторона квадрата (принимают равной 5 или 10 см).

3. Вычерчивают координатную сетку (рис.149). При этом необходимо провести диагонали AB и CD через углы листа; сделать засечки a, b, c, d на одинаковом удалении от точки пересечения диагоналей O ; соединить точки a, b, c, d прямыми линиями; разделить пополам стороны ac, dv и ad, cv ; провести прямые через точки деления 1–2 и 3–4, которые должны пройти через точку O ; отложить от точек 1,2 и 3,4 в обе стороны отрезки, равные длине стороны квадрата 5 см, если число квадратов четное, и 2 см – если нечетное, а затем – отрезки, равные длине стороны квадрата (5 см); соединить линиями соответствующие точки на противоположных сторонах фигуры и получить сетку квадратов; измерить длины диагоналей квадратов. Они должны быть равны 7 см или отличаться от этого значения не более чем на 0,2 мм.

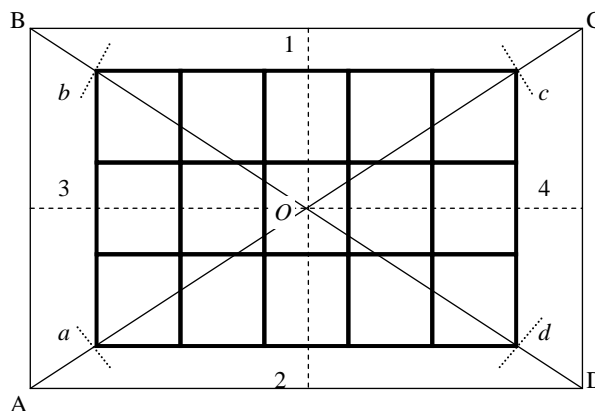


Рис. 149. Схема построения координатной сетки

4. Подписывают координатную сетку. У нижней горизонтальной линии сетки слева от крайней вертикальной линии – минимальное значение абсцисс (x), а у верхней крайней линии – максимальное ее значение. Промежуточные горизонтальные линии сетки имеют абсциссы, кратные длине стороны квадрата сетки. Аналогично подписывают вертикальные линии сетки (ординаты).

Накладку на план точек теодолитного хода производят по вычисленным координатам по общим правилам относительно «младших» сторон квадрата, а для контроля – относительно «старших» сторон. Правильность нанесения на план двух соседних точек проверяют по длинам сторон хода.

Для этого на плане измеряют расстояния между вершинами хода и сравнивают их с соответствующими горизонтальными проекциями сторон, взятыми из «Ведомости вычисления координат». Расхождение не должно превышать 0,2 мм масштаба плана. Кроме того, правильность нанесения теодолитного хода на план можно проконтролировать, измерив

транспортиром горизонтальные углы и дирекционные углы сторон и сравнив их с соответствующими значениями.

Нанесение ситуации на план производят от сторон и вершин теодолитного хода согласно абрисам и в соответствии с результатами съемки. При этом сначала на план наносят контуры, снятые способом створов, затем способами перпендикуляров, различными видами засечек и способом обхода. При накладке ситуации на план расстояния откладывают при помощи циркуля-измерителя и масштабной линейки, а углы – транспортиром. Восстановление перпендикуляров производят выверенными чертежными инструментами. Общее оформление плана производят с соблюдением правил топографического черчения. Образец оформления плана, составленный на основе абриса теодолитной съемки, показан на рис. 150.

В настоящее время в большинстве случаев камеральная обработка геодезических измерений и построение топографического плана производится с использованием специализированных компьютерных программ. Это существенно упрощает работу геодезистов, снижает вероятность ошибок, повышает графическую точность построения плана, улучшает его наглядность и читабельность.

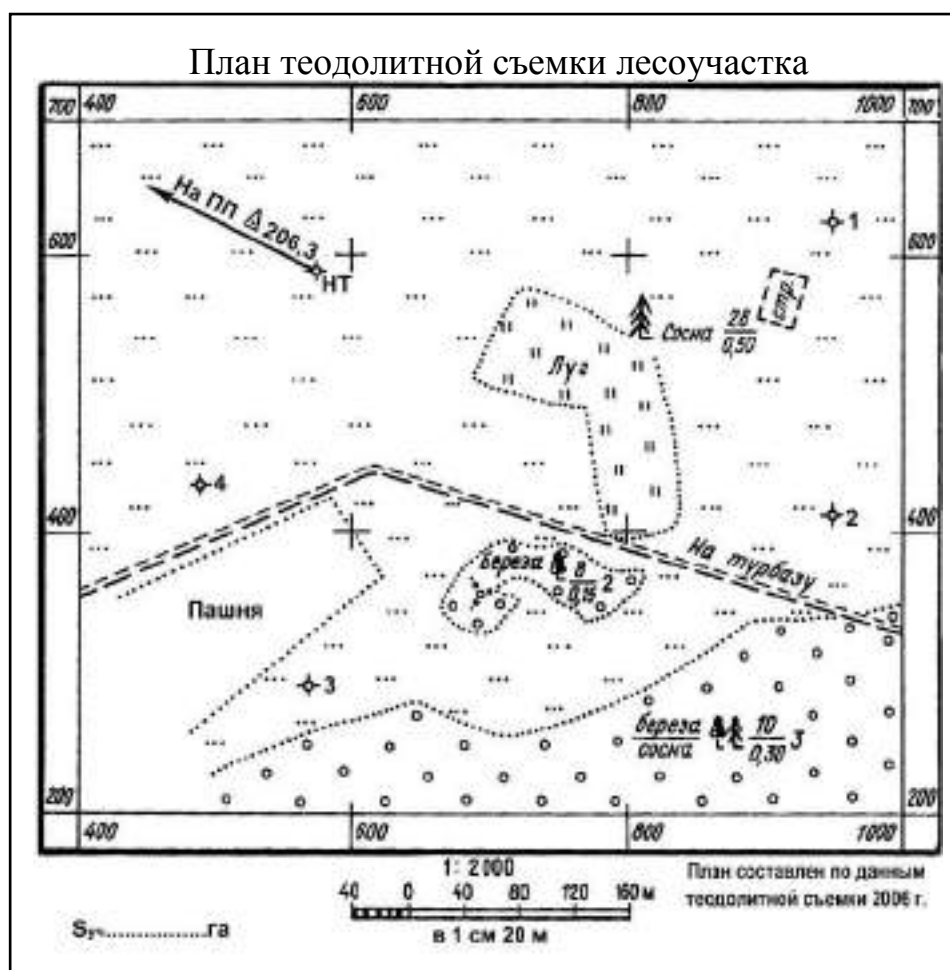


Рис. 150. Топографический план местности

Одной из таких программ является система CREDO. Эта система включает в себя ряд специализированных программ (CREDO DAT, CREDO ТОПОПЛАН, и др.) предназначенных для создания технологической цепочки от обработки данных инженерно-геодезических изысканий и трансформации растровых изображений существующего картографического материала до построения цифровой модели местности инженерного назначения и выпуска чертежей, оформленных в соответствии с действующими нормативными документами.

Глава 16. Высотная съемка

Высотная съемка местности производится с целью определения абсолютных высот (отметок), превышений точек, составления продольных профилей местности по заданному направлению, изображения рельефа местности с помощью горизонталей на топографических планах и картах. Высотная съемка выполняется *нивелированием*.

Нивелирование возникло в глубокой древности в связи со строительством оросительных каналов, водопроводов и т.п. Первые сведения о водяном нивелире связывают с именами римского архитектора Марка Витрувия (I в. до н.э.) и древнегреческого учёного Герона Александрийского (I в. н. э.).

Дальнейшее развитие методов нивелирования связано с изобретением зрительной трубы (конец 16 в.), барометра - Э. Торричелли (1648), сетки нитей в зрительных трубах - Ж. Пикаром (1669), цилиндрического уровня - английским оптиком Дж. Рамсденом (1768).

В созданной Петром I оптической мастерской в 1715-1725 г.г. И. Е. Беляев изготавливал различные приборы, включая и ватерпасы с трубой, т. е. нивелиры. В 18 в. высоты пунктов в России определяли барометром, а с начала 19 в. стали применять тригонометрическое нивелирование. Под руководством выдающегося русского астронома и геодезиста, академика Петербургской Академии наук В. Я. Струве в 1836-37 годах тригонометрическим нивелированием были определены разность уровней Азовского и Чёрного морей и высота горы Эльбрус (5642 м). Метод геометрического нивелирования впервые был широко использован в 1847 году при инженерных изысканиях Суэцкого канала. Первые применения геометрического нивелирования в России в 19 в. были связаны со строительством водных и сухопутных путей сообщения.

В 1871 Военно-топографический отдел Главного штаба России начал работы по созданию нивелирной сети страны, а в 1913 приступил к выполнению нивелированию высокой точности. Русские геодезисты С. Д. Рыльке, Н. Я. Цингер, И. И. Померанцев и др. своими исследованиями внесли большой вклад в развитие теорий и методов нивелирных работ. В дальнейшем нивелирные работы интенсивно развивались в связи с реше-

нием различных хозяйственно-экономических и инженерно-технических задач.

Нивелирование, определение высот точек земной поверхности относительно исходной точки («нуля высот») или над уровнем моря. Нивелирование - один из видов геодезических измерений, которые производятся для создания высотной опорной геодезической сети (т. е. нивелирной сети) и при топографической съёмке, а также в целях проектирования, строительства и эксплуатации инженерных сооружений, железных и шоссейных дорог и т.д. Результаты нивелирования используются в научных исследованиях по изучению фигуры Земли, колебаний уровней морей и океанов, вертикальных движений земной коры и т.п. При изучении фигуры Земли высоты точек земной поверхности определяют не над уровнем моря, а относительно поверхности референц-эллипсоида и применяют методы астрономического или астрономо-гравиметрического нивелирования.

Исходными точками для нивелирования могут служить пункты государственной геодезической сети, пункты нивелирной сети, реперы, нивелирные марки (рис. 151).



а)



б)

Рис. 151. а - пункт геодезической сети; б – репер (марка) на стене дома.

По методу выполнения нивелирование различают: геометрическое, тригонометрическое, барометрическое, механическое и гидростатическое нивелирование.

Геометрическое нивелирование выполняют горизонтальным лучом визирования зрительной трубы нивелира, отсчитывания высоты визирного луча над земной поверхностью в некоторой её точке по отвесно поставленной в этой точке рейке с нанесёнными на ней делениями или штрихами.

Тригонометрическое нивелирование, выполняют наклонным визирным лучом прибора, измеряя уклон и расстояние до нивелируемой точки.

Тригонометрическое нивелирование позволяет определять разности высот двух значительно удалённых друг от друга пунктов, между которыми имеется оптическая видимость, но менее точно, чем геометрическое нивелирование.

Барометрическое нивелирование основано на зависимости давления воздуха от высоты точки над уровнем моря. Давление воздуха измеряют барометром. Для вычисления высоты в измеренное давление вводят поправки на влияние температуры и влажности воздуха. Барометрическое нивелирование широко применяют в географических и геологических экспедициях, а также при топографической съёмке труднодоступных районов. При благоприятных метеорологических условиях погрешности определения высоты не превышают 2-3 м.

Механическое нивелирование выполняют установленным на велосипеде или автомашине нивелир-автоматом, позволяющим автоматически вычерчивать профиль местности и измерять расстояние по пройденному пути. В нивелир-автоматах вертикаль задаётся тяжёлым отвесом, а расстояние фиксируется фрикционным диском, связанным с колесом велосипеда. Электромеханический нивелир-автомат монтируется на автомашине и позволяет определять не только разность высот смежных точек и расстояние между ними на соответствующих счётчиках, но и профиль местности на фотопленке.

Гидростатическое нивелирование основано на том, что свободная поверхность жидкости в сообщающихся сосудах находится на одном уровне. Гидростатический нивелир состоит из двух стеклянных трубок, вставленных в рейки с делениями, соединённых резиновым или пластиковым шлангом и заполненных жидкостью. Разность высот определяют по разности уровней жидкости в стеклянных трубках, причём учитывают различие температуры и давления в различных частях жидкости гидростатического нивелира. Погрешности определения разности высот этим методом составляют 1-2 мм. Гидростатическое нивелирование применяют для непрерывного изучения деформаций инженерных сооружений, высокоточного определения разности высот точек, разделённых широкими водными преградами, и др.

16.1. Геометрическое (техническое) нивелирование.

Техническое нивелирование применяется для определения отметок или превышений точек на местности со слабо выраженным рельефом. При этом в основу данного способа нивелирования положен принцип горизонтального луча, т.е. ***визирная ось зрительной трубы прибора должна всегда находиться в плоскости горизонта.***

Данное условие является главным для технического нивелирования. Выполнение этого условия позволяет определить превышение одной точки над другой как разности относительных высот визирной оси в данных

точках. Определение относительной высоты визирной оси нивелира в точке определяется по шкале дальномерной рейки. В общем смысле дальномерная рейка представляет собой обычную линейку с ценой деления 1 см. В качестве исходных данных для технического нивелирования выступает абсолютная высота (отметка) начальной точки. Такой точкой может быть: пункт государственной геодезической или нивелировочной сети, репер. Если абсолютная высота начальной точки не известна, или работы могут быть проведены в относительных величинах, то высота начальной точки условно принимается за ноль $H_{исх} = 0$ м. В этом случае начальная точка указывается в проектной документации или выбирается исполнителем самостоятельно. Высоты всех нивелируемых точек будут выражаться в виде превышений относительно условного нуля.

Различают два способа технического нивелирования: вперед и из середины. В первом случае нивелир устанавливается на точке с известной отметкой, а во втором - между начальной и нивелируемой точкой. Место расстановки прибора в геодезии принято называть *станцией*.

В техническом нивелировании чаще всего применяют способ работ «из середины», поскольку он как по точности и надежности, так и по производительности труда значительно превосходит способ нивелирования «вперед». Сущность технического способа нивелирования способом «из середины» представлена на рис. 152.

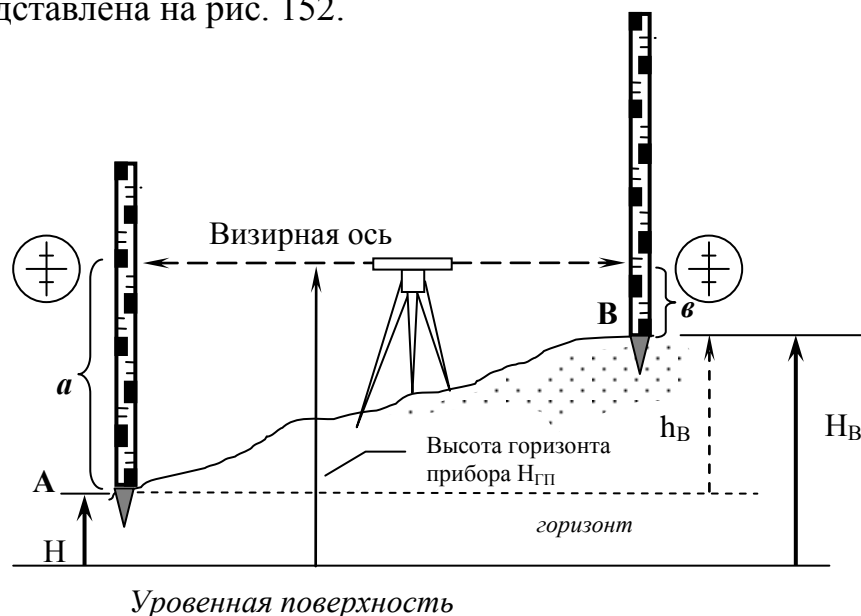


Рис. 152. Сущность технического нивелирования

Превышение точки В над точкой А вычисляют по формуле:

$$h_B = a - b$$

где a , b — отсчеты, соответственно, по задней и передней рейкам в миллиметрах.

Высота (отметка) точки В соответственно будет равна:

$$H_B = H_A + h_B$$

В ходе полевых работ на каждой станции осуществляется контроль за соблюдением главного условия технического нивелирования, а также контролируется правильность снятия отсчетов. С этой целью и с целью повышения точности, измерения по рейкам производят дважды: по черной - основной и красной - дополнительной сторонам рейки. Превышения также вычисляют дважды, принимая за истинное значение среднюю величину.

Пример.

Пусть отсчеты по черным шкалам реек равны $a_{\text{ч}} = 2493$, $b_{\text{ч}} = 0984$, отсчеты по красным шкалам реек $a_{\text{к}} = 7272$ и $b_{\text{к}} = 5765$, тогда превышения точки В над точкой А будут соответственно равны

$$h_{\text{ч}} = 2493 - 0985 = +1508,$$

$$h_{\text{к}} = 7277 - 5765 = +1512,$$

а среднее превышение $h_{\text{в}} = 0,5(1508 + 1512) = +1510$ мм.

Расхождения в значениях превышений, полученных по черным и красным сторонам реек на станции, должно быть не более **4-5 мм**. В нашем примере расхождение составляет 4 мм.

Отсчеты по рейкам должны производиться при их отвесном положении, которое при высокоточном и точном нивелировании обеспечивается с помощью круглых уровней, установленных на рейках. Рейки же, предназначенные для технического нивелирования, круглых уровней не имеют. Работа на станции при техническом нивелировании заключается в следующем. Устанавливают нивелир на равных расстояниях от реек, контролируя равенство расстояний на глаз, и приводят его в рабочее положение. Отсчеты берут только по средней горизонтальной нити сетки прибора. Результаты полевых измерений заносятся в журнал технического нивелирования.

Журнал технического нивелирования

Номер станции	Нивелируемая точка	Отсчеты по рейкам, мм		Превышения, мм	Среднее превышение, мм	Высота точки, м
		задний	передний			
I	A	7277 (1)* 2493 (4) 4784 (5)		+1512 (7)		152,214 (10)
	B		5765 (2) 0985 (3) 4780 (6)	+1508 (8)	+1510 (9)	153,724 (11)

*Цифры в скобках означают порядковый номер записей и вычислений.

При работе с двусторонними рейками измерения производят в следующей последовательности:

- 1) отсчет по красной стороне задней рейки;

- 2) отсчет по красной стороне передней рейки;
- 3) отсчет по черной стороне передней рейки;
- 4) отсчет по черной стороне задней рейки.

Такая последовательность наиболее удобна для начинающих специалистов. Опытные исполнители сначала берут отсчеты по черной (основной) стороне рейки, записывая их в журнале над отсчетами по красной стороне.

Для каждой станции проводят контроль по соблюдению главного условия технического нивелирования. Для этого вычисляют разность нулей. Физический смысл этой величины заключается в том, что при соблюдении главного условия нивелирования, разность нулей будет равноначальному отсчету на красной стороне рейки (рис. 153).

Если визирная ось нивелира параллельна линии горизонта, а отсчет по черной шкале рейки, например, равен 0985, то отсчет по красной шкале этой же рейки должен быть равен 5765, т.к. ее оцифровка начинается со значения 4780.

Следовательно, по разности нулей можно судить о параллельности визирной оси нивелира линии горизонта:

$$5765 - 0985 = 4780$$

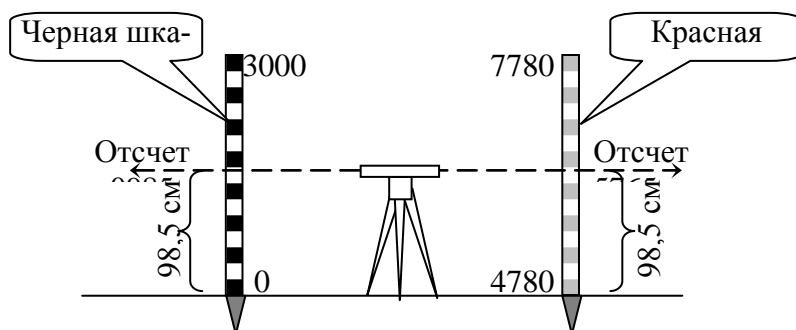


Рис. 153. Физический смысл значения разности нулей.

Записав в журнале отсчеты (1), (2), (3), (4), вычисляют разности нулей (5) и (6), для чего из отсчета по красной шкале рейки вычитают отсчет по черной шкале этой же рейки. Сходимость значений разности нулей является контролем. В техническом нивелировании расхождение допускается в пределах **5 мм**. Если расхождения превышают допустимую величину, это значит что главное условие нивелирования не выполнено, и все измерения будет необходимо произвести заново.

После проверки сходимости нулей вычисляют превышения как разность отсчетов «взгляд назад» (*Задний отсчет*) минус «взгляд вперед» (*Передний отсчет*) - **Золотое Правило**.

$$\Delta h = Z - П$$

Значения превышений находят соответственно из отсчетов и по красной (7) и черной (8) сторонам реек и сравнивают их. Если расхождение между значениями превышения оказалось более 5 мм, то все записи в журнале нивелирования на этой станции аккуратно перечеркивают и ни-

вевелирование повторяют. При сходимости указанных значений вычисляют среднее значение превышения (9), которое округляют до целых миллиметров.

Алгебраически прибавив к известной высоте (10) точки А найденное среднее превышение по линии АВ, получают абсолютную высоту точки В (11).

Различают продольное и поперечное нивелирование. Продольное нивелирование осуществляется между **связующими точками**, а поперечное применяется для определения высоты **промежуточных точек**. Промежуточной точкой является та точка, высота которой не будет являться исходными данными для определения высоты последующих точек.

Продольное нивелирование выполняется путем прокладки разомкнутого нивелирного хода между точками, отметки которых известны (рис. 154).

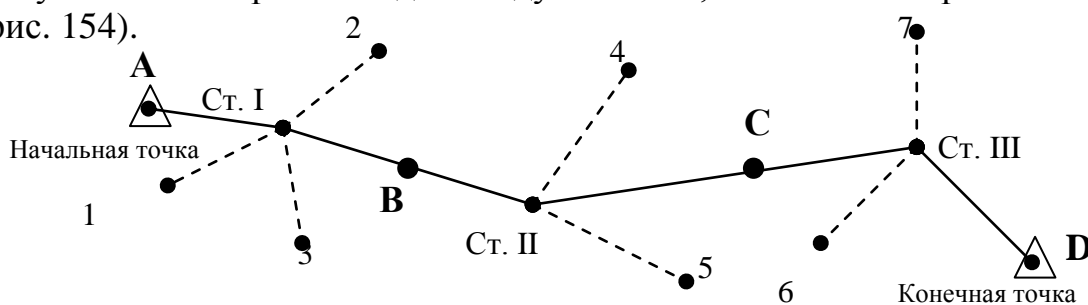


Рис. 154. Схема разомкнутого нивелирного хода
Точки А, В, С, D - связующие.
Точки 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 – промежуточные (реечные).

В ходе поперечного нивелирования с каждой станции может осуществляться съемка достаточно большого числа точек. Поэтому для сокращения объемов полевых работ по определению высот промежуточных точек отсчеты снимаются только по основным черным шкалам и записываются в соответствующую графу журнала технического нивелирования (табл. 25). Высоты промежуточных точек удобнее вычислять через горизонт прибора. Под термином «горизонт прибора» в геодезии понимают абсолютную высоту визирной оси нивелира (рис. 155). Значение горизонта прибора для данной станции есть величина постоянная. Значение горизонта прибора вычисляется для каждой станции по формуле:

$$H_{ГП} = H_A + a$$

где: H_A – высота (отметка) точки А;
 a – отсчет по рейке, установленной на точке А.

Зная горизонт прибора легко найти высоту любой точки:

$$H_i = H_{ГП} - v_i$$

где: v_i – отсчет по рейке, установленной на i -той промежуточной точке.

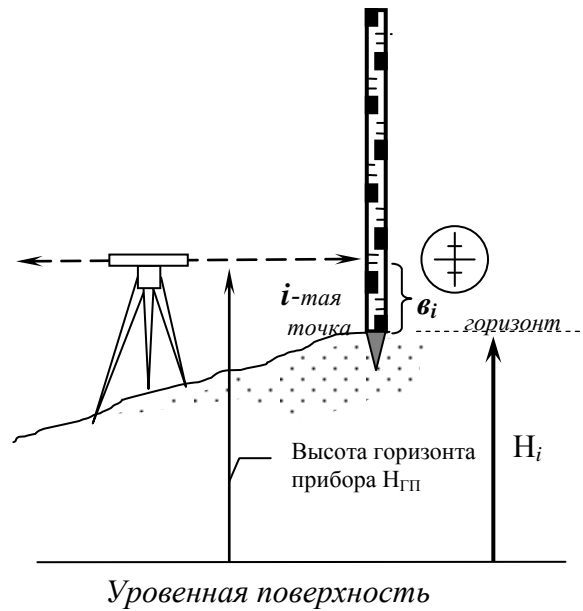


Рис. 155. Определение высоты промежуточной точки через горизонт прибора

Камеральную обработку результатов геометрического нивелирования начинают с постраничного контроля вычислений. Для чего складывают все значения задних отсчетов $\sum a$, передних отсчетов $\sum b$, находят сумму превышений $\sum h$ и средних превышений $\sum h_{cp}$, а также разность отметок начальной и конечной точки на этой странице ($H_{кон} - H_{нач}$) и контролируют соблюдение равенства:

$$1/2(\sum a - \sum b) = 1/2\sum h = \sum h_{cp} = H_{кон} - H_{нач}$$

В конце по данным постраничного контроля выполняют общий контроль по всему полигону.

При работе с нивелиром следует придерживаться правила.

Выбирая место постановки нивелира (станцию), штатив с нивелиром устанавливают по возможности на равных расстояниях от задней и передней реек. При равенстве расстояний (плеч) исключается влияние погрешности, которая могла бы войти в определяемое превышение из-за остаточного (после юстировки) несоблюдения главного условия нивелира. Из этого, однако, не следует, что нивелир нужно устанавливать в створе с рейками. В большинстве случаев нивелир ставят в стороне от него, но примерно на равных расстояниях от обеих реек.

16.1.1. Нивелирование по квадратам.

Одним из практических направлений применения технического нивелирования, является нивелирование поверхности по квадратам.

Нивелирование по квадратам применяют на открытых участках местности со сравнительно небольшими уклонами. По результатам съемки составляют топографические планы в масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 и 1:500 с высотой сечения рельефа 0,25...0,5 м. Такие планы используются при составлении вертикальных планов в мелиорации, в градостроении

тельстве, строительстве аэродромов, промышленных площадок, садово-парковой архитектуре.

В зависимости от конкретных условий, уклонов местности, требований к точности изображения рельефа и масштаба используют сетку квадратов со сторонами 10, 20 или 40 м.

На участках значительной площади вначале разбивают большие со сторонами 100, 200 или 400 м. Для этого в точке, расположенной примерно в середине участка, с помощью теодолита строят две взаимно перпендикулярных линии – магистрали. От начальной точки по магистралям с помощью ленты откладывают и закрепляют стороны больших квадратов. От полученных точек разбивают и закрепляют вершины основных квадратов на всем участке. Внутри больших квадратов разбивают и закрепляют заполняющие квадраты. Вершины основных квадратов закрепляют бетонными или деревянными столбами, а заполняющих – кольями.

Одновременно с разбивкой заполняющих квадратов ведут съемку ситуации с привязкой контуров к вершинам квадратов. Основной способ съемки ситуации является способ промеров по створу, способ перпендикуляров и способ линейных засечек. Данные съемки наносят на схему разбивки квадратов.

По сторонам основных квадратов прокладывают теодолитный ход, опирающийся на пункты геодезической сети и после обработки результатов измерений получают координаты вершин основных квадратов. Для высотной привязки вершин основных квадратов прокладывают нивелирный ход между двумя реперами. Вершины заполняющих квадратов внутри каждого большого квадрата нивелируются **от одной станции**. Отсчеты, полученные при нивелировании, записывают на схеме квадратов у соответствующих вершин, а над отсчетами римской цифрой обозначают номер станции (рис. 156). Отметки вершин вычисляют от горизонта прибора.

При составлении плана вычерчивают сетку квадратов и подписывают ее координаты. Около каждой вершины квадрата выписывают высоту, округленную до сотых долей метра. Путем интерполирования проводят горизонтали, по абрису наносят контуры местности.

На рис. 156 точками нивелирного хода являются Рп.А, a_1 , a_4 , e_4 . Отсчеты по черной и красной сторонам рейки на этих точках приведены на этом же рисунке. Они были получены с четырех станций, обозначенных римскими цифрами. Точки нивелирного хода «связывают» результаты измерений с разных станций в единую систему высот. В опорном ходе нивелирование выполняют из середины по черной и красной сторонам рейки. Расхождения в превышениях, вычисленные по черной и красной сторонам реек не должны превышать **5 мм**.

Вычислив практическую сумму рассчитанных превышений - $\sum h_{пр}$, сравнивают ее с теоретической величиной. Для замкнутого нивелирного

хода теоретическая величина будет равна $\sum h_{\text{теор}} = 0$, в разомкнутом ходе

$$\sum h_{\text{теор}} = H_{\text{кон}} - H_{\text{нач}}$$

Где: $H_{\text{кон}}$, $H_{\text{нач}}$ - отметки конечной и начальной точек. Невязку вычисляют по формуле:

$$f_h = \sum h_{\text{пр}} - \sum h_{\text{теор}}$$

Невязка в ходе не должна превышать допустимой величины, вычисленной по формуле

$$f_{h_{\text{доп}}} = \pm 10\sqrt{n}$$

где: n – число сторон нивелирного хода.

Опорный нивелирный ход уравнивают (табл. 25), т.е. в полученные превышения вносят соответствующие поправки. Поправки вносят равномерно, со знаком противоположным знаку невязки. В результате этого вычисляют высоты связующих точек. По результатам измерений, вычисляют значение горизонта прибора для каждой станции (табл. 26).

После вычисления высот связующих точек выполняют нивелирование всех вершин квадратов с этих же станций. Можно записывать отсчеты в миллиметрах по рейкам в углах квадратов (рис. 156). Нивелирование вершин квадратов осуществляют при любой длине плеч. Отсчеты берут только по черной стороне реек.

При этом надо обязательно разграничивать на этой схеме, с какой станции и в каких углах квадратов снимались отсчеты. Так на рис. 156 двойной линией по оси 4 показано, что слева от этой линии съемка велась со станции II, а справа от нее – со станции III. Если отметка вершины угла определялась относительно двух и более станций, то за истинное значение ее отметки берут среднюю величину.

С помощью буссоли определяют магнитный азимут одной из сторон полигона. По окончании полевых работ производят проверку записей в полевых журналах, определяют высотную невязку в опорном нивелирном ходе и сравнивают её с допустимой. Если фактическая невязка не превышает допустимую, то осуществляют уравнивание хода, в результате чего вычисляют высотные отметки связующих (опорных) точек.

Вычисление отметок вершин квадратов выполняют через горизонт прибора на соответствующей станции. К примеру, высотная отметка земли в точке 2б, равная 10.75 (рис. 156) вычислена так: $12.047 - 1.297 = 10.75$, а в точке 5в вычислена так: $12.001 - 1.583 = 10.42$. Полученные значения высот точек округляют до сантиметров.

Таблица 25. Журнал нивелирного хода

№ станции	Нивелир. точки	Отсчеты		Превышения Δh , мм	Среднее значение $\Delta h_{ср}$, мм	Поправка ∂h , мм	Исправленное Δh , мм	Отметка, м
		задние	передние					
I	РпА	0166						12,00
		<u>4966</u>						
		4800						
II	a1	1208	1324	- 1158	- 1159	- 3	- 1162	10,84
		<u>6008</u>	<u>6125</u>	- 1159				
		4800	4801					
III	e4	1506	1548	- 340	- 341	- 3	- 344	10,50
		<u>6306</u>	<u>6350</u>	- 342				
		4800	4802					
IV	a4	1662	1305	+ 201	+ 201	- 3	+ 198	10,70
		<u>6466</u>	<u>6106</u>	+ 200				
		4804	4801					
IV	РпА		0352	+ 1310	+ 1311	- 3	+ 1308	12,00
			<u>5154</u>	+ 1312				
			4802					
					$f_h = + 12$	$\partial f = - 12$	$\Sigma = 0$	
					$f_{доп} = \pm 20 \text{ мм}$			

Таблица 26. Вычисление и уравнивание отметок горизонта прибора на станциях

№ станции	Нивелир. точки	Превышения Δh , мм	Среднее значение $\Delta h_{ср}$, мм	Поправка ∂h , мм	Исправленное Δh , мм	Горизонт прибора НГП, м
I	1a	-116	-116	-3	-119	12,166
		-117				
II	4c	-42	-43	-3	-46	12,047
		-44				
III	4a	+357	+358	-3	+355	12,001
		+360				
IV	РпА	-186	-187	-3	-190	12,356
		-188				
I	1a		-187	-3	-190	12,356
			$f_h = + 12$	$\partial f = - 12$	$\Sigma = 0$	

После этого осуществляют вычерчивание топографического плана. Сетку квадратов, высотные отметки в вершинах квадратов, объекты ситуации и пояснительные надписи вычерчивают черным цветом; объекты гидрографии (озера, ручьи, осушительные каналы, заболоченные участки) – голубым цветом; рельеф – коричневым цветом.

У каждой вершины квадрата подписывают её высотную отметку. По отметкам на сторонах квадратов определяют местоположение горизонталей, кратных выбранной высоте сечения. Соединив равнозначные точки плавными линиями, получают горизонтали. При вычерчивании ситуации используют стандартные условные знаки для топографических планов (рис. 157).

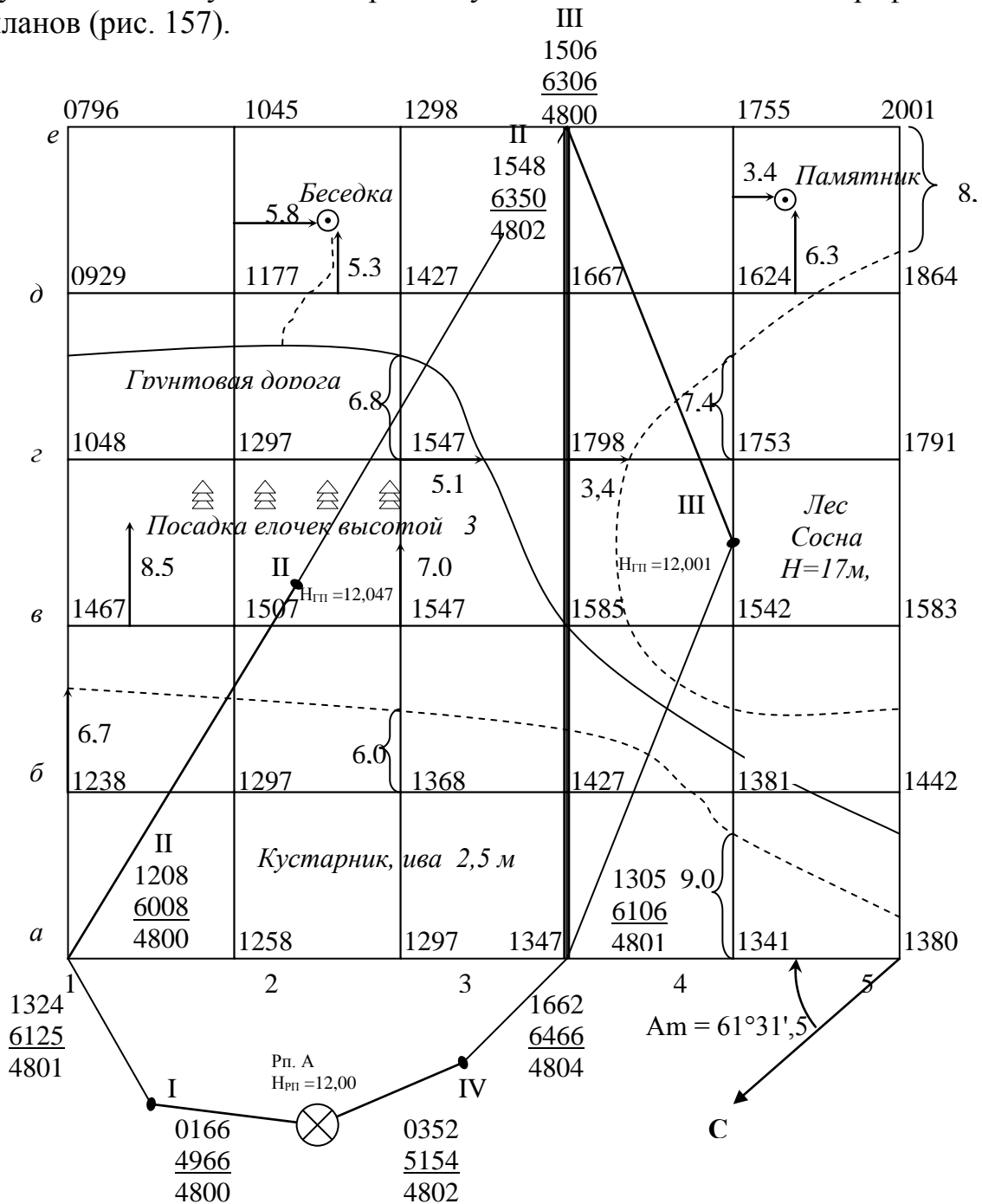
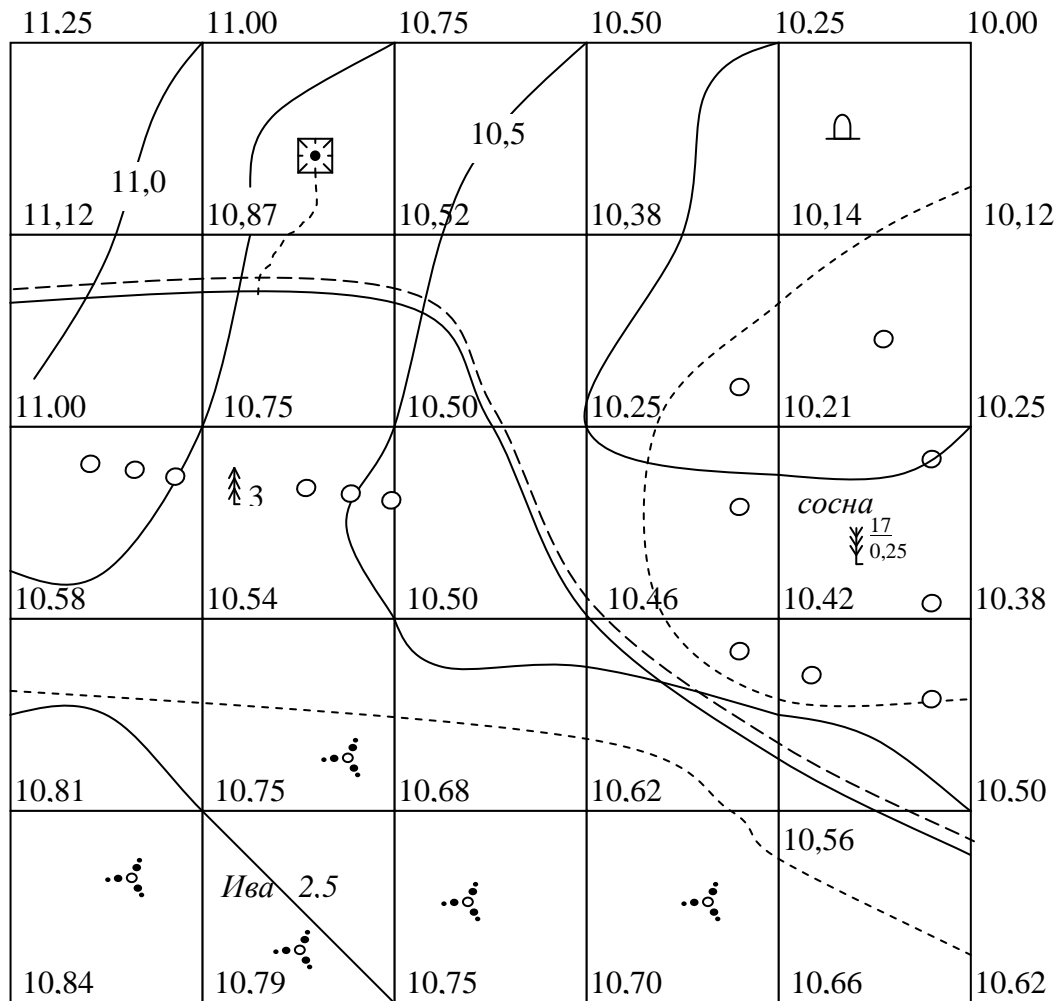


Рис. 156. Полевой журнал. Схема нивелирования и съемки ситуации

План
участка съемки по квадратам



Масштаб 1:500
в 1 см 5 м
Высота сечения 0,25 м
Сторона квадрата 10 м

$A_m = 61^{\circ}31',5$

C

Рис. 157. План участка местности

16.2. Тригонометрическое нивелирование.

В отличие от технического тригонометрическое нивелирование не имеет ограничений для применения по условиям рельефа местности. Данный вид нивелирования может с успехом применяться как на равнинной местности, так и на сильно пересеченной, в т.ч. горной.

Это делает тригонометрическое нивелирование более универсальным и широко применимым на практике.

16.2.1. Сущность тригонометрического нивелирования.

Тригонометрическое нивелирование выполняют с помощью наклонного визирного луча теодолита, определяя превышение между точками как функцию измеренных на местности угла наклона и наклонного расстояния до наблюдаемой точки.

Угол наклона определяется по правилам, изложенным в гл. 11, наклонное расстояние измеряется с помощью нитяного дальномера.

Если при работе на местности угол наклона превышает 2° , то необходимо от наклонного расстояния перейти к его горизонтальному проложению. Если этого не сделать, то превышения точек будут вычислены с ошибками, пренебречь которыми нельзя. Величина горизонтального проложения вычисляется по формуле:

$$d = D' \cdot \cos^2 v,$$

где: D' – наклонное расстояние; v – уклон.

В конкретной ситуации может возникнуть необходимость, когда потребуется найти собственно значение поправки за уклон линии к горизонту Δd . Найти эту величину можно по формуле:

$$\Delta d = D' - d$$

$$\Delta d = 2D' \sin^2 \frac{v}{2}$$

Сущность тригонометрического нивелирования и смысл измеряемых величин представлен на рис. 158.

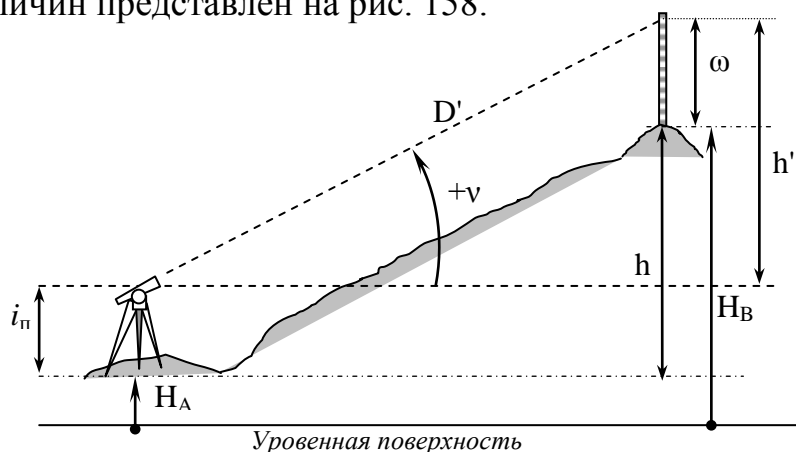


Рис. 158. Сущность тригонометрического нивелирования.

Вычисления превышения точки В над точкой А, при визировании на верхний срез дальномерной рейки, производят по формуле:

$$h = \frac{D'}{2} \cdot \sin 2v + i_n - i_{\text{п}};$$

где: D' – наклонное расстояние определенное нитяным дальномером;
 v – угол наклона;
 ω – высота визирования;
 $i_{\text{п}}$ – высота прибора.

Эта формула точна только для малых расстояний, когда можно не считаться с влиянием кривизны Земли и искривлением светового луча в атмосфере в результате рефракции. Если расстояния превышают 300 м, а уклон $v > 3^\circ$, то необходимо вводить поправку за рефракцию и кривизну земной поверхности – f . С учетом поправки формула для определения превышения примет вид:

$$h = \frac{D'}{2} \cdot \sin 2v + i_n - i_{\text{п}} - f$$

Поправка за рефракцию и кривизну земной поверхности рассчитывается по формуле:

$$f = 0,43 \frac{d^2}{R}$$

где: R – радиус земли, равный 6 378 245 м.

В практике полевых измерений, при тригонометрическом нивелировании, высоту визирования устанавливают равной высоте прибора ($\omega = i_{\text{п}}$). В этом случае формула упрощается и принимает вид:

$$h = \frac{D'}{2} \cdot \sin 2v;$$

Значения величин h – превышения и d – горизонтального проложения, могут быть выбраны по специальным тахеометрическим таблицам.

Через вычисленное превышение h вычисляют высоту наблюдаемой точки В относительно известной высоты станции H_A :

$$H_B = H_A + h.$$

Таким образом, с одной станции можно определить отметки большого числа точек, значительно удаленных от исходной.

16.2.2. Полевые работы при тригонометрическом нивелировании.

Полевые работы при тригонометрическом нивелировании сводятся к следующему. Устанавливают теодолит на штатив и центрируют его над исходной точкой А, высота которой известна или принята за условный «0».

Приводят основную ось прибора в отвесное положение (горизонтируют) и при помощи металлической рулетки как можно более точно измеряют высоту прибора ($i_{\text{п}}$) от точки А до горизонтальной оси вращения

зрительной трубы теодолита. Измеренное значение высоты i_n записывают в журнале тригонометрического нивелирования. На черной шкале дальномерной рейки отмечают повязкой отсчет, соответствующий высоте прибора. После чего рейку переносят в наблюдаемую точку В и устанавливают вертикально. Вертикальность рейки оценивают «на глаз» или по круглому уровню, входящему в ее комплект. Наводят теодолит в повязку и с помощью нитяного дальномера измеряют наклонную дальность, а по вертикальному кругу снимают отсчеты при положении круг лево и круг право.

Все полевые измерения и расчеты заносят в журнал (табл. 27).

В качестве примера даны результаты определения превышения с помощью теодолита 4Т30.

Таблица 27. Журнал тригонометрического нивелирования

Наблюдаемая точка	Отсчет		Место нуля МО		Угол наклона ν		$h' = \frac{1}{2}D' \sin 2\nu$	Высота визирования ω , м	Превышение, м $h = h' + i_n - \omega$	Высота, м	
	по нитяному дальномеру	по вертикальному кругу									
Станция А; $i_n = 1.47$ м			$H_A = 40,17$ м								
В	123,2	КЛ		- 0	01	+ 5	37	+ 12,00	3,00	+ 10,47	50,64
		5	36								
		КП									
		- 5	38								

Отсчеты по вертикальному кругу используют для вычисления значения места нуля МО и угла наклона ν . От знака угла наклона будет зависеть и знак превышения.

Тригонометрическое нивелирование в совокупности с плановой съемкой дают возможность изобразить на плане не только ситуацию, но и рельеф с помощью горизонталей. Такой вид съемки называется тахеометрической.

Применение на практике современных электронных тахеометров с лазерными дальномерами, позволяет существенно упростить полевые геодезические работы.

Глава 17. Тахеометрическая съемка.

17.1. Содержание тахеометрической съемки

Тахеометрия (быстрое измерение) - вид геодезических работ, позволяющий быстро определять пространственное положение точек местности за счет совместного использования угломерных измерений для определения направлений, дальномерных измерений для определения расстояний и

тригонометрического нивелирования для определения высот относительно точек (станций) плано-высотного обоснования (рис. 159).

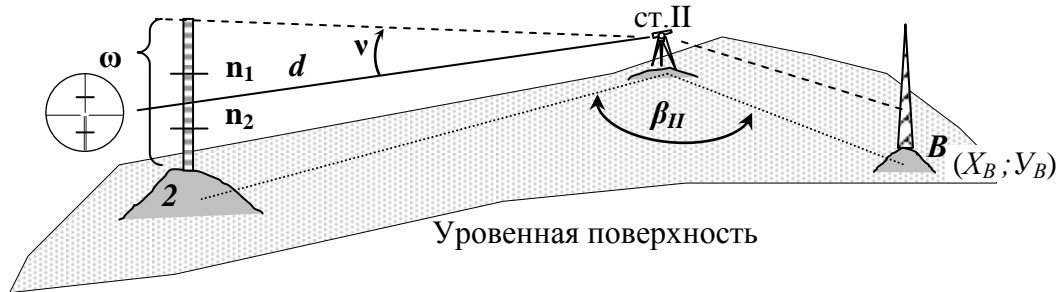


Рис. 159. Сущность тахеометрической съемки

Тахеометрическая съемка является основным видом топографической съемки и позволяет изобразить на плане рельеф в виде горизонталей, и взаимное расположение местных предметов - ситуацию, т.е. сочетает в себе теодолитную (плановую) съемку и нивелирование. Плано-высотное обоснование (ПВО) создается путем прокладки тахеометрического хода, который сочетает в себе теодолитный ход и тригонометрическое нивелирование.

Особенностью тахеометрического хода является то, что с каждой станции измеряются уклоны и расстояния на предыдущую и последующую станции. Результаты полевых измерений заносят в журнал тахеометрического хода (табл. 28). Из полученных значений длин сторон тахеометрического хода берут среднюю величину, которую используют для решения прямой геодезической задачи при вычислении координат точек ВПО.

При этом следует учитывать, что расхождение между расстояниями, измеренными в прямом и обратном направлениях, не должно превышать 1:300. В противном случае длины сторон перемеряют.

Параллельно с измерением горизонтальных углов и расстояний, измеряют уклоны линий визирования, также в прямом и обратном направлениях, двумя полу приемами – круг право (КП), круг лево (КЛ). Это дает возможность рассчитать значение места нуля (МО) и непосредственно значение уклона. Место нуля вертикального круга вычисляют по наблюдениям 2-3 точек, расхождение результатов расчетов не должно превышать 1 угл. мин. Высоту прибора измеряют рулеткой с точностью до 1 см.

Отметки станций вычисляют по формулам тригонометрического нивелирования. При этом если уклон линии визирования превышает 2° , то наклонное расстояние приводят к его горизонтальному проложению. Результаты тахеометрического хода уравнивают при выполнении камеральных работ.

Таблица 28. Выписка из журнала тахеометрического хода

Номер станции, высота прибора i , м	Номер точки наблюдения	Высота визирования ω , м	Дальномерный отсчет l , мм	Отсчеты на горизонтальном лимбе		Величина угла		Средняя ве- личина угла		Отсчет на вертикальном круге	
				°	'	°	'	°	'	°	'
I $i_n=1.50$				КП							
	A			321	15						
	II	1,50	168,4	155	57	165	18			-0	55
				КЛ							
	A			141	13						
II $i_n=1.51$				КП							
	I	1,51	168,2	48	17					0	58
	III	1,51	187,2	249	40	158	37			0	27
				КЛ							
	I	1,51		228	19					-0	56
III $i_n=1.38$				КП							
	II	1,38	187,6	358	25						
	B			222	11	136	14			-0	26
				КЛ							
	II	1,38		178	27						
	B			42	13	136	14	136	14	0	28

Относительно станций тахеометрического хода (точек ВПО) выполняют съемку местности. Результаты измерений записывают в журнал тахеометрической съемки (табл. 29).

Положение съемочных пикетов выбирают таким образом, чтобы по ним можно было изобразить на плане ситуацию и рельеф местности. Их берут на всех характерных точках и линиях рельефа: на вершинах и подножиях холмов, дне и бровках котловин и оврагов, водоразделах и тальвегах, перегибах скатов и седловинах. При съемке ситуации определяют границы лесных и сельскохозяйственных угодий, гидрографию, дороги,

точки поворота ЛЭП, контуры зданий, колодцы, отдельные местные предметы, т.е. все то, что подлежит нанесению на план в данном масштабе.

Таблица 29. Выписка из журнала тахеометрической съемки

Номер точки наблюдения	Высота визирования ω , м	Расстояние d , м	Отсчеты на горизонтальном лимбе		Отсчеты по вертикальному кругу			
			°	'	КП		КЛ	
					°	'	°	'
Станция I, $MO = + 0^{\circ}01'$					$i_{II} = 1.50 \text{ м}, H_I = 22,15 \text{ м}$			
II			0	00				
11	1,50	67,3	11	45			+2	23
12	1,50	86,1	48	33			-1	53
13	1,35	54,1	98	42			-2	47
15	1,50	107,2	284	48	+0	54		
16	1,60	68,9	300	27	-1	53		
II			0	00				

Плановую съемку ситуации выполняют полярным способом. Горизонтальный угол измеряют от стороны тахеометрического хода при основном положении горизонтального круга теодолита, круг лево КЛ. Для более удобной работы сторону тахеометрического хода принимают за исходное направление – « 0° » (рис. 160). В этом случае полученные значения отсчетов по горизонтальному кругу будут равны непосредственно горизонтальным углам. При работе с оптическим теодолитом (тахеометром) расстояние до речных точек измеряют с помощью нитяного дальномера или мерной ленты.

Чем крупнее масштаб съемки, тем больше должно быть число съемочных пикетов и тем меньше расстояние между пикетами и от станции до пикетов. Так, если при съемке масштаба 1:5000 максимальное расстояние до твердых контуров ситуации ограничено 150 м, а до нетвердых - 200 м, то в масштабе 1:500 - 60 и 80 соответственно. Число речных точек (пикетов) выбирают исходя их нормативных требований, обеспечивающих необходимую точность съемки (табл. 30).

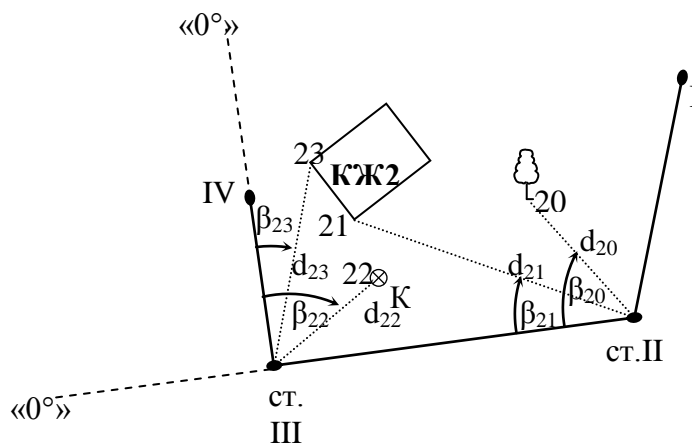


Рис. 160. Съемка планового положения речных точек (пикетов).

Высотное положение речных точек определяют также тригонометрическим нивелированием относительно соответствующих станций, с которых производилась плановая съемка этих точек (табл. 29).

В процессе съемки на каждой станции составляют абрис, в котором указывают положение станции, направление на предыдущую и последующую станции, расположение всех съемочных пикетов, особенности рельефа, ситуацию, характеристики местности и отдельных объектов, а также другие данные, которые могут пригодиться геодезисту на этапе камеральных работ и при составлении плана.

Таблица 30. Требования к геодезическим работам при съемке ситуации

№ п/п	Характеристики съемки	Масштаб съемки	
		1:1000	1:2000
1	Минимальное число съемочных точек на 10 га местности	8	5
2	Расстояние между съемочными точками, м	50-150	50-200
3	Максимальная длина тахеометрического хода, м	300	600
4	Число сторон хода, не более	3	5
5	Расстояние от съемочных до речных точек, м, не более:		
	при съемке рельефа	200	250
	при съемке ситуации	80	100
6	Среднее расстояние между речными точками, м	20	50

Нумерация съемочных пикетов на абрисе должна соответствовать записям в полевом журнале. Нумерация точек для съемки ситуации должна быть общей, а для всего снимаемого участка - сквозной. Речные точки (пикеты) нумеруют арабскими цифрами, станции - римскими цифрами.

Для уменьшения объема работ целесообразно при возможности совмещать речные точки для съемки ситуации и съемки рельефа, не определять при съемке высотное положение точек ситуации, расположенных в нехарактерных местах рельефа (на однородном склоне).

Ситуацию изображают условными знаками, рельеф горизонталями, характеристики местных предметов (ширина проезжей части, материал покрытия, средняя высота деревьев, их порода, этажность зданий, и т.п.) устанавливают обмером и записывают в виде пояснительных надписей и цифровых обозначений. Между всеми

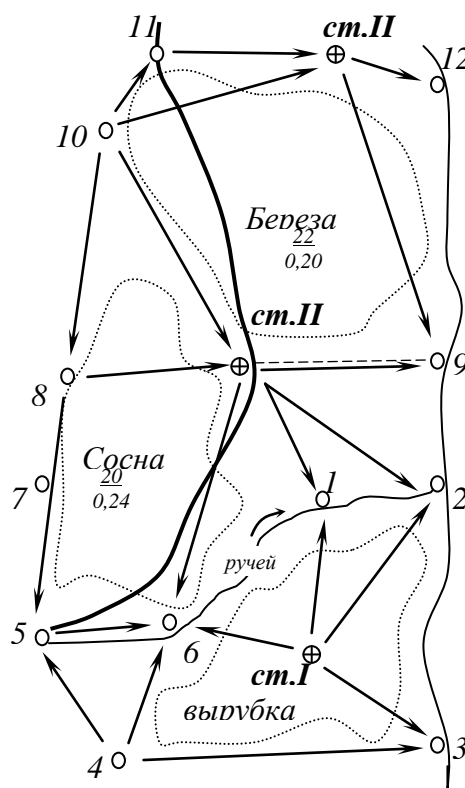


Рис. 161. Абрис тахеометрической съемки

точками на абрисе проводят стрелки, указывающие направление ската (рис. 161).

17.2. Камеральные работы

17.2.1. Обработка журнала тахеометрического хода

Обработку журнала тахеометрического хода (табл. 31) целесообразно начинать непосредственно в поле, сразу после выполненных измерений. Так, после снятия отсчетов вычисляют дальномерные расстояния или горизонтальные проложения (гр. 11), горизонтальные углы и их среднее значение (гр. 6, 7), место нуля теодолита (гр. 9), углы наклона между станциями (гр.10), разность между высотой визирования и высотой прибора (гр. 13).

Превышение одной станции над другой вычисляют в камеральных условиях по формулам тригонометрического нивелирования. Результаты вычислений записывают в графу 14. Величины уклона между двумя станциями, измеренные в прямом и обратном направлениях, будут несколько отличаться друг от друга по абсолютной величине. Это происходит потому что в результатах измерений присутствуют постоянные (техническая точность прибора) и случайные погрешности (ошибки горизонтирования, наведения, снятия отсчетов и т.п.). Допустимое несоответствие превышений, вычисленные в прямом и обратном направлениях, не должна превышать 0,04 м на 100 м расстояния, т.е. допустимая высотная невязка определяется по формуле:

$$f_{\text{доп}} = \frac{0.04 \sum d_{i\text{cp}}}{100\sqrt{n}}$$

где: $\sum d_{i\text{cp}}$ – сумма средних длин линий между станциями;

n – число сторон тахеометрического хода.

Зная значения высот начальной и конечной точек тахеометрического хода, вычисляют фактическую невязку в превышениях:

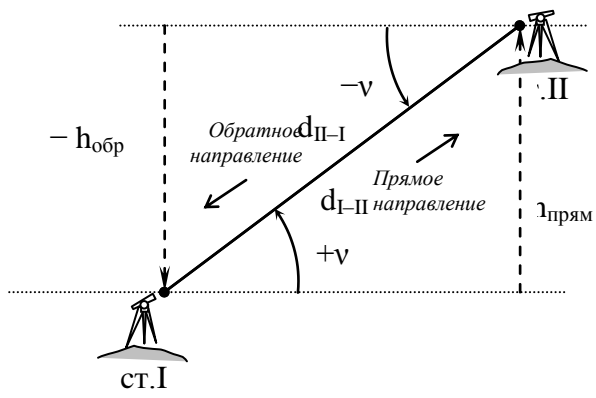
$$f_{\text{фак}} = \sum h_{\text{cp}} - (H_{\text{кон}} - H_{\text{нач}});$$

где: $\sum h_{\text{cp}}$ – сумма средних превышений

Средние значения превышений вычисляют из их абсолютных величин.

$$|h_{\text{cp}}| = \frac{|h_{\text{прям}}| + |h_{\text{обр}}|}{2}$$

Знак среднего превышения должен соответствовать знаку превышения рассчитанному в прямом направлении (рис. 162).



В данном примере среднее превышение для II станции имеет знак «+»

Рис. 162. Правило определения знака среднего превышения

Если фактическая невязка не превышает допустимую величину, то вычисляют поправки в превышения, т.е. проводят уравнивание.

Вычисляют поправку по формуле:

$$\bar{s}_{h_i} = -\frac{f_{h\text{фак}}}{n} \cdot d_{i\text{cp}}$$

Как видно из формулы, поправки в превышения вводятся пропорционально длинам сторон тахеометрического хода.

Знак поправки всегда будет противоположен знаку невязки.

После того как превышения будут исправлены, вычисляют отметки съемочных точек (вершин) тахеометрического хода (табл. 32) по формуле:

$$H_{i+1} = H_i + h_{i\text{cp.испр}}$$

- где: H_{i+1} – отметка последующей точки;
- H_i – отметка данной съемочной точки;
- $h_{i\text{cp.испр}}$ – среднее исправленное превышение.

Таблица 32. Ведомость вычисления отметок съемочных точек тахеометрического хода

Номер точки	Средняя длина линий между съемочными точками $d_{с.т.}$, м	Вычисленные превышения, м			Поправки Δh , м	Исправленное превышение $h_{испр.}$, м	Отметки съемочных точек $H_{ст.}$, м
		Прямые $h_{пр.}$	Обратные $h_{обр.}$	Средние $h_{ср.}$			
I							22,15
	168,2	+2,74	- 2,79	+2,76	+0,04	+2,8	
II							24,95
	187,5	- 1,42	+1,47	- 1,45	+0,04	- 1,41	
III							23,54
Σ	355,7	-	-	+1,31	+0,08	+1,39	

17.2.2. Обработка журнала тахеометрической съемки.

Обработка журнала тахеометрической съемки (табл. 33) заключается в вычислении отметок (высот) съёмочных точек по формулам тригонометрического нивелирования.

Зная значение места нуля прибора и отсчет по вертикальному кругу на каждую реечную точку (графа 3, 4) вычисляют уклон линии визирования (графа 5). При вычислении уклона, следует не забывать учитывать при каком положении круга производились измерения.

$$v = \text{КЛ} - \text{МО} = \text{МО} - \text{КП}$$

По знаку уклона можно будет уже судить о высотном положении реечной точки: если уклон имеет знак «+», значит, реечная точка лежит выше станции, если «-», значит ниже. По этому в графе 6 рекомендуется сразу ставить знаки будущих приращений.

Если угол наклона превышает 2° (в примере это точки № 11, 13), то сначала необходимо привести измеренное наклонное расстояние к ее горизонтальному проложению. Проще говоря, найти длину проекции на линию горизонта:

$$d = D' \cos^2 v$$

В этом случае, а так же если измерения расстояний проводились с помощью мерной ленты или рулетки, превышение вычисляют по зависимости:

$$h = d \cdot \operatorname{tg} v + i_n - \omega$$

На практике, для упрощения измерений и вычислений, часто используют прием визирования «по повязке».

В этом случае прибор наводят в точку на рейке, отметка которой (высота визирования) равна высоте прибора $\omega = i_n$.

Если высота визирования отлична от высоты прибора, то вычисления превышения реечной точки над станцией производят по общей формуле тригонометрического нивелирования

$$h = \frac{D'}{2} \cdot \sin 2v + i_n - \omega$$

где: D' – наклонное расстояние измеренное нитяным дальномером;

ω – высота визирования;

i_n – высота прибора.

Полученные результаты вычислений заносят в таблицу графы 6, 8.

Затем, относительно известной высоты станции, находят отметки съёмочных точек.

Таблица 33. Журнал тахеометрической съемки

Наблюдаемая точка	Отсчет		Место нуля	Угол наклона γ		$h' = \frac{1}{2}D' \sin 2\gamma$	Высота визирования ω , м	Превышение, м $h = h' + i_n - \omega$	Отметка, м		
	По нитяному дальномеру мм	По вертикальному кругу		°	'						
		°	'			°	'				
1	2	3		4		5	6	7	8	9	
Станция I; $i_n = 1,50$ м $H_I = 22,15$ м											
11	67,3	КЛ		+ 0	01	+2	22	+2,77	1,50	+2,77	24,92
		+2	23								
12	86,1	КЛ		+ 0	01	-1	54	-2,85	1,50	-2,85	19,30
		-1	53								
13	54,1	КЛ		+ 0	01	-2	48	-2,63	1,35	-2,48	19,67
		-2	47								
15	107,2	КП		+ 0	01	-0	53	-1,65	1,50	-1,65	20,50
		+0	54								
16	68,9	КП		+ 0	01	+1	54	+2,28	1,60	+2,27	24,42
		-1	53								

Результаты тахеометрической съемки наносят на топографический план. Для этого на листе бумаги строят координатную сетку в соответствующем масштабе. Координатные линии сетки оцифровываются таким образом, чтобы станции оказались в центре плана. Станции наносят на план по вычисленным прямоугольным координатам с помощью циркуля-измерителя. Плановое положение речных точек находят по данным полярной засечки. Ориентируя транспортир нулевым отсчетом в направлении соответствующей станции, на его шкале находят значение измеренного горизонтального угла и проводят направление (рис. 163). В данном направлении, с учетом масштаба плана, с помощью циркуля-измерителя откладывают измеренное на местности расстояние. Аналогично наносят все речные точки.

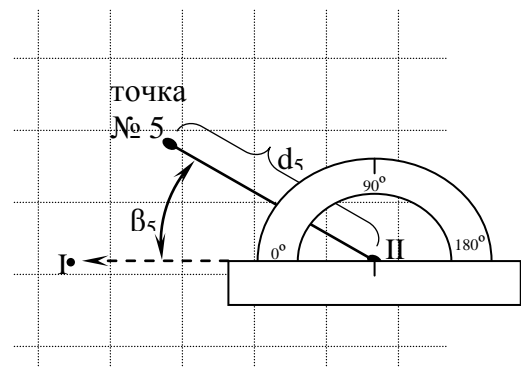


Рис. 163. Нанесение точки на план

По высотным отметкам станций и речных точек вычерчивают рельеф местности. Горизонтالي проводят между пикетами путем аналитического или графического интерполирования.

Построение горизонталей графическим интерполированием выполняют с помощью палетки в соответствии с особенностями рельефа, обозначенными на абрисе в ходе тахеометрической съемки.

Палетка представляет собой вычерченные на прозрачной основе взаимно параллельные линии, проведенные через одинаковый интервал. Оцифровывается палетка в зависимости от того, какая будет принята высота сечения рельефа при составлении топографического плана.

Например, на плане горизонтали необходимо провести с высотой сечения 0,5 метра (рис. 164).

Оцифрованную палетку накладывают на отрезок, высотные отметки концов которого известны, таким образом, что бы его концы заняли положение соответствующее их высотам. Точки пересечения отрезка с линиями палетки накалывают на план и подписывают карандашом их отметки. Таким образом, находят отметки будущих горизонталей между всеми точками тахеометрической съемки. Сообразуясь с абрисом, точки с одинаковыми отметками соединяют в горизонталь, которая и будет отражать форму рельефа на данной высоте.

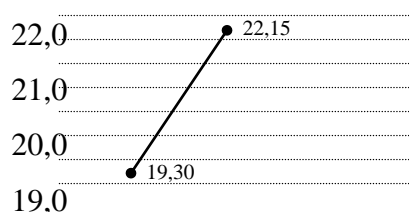


Рис. 164. Порядок работы с палеткой

Ситуацию на плане изображают общепринятыми условными знаками. Над северной рамкой делают заглавную надпись, с указанием названия района съемки, а под южной - подписывают масштаб и высоту сечения рельефа.

Готовый топографический план подписывается исполнителем.

Появление электронных тахеометров позволило значительно упростить съемочные и камеральные работы. Практически отпала необходимость ведения полевых записей и выполнения графических построений в ручную. Возможность коммутации тахеометра с компьютером позволяет автоматизировать камеральную обработку геодезических данных и построение топографического плана участка съемки, а также решить другие прикладные задачи.

Сочетание современных геодезических приборов и вычислительной техники с использованием специализированных компьютерных программ, типа CREDO, позволяет получить топографический план не только на «бумажном» носителе, но и в электронном виде, а также составить цифровую 3D-модель местности.

Глава 18. Разбивочные работы.

18.1. Назначение и организация разбивочных работ

Разбивочные работы являются одним из основных видов инженерно-геодезической деятельности. Выполняют их для определения на местности планового и высотного положения характерных точек и плоскостей строящегося сооружения в соответствии с рабочими чертежами проекта.

Проект сооружения составляют на топографических планах крупных масштабов. Определяют расположение проектируемого сооружения относительно окружающих предметов и сторон света. Кроме того, топографический план определяет общегеодезическую систему координат, задающую положение характерных точек проектируемого сооружения относительно этой системы.

Разбивочные работы диаметрально противоположны съемочным. При съемке на основании натуральных измерений определяют координаты точек относительно пунктов опорной сети. Точность их измерений зависит от масштаба съемки. При разбивке же, наоборот, по координатам, указанным в проекте, находят на местности положение точек сооружения с заранее заданной точностью. При разбивочных работах углы, расстояния и превышения не измеряют, а откладывают на местности. В этом основная особенность разбивочных работ.

Исходными данными для разбивочных работ служат графо-аналитические чертежи проектов. На графической части проектов, кроме основной ситуации, показывают схему размещения знаков геодезической разбивочной основы, конструкцию знаков, направление выполнения измерений, угловые и линейные значения отдельных параметров и т.п. Аналитическая часть исходных данных содержит каталог координат и высот знаков разбивочной основы, спецификации материалов и изделий для закладки знаков и другую необходимую информацию.

Компоновка сооружения определяется его геометрией, которая, в свою очередь, задается осями. Относительно осей сооружения в рабочих чертежах указывают местоположение всех элементов сооружения.

В нормативных документах существует понятие разбивочной оси. На практике же различают главные, основные, промежуточные или детальные оси.

Главными осями линейных сооружений (дорог, каналов, плотин, мостов и т. п.) служат продольные оси этих сооружений. В промышленном и гражданском строительстве в качестве главных осей принимают оси симметрии зданий (рис. 165).

Основными называют оси, определяющие форму и габариты зданий и сооружений.

Промежуточные или детальные оси - это оси отдельных элементов зданий, сооружений. На строительных чертежах оси проводят штрихпунктирными линиями и обозначают цифрами или буквами в кружках. Для обозначения продольных осей служат арабские цифры, а для поперечных осей - прописные буквы русского алфавита, за исключением букв З, И, О, Х, Ы, Ъ, Ь. Оси обозначают слева направо и снизу вверх.

Указанные в проекте сооружения координаты, углы, расстояния и превышения называют проектными.

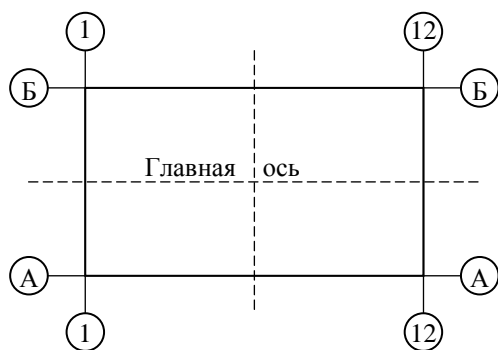


Рис. 165. Главные оси здания

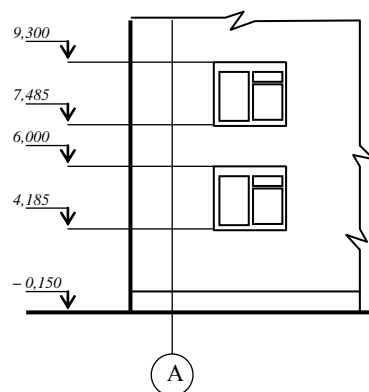


Рис. 166. Высотные отметки на чертеже

Высоты плоскостей и отдельных точек проекта задают от условной поверхности. В зданиях за условную поверхность (нулевую отметку) принимают уровень «чистого пола» первого этажа. Высоты относительно нулевой отметки обозначают следующим образом: вверх - со знаком «плюс», вниз - со знаком «минус» (рис. 166).

Для каждого сооружения условная поверхность соответствует определенной абсолютной отметке, которая указывается в проекте.

Весь процесс разбивки сооружения определяется общим геодезическим правилом перехода от общего к частному. Разбивка главных и основных осей определяет положение всего сооружения на местности, т. е. его размеры и ориентирование относительно сторон света и существующих контуров местности. Детальная же разбивка определяет взаимное положение отдельных элементов и конструкций сооружения.

Разбивочные работы - это комплексный, взаимосвязанный процесс, являющийся неотъемлемой частью строительного-монтажного производства. Поэтому организация и технология разбивочных работ целиком зависит от этапов строительства. В подготовительный период на местности строят плановую и высотную геодезическую разбивочную основу соответствующей точности, определяют координаты и отметки пунктов этой основы. Затем производится геодезическая подготовка проекта для перенесения его в натуру.

Непосредственную разбивку сооружений выполняют в три: на первом этапе производят основные разбивочные работы. По данным привязки от пунктов геодезической основы находят на местности положение главных или основных разбивочных осей и закрепляют их.

На втором этапе, начиная с возведения фундаментов, проводят детальную строительную разбивку сооружений.

Третий этап заключается в разбивке технологических осей оборудования.

18.2. Нормы точности разбивочных работ

Требования к точности разбивочных работ зависят от многих факторов: вида, назначения, местоположения сооружения; размеров сооружения и взаимного расположения его частей; материала, из которого возводится сооружение; порядка и способа производства строительных работ; технологических особенностей эксплуатации и т. п.

Нормы точности на разбивочные работы задаются в проекте или в нормативных документах: строительных нормах и правилах (СНиП), Государственном общесоюзном стандарте (ГОСТ), ведомственных инструкциях. Они могут быть указаны в явном виде, как это сделано в ГОСТ 21779 - 82 «Технологические допуски», или по видам измерений (угловые, линейные, высотные) в СНиП 3.01.03 - 84 «Геодезические работы в строительстве».

В этом руководящем документе изложены указания по организации геодезических работ, содержание, порядок и точность создание геодезической разбивочной основы для строительства, изложены требования обеспечения точности геодезических измерений (угловых, линейных, высотных), способы передачи отметок по высоте, а так же точек и осей по вертикали.

В качестве справочного и вспомогательного материала к указанному СНиП разработано «Пособие по производству геодезических работ в строительстве», в котором рассмотрены вопросы обоснования основных геодезических задач разбивки.

18.3. Способы выноса в натуру проектных величин

Разбивочные работы по существу сводятся к фиксации на местности точек, определяющих проектную геометрию сооружения. Все многообразие разбивочных работ можно свести к следующим:

1. вынос в натуру проектных углов;
2. проектных длин линий;
3. проектной отметки;
4. линии или плоскости заданного уклона;
5. разбивка кривых.

Разбивочные работы выполняют с помощью штатных геодезических приборов и инструментов, руководствуясь общепринятыми правилами.

18.3.1. Построение проектного горизонтального угла.

Работы ведут в следующем порядке. Устанавливают теодолит в точку В. Наводят зрительную трубу на точку А и берут отсчет по горизонтальному лимбу. Далее прибавляют к этому отсчету проектный угол β и, открепив алидаду, устанавливают вычисленный отсчет. Теперь визирная ось зрительной трубы теодолита указывает искомое направление. Это направление на соответствующем проекту расстоянии фиксируют на

местности в точке C_1 колышком. Аналогичные действия: выполняют при другом круге теодолита и отмечают на местности вторую точку C_2 . Из положения двух точек берут среднее (точка C рис. 167а), принимая угол ABC за проектный.

Для построения угла на местности с повышенной точностью используют способ приближений. Для чего строят угол вышеизложенным способом и затем измеряют его с заданной точностью, обычно способом повторений.

$$\beta_1 = \frac{\sum \beta_i}{n}$$

где: n - число повторений.

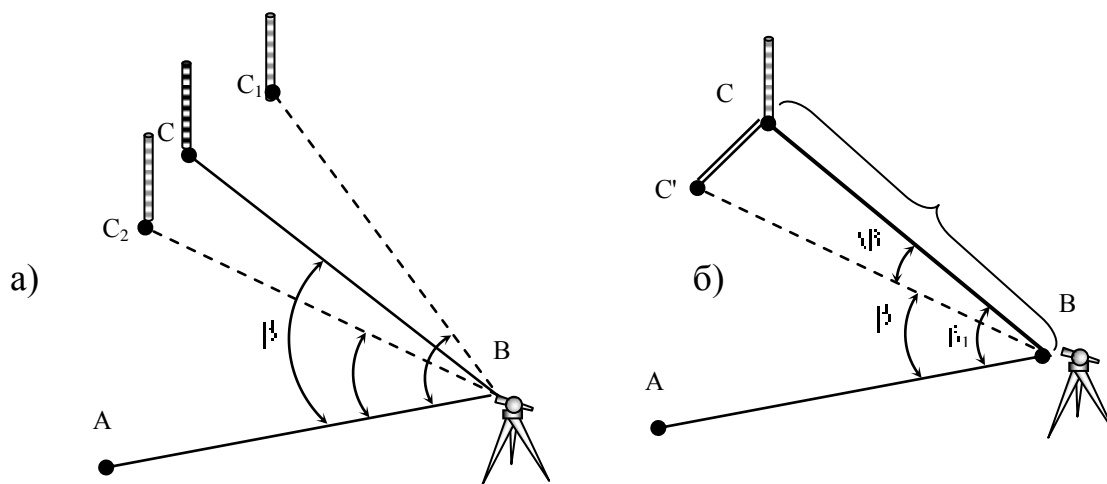


Рис. 167. Построение проектного угла.

Для достижения требуемой точности число повторений может быть определено по зависимости:

$$n = \frac{m_1^2}{m_{TP}^2} - 1$$

где: m_1 – среднеквадратическая ошибка одного измерения, зависящая от точности применяемого геодезического прибора,

m_{TP} – среднеквадратическая ошибка измерений, которую необходимо достигнуть.

Например, точность теодолита 2Т30 составляет $30''$, а угол необходимо измерить с точностью $10''$, тогда $30^2/10^2 - 1 = 8$, то есть необходимо произвести 8 независимых измерений.

Полученный в ходе измерений результат, как правило, отличается от проектного, поэтому вычисляют поправку в измеренный угол:

$$\Delta\beta = \beta - \beta_1$$

В построенном направлении BC откладывают максимально возможное расстояние d и вычисляют поправку в угол в линейной мере

$$CC' = \frac{d \cdot \Delta\beta}{\rho''}$$

$$\rho'' = 206265''$$

Далее, в зависимости от знака поправки $\Delta\beta$, откладывают от точки С перпендикулярно к линии ВС величину вычисленной поправки CC' и фиксируют точку C' . Величина угла ABC' и будет соответствовать проектному значению (рис.167б).

18.3.2. Вынос в натуру линии проектной длины.

Отложение проектного расстояния АВ в общем случае заключается в определении и закреплении на местности наклонного расстояния D , соответствующего проектному горизонтальному расстоянию d . Значение наклонного расстояния вычисляют по формуле:

$$D = d + 2d \cdot \sin^2 \frac{v}{2}$$

Величина уклона v между точками А и В определяется непосредственно на местности по общим правилам измерения вертикального угла. Рассчитанное расстояние откладывается на местности с помощью мерной ленты.

Если известно превышение h между точками, то наклонное расстояние определяют по зависимости:

$$D = d + \frac{h^2}{2d}$$

Если допустимая относительная ошибка отложения проектной длины не превышает 1:2000, то при углах наклона до 1° , поправку за наклон не учитывают.

18.3.3. Вынос в натуру проектной высоты.

Вынос в натуру проектной высоты H_{Π} обычно осуществляют геометрическим нивелированием, относительно известной высоты точки.

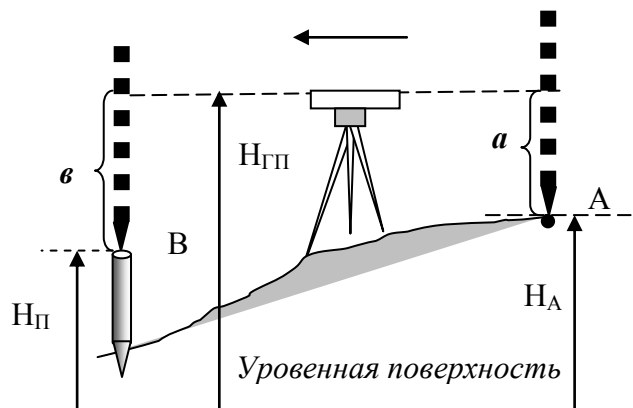


Рис. 168. Вынос в натуру проектной высоты с помощью нивелира.

Сущность способа заключается в вычислении отсчета v по рейке установленной на точке В через значение горизонта прибора в точке А. При наблюдении в поле зрения зрительной трубы отсчета равного v – пятка рейки будет находиться на проектной высоте $H_B = H_{\Pi}$.

$$H_{\Pi} = H_A + a;$$

$$v = H_{\Pi} - H_{\Pi}$$

18.3.4. Построение линии с проектным уклоном.

Построение линии с проектным уклоном может выполняться двумя способами:

когда известны проектные высоты точек начальной А и конечной В;
когда задан проектный угол с точки А.

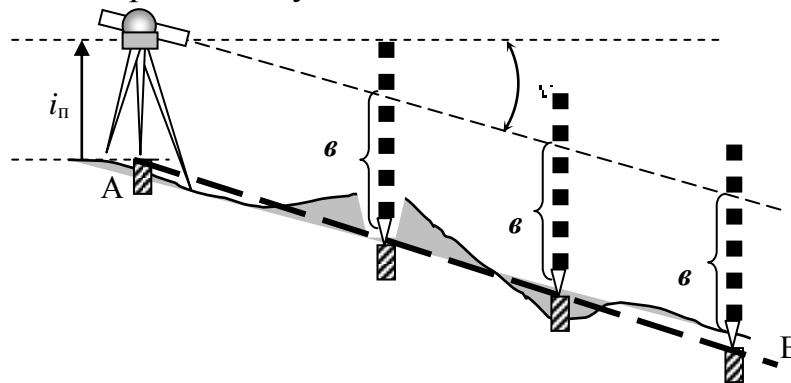


Рис. 169. Вынос в натуру проектной высоты с помощью теодолита.

1 способ. При использовании нивелира строят линию с проектным уклоном исходя из условия: отсчет по черной шкале рейки должен быть равен высоте прибора $i_{\Pi} = v$. Предварительно выносятся в натуру проектные высоты точек А и В. Затем в начальной точке А устанавливают нивелир одним из подъемных винтов в сторону уклона и измеряют высоту прибора i_{Π} , в точке В рейку. С помощью элевационного винта или подъемного винта, или одной из ножек штатива добиваются, чтобы отсчет по рейке соответствовал высоте прибора. Установив в промежуточной точке рейку в створе линии АВ, перемещают ее в вертикальном направлении добиваясь, чтобы отсчет был равен v , при этом пятка рейки будет находиться на линии заданного уклона (рис. 169). Разбивку с помощью теодолита выполняют аналогично.

2 способ. Если проектный угол задан, то при использовании нивелира сначала вычисляют отметку конечной точки по формуле:

$$H_B = H_A + vd,$$

а затем поступают как указано выше.

Если используется теодолит, то строится угол наклона. При этом отсчет по вертикальному кругу, соответствующий заданному уклону вычисляют по зависимости:

$$КЛ = \nu + МО$$

Место нуля МО для точки установки теодолита вычисляется по общим правилам.

18.3.5. Построение проектной плоскости.

Построение проектной плоскости ABCD осуществляются при планировке горизонтальных либо наклонных площадок. Для этого строят линии заданного уклона i в продольном и поперечном направлениях одним из вышеизложенных способов.

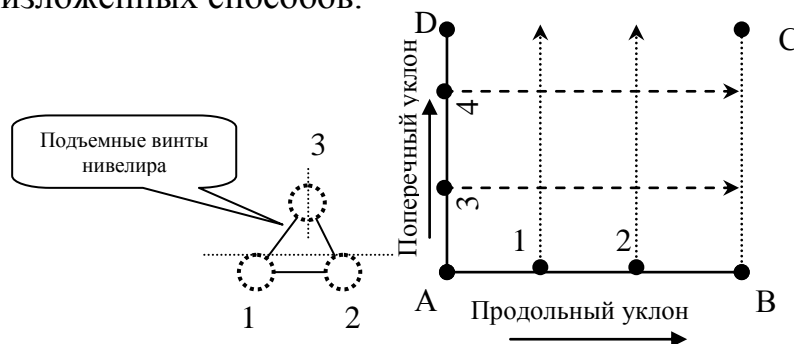


Рис. 170. Вынос в натуру проектной плоскости.

18.4. Детальная разбивка круговой кривой.

Исходными данными для детальной разбивки кривой являются проектный угол поворота трассы (оси дороги) и радиус поворота. Перед началом работ выбирается способ разбивки и назначается интервал расстановки точек на кривой l_n . Обычно это 1, 2, 5, 10 или 20 метров. Выбор величины интервала расстановки точек (колышков) на кривой связан с детализацией показа расположения кривой, необходимой точностью размещения кривой в натуре, типом дороги и способами инженерных работ при строительстве.

Детальной разбивку кривой выполняют из точек начала или конца кривой к ее середине. Для разбивочных работ используются теодолиты, тахеометры, мерные ленты и рулетки.

18.4.1. Способ прямоугольных координат.

При разбивке круговой кривой радиуса R необходимо расставить точки (забить колышки) 1, 2, 3 и т.д. через интервал (расстояние между ними по кривой), равный l_n .

При заданном радиусе поворота R и выбранной величиной l_n , рассчитывают величину центрального угла φ . За начало системы координат принимают точку начала (конца) кривой – А. За ось абсцисс – линию тангенса (направление касательной к кривой, проходящей через точку А), за ось ординат – перпендикуляр к центру окружности.

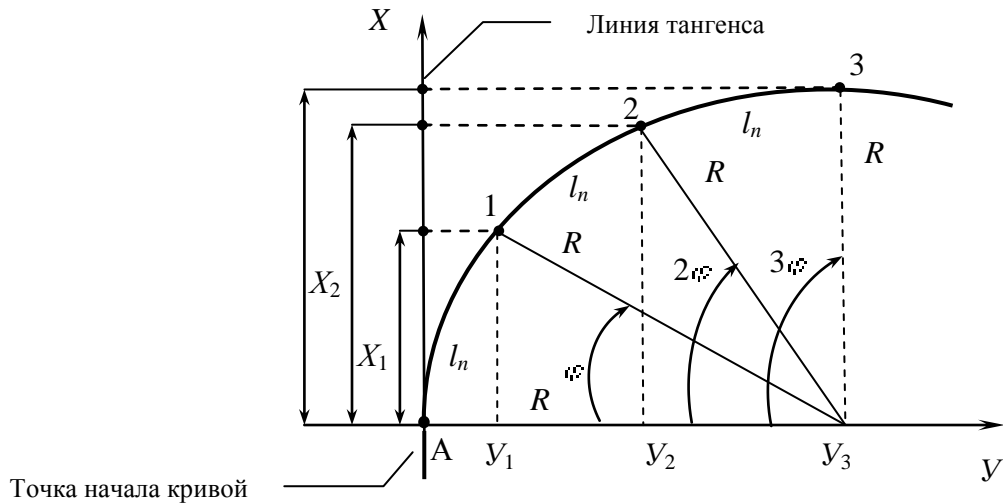


Рис. 171. Разбивка кривой способом прямоугольных координат.

Выразим величину центрального угла φ через его дугу l_n :

$$\varphi = \frac{l_n}{R} \cdot \rho^0$$

где $\rho^0 = \frac{180^0}{\pi} = 57,3^0 = 3438'$

Из решения прямоугольных треугольников находим координаты разбивочных точек:

$$X_1 = R \cdot \sin \varphi; \quad Y_1 = R - R \cdot \cos \varphi = R \cdot \sin^2 \frac{\varphi}{2}$$

или в общем виде: $X_n = R \cdot \sin n\varphi; \quad Y_n = R - R \cdot \cos n\varphi = R \cdot \sin^2 \frac{n\varphi}{2}$

Построение точек на местности по рассчитанным координатам сводится к отложению с помощью мерной ленты от точки А по линии тангенса абсцисс X_1, X_2, X_3, \dots , построению перпендикуляров при помощи экера и отложению на них рулеткой ординат Y_1, Y_2, \dots . Разбивку кривой ведут от начала и конца кривой к ее середине.

18.4.2. Способ углов и хорд.

Данный способ основан на том, что углы с вершиной в какой-нибудь точке А на окружности, образованные касательной и секущей и заключающие равные дуги, равны половине соответствующего центрального угла. Задавшись длиной хорды S , определяют угол φ . Из рисунка 172 видно, что

$$\sin \frac{\varphi}{2} = \frac{S}{2R} \Rightarrow \frac{\varphi}{2} = \arcsin \frac{S}{2R}$$

Установив в точке А теодолит, совмещают «0» лимба с направлением тангенса, определяют первый угол $-\frac{1}{2} \varphi$ и в данном направлении, с помощью мерной ленты откладывают расстояние S и отмечают точку 1. В дальнейшем находят направление, соответствующее величине угла φ и от точки 1 вновь откладывают расстояние S , обозначают точку 2 и т.д.

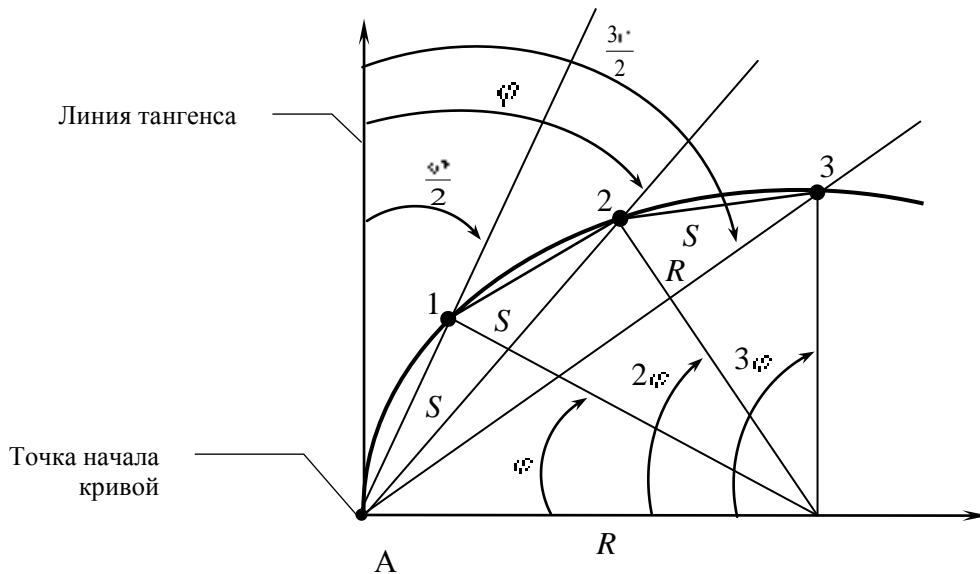


Рис.172. Разбивка кривой способом углов и хорд

18.4.3. Способ продолженных хорд.

По радиусу кривой R и заданной длине хорды S , находят длины вспомогательных величин a и b , называемых при разбивке закруглений крайним и промежуточным перемещениями. Положение точки B на кривой определяют линейной засечкой: откладывая по линии тангенса расстояние S , находят положение точки N , удерживая в точке A начальный штрих мерной ленты, а в точке N – начальный штрих рулетки, с их помощью засекают радиусами-векторами $AB = S$ $BN = a$ точку B . В дальнейшем поступают аналогично, но вместо величины a используют величину b . Величина b определяется из подобия треугольников $C'BC$ и AOB .

$$\frac{b}{S} = \frac{S}{R} \Rightarrow b = \frac{S^2}{R}, a = \frac{b}{2}$$

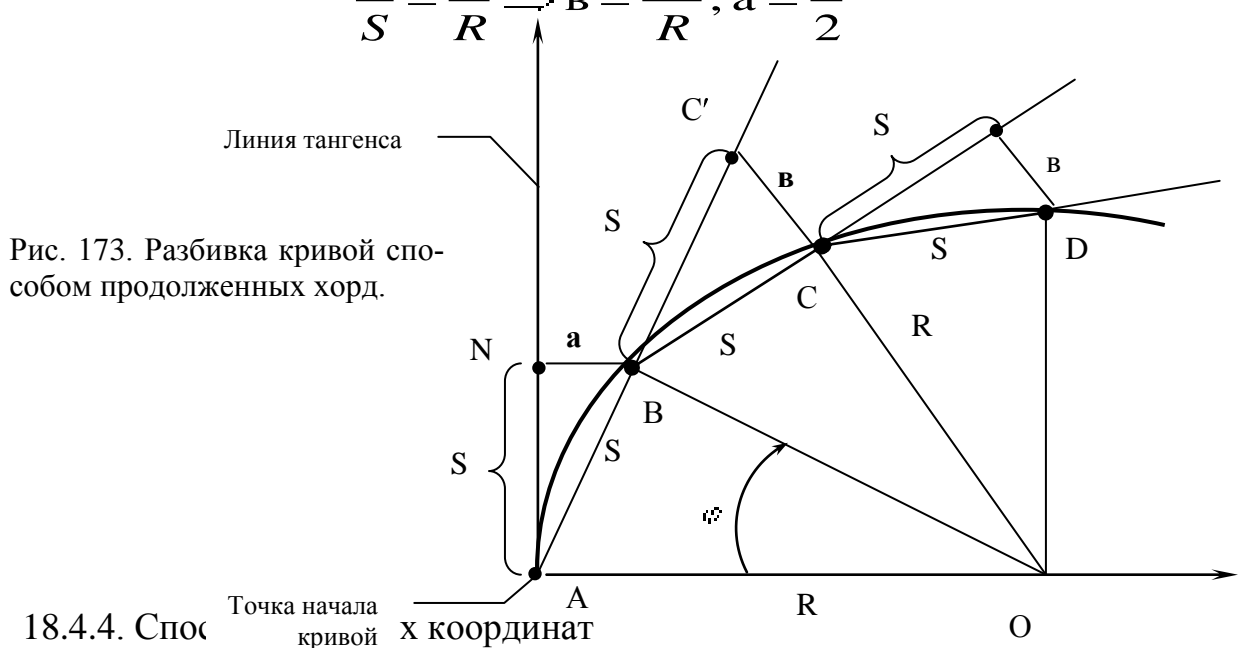


Рис. 173. Разбивка кривой способом продолженных хорд.

18.4.4. Способ

Способ полярных координат, так же как и способ углов и хорд основан на следующем свойстве.

Угол между касательной и секущей равен половине центрального угла, стягиваемого отсеченной дугой (рис. 174).

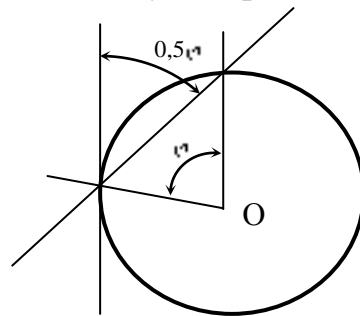


Рис. 174. Сущность способа полярных координат

Задав шаг l_n , вычисляют величину угла φ для каждой точки аналогично п.п. 18.4.1.

$$\varphi_n = 0,5n\varphi$$

где: n – номер шага

Затем по формулам п.п. 18.4.1. вычисляют прямоугольные координаты и длину луча S_n для каждой точки:

$$S_n = \sqrt{x_n^2 + y_n^2}$$

Для каждой точки откладывают соответствующий угол и длину луча. Полученную точку на местности обозначают сторожкой.

18.5. Знаки для закрепления пунктов разбивочной основы.

Для закрепления пунктов разбивочной основы чаще всего используют грунтовые железобетонные конструкции. При наличии в районе строительства капитальных зданий или сооружений знаки плановой и высотной основы могут быть маркированы (окрашены) на внешних фасадах.

У знаков геодезической разбивочной основы (рис.175) ставят деревянные или металлические ограждения.

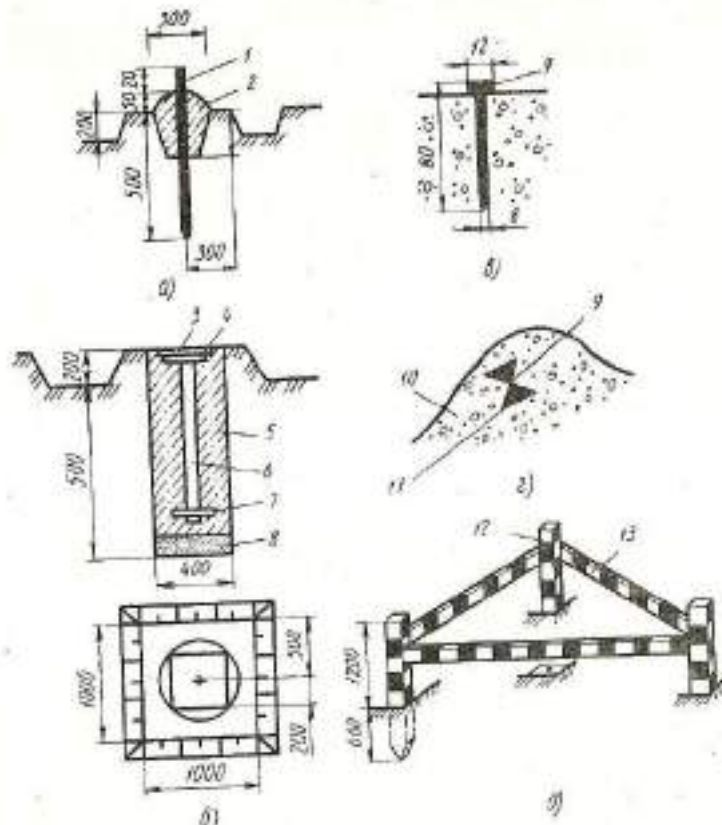


Рис. 175. Геодезические знаки разбивочной основы: *а* – до полугода; *б* – свыше полугода; *в* – на скале; *г* – в бетоне; *д* – ограждение знака; 1, 7 – металлический стержень; 2, 5 – бетонное основание; 3 – металлическая пластина; 4 – заклепка; 6 – анкер; 8 – якорь; 9 – дюбель; 10 скала (бетон); 11 – маркировка; 12 – деревянный столб или металлическая труба; 13 – доска или металлический уголок.

Глава 19.

Геодезические работы при лесоустройстве и таксации

19.1. Геодезические работы при лесоустройстве.

Лесоустройство связано с выполнением разнообразных геодезических измерений, проектированием лесоустроительных работ и выносом проекта в натуру. Целью геодезических работ при лесоустройстве является: восстановление границ объектов лесоустройства, съемка планшетных рамок и наиболее значимых элементов внутренней ситуации, границ хозяйственно-ценных, выделов, дорог, троп и других линейных элементов, используемых в качестве таксационных ходов.

Восстановление окружных границ объекта лесоустройства производят по имеющимся старым материалам, а при их отсутствии выполняют необходимые геодезические измерения с использованием теодолита, мерных лент и других геодезических приборов. При съемке планшетных рамок измерение горизонтальных углов и восстановление границ производят с точностью не ниже 1', а внутренней ситуации – 10'. Длины линий измеряют лентами в одном направлении с округлением результатов до 0,1 м.

Углы наклона учитывают только при величине 4° и более. Если полученные результаты промера длин линий расходятся с имеющимися геодезическими данными более 2 %, то выполняют второй промер в обратном направлении.

Все случаи несоответствия геодезических данных землеустройства результатам натурных измерений рассматриваются совместно с местными органами землеустройства и по согласованию с ними вносят соответствующие коррективы, что оформляется актом.

Для таксационных целей производится промер и прочистка квартальной и визирной сети и оформление их лесоустроительными знаками. Границы и квартальные просеки прорубают или прочищают на ширину 0,5 м, визиры - 0,3 м, при этом крупные деревья, находящиеся на линии вешения, не срубаются, а их обходят способом параллельного вешения по перпендикулярам к основной линии или направлению линии задается вновь инструментально. Направление прорубки проверяют по заданному румбу и, при отклонении линии более чем на 2° , она прорубается заново.

Измерение длин просек, визиров и других линий, используемых в качестве таксационных ходов, осуществляется только в пределах одного квартала. Сквозной (непрерывный) промер линий, проходящих через несколько кварталов, запрещен. Промер ломаных линий (дорог, троп, различных трасс) производят между углами поворотов, которые закрепляют пикетными кольями. Измерение расстояний выполняют мерной лентой в одном направлении, при этом пикетные кольца устанавливают через 100 м при I-II и 200 м - при III разряде лесоустройства. Уклон местности в этом случае учитывают с 6° и более, и на абрисах линии показывают в горизонтальном положении.

Если на объекте лесоустройства по его границам сохранились межевые знаки, то промер граничных линий производят от одного межевого знака до другого. Одновременно с измерением линий отмечают места выходов квартальных просек, визиров и другой внутренней ситуации на границу. Точность измерения длин линий при лесоустройстве должна быть не менее 1:500 для I-II и 1:300 - для III разряда.

При организации лесоустройства и лесного хозяйства устанавливается большое количество различных знаков. Конструкция знаков, содержание надписей и места их установки определены ОСТ 56-44-80 «Знаки натурные лесоустроительные и лесохозяйственные. Типы, размеры и общие технические требования». По назначению натурные знаки делят на следующие типы (рис. 176):

столбы квартальные, квартальные указательные, граничные хозяйственные, визирные, визирные указательные, на пробных площадях, внутренней ситуации, лесосечные (деляночные), на площадях лесовосстановительных мероприятий, прочие лесохозяйственные столбы;

колья пикетные и для закрепления центров площадок при измери-

тельно-перечислительной таксации, обследовании, естественного возобновления лесных культур.

Перед началом полевые работы в целях подготовки и проверки инженерно-технического состава к проведению лесоустройства и таксации леса в течение 5-7 дней на заранее подготовленных площадях проводится коллективная и индивидуальная тренировки.

В этот период производится также проверка умения работать с геодезическими приборами, определению границ таксационных выделов и их характеристик, установке лесоустроительных знаков, оформлению абрисов. Перед выходом в лес производят изучение картографического материала и рекогносцировка района: опознавание границ, просек, планшетных рамок и других ориентиров.

Точное положение и размеры квартальных просек и визиров, прорубленных заново определяют с помощью привязок твердо опознанным точкам и ориентирам. Эти ориентиры и точки накалывают на топооснову с точностью $\pm 0,2$ мм, а на оборотной стороне наколы обводят кружками и делают пометку о привязке измеряемой линии к ориентиру. На основе полученных данных составляется абрис, который на лицевой стороне имеет:

- границы рабочей площади, нанесенные сплошными тонкими линиями цветной тушью;

- просеки, визиры и прочие ходовые линии с разбитым пикетажем и номерами четных пикетов;

- естественные границы кварталов, обозначаемые удлиненными пунктирами;

- номера кварталов;

- границы четко очерченных таксационных выделов;

- ручьи, реки, дороги, тропы и мелиоративные каналы, поднимаются цветной тушью.

19.2. Составление лесоустроительных планшетов

Планшет (рис. 177) - это картографический документ, который изготавливается по материалам наземной теодолитной съемки или аэрофотосъемки, абрисов, геодезическим данным лесоустройства и другим геодезическим данным. Он охватывает группу кварталов лесничества, которая помещается в его рабочую площадь. На планшете граничные линии обозначают румбами и расстояниями между вершинами углов поворота. Внутри границ наносят ситуацию, состоящую из квартальных просек, визиров, дорог, трасс электропередач и связи, противопожарных разрывов, рек, озер, ручьев, а также границ выделов. Планшеты отражают только геодезическую основу лесных кварталов и выделов. Сведений о таксационной характеристике леса здесь не приводят. На планшете указывают длину просек и визиров, номера углов поворота. В середине каждого квартала и выдела обозначают их номера, а в знаменателе - площади, которые для квар-

талов округляют до 1,0 га, а для выделов - 0,1 га. Каждому планшету присваивается свой номер. На планшете указывают наименование области, лесного предприятия и лесничества, а также общую площадь изображаемого лесного фонда.

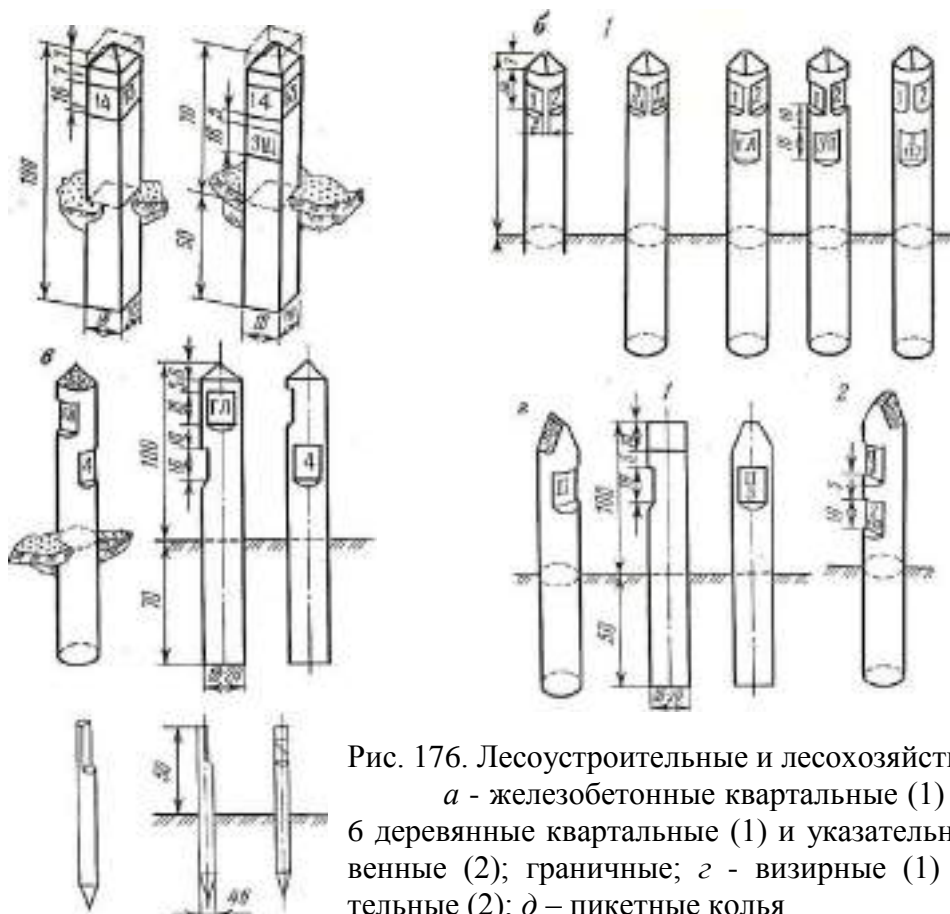


Рис. 176. Лесоустроительные и лесохозяйственные столбы:
 а - железобетонные квартальные (1) и указательные (2);
 б деревянные квартальные (1) и указательные (2); в - хозяйственные (2); граничные; г - визирные (1) и визирные указательные (2); д - пикетные колья

Рельеф на планшетах показывается горизонталями, которые переносятся с топографических карт.

Планшеты представляют собой листы чертежной бумаги размером 60× 60 см, наклеенные на полотно. На подготовленный планшет наносят геодезическую основу. Геодезическая основа составляется по результатам прежнего лесоустройства, геодезическим данным землеустройства смежными землепользователями, материалам съемки и топографических карт. Эту работы выполняют, как правило, в полевой период.

Рамки планшета обычно ориентируют по меридиану и в соответствии с этим наносят точки (углы) и линии геодезической основы. Основа наносится с точностью ± 1 мм, что проверяется контрольной линейкой. Направления линий основы на планшете обозначаются дробями, где в числителе – румбы, а в знаменателе – расстояния в метрах между точками поворота.

В качестве геодезической основы по возможности используют пункты государственной геодезической сети, а при необходимости проклады-

вают по имеющимся просекам теодолитные ходы.

При наличии аэрофотоматериалов для геодезической основы лесо-устроительных планшетов используют фотопланы, уточненные фотосхемы и контурные графические планы, составленные фотограмметрическим способом. В этом случае границы, планшетные рамки, квартальные просеки накладываются на фотоплан или уточненную фотосхему по твердо опознанным точкам. Отдельные неопознанные в натуре участки границ определяют либо с помощью данных смежных землепользователей, либо выполнением натуральных измерений.

Накладка окружных границ и планшетных рамок может производиться по координатам с использованием данных из различных источников, при этом угловая невязка допускается не более $2t'\sqrt{n}$, (где t - точность угломерного прибора; n - число вершин полигона), а линейная - не более $1/500$. Связующие линии между опорными точками, протяженностью до 4 км можно накладывать по румбам, а квартальные просеки и визиры - по данным выполненных в натуре промеров и привязок.

При использовании топографических карт в качестве геодезической основы работы организуют следующим образом. С топографических карт изготавливают увеличенные до нужных масштабов репродукции, или на планшете вычерчивается координатная сетка, аналогичная сетке топографической карты. Затем наносят имеющиеся на карте квартальные сети и просеки, дорожная сеть и другие твердо опознанные в натуре ориентиры. Масштабы лесоустроительных планшетов принимаются в зависимости от разряда лесоустройства: I-II 1:5000 - 1:10000 и III 1:25000 и мельче.

19.3. Геодезические работы при отводе лесосек.

Лесосека - участок леса, ограниченный визирами, лесосечными знаками или естественными рубежами, отведенный для рубок главного или промежуточного пользования. Она может иметь различную конфигурацию и размеры, которые устанавливаются в зависимости от группы леса, режима лесопользования, растительных условий и преобладающих пород леса. Ширина лесосек может быть 100...1000 м, а длина до 2000 м. Для рациональной организации лесозаготовительных работ лесосеки разбивают на делянки. Ширину делянки принимают равной половине ширины лесосеки, а длину - 200...300 м.

Отводу лесосек в натуре предшествует составление плана (рис. 178) отвода по материалам таксационных описаний и картографических документов. Лесосеки по возможности устраивают прямоугольной формы. Углы лесосек (делянок) отмечают установкой деревянных столбов, высотой 130 см, диаметром 16 см. Закапывают их на глубину 70 см. Щека с надписью направляется в сторону участка, гребень столба - к середине участка. На столбах указывают номер квартала - номер выдела, мероприятие -

год, площадь в га. Если в одной точке сходятся углы нескольких смежных лесосек в пределах одного квартала, то устанавливают один столб с соответствующим числом щек (окон), на которых делают соответствующие надписи.

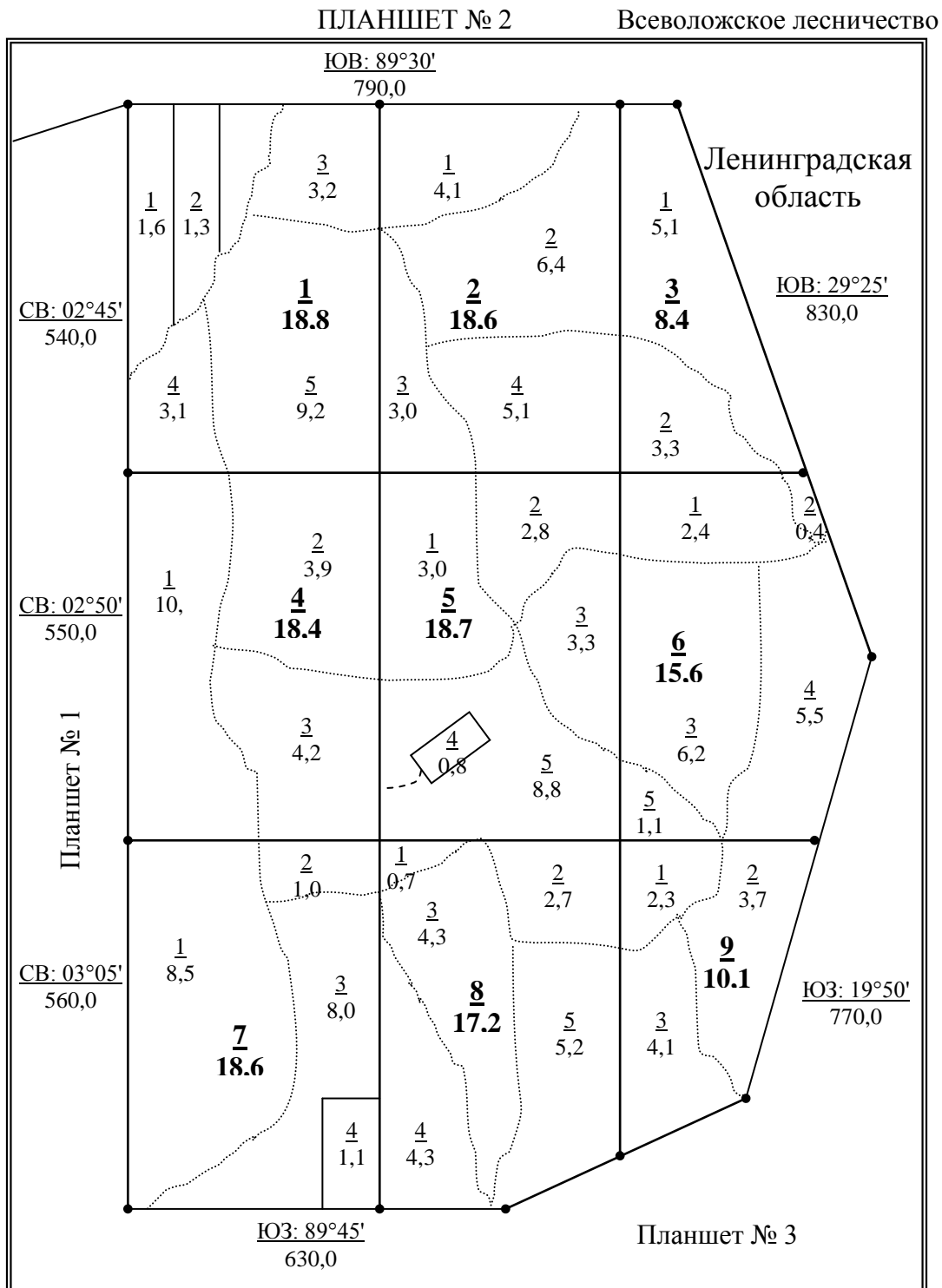


Рис. 177. Лесоустроительный планшет

Лесосеки строго учитываются. На каждую лесосеку составляют полевой абрис, на котором указывают: привязку к квартальной сети; румбы и длину линий границ; расположение внутренних визиров и границ таксационных участков; выделенные внутри лесосеки не эксплуатационные площади; расположение семенных участков, молодняка и подроста; характер участков, граничащих с лесосекой. По материалам абриса составляют чертежи лесосек, которые хранятся в лесничестве и лесхозе.

Отвод и таксация лесосек контролируются как в процессе геодезических работ, так и после их окончания. Проверяют правильность измерения длин линий, углов, площадей, объемы лесосечного фонда и их соответствие установленному размеру лесопользования. Контролируют также и правильность установки лесоустроительных знаков.

Измерение углов границ лесосеки производится с помощью теодолита или буссоли, а промер линий - дальномером или мерной лентой. Ошибки при измерении углов не должны превышать 30', а измерения длин линии - 1:300.

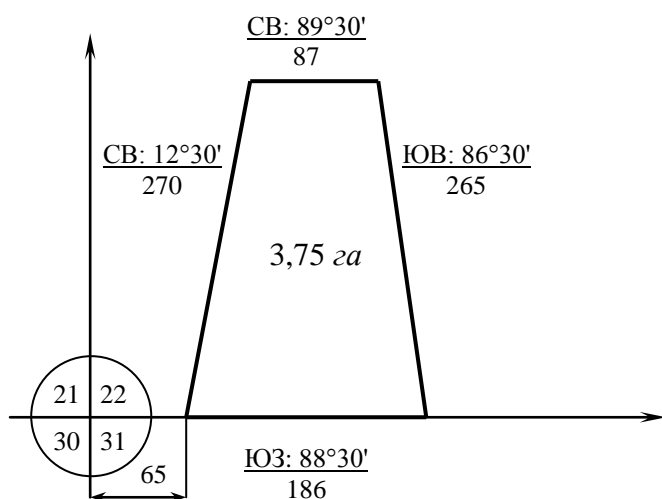


Рис. 178. План лесосеки

Глава 20. Инженерно-геодезические работы при организации рельефа

Инженерно-геодезические работы на объектах входят в общий комплекс работ по инженерной подготовке территорий для строительства, благоустройства и озеленения.

Инженерная подготовка озеленяемых территорий - это комплекс работ по созданию условий для проведения основных работ по благоустройству и озеленению. В зависимости от размеров объекта, его значимости, выполняемых функций, а также с учетом влияния природных факторов среды, степени антропогенных нагрузок состав и содержание работ по инженерной подготовке территорий может быть разнообразным.

Основными задачами инженерной подготовки территорий являются: осушение участков, защита от затопления, защита от оползней, от ветровой эрозии, от смыва плодородного слоя почвы;

подготовка территории под строительство дорог, сооружений, малых архитектурных форм, павильонов, выравнивание поверхности участков по проектным отметкам, то есть «вертикальная планировка», что непосредственно связано с организацией поверхностного стока дождевых и талых вод;

укрепление берегов и склонов рек, водоемов, озер, оврагов; осушение заболоченных участков и орошение (обводнение) в засушливых условиях, мероприятия по устранению селей, явлений карста, оползней;

рекультивация территории - техническая и биологическая; вертикальная планировка или организация поверхности, создание нового рельефа с различными его формами.

С точки зрения задач инженерной геодезии, главными являются задачи вертикальной планировки поверхности и составление плана земляных работ.

20.1. Вертикальная планировка

Основными задачами вертикальной планировки благоустраиваемой территории являются:

обеспечение отвода излишков поверхностных вод - дождевых, паводковых, талых;

создание условий для удобного движения пешеходов и транспорта по дорогам, садово-парковым дорожкам, аллеям, а также пребывания, отдыха, игр на площадках;

создание пластически выразительных форм рельефа в соответствии с замыслом проектировщика, или максимальное приспособление существующего рельефа;

создание благоприятных условий для произрастания геенной растительности - деревьев, кустарников, травянистых ассоциаций;

организация рельефа с целью устранения явлений почвенной эрозии, укрепления склонов, крутых берегов водоёмов путем устройства специальных сооружений;

организация рельефа на пересеченной местности путем устройства специальных сооружений- лестниц, подпорных стен, откосов, террас.

Основными методами вертикальной планировки являются:

Метод проектных - продольных и поперечных - профилей.

Этот метод используют при вертикальной планировке крупных линейных сооружений, таких, как улицы и магистрали, проезды, парковые аллеи и дороги (рис. 179).

Метод проектных - «красных» - горизонталей.

Этот метод используют, как правило, при проектировании отдельных объектов и их участков. Его сущность заключается в проектировании нового рельефа в проектных горизонталях в соответствии с поставленными задачами. При этом на чертеже сечения рельефа даются в зависимости от масштаба плана и рельефа территории.

Так, при масштабе плана территории 1:2000 сечение рельефа составляет 1,0 или 0,5 м; при масштабе 1:1000 - 0,5 или 0,2 м; при масштабе 1:500 - 0,5 или 0,2; 0,1 м. При рельефе с однообразными уклонами наносят проектные горизонталы с сечением рельефа в 0,5 м.

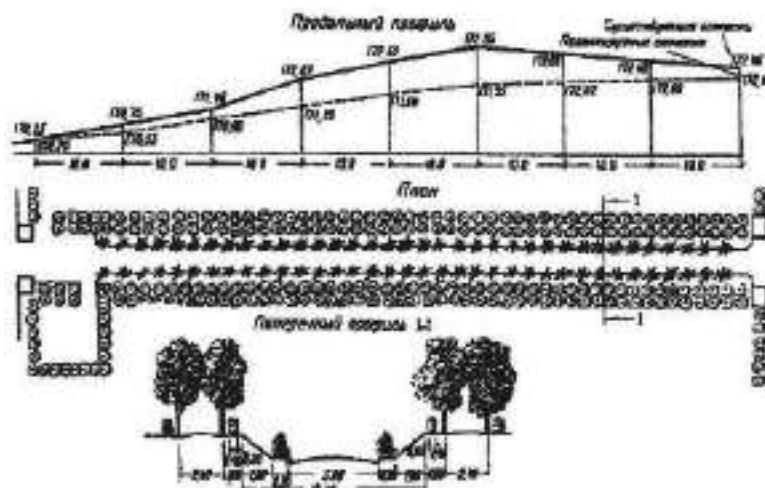


Рис. 179. Пример построения продольного профиля участка бульвара

В практике разработки проекта вертикальной планировки территорий парков, садов, скверов, бульваров, а также их отдельных планировочных элементов - площадок, аллей, садово-парковых дорожек, - как правило, *метод проектных горизонталей* применяется в сочетании с методом продольных и поперечных профилей.

Проект вертикальной планировки озеленяемой территории выполняется на основе общего проекта вертикальной планировки территории города, района, прилегающих магистралей и улиц. Озеленённая территория должна быть «привязана» по вертикальным отметкам к прилегающим элементам городской планировки.

Для разработки проектов вертикальной планировки территорий, выноса проектов в натуру требуются знания и практические навыки, приобретённые по дисциплине «Инженерная геодезия».

Для того чтобы приступить к разработке проекта вертикальной планировки территории, необходимо знать:

типы и формы рельефа озеленяемой территории - холм, седловина, бугор, тальвег и др.;

изображение рельефа горизонталями и «чтение» рельефа по плану топографической съёмки;

основные показатели рельефа - сечение горизонталей, уклоны поверхности территории и отдельных участков;

приёмы нахождения существующих отметок рельефа между горизонталями и вычисления уклонов поверхности на различных участках территории (рис. 180).

Проектирование вертикальной планировки благоустраиваемой территории ведётся, как правило, в следующей последовательности:

1) проектирование аллей, парковых дорог, дорожек, площадок различного назначения; это - планировочные элементы территории, требующие строгого соблюдения допускаемых уклонов поверхности (табл. 34);

2) проектирование участков, предназначенных под зелёные насаждения, то есть под газоны, цветники, посадки деревьев и кустарников; это - планировочные элементы, допускающие разнообразные уклоны поверхности и «перебивку» рельефа *откосами и подпорными стенками*.

Проект вертикальной планировки озеленяемой территории- сада, бульвара, сквера, парка - выполняется поэтапно, в три стадии.

За основу берётся чертёж генерального плана объекта.

Первая стадия - это разработка *схемы вертикальной планировки территории* или построение её *высотного каркаса*, определение общего высотного решения территории по проектным отметкам и уклонам поверхности, обеспечивающим организацию стока поверхностных и талых вод.

Вторая стадия - детальный проект вертикального решения территории путём наведения новых, «красных», горизонталей и проектирования нового рельефа территории.

Третья стадия - рабочая стадия, разработка картограммы земляных работ с расчётом объёмов вывозимого и ввозимого на объект грунта.

На первой стадии проектирования выполняются следующие операции.

1. Изучается рельеф объекта, на чертеже стрелками показываются общие уклоны по территории и на отдельных её участках, выявляются бессточные места, анализируются формы рельефа, намечаются возможные изменения рельефа, ориентировочно выбираются места с ровным рельефом под площадки, с понижениями (котловинами) под водоёмы и т. п., уточняются границы территории – «красные линии».

2. Определяются существующие отметки рельефа в опорных точках:

- в точках по «красным линиям», ограничивающим объект озеленения, - в точках входа на территорию, в точках на углах входных площадок, на осях дорог, дорожек;
- на пересечениях осей парковых дорог, аллей, дорожек;
- в угловых точках площадок и в точках сопряжения площадки и дорожки;
- в центрах площадок — круг, овал, прямоугольник и др.;

- в точках на оси начала и конца дорожек и в точках характерных изгибов рельефа;
- в точках углов перекрестков дорог;
- на характерных участках перелома рельефа (рис. 180).

Необходимым условием проектирования является привязка поверхности озеленяемой территории к **красным линиям** прилегающих городских магистралей, улиц и т. п.

3. По осевым линиям дорожно-тропиночной сети и площадок вычисляют уклоны, используя отметки найденных точек. За основу берут требования, предъявляемые к уклонам поверхности дорожек, площадок. Если уклоны анализируемых участков по своему значению больше или меньше предельных, то по участкам проектируют новые уклоны и определяют, проектные, «красные», отметки. Затем вычисляют *рабочие отметки* - разность между проектной и существующей отметками. Рабочие отметки показывают объёмы срезки или насыпи грунта в данном месте (рис. 181).

4. Разработав схему вертикальной планировки и получив «*высотный каркас*» территории объекта, намечают направления стока поверхностных вод, устанавливают линии открытых лотков ливневой канализации, участки где должны быть водопоглощающие колодцы, - на перекрестках главных аллей, в бессточных местах, выходы в городскую ливневую канализацию (рис. 181).

Установление поперечных уклонов и профилей парковых дорог и аллей в соответствии с существующими требованиями.

Уклоны дорожно-тропиночной сети и поверхности отдельных видов площадок приведены в табл. 34.

Таблица 34. Нормативные уклоны площадных сооружений

Наименование сооружений	Уклоны, ‰	
	поперечные	продольные
Проезды, дороги местного значения	5...80	15...20
Тротуары вдоль проездов	4...90	15...20
Главные аллеи, дороги круглогодичного использования	4...60	20...30
Второстепенные дороги сезонного использования (прогулочные)	3...90	20...40
Дополнительные дорожки, тропы	20...50	100
Детские площадки	10...20	10...20
Хозяйственные площадки	10...20	10...20
Спортивные площадки	5	5
Площадки отдыха	10...20	10...20
Автостоянки	5...15	5... 15

Центральной дорожке придают двускатный поперечный профиль, а боковым - односкатный.

Пример. При оценке продольного уклона парковой дороги определяют местоположение на оси точки с заданной отметкой H , расположенной между точками A и B , отметки которых известны.

Положение искомой точки C находят по формуле:

$$x = \frac{H_A - H_C}{H_A - H_B} \cdot l$$

где: x - расстояние до искомой точки C от точки A ;

H_A, H_B, H_C - *отметки точек A, B, C* ;

l - расстояние между точками A и B .

Найти положение искомой точки можно графически (рис. 180а). Для этого в точках A и B восстанавливают перпендикуляры к линии AB в противоположных от нее направлениях, на которых в одном произвольном масштабе откладывают превышения точек A и B относительно C . Искомая точка лежит на пересечении линии AB с линией, соединяющей концы перпендикуляров. Измеряя расстояние от точки A до точки пересечения двух прямых, получим искомое расстояние.

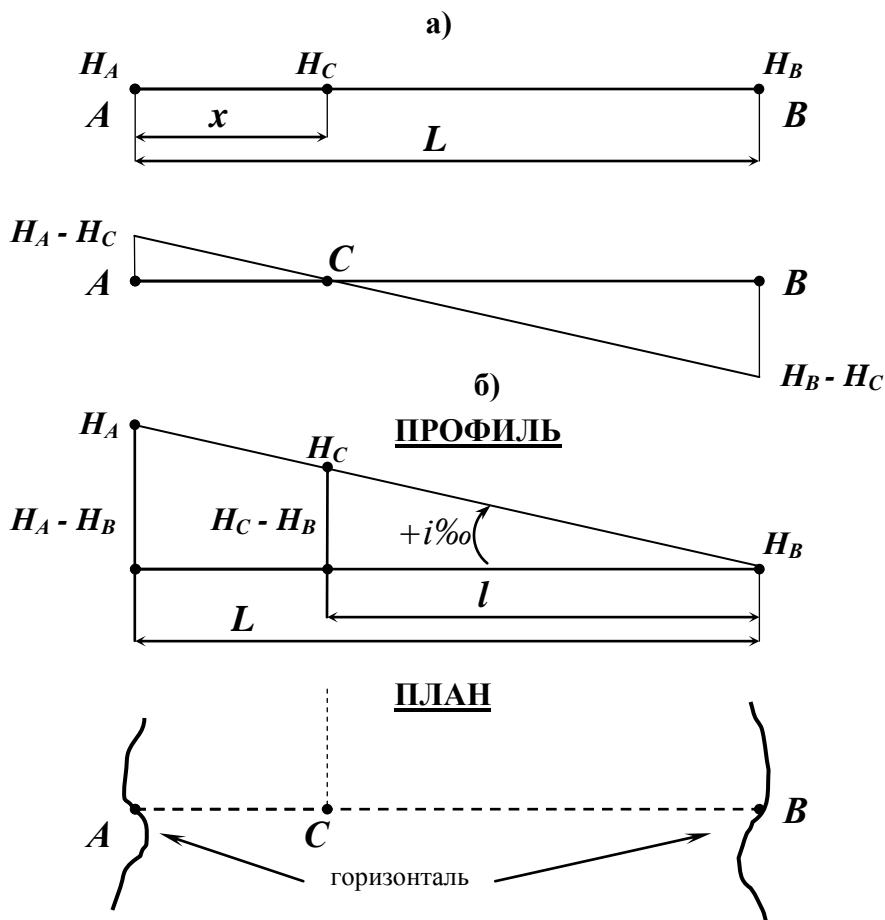


Рис. 180. а) - нахождение положения искомой точки графическим путем; б) - нахождение искомой отметки в точке C по формуле:

$$H_C = H_B + \frac{H_A - H_B}{L} \cdot l \quad \text{или}$$

$$H_C = H_B + l \cdot i$$

где: i – уклон линии BA в ‰.

Вторая стадия - проектирование вертикальной планировки проектными горизонталями. За основу берётся чертёж схемы вертикальной планировки, то есть полученное решение по высотному каркасу территории, установлению проектных отметок и уклонов, принципиальному решению и организации поверхностного стока вод путём определения направлений стока.

По установленным продольным уклонам парковых дорог, принятому сечению проектных горизонталей (напр., 0,1 м), определяют их положение в горизонтальной плоскости в принятом масштабе (М 1:500). С этой целью ведут «градуирование» линий по осям дорог, аллей, на участках перекрёстков, по линиям открытых лотков. Открытый лоток представляет собой Устройство, предназначенное для собирания и стока поверхностных дождевых и талых вод. Лотки устраиваются из бетона, каменной брусчатки, кирпича и других материалов.

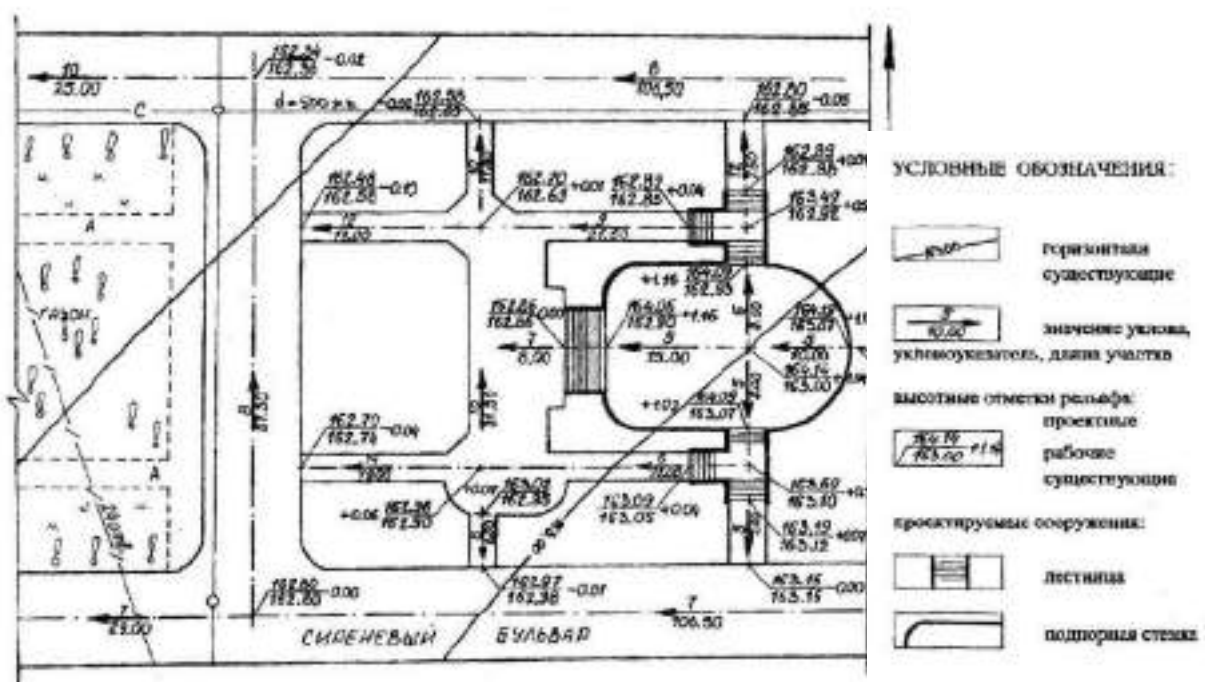


Рис. 181. Чертеж плана организации рельефа в проектных отметках (схема вертикальной планировки).

Пример построения проектных горизонталей участка парковой дороги с тротуаром.

При проектировании парковой дороги сначала определяют отметки проектных горизонталей по осям и в лотках парковой дороги.

На рис. 181 показан пример *градуирования* и построения горизонталей участка $A_{гр} - B_{гр}$ благоустроенной парковой дороги, имеющей выраженный поперечный профиль параболической формы, гребень (ось), открытые лотки по ее контурам, основную часть для ограниченного движения транспорта и тротуар для движения пешеходов. Участок имеет продольный уклон $i_x = 0,03$ т.е. 30 ‰ (промилле), поперечный уклон в $i_y = 0,02$ (20 ‰). Тротуар имеет односкатный профиль с поперечным уклоном 20 ‰. Основная часть дороги отделена от тротуара бортовым камнем (бордюром), возвышающимся над проезжей частью на 0,10 м. Линии $A_{лот} - B_{лот}$ - линии открытых лотков, служащих для сбора и стока поверхностных вод. На поперечных сечениях дороги показаны точки $A_{гр}; A_{лот}; A_{тр}; A_{газ}$ (сечение I-I) и $B_{гр}; B_{лот}; B_{тр}; B_{газ}$ (сечение II-II), в которых необходимо определить отметки лотка, гребня и бордюра. Используя значение i_x , определяют положение горизонталей кратных одному метру (11,00 и 12,00 м) на гребне, лотке и бордюре. Исходя из того, что отметка точки $A_{гр}$ равна 10,75 м, ширина дороги 8 м, ширина разделительной полосы 2 метра, а тротуара 3 метра, вычисляют в начале отметки точек лотка, тротуара и газона в сечении I-I.

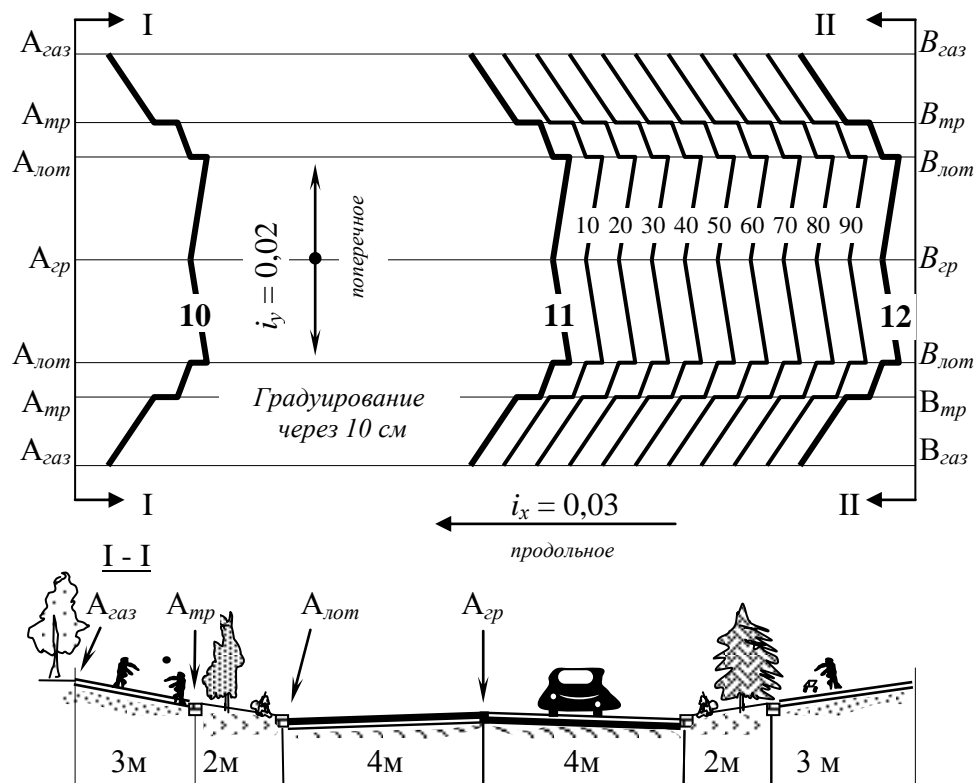


Рис. 182. Пример градуирования осевой линии парковой дороги, линии по лоткам и построение проектных (красных) горизонталей.

Порядок вычислений.

1. Вычисляем отметку дна лотка: $H_{\text{лот}} = 10,75 + 0,02 \times 4 = 10,67$ м., а с учетом высоты бордюрного камня соответственно $10,67 + 0,1 = 10,77$ м.

2. Находим нижнюю отметку тротуара $H_{\text{тр}}$ (она будет равна верхней отметки разделительной полосы с учетом высоты бордюрного камня)

$$10,77 + 0,02 \times 2 + 0,1 = 10,91 \text{ м.}$$

3. При ширине тротуара, равной 3 м, отметки точек $A_{\text{газ}}$ будут равны

$$10,91 + 0,02 \times 3 = 10,97 \text{ м.}$$

Затем, используя зависимость

$$d = \frac{\Delta h}{i_x M}$$

где: Δh - превышение, м;

i_x - продольный уклон дороги;

M - масштаб плана,

вычисляют расстояния по гребню от точки $A_{\text{гр}}$ до горизонтали 11,00 м на плане масштаба 1:500. Подставив необходимые значения в указанную формулу, получают искомое расстояние, которое будет равно 16,7 мм в масштабе плана. Вычисляют положение горизонтали с отметкой 11,00 м на лотке, тротуаре, бортовке газона относительно точек $A_{\text{лот}}$; $A_{\text{тр}}$; $A_{\text{газ}}$, используя указанную выше зависимость. Искомые расстояния относительно этих точек будут равны: по дну лотка 22 мм, а с учетом высоты бордюрного камня 15 мм; по отметкам тротуара 6 мм; бортовки газона 2 мм. Отложив от сечения I-I вычисленные соответственные расстояния и соединив последовательно полученные точки, сформируем горизонталь с отметкой 11,00 м. Она примет вид, который показан на рис. 182. Таким же образом определив положение горизонталей 12,00 и 13,00 м, не трудно определить положение горизонталей кратных 0,1 м, как по гребню, так и по лоткам. Ориентация горизонталей по тротуару парковой дороги противоположна их положению на основной части дороги, что объясняется односкатным профилем тротуара. При вычерчивании горизонталей они изгибаются под углом α , величина которого зависит от величин продольного и поперечного уклонов проезжей части дороги

$$\alpha = \arctg i_x / i_y.$$

Чем больше поперечный уклон, тем меньше угол.

Построение проектных горизонталей на перекрестке парковой дороги. Перекресток парковой дороги является основным планировочным узлом при проектировании вертикальной планировки. Основные требования при проектировании перекрестка - удобство передвижения пешеходов в различных направлениях, обеспечение стока поверхностных вод, сопря-

жение поверхностей дорог. Перекресток - это место пересечения нескольких плоскостей с различными по величине и направлению уклонами. Переход от поперечного профиля аллеи выполняют «размосткой», с помощью которой производится переход от двускатного профиля к односкатному.

Размостка при подходе к перекрестку выполняется перемещением гребней одной дороги (обычно вспомогательной) или гребней обеих дорог к углам перекрестка.

Двускатный профиль второстепенной дороги преобразуют в односкатный: конструкция - «сопряжение в лоток». При этом уклон второстепенной дороги равняется продольному уклону главной дороги. Если же проектируют перекресток равнозначных дорог, то либо производят «сопряжение в лоток» с дорогой, имеющей больший продольный уклон, либо трансформируют профили обеих аллей или дорог в односкатные. Тогда на перекрестке образуют «сопряжение с осью», то есть организуют площадку с уклоном, общим для обеих дорог.

Пример.

Парковая дорога характеризуется следующими параметрами: ширина $A = 9\text{ м}$, продольный и поперечный уклон соответственно равны $i_x = 0,040$ (40‰) и $i_y = 0,020$ (20 ‰). Второстепенная дорожка имеет ширину $B = 6\text{ м}$, перпендикулярна к главной, а ее поперечный уклон $i_y = 0,020$ (20‰). Проектируя размостку, сдвигают гребень вспомогательной дорожки к левому или к правому верхним углам перекрестка - к точке с высшей отметкой. Длина размостки L для данных значений ширины вспомогательной дороги и уклонов принимается в 15 м (две ширины $B+3$ м). Для организации рельефа полотна размостки необходимо вычислить отметки следующих точек: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 8а, 9, 10 и 10а. Точки 2 и 3, 5 и 6 - углы перекрестка. Направление 2-6 - это перепускной лоток, по которому будет перемещаться вода; 8 и 8а, 10 и 10а - это точки поперечников соответственно в точках 7 и 9, и их отметки попарно равны.

Вычисление отметок указанных точек проводят, зная, что отметка точки пересечения осей указанных дорог уже определена и равна $H_0 = 164,06\text{ м}$, а уклон перепускного лотка равен уклону основного лотка аллеи (рис. 183).

Для вычисления отметок указанных точек воспользуемся следующей зависимостью:

$$H_{n+1} = H_n + i_{(n; n+1)} \times d_{(n; n+1)}$$

где: H_n и H_{n+1} - отметки точек n , значение которой известно, и $(n+1)$ - определяемой;

$i_{(n; n+1)}$ - уклон между точками n и $(n+1)$;

$d_{(n; n+1)}$ - величина заложения между указанными точками.

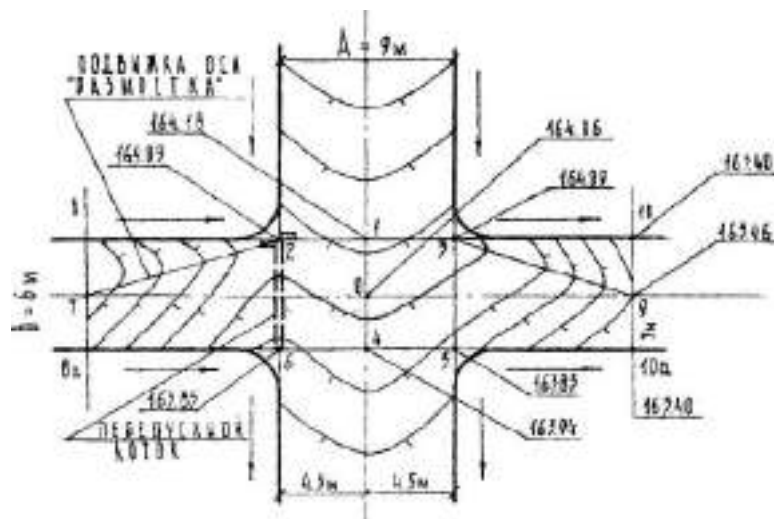


Рис. 183. Схема построения проектных (красных) горизонталей на перекрестке парковых дорожек. Дорожка А - главная; В - второстепенная. Рельеф – односкатный.

Сначала определяют отметки точек 1 и 4:

$$H_1 = H_0 + i_x \times B/2 = 164,06 + 0,040 \times 3 = 164,18;$$

$$H_4 = H_0 + i_x \times B/2 = 164,06 + (-0,040) \times 3 = 163,94$$

Затем определяем отметки точек 2, 3, 5 и 6:

$$H_2 = H_3 = H_1 + i_y \times A/2 = 164,18 + (-0,020) \times 4,5 = 164,09$$

$$H_5 = H_6 = H_4 + i_y \times A/2 = 163,94 + (-0,020) \times 4,5 = 163,85$$

Следующий этап - вычисление отметок точек 7 и 9.

$$H_7 = H_2 + i_x \times L = 164,09 + 0,040 \times 15 = 164,69;$$

$$H_9 = H_3 + i_x \times L = 164,06 + (-0,040) \times 15 = 163,46;$$

На последнем этапе вычисляют отметки точек 8, 8а, 10 и 10а.

$$H_8 = H_{8a} = H_7 + i_y \times B/2 = 164,69 + (-0,020) \times 3 = 164,63;$$

$$H_{10} = H_{10a} = H_9 + i_y \times B/2 = 163,46 + (-0,020) \times 3 = 163,40$$

Определив значения отметок в указанных точках, приступают к градуированию гребня главной дороги и ее лотка, включая и перепускной лоток; используют значение i_x - продольного уклона, величина которого постоянна. При градуировке находят положение горизонталей, отметки которых кратны 0,10 м (164,00, 164,10 м и т. д.). Затем выполняют градуирование лотков и размонок - «свернутых» гребней - вспомогательной дороги, определяя на их осях положение горизонталей кратных 0,10 м. Далее, соединяя точки с одноименными отметками, формируют изображение проектных горизонталей (рис. 183).

Следует учесть, что при расчетах и последующем построении могут возникнуть незначительные погрешности вследствие изменения продольного уклона вспомогательной дороги на участках размонок. По существу, изменяются заложения: линия 7-0 на 7-2, а линия 9-0 на 9-3. Как видно из рис. 183, левая часть перекрестка имеет «перелом» рельефа по перепуск-

ному лотку, правая часть имеет плоскую поверхность, перелом идет по размостке (линия 3-9). Сопряжение поверхностей дорог производится по размосткам и перепускному лотку.

Проектируя перекрестки, особенно в котловинах, необходимо предусматривать наряду с открытой и закрытую систему отвода поверхностных вод, то есть устраивать на углах перекрестка водосточные колодцы, соединенные с ливневой канализационной сетью.

По завершении градуирования и нахождении положения горизонталей по осям и лоткам парковых аллей и дорог, по границам площадок проводят наведение проектных горизонталей. Сначала наводят целые горизонталю, то есть 164,00; 163,00 и т. д., по уклону до точки перелома рельефа. Затем между целыми наводят горизонталю с избранным сечением, например 0,10 м по продольному уклону. План объекта приобретает вид, показанный на рис. 184.

На рис. 184 приведена схема построения горизонталей на перекрестке с площадкой в форме круга, где проектируется цветник. Поверхность цветника приподнята над площадкой на 10 см.

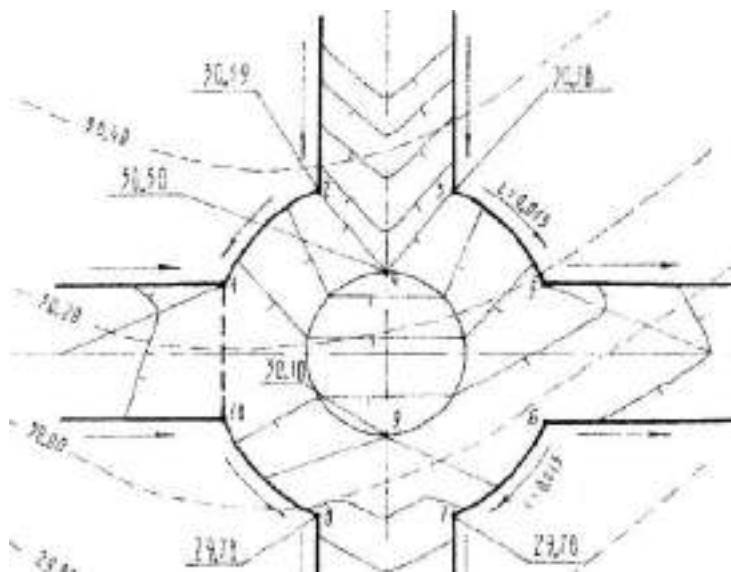


Рис. 184. Построение проектных (красных) горизонталей на перекрестке с площадкой в форме круга и цветником в центре

По завершении нанесения горизонталей по парковой дороге и площадкам определяют отметки па газонах. Отметки поверхности газонов вычисляют от отметок лотков и бровок (бордюров). Для этого к отметке лотка прибавляют величину высоты бордюра, который окаймляет дорогу. Как правило, в садах и парках высота бордюра на дорогах равна 10 см; на главных аллеях - 15 см. Например, если исходить из отметки в основании лотка в 164,00, то отметка бордюра будет 164,10. На проектируемых газонах наносят горизонталю, соединяя намеченные отметки в точках на аллеях и дорогах с одноимёнными отметками смежных дорог (рис. 185).

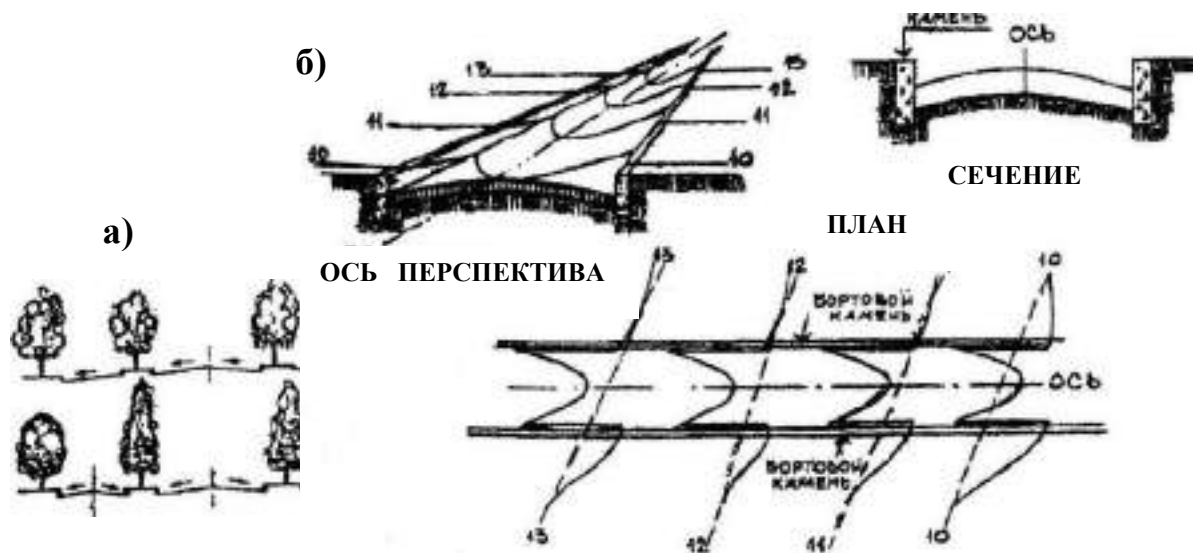


Рис. 185. Примеры проектирования поверхности парковых дорог и аллей (схемы): а – парковая аллея (поперечный профиль) с разделительными полосами движения; б – парковая дорожка с окаймлением из бордюрного камня - поребрика: перспектива, план, сечение

Окончательный вид проектирования вертикальной планировки озеленяемой территории изображен на рис. 186.

При проектировании вертикальной планировки садово-парковых дорог и площадок следует учитывать основные технические требования к их поверхности. Парковым дорогам придают, как правило, двухскатный, симметричный поперечный профиль.

Для аллей с одной дорожкой принимают двускатный выпуклый профиль (см. рис. 185). Для аллей с тремя дорожками принимают симметричный профиль по всей ширине аллеи. При этом, основной профиль дороги членят на односкатный и двускатный профили

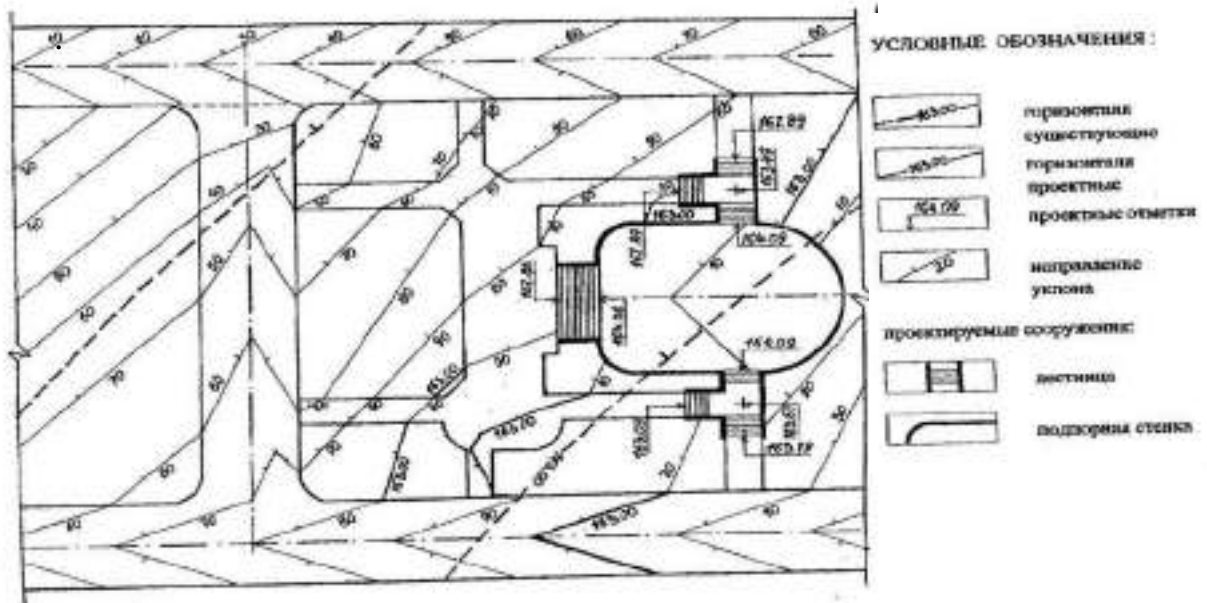


Рис. 186. Примерный план организации рельефа на территории сквера

Парковые площадки. На площадках отдыха в парках, как правило, проектируют фонтан, скульптуры, клумбы. Это обязывает придавать площадке симметричный профиль с небольшими поперечными и продольными уклонами (не менее 5...6 ‰). Пример организации рельефа на площадке приводится на рис. 187.

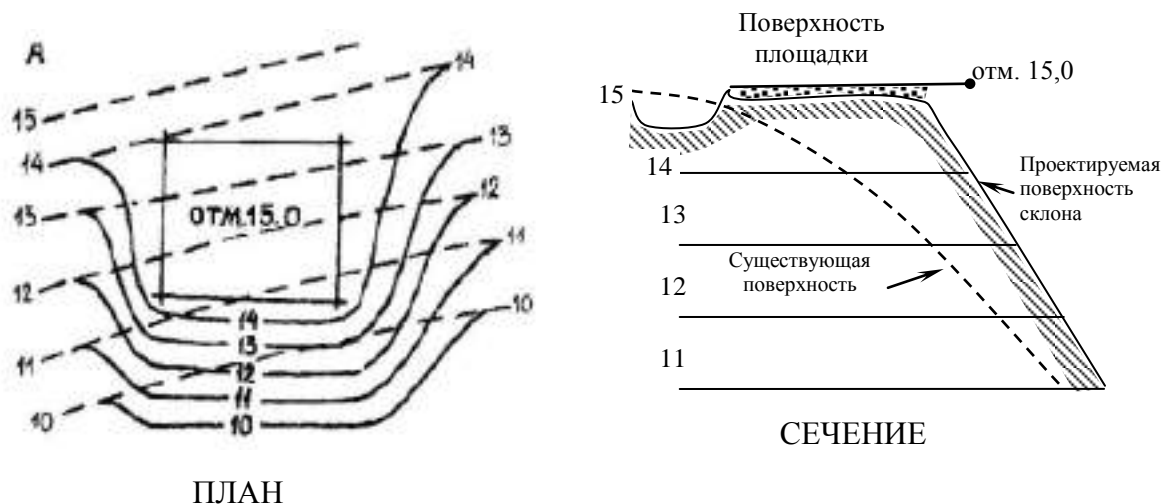


Рис.187. Пример проектирования поверхности площадки на склоне ("сдвиг" горизонталей вниз).

Спортивные площадки. К спортивным площадкам предъявляют повышенные требования относительно поперечных и продольных уклонов поверхности. Прежде всего, территория под спортивные площадки выбирается ровная, с небольшим уклоном.

Пример проектирования спортивной площадки размером 20x40 м (теннисный корт) приводится на рис. 188.

Площадку проектируют с гребнем по её оси, которая ориентируется по направлению *Север - Юг* $\pm 30^\circ$. Уклоны от гребня к ее краям не должны превышать 5 ‰. Проектную отметку центра площадки на гребне принимают обычно на 5...10 см выше отметки рельефа в этой точке. Выбранное таким образом проектное значение отметки центра площадки используют для вычисления проектных отметок всех ее точек. Затем по плану определяют отметки поверхности в углах площадки - 139,80; 138,75; 139,30; 140,25 м, а также в точках пересечения оси с границей - 140,00; 139,00 м.

Затем в углах площадки и на пересечениях оси с границей определяют проектные отметки, используя для этого размеры площадки и значение уклона в 5 ‰. В результате проектные отметки углов площадки равны 139,55 м, а в точках на пересечении границы с осью - 139,50 м. Далее вычисляют рабочие отметки и с учетом заложения. Положение точек нулевых работ на границах площадки определяют интерполированием (рис. 188).

В ряде случаев по условиям рельефа возникает необходимость в проектировании откосов, лестниц, подпорных стенок.

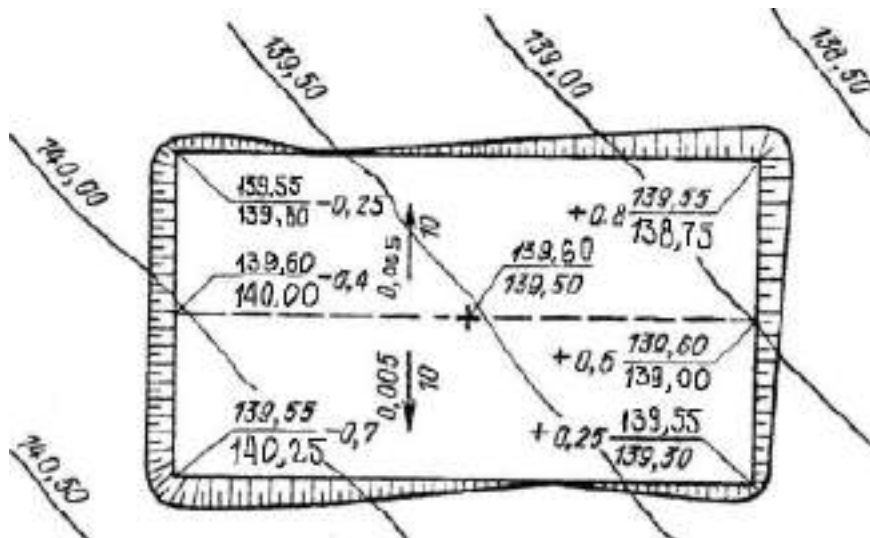


Рис. 188. Пример проектирования поверхности спортивной площадки 20x40 м.

Откосы. Откос - это планировочный элемент территории объекта, с помощью которого осуществляется сопряжение двух поверхностей территории с различными отметками. Откосы устраиваются при террасировании рельефа. При высоте откоса более 6 м поперёк склона устраивают промежуточные горизонтальные площадки (бермы) шириной в 2 м.

Откосы включает элементы: длину заложения L , высоту заложения H и крутизну заложения i . Величины откосов определяются из соотношения высоты заложения к длине заложения:

$$i = H/L.$$

Например, соотношение H к L равно 1:3. В данном случае крутизна заложения равна 0,33 (33%). При проектировании площадок на рельефе (на склоне) откосы могут проектироваться в выемке (врезаться в рельеф) и в насыпи.

На рис. 189 показана схема построения откоса по линии А-Е, являющегося сопряжением двух проектируемой (нижняя часть рисунка) и существующей поверхностей территории. Отметки точек, обозначенных на плане, определяют интерполированием между горизонталями. Заложение откоса в сечении точки А равно: $169,90 - 172,00 \times 1,5 = -3,15$ м, а в точке Е: $172,90 - 170,48 \times 1,5 = 3,63$ м. Аналогично определяют величины заложений в других сечениях. Место перехода от выемки к насыпи - точка F определяют графически.

Для этого от точки С откладывают величину заложения в сторону спланированной поверхности (показано пунктиром); тогда точка F находится на пересечении спланированной поверхности с линией, соединяющей концы перпендикуляров, восстановленных из точек В и С.

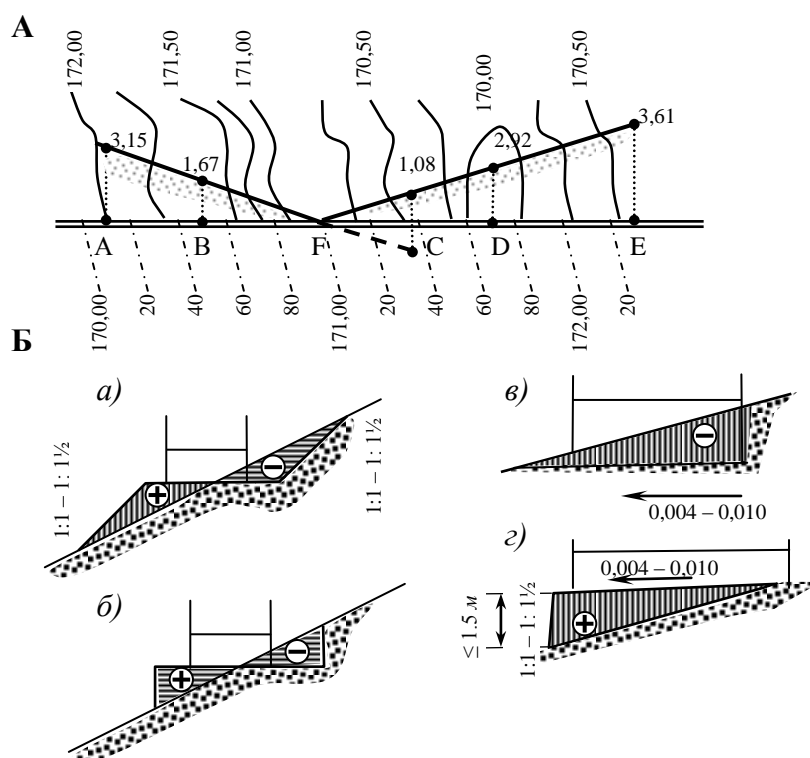


Рис. 189. Проектирование поверхности откосов: А - изображение откоса в плане; в точке Е заложение (высота) равно +3,61 м, в точке А заложение (высота) - 3,15 м; Б - проектирование площадки в откосах: а - полувыемка, полунасыпь; б - подпорные стенки; в - проектирование откосов в выемке; г - откос в насыпи.

В пределах насыпи откладывают заложения в сторону неспланированной территории. Проектные горизонталы в пределах откосов обычно не показывают, поскольку они не имеют практического значения для производства работ. Поверхность откоса изображают чередующимися короткими и длинными штрихами, направленными по уклону от бровки откоса к его подошве.

Подпорные стенки. Подпорные стенки - это элементы вертикальной планировки, применяемые для сопряжения поверхностей участков объекта с различными отметками (рис. 190).

Подпорные стенки проектируют при необходимости перебивки рельефа, подчёркивании его деталей и форм, при проектировании площадок на склонах и террасировании отдельных участков территории объекта. Проектирование ведётся с учётом разницы высот сопрягаемых террас, инженерно-геологических и гидрологических условий территории. При перепадах рельефа более 0,4 м подпорные стенки проектируют и рассчитывают как инженерные сооружения, в соответствии со СНиП 2.01.15-90. Подпорные стенки включают те же элементы, что и откосы: высоту заложения H , длину заложения L и крутизну заложения i , или «скос» стенки. Оптимальное соотношение элементов подпорной стенки: 3:1, то есть $H:L =$

3:1=3, или $L = 1/3H$. Подпорная стенка включает конструктивные элементы: «тело» стенки, фундамент, водоотвод в виде лотка.

При высоте подпорных стенок и откосов более 1 м и проектировании садово-парковых дорожек вдоль террас следует предусматривать ограждения в виде низких решёток.

Лестницы и пандусы. Лестницы и пандусы - это инженерное сооружение, служащее для сопряжения поверхностей рельефа с различными отметками (рис. 190).

Лестницы и пандусы устраивают на аллеях и дорогах в случае превышения допустимых продольных уклонов, при террасировании отдельных участков территории на пересечённом рельефе в сочетании с подпорными стенками и откосами.

Например, при уклоне парковой дороги свыше 90 ‰ необходимо запроектировать лестницу или пандус.

Элементы лестницы: высота заложения H , длина заложения L , крутизна i .

В садах и парках лестницы, как правило, рассчитываются по эмпирической формуле $2h + a = 0,58...0,64$.

Крутизну откоса лестницы принимают, как правило, 1:4, при ширине ступени в 38...40 см и высоте ступени 10...12 см. Такая лестница по направлению уклона не вмещается в откос заложением 1:1,5. В этом случае устраивают площадки в верхней и нижней части откоса шириной не менее 1,5 м. Число ступеней определяют делением высоты заложения откоса на высоту заложения. Через каждые 8...10 ступеней устраивают площадки длиной не менее 2,0 м.

Пандусы для движения транспорта и пешеходов с одной поверхности участка на другую должны иметь крутизну не более 1:10. Пандусы устраивают параллельно или под небольшим углом к линии бровки откоса; они могут быть «врезаны» в откос в направлении, перпендикулярном к их бровке, и продолжаться в выемке в пределах верхней спланированной площадки до совпадения его отметок со спланированной поверхностью.

Проектирование участка под водоём. Водоемы декоративного назначения проектируют, как правило, в наиболее удобных по рельефу местах - в котловинах, небольших впадинах, в руслах речек или ручьев, создавая искусственные запруды. В ряде случаев, если рельеф равнинный, то водоемы предусматривают на пологих склонах, однако это связано со значительными объемами земляных работ.

Важное значение имеет береговая линия водоема, то есть линия пересечения плоскости зеркала воды с проектной плоскостью берегового откоса. Береговая линия, береговой откос, прилегающая территория с дорожкой образуют береговую полосу водоема. При проектировании береговой полосы паркового водоема линию берега относят в сторону водоема. Это делается для того, чтобы прогулочная дорожка прокладывалась не за счет

подрезки склона и связанного с этим нарушения растительного покрова, а за счет повышения отметок на полосе уреза воды.

Прогулочные дорожки, прокладываемые по крутым склонам берега, придают односкатный профиль в сторону склона, где размещают подоткосный водоотводящий лоток.

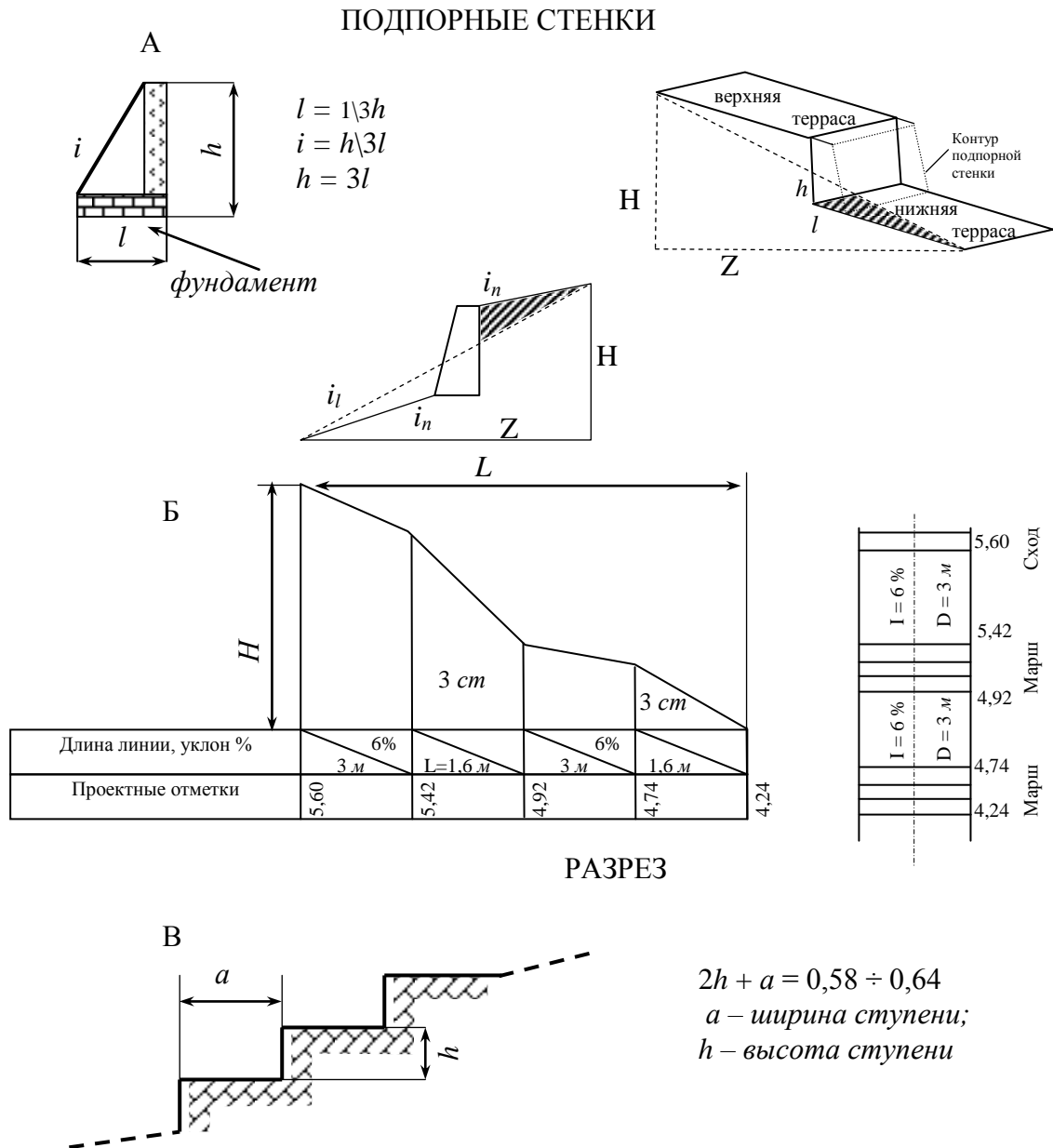


Рис 190. Схемы, показывающие проектные решения подпорных стенок и лестниц: А - подпорная стенка, устраиваемая на перепаде рельефа с организацией террас; Б - изображение плана и продольного профиля лестницы, проектируемой на склоне с уклоном в 60 % (6%); В - элементы лестницы.

20.2. Составление плана земляных работ

При проведении различных садово-парковых работ по озеленению территории и ландшафтному строительству часто возникают задачи, связанные с организацией рельефа. Разрабатывая план организации рельефа, составляют план земляных масс - проектный документ, определяющий объемы земли, подлежащей перемещению.

План земляных масс представляет собой чертеж в виде сетки квадратов со стороной 5, 10 или 20 м в зависимости от масштаба плана и требуемой точности подсчета объемов земляных работ. В углах каждого квадрата подписывают сверху проектные отметки H_{np} , снизу фактические отметки рельефа с соответствующим знаком $H_{факт}$, полученные по результатам технического нивелирования по квадратам (рис. 191).

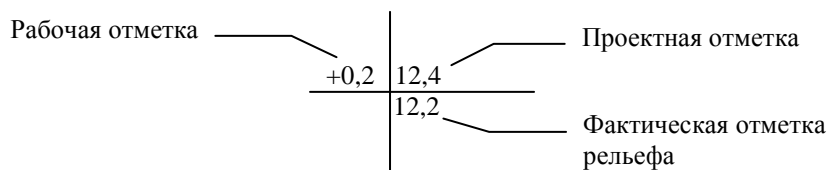


Рис. 191. Порядок записей на плане земляных работ

Проектная отметка – это отметка, которую данная точка поверхности должна иметь после завершения планировки. Проектная отметка задается абсолютной величиной для всей площадки, если ее необходимо сделать горизонтальной. Если планируется, что площадка должна быть наклонной в продольном и (или) поперечном направлении, то проектные отметки вычисляются с учетом заданной величины уклона $i\%$ по формуле:

$$H_{np} = id$$

где: d – сторона квадрата.

Для примера приведенного на рис. 193 сторона квадрата d равна 20 метров, продольный уклон $i_{прод} = 10\%$ и поперечный уклон $i_{попер} = 5\%$.

Разность проектной и фактической отметок называется рабочей отметкой. Рабочую отметку вычисляют по формуле:

$$h_{раб} = H_{np} - H_{факт}$$

Знак минус у рабочей отметки говорит о том, что в данной точке следует снять определенный слой грунта до проектной величины, а знак плюс – о том, что необходимо произвести досыпку грунта. Если рабочая отметка получилась равной нулю, то такую точку называют «точкой нулевых работ», т.е. никакие земляные работы производить не надо.

Если рабочие отметки углов одного квадрата имеют разные знаки, то точка нулевых работ будет лежать на соответствующей стороне. Ее местоположение определяют интерполированием с учетом стороны квадрата. Соединяя точки нулевых работ, строят линию нулевых работ. В зависимости от места линии нулевых работ различают разные типы квадратов:

однородные, когда для всех углов квадрата знаки рабочих отметок совпадают (точек нулевых работ на сторонах квадрата нет), а по всему квадрату должна быть выполнена либо насыпь, либо выемка;

неоднородные, когда знаки рабочих отметок у различных вершин не совпадают и квадрат делится линией нулевых работ на участки выемки и насыпи.

По рабочим отметкам и площадям квадратов (с учетом выемок и насыпей) подсчитывают объемы земляных работ.

Для отдельного однородного квадрата объем земляных масс V_0 можно определить как объем призмы, имеющей площадь основания P , равную площади квадрата, и высоту, равную среднему арифметическому из рабочих отметок h всех четырех углов:

$$V_0 = P \frac{h_1 + h_2 + h_3 + h_4}{4}$$

Объемы земляных масс в неоднородных квадратах определяют после разделения их линией нулевых работ и вспомогательными линиями на отдельные фигуры - прямоугольные треугольники, прямоугольники, трапеции и т. п. Такой же порядок принимаю и для неполных квадратов. Объем работ V_i в отдельных четырехугольных фигурах вычисляют по формуле:

$$V_i = P_i h_{cp}$$

где:

P_i - площадь i -той фигуры;

h_{cp} - средняя рабочая отметка этой фигуры (рис. 192).

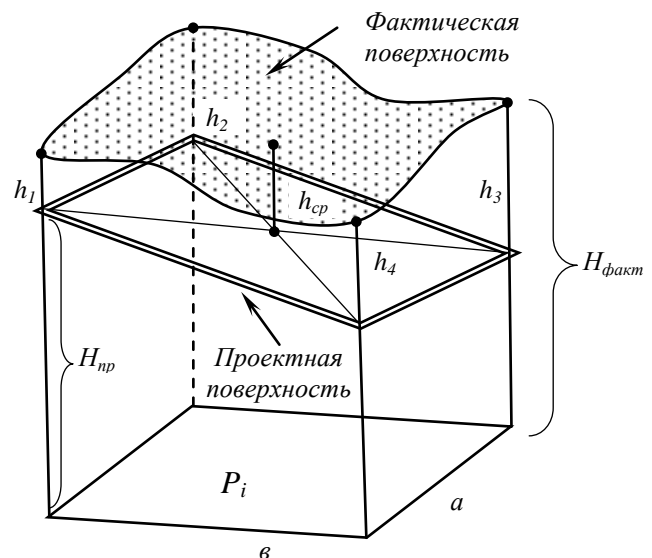


Рис. 192. Расчет объема земляных работ

Для фигуры с одной вершиной квадрата (треугольника) объем работ вычисляют по формуле:

$$V_i = \frac{1}{3} P_i h_{cp}$$

Вычисленные объемы в метрах кубических по каждому квадрату выписывают с соответствующим знаком в таблицу земляных работ. Суммарный объем подписывается внизу чертежа (см. рис. 193).

Определив общие объемы выемок и насыпей, сводят баланс земляных масс, т. е. определяют, компенсируют ли друг друга выемки и насыпи. На практике предпочитают, чтобы объем выемок, несколько превышал объем насыпей, так как вывезти лишний грунт легче, чем отыскать резервный грунт для насыпи.

Если участок необходимо просто спланировать, т.е. выровнять при нулевом балансе земляных работ, вычисляют единую проектную отметку для всей площадки:

$$H_{np} = \frac{\sum H_{i_{cp}}}{n}$$

где: H_i – средняя отметка внутри одного квадрата:

n – число квадратов на площадке.

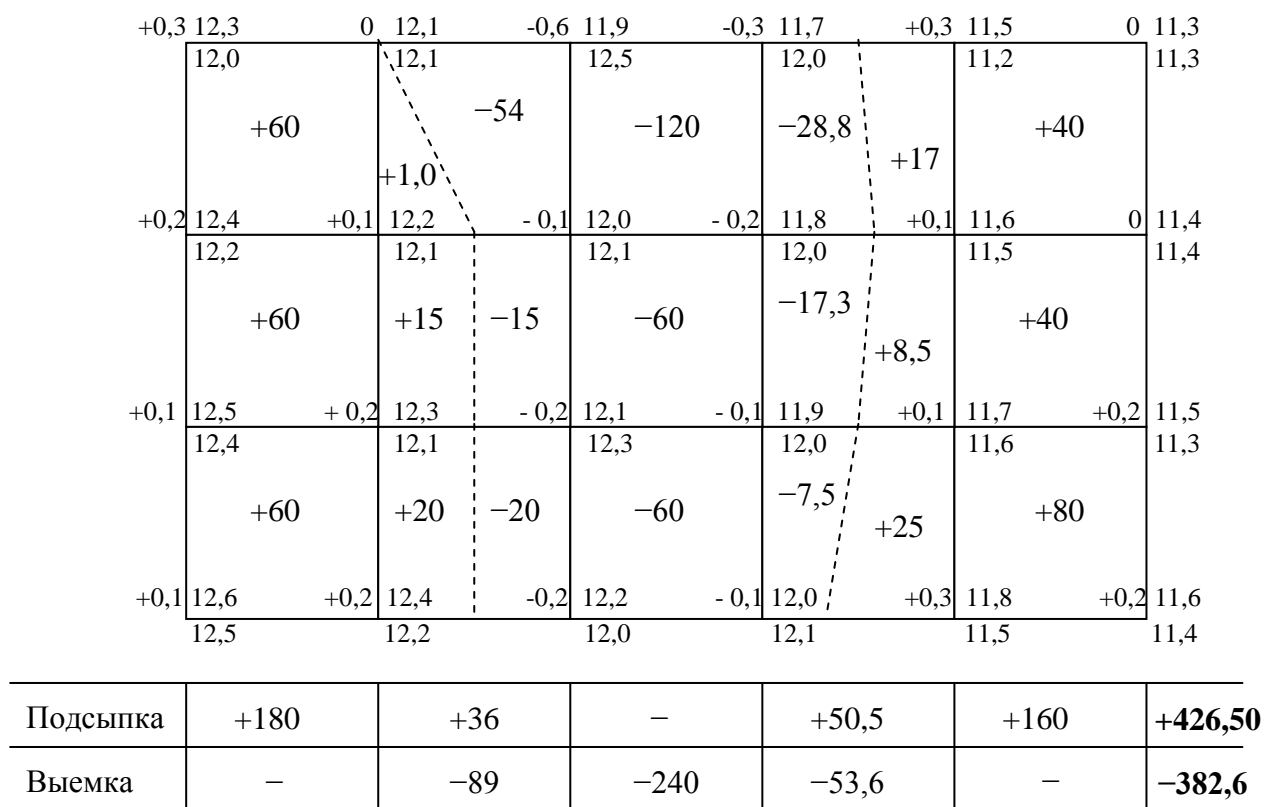


Рис. 193. План земляных масс с таблицей баланса

Литература:

1. Поклад Г.Г., Гриднев С.П. Геодезия. Учебник – М.: Академический проект, 2008. 591с.
2. Дьяков Б.Н., Соловьев А.Н. Основы геодезии и топографии.– СПб.: Лань. 2011,271с.
3. Инженерная геодезия. Учебник – М.: Высшая школа, 2001, 416с.
4. Киселев М.И., Михелев Д.Ш. Геодезия. Учебник – М.: АСАДЕМА,. 2004, 382 с.
5. Михелев Д.Ш. Инженерная геодезия. - М.: Высшая школа, 2002, 464с.
6. Инженерная геодезия. Учебник – М.: Высшая школа, 2002, 461с.
7. Соловьев А.Н. Инженерная геодезия в лесном комплексе. Учебное пособие - СПб.: ИПО ЛТА, 2005, 135с.
8. Соловьев А.Н. Топографическая карта и решение инженерно-графических задач на ней. Методические указания. - СПб.: ИПО ЛТА, 2003, 25с.
9. Курошев Г.Д., Смирнов Л.Е. Геодезия и топография. Учебник – М.: Академия, 2006, 174с.
10. Лео Багров. История русской картографии – М.: Центрполиграф, 2005, 512с.
11. Южанинов С.В. Картография с основами топографии. Учебник – М.: Высшая школа, 2005, 299с.
12. Колосова Н.Н., Чурилова Е.А., Кузьмина Н.А. Учебное пособие – М.: Дрофа, 2006, 272с.
13. Неумывакин Ю.К., Перский М.И. Земельно-кадастровые геодезические работы. Учебник. М.: КолосС, 2006, 183с.
14. В.И. Черепнин, А.Н. Соловьев. Прикладные вопросы инженерной геодезии. Учебное пособие. - СПб.: ИПО ЛТА, 2006, 85 с.
15. Соловьев А.Н. Геодезические приборы в лесном хозяйстве. Учебное пособие. - СПб.: ИПО ЛТА, 2007, 95с.
16. Ключин Е.Б. Инженерная геодезия. - М.: Высшая школа, 2000.
17. Усова Н.В. Геодезия. Учебник – М.: Архитектура-С, 2004, 221 с.
18. Видуев Н.Г. Геодезические работы на строительной площадке. - М.: Недра, 1990.
19. Ершов А.В, Тихонюк Н.К. Геодезические работы в строительстве – СПб.: ВИТУ,2003
20. Соловьев Ю. А. Спутниковые радионавигационные системы. Соловьев Ю.А., Царев В.М., Коровин А.В., Устюжанин Д.А. и др. Коллективная монография. М.: Издательство «Радиотехника», 2013. – 190 с.
21. Яценков В. С. Основы спутниковой навигации. Системы GPS NAVSTAR и ГЛОНАСС. М.: Горячая линия – Телеком, 2005. – 271 с.
22. Программный комплекс CREDO. Практическое пособие. - Минск.: СП Кредо-Диалог, 2009.