

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФГБОУ ВО Пензенский ГАУ

Кафедра общего земледелия и землеустройства

# **ГЕОДЕЗИЯ**

**В 2-Х ЧАСТЯХ**

Учебное пособие для студентов агрономического факультета,  
обучающихся по направлению подготовки  
21.03.02 Землеустройство и кадастры  
(квалификация – бакалавр)

**Часть I**  
**ОСНОВЫ ГЕОДЕЗИИ**

Пенза 2025

УДК 528  
ББК 26.12я73

Рецензент: кандидат с.-х. наук, доцент кафедры «Селекция, семеноводство и биология растений» Н.В. Корягина.

Издается по решению методической комиссии агрономического факультета от 07.04.2025 года, протокол №10

Солодков Н.Н.

Геодезия: учебное пособие в 2-х частях / Н.Н. Солодков; Пензенский государственный аграрный университет. – Пенза: ПГАУ, 2025 – Текст электронный.

Ч.1: Основы Геодезии. – 1CD (284)

Учебное пособие выполнено в соответствии с рабочей программой учебной дисциплины «Геодезия» для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки 21.03.02 «Землеустройство и кадастры» (бакалавриат).

В учебном пособии рассмотрен широкий круг вопросов, касающихся организации и проведению геодезических работ, даны методы обработки геодезических измерений, представлены вопросы для самоконтроля. Содержательная иллюстрация и примеры расчетов позволяют обеспечить доступность материала дисциплины для самостоятельного обучения студентов заочной формы обучения и углубления знаний, помощь при подготовке к практическим занятиям для студентов очной формы.

В учебном пособии представлены основы геодезических знаний в области высшей и прикладной геодезии. Особое внимание уделено устройству, работе, поверкам и юстировкам геодезических приборов. Представлены современные методы и способы геодезических съемок.

УДК 528  
ББК 26.12я73

© Солодков Н. Н., 2025

© ФГБОУ ВО Пензенский ГАУ, 2025

# СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	6
1 ГЕОДЕЗИЯ КАК НАУКА .....	8
1.1. Предмет и задачи геодезии.....	8
1.2 Разделы геодезии .....	11
1.3 Методы и технологии в геодезии .....	12
1.4. Связь геодезии с другими науками .....	13
2 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ГЕОДЕЗИИ.....	16
2.1 Форма Земли и положение точек на её поверхности.....	16
2.2 Карта и её масштаб .....	24
2.3 Ориентирование линий .....	28
2.4 Прямая и обратная геодезическая задачи .....	31
3 ТОПОГРАФИЧЕСКИЕ КАРТЫ И ПЛАНЫ.....	34
3.1 Понятие топографического плана и карты.....	34
3.2 Элементы карты .....	36
3.3 Генерализация .....	36
3.4 Условные знаки, виды, таблица условных знаков.....	37
4 ИЗОБРАЖЕНИЕ РЕЛЬЕФА НА КАРТЕ И ПЛАНЕ .....	41
4.1 Рельеф и его способы его изображение на карте.....	41
4.2 Характеристика рельефа по карте .....	44
5 КООРДИНАТИЗАЦИЯ ПРОСТРАНСТВА РОССИИ .....	50
5.1 Государственные геодезические (плановые) сети.....	50
5.2 Высотная (нивелирная) сеть.....	54
5.3 Геодезические съёмочные сети .....	57
5.4 Плановая привязка вершин теодолитного хода к пунктам .....	60
государственной геодезической сети .....	60
6 ОСНОВЫ ТЕОРИИ ПОГРЕШНОСТЕЙ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ.....	65
6.1 Погрешности измерений и их характеристики .....	65
6.2 Оценка точности результатов .....	67
6.3 Источники погрешностей и их устранение.....	69
7 ИЗМЕРЕНИЕ ДЛИНЫ ЛИНИЙ.....	73
7.1 Измерение длин линий мерными приборами.....	73
7.2 Измерение длины линий дальномерами .....	79
8 ВЕРТИКАЛЬНАЯ СЪЕМКА .....	81
8.1 Нивелиры, нивелирные рейки и их устройство. ....	81
8.2 Поверки и юстировки нивелиров .....	93
8.3 Нивелирные рейки и штативы.....	99
8.4 Способы нивелирования и вычисление отметок. ....	105
9 УГЛОВЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ .....	110
9.1 Понятие угловых измерений и инструменты измерений .....	110
9.2 Устройство теодолита 3Т5КП .....	112
9.3 Методика угловых измерений.....	118

9.4 Поверки и юстировки теодолита 3Т5КП .....	121
9.5 Способы измерения углов на местности .....	126
10 УСТРОЙСТВО ЭЛЕКТРОННОГО ТАХЕОМЕТРА .....	130
10.1 Устройство электронного тахеометра SOKKIA SET530R. ....	130
10.2 Поверки и юстировки электронного тахеометра .....	138
10.3 Тригонометрическое нивелирование. ....	150
10.4 Технология выполнения тахеометрической съемки.....	151
11 ТЕОДОЛИТНАЯ СЪЕМКА .....	154
11.1 Содержание теодолитной съемки .....	154
11.2 Проложение теодолитных ходов и привязка к пунктам опорной геодезической сети.....	159
11.3 Съемка ситуации местности .....	161
12 ТОПОГРАФИЧЕСКАЯ СЪЕМКА .....	167
12.1 Обработка результатов теодолитной съемки .....	167
12.2 Обработка результатов тахеометрической съемки .....	176
12.3 Построение топографического плана.....	179
12.4 Топографическая съемка с использованием беспилотных авиационных систем .....	184
12.5 Системы лазерного сканирования и 3D-моделирования местности .....	187
13 НИВЕЛИРНАЯ СЪЕМКА .....	199
13.1 Съемки нивелирования земной поверхности .....	199
13.2 Обработка результатов нивелирования по квадратам.....	202
13.3 Вертикальная планировка .....	207
14 СОСТАВЛЕНИЕ ТОПОГРАФИЧЕСКОГО ПЛАНА УЧАСТКА МЕСТНОСТИ .....	223
14.1 Изображение рельефа местности горизонталями .....	223
14.2 Построение графика заложения .....	226
14.3 Проложение линии с заданным уклоном .....	227
14.4 Оформление топографического плана .....	228
15 ЗАДАЧИ, РЕШАЕМЫЕ НА ТОПОГРАФИЧЕСКИХ КАРТАХ И ПЛАНАХ .....	231
15.1 Определение высоты сечения рельефа .....	231
15.2 Определение отметок горизонталей по отметкам точек и высоте сечения рельефа.....	232
15.3 Измерение высоты точки и крутизны ската. ....	233
15.4 Построение продольного профиля рельефа.....	235
15.5 Проведение водораздельной линии. Оконтуривание водосборного бассейна .....	237
16 ИЗМЕРЕНИЕ ПЛОЩАДЕЙ НА КАРТЕ .....	239
16.1 Измерение площадей графическим способом .....	239
16.2 Измерение площадей геометрическим способом .....	241
16.3 Измерение площадей аналитическим способом .....	243
16.4 Измерение площадей механическим способом .....	244
17 СПУТНИКОВЫЕ МЕТОДЫ В ГЕОДЕЗИИ .....	248

17.1 Спутниковые системы.....	248
17.2 Глобальные спутниковые системы .....	249
17.3 Принципы определения местоположения пунктов из спутниковых определений.....	256
17.4 Проектирование ГНСС сети для планово-высотной привязки спутниковой технологии .....	262
17.5 Устройство ETF GNSS МЗ.....	267
17.6 Топографическая съемка с применением систем спутникового позиционирования .....	273
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	280
ЛИТЕРАТУРА.....	282

## ВВЕДЕНИЕ

Основу геодезических знаний составляют достижения математики, физики и астрономии. В недалеком прошлом геодезию считали «практической геометрией», определяя её роль и значение в решении хозяйственных задач методами точных наук. Математика всегда обеспечивала геодезию средствами анализа и методами обработки результатов. Астрономия – исходными данными для создания и развития опорных геодезических сетей. На основе законов физики создаются геодезические приборы.

Развитие научно-технического прогресса, связанного с широким распространением космических технологий, геопозиционирования, аэрофотосъемки, информатизации, компьютерного программного обеспечения привело к стремительному развитию геодезии как науки в области фундаментальных исследований, так и прикладных изысканий. Стремительное накопление знаний и возможностей автоматической обработки больших данных требуют высокого уровня подготовки студентов, осваивающих геодезию как современную науку и дисциплину.

Основы геодезии являются неотъемлемой частью производства землеустроительных и кадастровых работ: межевание, составлении планов, проектировании и разделе земельных участков, спрямлении их границ, перенесении проектов землеустройства в натуру, постановке земельного участка на кадастровый учет и пр.

Данное учебное пособие выполнено в соответствии с рабочей программой учебной дисциплины «Геодезия» для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки 21.03.02 «Землеустройство и кадастры» (бакалавриат).

Целью дисциплины «Геодезия» является формирование четкого представления о средствах и методах геодезических работ при топографо-геодезических изысканиях, создание и корректировка топографических планов для решения инженерных задач при землеустройстве и кадастровых работах в производственно-технологической, проектно-изыскательной, организационно-управленческой и научно-исследовательской деятельности.

Задачами дисциплины являются:

- внедрение в сознание студентов необходимости выполнения геодезических работ при решении земельно-кадастровых задач;

- определить круг геодезических понятий в области геодезии;
- привить студентам навыки геодезических измерений и их математической обработки для составления топографических планов;
- ознакомить студентов с современными автоматизированными технологиями, в том числе спутниковыми, используемыми при определении местоположения и составлении топографических планов.

Дисциплина «Геодезия» входит в состав Обязательной части учебного плана направления подготовки 21.03.02 «Землеустройство и кадастры» и предшествует изучению таких связанных дисциплин как: географические информационные системы, основы землеустройства, метрология, стандартизация и сертификация.

Изучение дисциплины «Геодезии» осуществляется в течение трех семестров по учебному плану 21.03.02 «Землеустройство и кадастры» во ФГБОУ ВО Пензенский государственный аграрный университет, в связи с чем, дисциплина делится на три основных раздела:

1. «Основы геодезии», которому посвящено данное учебное пособие. Целью данного раздела является знакомство студентов с базовыми представлениями о геодезии как науке, методиках, технологии и инструментальном обеспечении топографо-геодезических работ, карте как основного источника географической информации.

2. «Инженерная геодезия», которая готовит студентов к проведению инженерно-геодезических работ в области строительства для составления планов и профилей, мониторинга строительный работ.

3. «Геодезические сети», посвященного важнейшему элементу системы технологических мероприятий по изучению и освоению территорий: закреплению на местности пунктов геодезических сетей различных классов по точности измерения, выполнению различных геодезических задач, топографо-картографических и технических задач.

В основу данного учебного пособия положены систематизированные сведения теоретического и прикладного характера классических и современных ученых, монографий, учебников и учебных пособий, а также собственных работ составителя в области геодезии, пространственного моделирования и дистанционного зондирования.

# 1 ГЕОДЕЗИЯ КАК НАУКА

План:

- 1.1 Предмет и задачи геодезии.
- 1.2 Связь геодезии с другими науками.
- 1.3 Методы и технологии в геодезии.
- 1.4 Разделы геодезии и смежных наук.

## 1.1. Предмет и задачи геодезии

В средней школе есть дисциплина «геометрия», в которой оперируют следующими понятиями: точка, линия, поверхность, геометрические фигуры, геометрические тела. Как определяется точка? Вот выдержка из энциклопедического словаря: «Точка – одно из основных понятий геометрии; при систематическом изложении геометрии точка обычно принимается за одно из исходных понятий». Другими словами, понятие точки первично, оно не определяется через более простые понятия. Однако в литературе можно встретить определение точки как место пересечения двух линий, то есть более простое понятие определяется через более сложные. Евклид определял точку как то, что не имеет частей.

Для линии энциклопедический словарь дает два определения: с одной стороны, линия – это общая часть (или место пересечения) двух смежных областей поверхности, с другой стороны – через точку: «движущаяся точка присвоением движению описывает некоторую линию». Второе определение можно выразить и так: линия – это геометрическое место точек, прилегающих одна к другой; к каждой точке примыкают всего две точки, одна точка с одной стороны и вторая – с другой. Евклид писал, что линия – это длина без ширины. В топографическом черчении размер точки и толщина линии принимаются равными 0,1 мм. В оптике есть понятие «критический угол зрения» – это угол, при котором две точки сливаются в одну; для глаза человека он принимается равным  $\beta = 60''$ . На оптимальном расстоянии чтения  $S = 300$  мм диаметр точки, вычисляемый по формуле:

$$d = \frac{S \times \beta}{\rho}, \quad (1)$$

где  $\rho = 206\,265''$ , получается  $d = 0,09$  мм, что при округлении дает 0,1 мм.

Термины «точка» и «линия» раньше применялись и как меры длины. В системе английских мер одна линия равна  $1/12$  дюйма, или 2,1167 мм; одна точка равна  $1/6$  линии, или 0,3528 мм; в русских мерах длины одна линия равна  $1/10$  дюйма, или 2,54 мм; одна точка равна  $1/10$  линии, или 0,254 мм.

Поверхность (согласно энциклопедическому словарю) – это общая часть двух смежных областей пространства. Можно сказать, что движущаяся линия описывает в пространстве некоторую поверхность. Выполнив определенные построения на поверхности (в частном случае на плоскости), можно получить геометрические фигуры – угол, треугольник, многоугольник, круг, сектор, сегмент и т.д.

Комбинации поверхностей, линий и точек воплощаются в геометрические тела: пирамиды, призмы, параллелепипеды, конусы, шары, и т. д. изучение характеристик и свойств геометрических объектов выполняют с помощью чертежей и макетов небольших размеров, а также с помощью уравнений аналитической геометрии.

Геодезию раньше называли «практической геометрией», так как она имеет дело с геометрическими характеристиками объектов в окружающем нас пространстве. Участок пространства может быть совсем небольшим: комната, дом, дачный участок; он может быть и больше – территория завода, рудника, населенного пункта (от одиночного хутора до мегаполиса). Это может быть и территория целого государства, континента или всего земного шара, а может включать и околоземное пространство.

Любая наука имеет три аспекта: объект изучения, предмет изучения и метод. Для геодезии объектом изучения является окружающее пространство; к концу XX века сформировались его составляющие: технопросранство (вторичная среда), Земля (как планета), ближний космос со всеми космическими объектами. Предметом изучения геодезии является геометрия этого пространства. Методами геодезии являются измерение и моделирование.

Основную задачу геодезии в самом общем смысле можно понимать как геометризацию и координатизацию пространства. Геометризация – это представление объектов и явлений окружающего пространства совокупностью точек, линий, поверхностей в графической, аналитической, цифровой, электронной и вещественной формах. Координатизация означает задание конкретной системы координат и изучение геометрических характеристик объектов в этой системе.

Слово «геодезия» образовано из греческих слов «ge» – земля и «dazomai» – разделяю, делю на части; если перевести его дословно, то получится «землеразделение». Это название соответствовало содержанию геодезии во времена ее зарождения и начального развития. Так, в Египте задолго до нашей эры измерялись размеры земельных участков, строились оросительные системы; все это выполнялось с участием геодезистов.

С развитием человеческого общества, повышением роли науки и техники расширялось содержание геодезии, усложнялись задачи, которые ставила перед ней жизнь.

В настоящее время *геодезия* – это наука о методах определения фигуры и размеров Земли и изображения ее поверхности на картах и планах, а также о способах проведения различных измерений на поверхности Земли (на суше и в акваториях), под землей, в околоземном пространстве и на других планетах.

Согласно Федеральному закону о геодезии, картографии и пространственных данных ФЗ-431 от 30.12.2015 г., «геодезия – это область отношений в сфере определения фигуры, размеров, гравитационного поля Земли, координат точек земной поверхности и их изменений во времени» [7].

Известный русский ученый-геодезист В.В. Витковский (1856–1924) так характеризовал геодезию: «Геодезия представляет одну из полезнейших отраслей знания; все наше земное существование ограничено пределами земли, и изучать ее вид и размеры человечеству так же необходимо, как отдельному человеку ознакомиться с подробностями своего жилья».

Среди многих задач геодезии можно выделить долговременные задачи и задачи на ближайшие годы. К первым относятся:

- определение фигуры, размеров и гравитационного поля земли;
- распространение единой системы координат на территорию отдельного государства, континента и всей земли в целом;
- изображение участков поверхности земли на топографических картах и планах;
- изучение глобальных смещений блоков земной коры.

В правительстве любой страны есть орган на правах министерства, который организует и контролирует выполнение геодезических работ; в нашей стране этот орган в разные годы назывался по-разному: в царской России – Корпус военных топографов, в СССР – Главное

управление геодезии и картографии (ГУГК), сейчас – Федеральная служба геодезии и картографии (Роскартография). В России есть научно-исследовательские геодезические институты, картографические фабрики, заводы по производству геодезических измерительных приборов. Специалистов по различным направлениям геодезии готовят вузы, техникумы, военно-топографические училища.

## 1.2 Разделы геодезии

Усложнение и развитие геодезии привело к разделению ее на несколько научных дисциплин.

*Высшая геодезия* изучает фигуру земли, ее размеры и гравитационное поле, обеспечивает распространение принятых систем координат в пределах государства, континента или всей поверхности земли, занимается исследованием древних и современных движений земной коры, а также изучает фигуру, размеры и гравитационное поле других планет Солнечной системы.

*Топография* («топос» – место, «графо» – пишу; дословно – описание местности) изучает методы топографической съемки местности с целью изображения ее на планах и картах.

*Картография* изучает методы и процессы создания и использования карт, планов, атласов и другой картографической продукции.

*Фотограмметрия* (фототопография и аэрофототопография) изучает методы создания карт и планов по фото- и аэрофотоснимкам.

*Инженерная геодезия* изучает методы и средства проведения геодезических работ при изысканиях, проектировании, строительстве и эксплуатации различных инженерных сооружений.

*Маркшейдерия* (горная геометрия, или подземная геодезия) изучает методы проведения геодезических работ в подземных и открытых горных выработках.

*Морская геодезия* изучает методы выполнения топографической съемки дна озер, рек, водохранилищ и прибрежной зоны морей (шельфа).

*Космическое зондирование Земли* (космическая съемка) изучает поверхность земли по многоспектральным космическим снимкам.

Понятно, что четко обозначенных границ между перечисленными дисциплинами нет. Так, топография включает в себя элементы высшей

геодезии и картографии, инженерная геодезия использует разделы практически всех остальных геодезических дисциплин и т.д.

### 1.3 Методы и технологии в геодезии

Используемые в настоящее время методы геодезических измерений можно поделить на несколько категорий, отличающихся по назначению измеряемых величин.

*Линейные.* Когда нужно определить расстояние между точками, расположенными в определенной последовательности, применяется линейный метод измерений. Он предполагает использование как самых простых и традиционных инструментов, так и более высокоточного и современного оборудования.

Самые распространенные линейные методы – это получение данных с применением следующих средств:

- Металлическая рулетка – инструмент давно известный, но продолжающий использоваться и давать неплохие показатели точности;
- Мерная лента – применяется сейчас все реже, но в ряде случаев еще может быть актуальна;
- Базисный прибор – чем-то похож на мерную ленту, но имеет длину промеров до 24 метров, состоит из инварной проволоки и штативов;
- Оптический дальномер – высокоточный геодезический прибор, определяющий длину в пределах 100-300 метров с минимальной погрешностью;
- Светодальномер – самый точный, работает по импульсному принципу, измеряет расстояние исходя из времени прохождения его световым сигналом.

*Угловые.* Как становится понятно из названия, угловые методы геодезических измерений направлены на определение с помощью специальных приборов горизонтальных или вертикальных углов. Для этих целей используются теодолиты и тахеометры.

*Высотные.* Когда требуется определение показателей превышения одних точек поверхности над другими, применяются высотные методы измерений. Они используют геометрическое, тригонометрическое или гидростатическое нивелирование. Прибор для этого вида работ так и называется – нивелир.

*Координатные.* Определение координат местоположения определенных точек – задача координатного метода. К нему относятся тахеометрическая съемка и спутниковые наблюдения, находящие активное применения во множестве ситуаций.

Чтобы геодезические измерения, вне зависимости от используемого метода, были выполнены, необходима совокупность факторов. Среди них самые важные это:

- объект измерений;
- субъект измерений, то есть непосредственно тот, кем будут выполняться работы;
- средства измерений – необходимые для проведения работ геодезические приборы;
- условия окружающей среды – это и погода, и особенности рельефа, застройки, расположения растительности.

Любые геодезические измерения выражаются количественной и качественной характеристиками. Первая отображает непосредственно результат – значение высоты, длины, величины угла, а вторая оценивает их точность.

В случае, если геодезические измерения выполняются одним и тем же специалистом с применением оборудования той же точности, единого метода и в одинаковых погодных условиях, их называют равноточными. Если хотя бы одно из перечисленных условий изменилось, то они становятся неравноточными.

#### **1.4. Связь геодезии с другими науками**

Уже из этого неполного перечня геодезических дисциплин видно, какие разнообразные задачи – и теоретического, и практического характера, – приходится решать геодезистам, чтобы удовлетворить требования государственных и частных учреждений, компаний и фирм. Для государственного планирования и развития производительных сил страны необходимо изучать ее территорию в топографическом отношении. Топографические карты и планы, создаваемые геодезистами, нужны всем, кто работает или передвигается по земле: геологам, морякам, летчикам, проектировщикам, строителям, земледельцам, лесоводам, туристам, школьникам. особенно нужны карты армии: строительство оборонительных сооружений, стрельба по невидимым целям,

использование ракетной техники, планирование военных операций – все это без карт и других геодезических материалов просто невозможно

Геодезия занимается изучением земли в содружестве с другими «геонауками», то есть науками о земле. Физические свойства земли в целом изучает наука «физика земли», строение верхней оболочки нашей планеты изучают геология и геофизика, строение и характеристики океанов и морей – гидрология, океанография. Атмосфера – воздушная оболочка земли – и процессы, происходящие в ней, являются предметом изучения метеорологии и климатологии. Растительный мир изучает геоботаника, животный мир – зоология. Кроме этого, есть еще география, геоморфология и другие. Среди всех наук о земле геодезия занимает свое место; она изучает геометрию земли в целом и отдельных участков ее поверхности, а также геометрию любых объектов (и естественного, и искусственного происхождения) на поверхности земли и вблизи нее.

Геодезия, как и другие науки, постоянно впитывает в себя достижения математики, физики, астрономии, радиоэлектроники, автоматки и других фундаментальных и прикладных наук. Изобретение лазера привело к появлению лазерных геодезических приборов – лазерных нивелиров, лазерных светодальномеров, лазерных сканеров; кодовые измерительные приборы с автоматической фиксацией отсчетов могли появиться только на определенном уровне развития микроэлектроники и автоматки. Что же касается информатики, то ее достижения вызвали в геодезии подлинную революцию, которая продолжается и сейчас.

В последние годы строительство так называемых уникальных инженерных сооружений потребовало от геодезии резкого повышения точности измерений. Так, при монтаже оборудования мощных ускорителей приходится учитывать десятые и даже сотые доли миллиметра. По результатам геодезических измерений изучают деформации и осадки действующего промышленного оборудования, обнаруживают движение земной коры в сейсмоактивных зонах, наблюдают за уровнем воды в реках, морях и океанах и уровнем грунтовых вод.

Возможность использования искусственных спутников земли для решения геодезических задач привела к появлению новых разделов геодезии: космической геодезии, дистанционного зондирования земли, геодезии планет Солнечной системы. Подтверждаются слова русского

ученого К.Э. Циолковского (1857–1935): «земля – колыбель человечества, но нельзя вечно жить в колыбели».

### **Контрольные вопросы**

1. Что такое геодезия?
2. Почему геодезию называют «прикладной геометрией»?
3. Каков объект и предмет исследования геодезии?
4. Какие методы геодезических исследований выделяют?
5. Какие разделы геодезии выделяются?
6. С какими науками связаны геодезические исследования?
7. Каковы перспективные исследования в области геодезии?
8. Какие нормативно-правовые акты регулируют геодезическую деятельность?

## 2 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ГЕОДЕЗИИ

План

2.1 Форма Земли и положение точек на её поверхности.

2.2 Карта и её масштаб.

2.3 Ориентирование линий

2.4 Прямая и обратная геодезическая задачи

### 2.1 Форма Земли и положение точек на её поверхности

Физическая поверхность земли в геометрическом отношении имеет сложную форму. При определении формы окружающих нас предметов их обычно сравнивают с геометрически правильными телами.

Если предположить, что Земля находится в состоянии покоя и плотность ее равномерно распределяется по всей массе, то она имела бы форму шара. Под действием центробежной силы, вызванной вращением вокруг оси с постоянной скоростью, земля бы приобрела форму, сплюснутую по направлению к полюсам, то есть форму сфероида или эллипсоида.

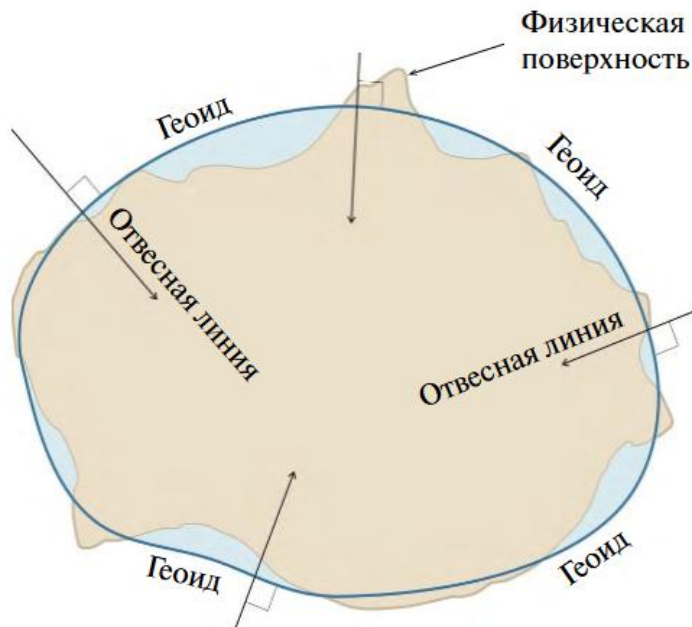
Поверхность такого эллипсоида была бы всюду горизонтальной, а направление силы тяжести было бы перпендикулярным (нормальным) к ней, т.е. направление силы тяжести совпадало бы в каждой точке с нормалью к поверхности эллипсоида. Такие поверхности называются уровнями, и поверхность такого эллипсоида была бы ровной.

Однако земля неоднородна, она состоит из нескольких слоев, плотность, которых примерно одинакова в каждом слое. Теоретические расчеты показывают, что и в этом случае земля имела бы форму эллипсоида, но с другим коэффициентом сжатия. Однако самый верхний слой (земная кора) мощностью от 6 до 70 км., средняя 40 км., закономерностей в распределении плотностей не имеет и строение его весьма сложно. Таким образом, поверхность земли имеет сложную геометрическую форму. Под действием неравномерно, расположенных масс в земной коре изменяется направление сил притяжения, а, следовательно, и сил тяжести. Ровная поверхность земли отступает от поверхности эллипсоида, становится сложной и неправильной в геометрическом отношении, она совпадает с невозмущенной (спокойной)

поверхностью океанов и морей и не определяется, какой-либо из известных аналитических форм. Ей присвоено название геоид.



*Рисунок 1 – Эллипсоид вращения*



*Рисунок 2 – Геоид*

*Геоидом* называется уровенная поверхность, совпадающая с поверхностью океанов и морей при спокойном состоянии водных масс и мысленно продолженная под материками, таким образом, чтобы направление силы тяжести пересекало бы ее под прямым углом. Наибольшее отступление геоида от эллипсоида незначительное и не превышает 100-150 км. Поэтому фигурой наиболее приближенной к геоиду является эллипсоид вращения.

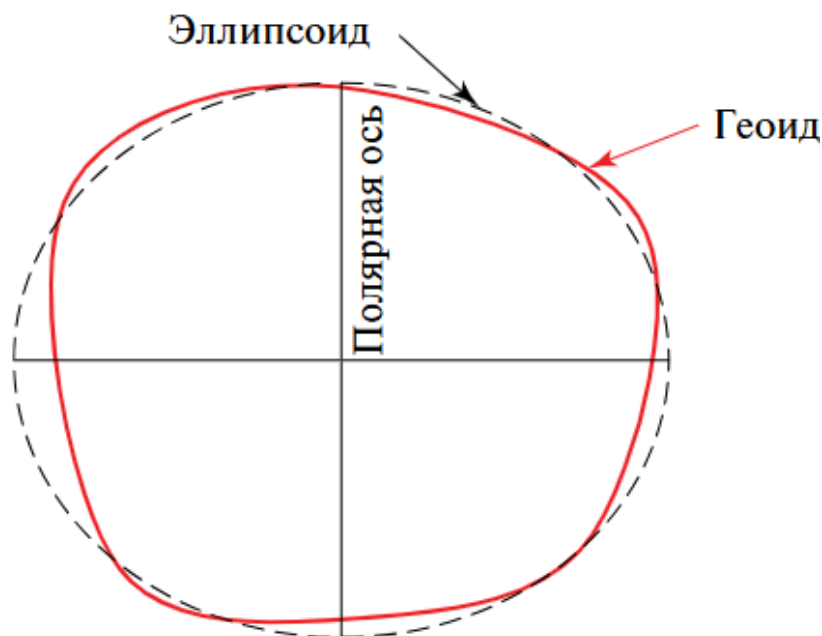


Рисунок 3 – Схема соотношения поверхности эллипсоида и геоида

Эллипсоид, ориентированный в геоиде, называется *референц эллипсоид* (рис. 3). Ориентировка референц – эллипсоида в теле Земли задается исходными геодезическими данными: координатами начального пункта государственной геодезической сети (пункт Пулково вблизи Санкт-Петербурга), исходным азимутом и высотой поверхности эллипсоида, над поверхностью геоида.

Вычисление и уточнение размеров земного эллипсоида, начатое еще в XVIII веке, продолжается по сей день. Теперь для этого используются спутниковые наблюдения и точные гравиметрические измерения. Но и в этом случае, многие исследователи, пользуясь разными исходными данными и методиками расчета, получают неодинаковые результаты. Поэтому исторически сложилось так, что в разные времена и в разных странах были приняты и законодательно закреплены различные эллипсоиды, и их параметры не совпадают между собой. В нашей

стране за основу принят эллипсоид Красовского, размеры которого получены в 1940 году советскими учеными Красовским и Изотовым Его параметры: Большая полуось (a) – 6378245 м. Малая полуось (b) – 6356863 м. Коэффициент сжатия ( $\alpha = a - b / a = 1 : 298.3$ ). В 1984 году на основе спутниковых измерений, вычислен международный эллипсоид WGS – 84 (World Geodetic System).

Карты, составленные на основе разных эллипсоидов, получаются в различающихся между собой координатных системах, что создает неудобство при их сопоставлении. Несовпадения бывают особенно заметны на крупномасштабных картах, при определении по ним точных координат объектов. Но на широко применяемых географами средне и мелкомасштабных картах такие различия не очень чувствительны. Более того, иногда вместо эллипсоида берется шар, и средний радиус Земли принимается равным  $R = 6367,6$  км. Погрешности при замене эллипсоида на шар оказываются, столь малы, что не проявляются на большинстве географических карт.

В геодезических построениях принимаются различные системы координат.

В геодезической системе координат за основу координационной поверхности принимается поверхность референц-эллипсоида, а за основные координационные линии геодезические меридианы и параллели.

*Геодезическим меридианом* называется сечение эллипсоида плоскостью проходящей через точку на его поверхности и малую полярную ось (рис. 3).

*Геодезической параллелью* называют сечения эллипсоида плоскостью проходящей через точку на его поверхности и перпендикулярной к малой оси. Параллель, проходящая через центр эллипсоида, называется *экватором* (рис. 4).

Положение точки на эллипсоиде задается пересечением параллели и меридиана. Меридиан задается геодезической долготой ( $L$ ), а параллель геодезической широтой ( $B$ ).

*Геодезическая широта  $B$*  – это острый угол, образованный нормалью к поверхности эллипсоида, проведенной через точку на поверхности земли, и плоскостью экватора (рис. 4).

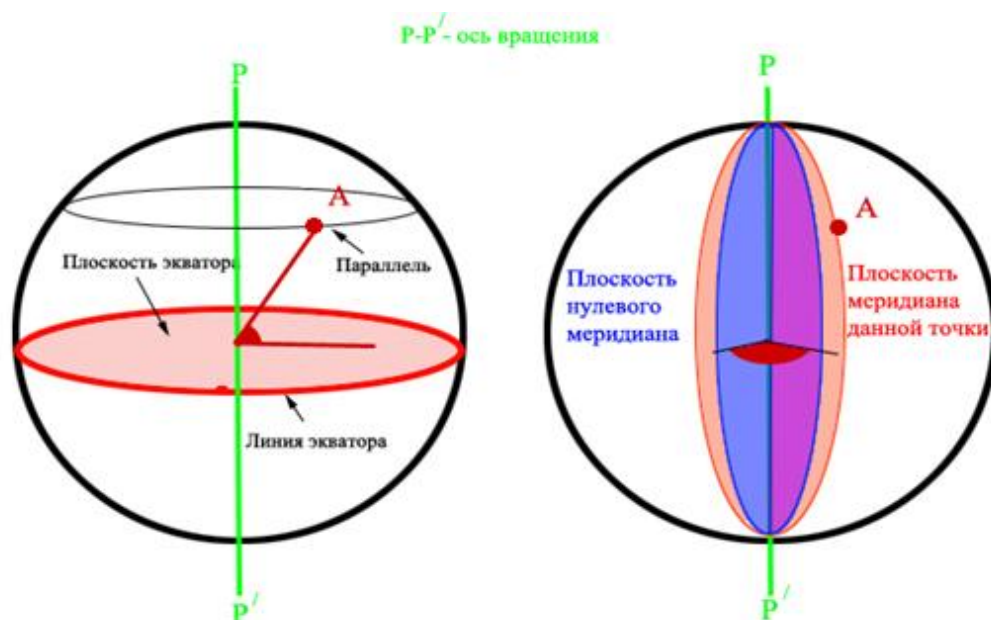


Рисунок 4 – Геодезическая широта (слева) и долгота (справа)

Геодезической долготой  $L$  называется двугранный угол между плоскостью гринвичского (начального) меридиана и плоскостью меридиана проходящей через данную точку (рис. 4). Геодезические широты бывают северные и южные и изменяются от  $0^\circ$  (на экваторе) до  $90^\circ$  (на земных полюсах).

Геодезические долготы бывают западные и восточные и изменяются от  $0^\circ$  (на Гринвичском меридиане) до  $180^\circ$  (на Тихоокеанской ветви).

Для определения положения конкретной точки на поверхности эллипсоида помимо долготы и широты необходимо знать высоту ее от поверхности эллипсоида ( $H_M$ ).

За начальную отсчетную поверхность принимается уровень моря. Относительно ее и принимают высоты точек поверхности земли, называемые *абсолютными* (рис. 5). В нашей стране за начальную точку отсчета принят нуль Крондштадского футштока, близко совпадающий с уровнем Балтийского моря. Таким образом, точка  $M$  в геодезической системе имеет координаты  $B_M; L_M; H_M$ .

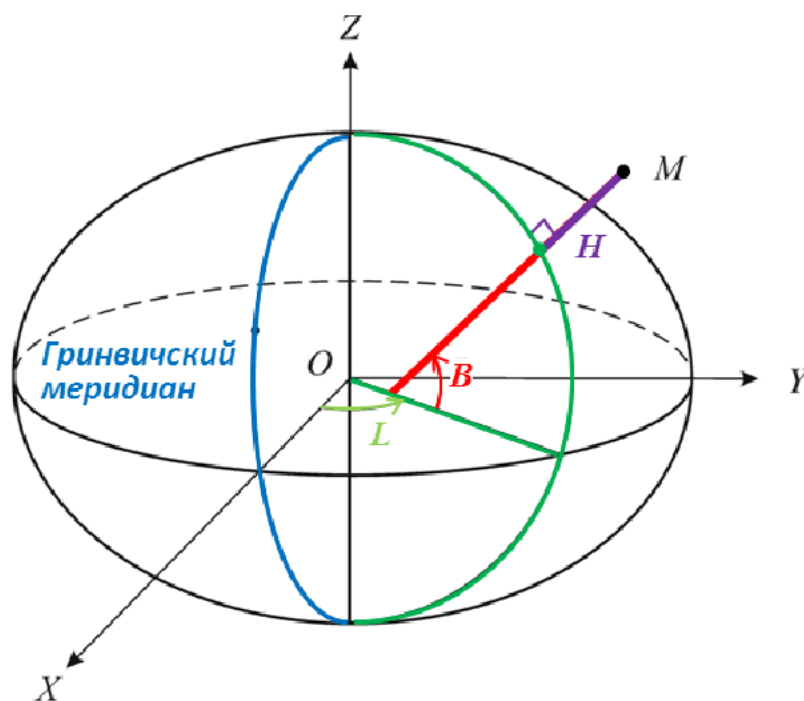


Рисунок 5 – Геодезическая геоцентрическая система координат

Астрономическая система координат отличается от геодезической на 3-4 секунды и вместе с геодезической входит в понятие географической системы координат, которой и пользуются в геодезии, проводя измерения геодезическими методами.

Для изображения значительных частей земной поверхности на плоскость принимают специальные проекции, дающие возможность переносить на плоскость положение точек земной поверхности. Точки переносятся по математическим законам, что позволяет определять их положение в плоской системе координат  $X, Y$ . В нашей стране за основу системы координат принята проекция, предложенная немецкими учеными Гауссом и Крюгером и получившая, наименование Гаусса-Крюгера.

Согласно этой проекции, земной шар разделен на 3 или 6 градусные зоны вдоль меридианов, нумерация которых ведется с запада на восток, начиная от Гринвичского меридиана, принятого за ноль (рис. 6). Далее каждый сегмент разворачивается на плоскость, где осевой меридиан изображается прямой линией без искажения, т.е. с точным сохранением его длины. Экватор в каждом сегменте также изображается прямой линией перпендикулярной осевому меридиану. За начало отсчета координат принимается пересечение экватора и осевого меридиана.

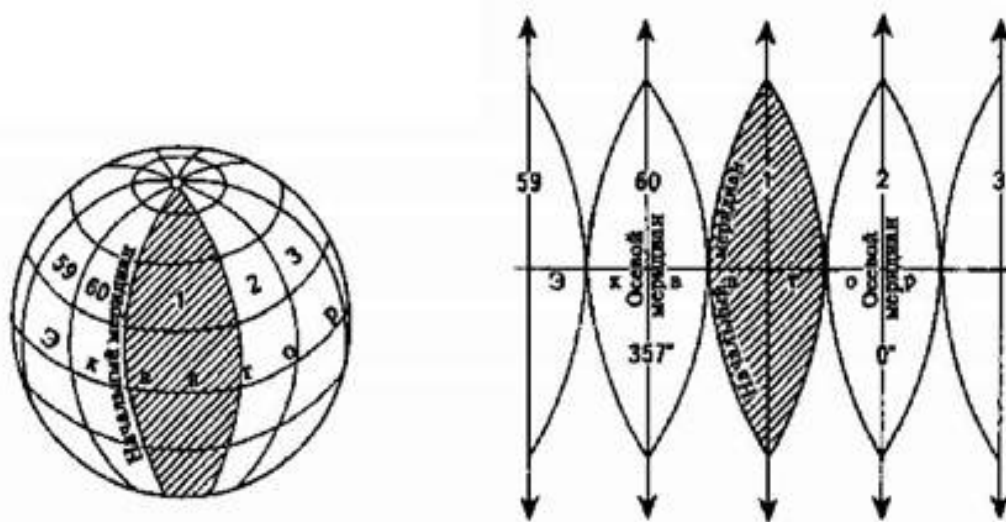


Рисунок 6 – Координатная плоскость проекции Гаусса-Крюгера

Искажение длин линий в проекции Гаусса-Крюгера возрастают по мере удаления от осевого меридиана и могут достигать величины порядка 1:1500 в шестиградусной зоне и 1:6000 в трехградусной. В инженерно-геодезических работах и при крупномасштабных съемках такие искажения необходимо учитывать, либо применять частную систему координат с осевым меридианом, проходящим через середину участка работ.

Система координат в каждой зоне (сегменте) одинакова. Все географические карты на территории бывшего СССР, стран восточной и части стран западной Европы составлены в проекции Гаусса-Крюгера. Изображение на плоскости каждой шестиградусной полосы представляет собой колонну листов Международной карты мира в масштабе 1:1000000. Шестиградусная полоса, в свою очередь, является шестиградусной координатной зоной, ограниченной соответствующими меридианами. Ось ординат ( $y$ ) направлена на восток и совмещена с изображением экватора. Ось абсцисс ( $x$ ) совмещена с изображением осевого меридиана зоны и направлена на север. Прямолинейное изображение осевого меридиана и экватора можно использовать в качестве осей прямоугольной системы координат.

Положение точки ( $a$ ) на плоскости определяется плоскими прямоугольными координатами  $x_a$  и  $y_a$ . Каждую шестиградусную зону нумеруют арабскими цифрами. В РФ принята нумерация зон отличная от мировой. Крайняя западная зона с долготой осевого меридиана  $L_0=21^\circ$ , имеет номер 4, а на Чукотке номер 32. Номер зоны  $N$  и долгота  $L_0$  осевого меридиана, связаны между собой равенством:

$$L_0 = 6^\circ N - 3^\circ$$

Например: долгота осевого меридиана в 10 зоне будет равна:

$$L_0 = 6^\circ \cdot 10 - 3^\circ = 57^\circ$$

Для исключения из обращения отрицательных ординат ко всем ординатам добавляют число 500000 м. Кроме того к ординате слева подписывается номер зоны. В результате получают число, представляющее собой условную ординату. Например: условная ордината точки равна 12298897.3 м. это означает что точка, имеющая такую ординату, находится в 12 зоне, ее действительная ордината равна – 201102,7 м, а долгота осевого меридиана зоны:  $L_0 = 6^\circ \cdot 12 - 3^\circ = 69^\circ$ . Следовательно, точка находится в 201102,7 метрах к западу от осевого меридиана.

Для определения положения точек на физической поверхности Земли недостаточно знать только две их плановые координаты X и Y. Необходима третья координата, характеризующая отстояние точки земной поверхности от условной поверхности или уровенной. Расстояние от точки на земной поверхности по отвесной линии до уровенной поверхности называется *высотой*.



Рисунок 7 – Абсолютные и условные высоты:

$H_A$  – абсолютная высота;  $H_B$  – условная высота

Если в качестве отсчетной уровенной поверхности принимается поверхность геоида (т.е. основная уровенная поверхность, совпадающая с поверхностью Мирового океана), то такую высоту называют *абсолютной* (рис. 7).

Если же в качестве отсчетной для высот берется какая-то другая, отличная от геоида уровенная поверхность, то такую высоту принято называть *условной* (рис. 7).

Условные высоты могут использоваться при изучении небольших участков земной поверхности, а также при проектировании, строительстве и обустройстве отдельных объектов недвижимости, когда положение этих участков и объектов относительно уровня моря не играет никакой роли.

При изучении значительных участков земной поверхности пользуются абсолютными высотами.

В России за начало счета абсолютных высот принята уровенная поверхность, совпадающая со средним уровнем Балтийского моря. В связи с этим принятую систему высот называют Балтийской.

В сельском хозяйстве и лесном деле нередко применяют условную систему высот. Числовое значение высот точек называют *отметкой*. Разность отметок двух точек называется *превышением*.

## 2.2 Карта и её масштаб

*План и карта* – топографические материалы, являющиеся уменьшенным спроецированным изображением земной поверхности на плоскость. Чтобы получить план местности, точки и линии местности проецируют на горизонтальную плоскость перпендикулярами и полученное горизонтальное проложение уменьшают в определенное число раз.

*Ситуацией* называют совокупность предметов местности (дома, дороги, реки и т.д.). *Рельефом* называют совокупность неровностей земной поверхности (горы, овраги и т.д.). Составленный без изображения рельефа план местности называют *ситуационным (контурным)*. При ортогональном проецировании на горизонтальную плоскость участков земной поверхности размером, не превышающим  $20 \times 20$  км<sup>2</sup>, изображение считают подобным (считается, что данную площадь земной поверхности можно изобразить на плане практически без искажений, т.е. без учета кривизны Земли). Следует отметить, что если кривизна Земли практически не сказывается на длине линии, то для превышений между точками дело обстоит иначе. Так, на расстоянии 100 м при геометрическом нивелировании ошибка, вызванная пренебрежением кривизной Земли, составит 0,8 мм, а на расстоянии 500 м – уже почти 21 мм. Приблизительно подсчитать ошибку можно по формуле:

$$k = \frac{d^2}{2R}. \quad (2)$$

Изображение больших по размерам участков земной поверхности нельзя получить без учета кривизны Земли, т.е. с сохранением подобия. Такие участки ортогонально проецируют на поверхность эллипсоида и переносят на плоскость по определенным математическим законам, которые называются *картографическими проекциями*.

*Картой* называют уменьшенное, обобщенное, построенное по определенным математическим законам изображение на плоскости всей Земли либо значительных ее частей с учетом кривизны уровенной поверхности.

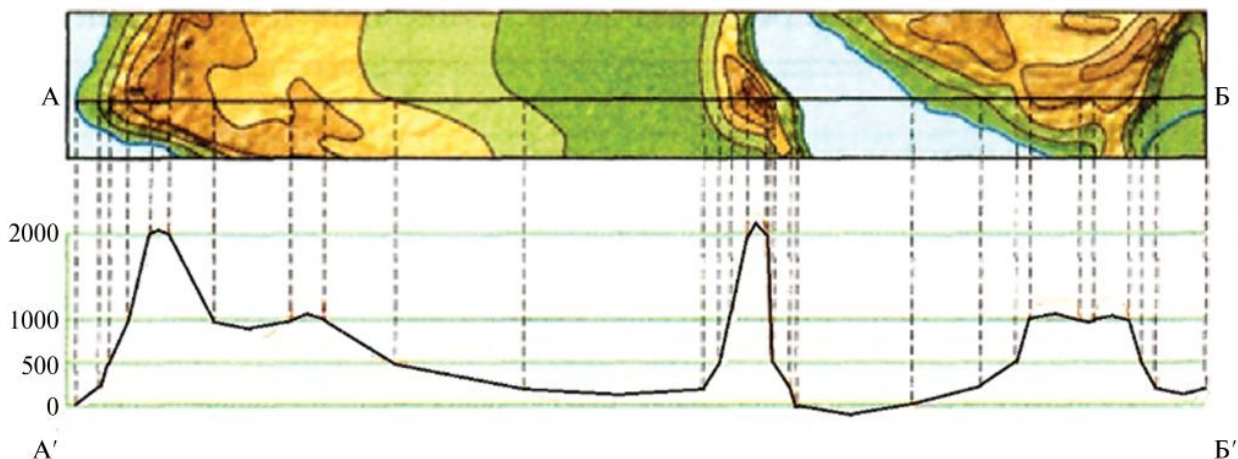
Составленная в проекции Гаусса-Крюгера карта, содержащая изображение ситуации и рельефа, называется *топографической картой*.

Карты, в зависимости от масштаба, условно подразделяют на:

- крупномасштабные – 1:100 000 и крупнее;
- среднемасштабные – от 1:200 000 до 1:1 000 000;
- мелкомасштабные – мельче 1:1 000 000.

Для составления планов применяют масштабы 1:200, 1:500, 1:1000, 1:2000 и 1:5000.

Также к топографическим материалам относят профили местности, представляющие собой уменьшенное изображение вертикального разреза земной поверхности вдоль выбранного направления (рис. 8).



*Рисунок 8 – Профиль местности*

Разрез местности, как правило, представляет собой кривую линию, но на профиле ее изображают в виде ломаной, где поворотные точки ломаной – характерные точки местности. Для наглядности вертикальные отрезки изображают в более крупном масштабе, чем

горизонтальные (как правило, вертикальный масштаб берут в десять раз крупнее горизонтального).

На планах и картах участки местности изображаются в уменьшенном виде. Степень уменьшения изображения отрезка на плане (карте) называют *масштабом*.

Масштаб выражают отношением отрезка на плане (карте) к горизонтальной проекции соответствующего отрезка на местности.

Масштабы могут быть численными, линейными и поперечными.

*Численный масштаб* представляет собой дробь, у которой числитель единица, а знаменатель – число  $M$ , показывающее, во сколько раз предметы местности уменьшались при изображении их на плане или карте. Исходя из определения масштаба, можно записать:

$$\frac{ab}{AB} = \frac{1}{M}, \quad (3)$$

где  $ab$  – отрезок на плане или карте;

$AB$  – соответствующий ему отрезок на местности;

$M$  – знаменатель численного масштаба.

Например, длина линии на местности  $AB=256,0$  м в масштабе 1:1000 будет равна:

$$ab = AB:M = 256,0 \text{ м} : 1000 = 0,256 \text{ м} = 25,6 \text{ см}.$$

Если на плане масштаба 1:500 длина отрезка  $cd = 73$  мм, то на местности ему будет соответствовать отрезок

$$CD = 73 \text{ мм} \cdot 500 = 36500 \text{ мм} = 36,5 \text{ м}.$$

*Линейный и поперечный масштабы* являются графическим изображением численного масштаба.

*Линейный масштаб* представляет отрезок прямой, разделенный на равные части, с подписанными значениями соответствующих им расстояний на местности. Основание масштаба надо выбирать таким, чтобы оно в численном масштабе выражало целое число метров. В настоящем примере оно равно 2 см. Левое крайнее основание линейного масштаба разделено на 10 равных частей, каждая из которых является наименьшим делением линейного масштаба.

Пример:

Измеренный на карте масштаба 1:5000 отрезок оказался равным 7,34 см. (рис. 9, а). Определить соответствующий ему отрезок на местности. Изобразить длину этого отрезка с помощью линейного масштаба.

Решение:

$$AB = ab \times M = 7.34 \times 50 = 73400 \text{ см} = 367 \text{ м}$$

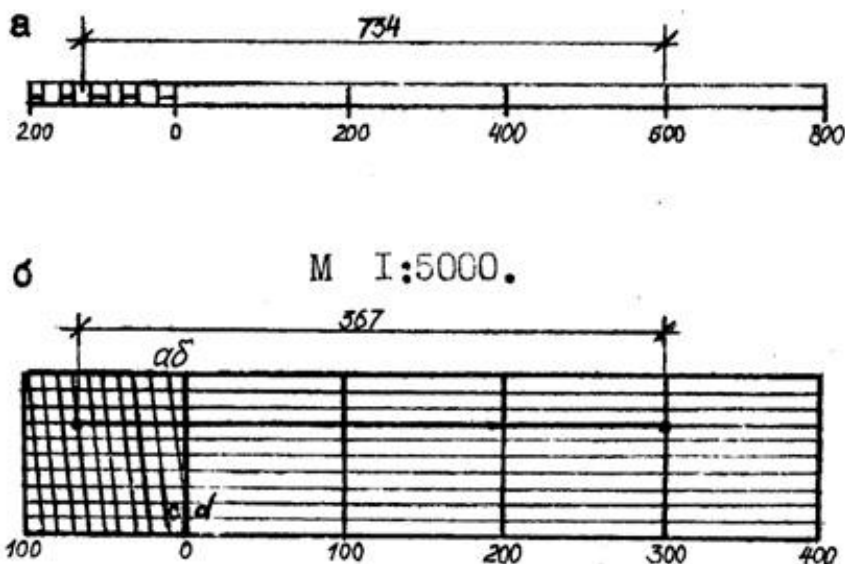


Рисунок 9 – Графические масштабы: а – линейный; б – поперечный

Нередко линейный масштаб не дает высокой точности, поэтому на практике чаще пользуются поперечным масштабом.

Для построения поперечного масштаба (рис. 9, б) на горизонтальной прямой откладывают 5-7 раз основание масштаба, равное 2 см. Из концов отложенных отрезков восстанавливают перпендикуляры. Крайние из них делят на 10 равных частей и соответствующие точки соединяют прямыми, параллельными нижней линии масштаба. Затем первое слева основание и противолежащий ему отрезок на верхней горизонтальной линии также делят на 10 равных частей и точки этого деления соединяют наклонными линиями. Из построения следует, что отрезок  $a = \frac{1}{10}$  основания;  $cd = \frac{1}{10} ab$ .

Применение любого масштаба не может обеспечить точности выше определенного предела, зависящего от свойств человеческого глаза. Невооруженным глазом с расстояния нормального зрения (25 см) можно оценить на плане размер, не превосходящий 0,1 мм.

Точностью масштаба  $\tau$  называют отрезок на местности, соответствующий 0,1 мм на плане данного масштаба:

$$\tau \text{ см} = 0,01 \text{ м.} \quad (4)$$

## 2.3 Ориентирование линий

При выполнении геодезических работ на местности и проектировочных работ на картах и планах необходимо определить положение линий относительно сторон света или ка-кого-нибудь направления, принимаемого за исходное, т.е. сориентировать.

Ориентировать линию значит определить ее направление относительно начального меридиана.

В качестве начальных в геодезии используют три ориентирных направления: осевого меридиана, совпадающего с направлением оси абсцисс, истинного меридиана и магнитного меридиана. В соответствии с этим каждая линия может иметь три основных угла ориентирования: дирекционный угол  $\alpha$ , истинный азимут  $A$  и магнитный азимут  $A_m$  (рис. 9). Дополнительными углами ориентирования являются румбы  $r$ .

Зависимость между основными углами ориентирования определяют по формулам:

$$A_m = \alpha + \gamma \quad (5)$$

$$A_{\text{ист.}} = A_m + \delta = \alpha + \gamma + \delta, \quad (6)$$

где  $\delta$  – склонение магнитной стрелки;

$\gamma$  – сближение меридианов.

При этом западные  $\delta$  и  $\gamma$  берутся со знаком минус, а восточные – со знаком плюс.

*Дирекционным* называется горизонтальный угол, отсчитываемый от северного конца осевого меридиана или линии, параллельной ему, по ходу часовой стрелки до направления данной линии (рис. 10). Дирекционные углы могут иметь значения от 0 до 360°.

Дирекционный угол на карте измеряют от северного направления линии километровой сетки по ходу часовой стрелки до заданного направления. Измерения выполняют при помощи транспортира.

*Румбом* называется острый горизонтальный угол, отсчитываемый от ближайшего направления меридиана (северного или южного) до данной линии. Румбы имеют значения в пределах между 0 и 90°

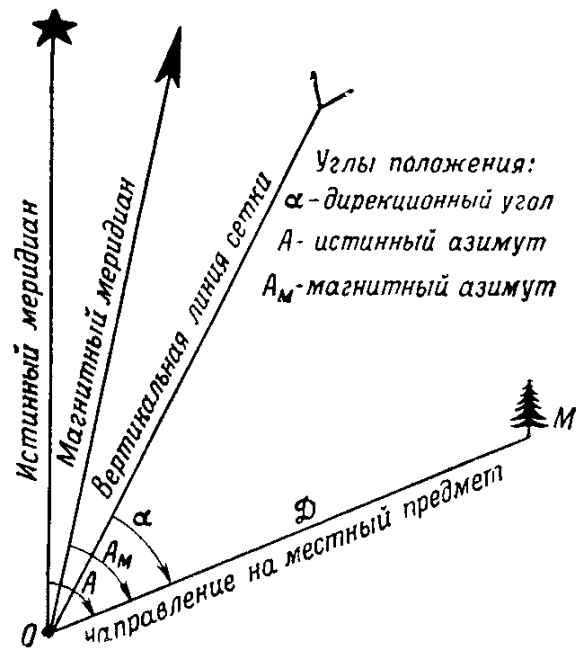


Рисунок 10 – Углы ориентирования и зависимость между ними

На рис. 11 обозначены дирекционные углы и румбы четырех линий: А, В, С, Д, а также показана зависимость между дирекционными углами и румбами по четвертям.

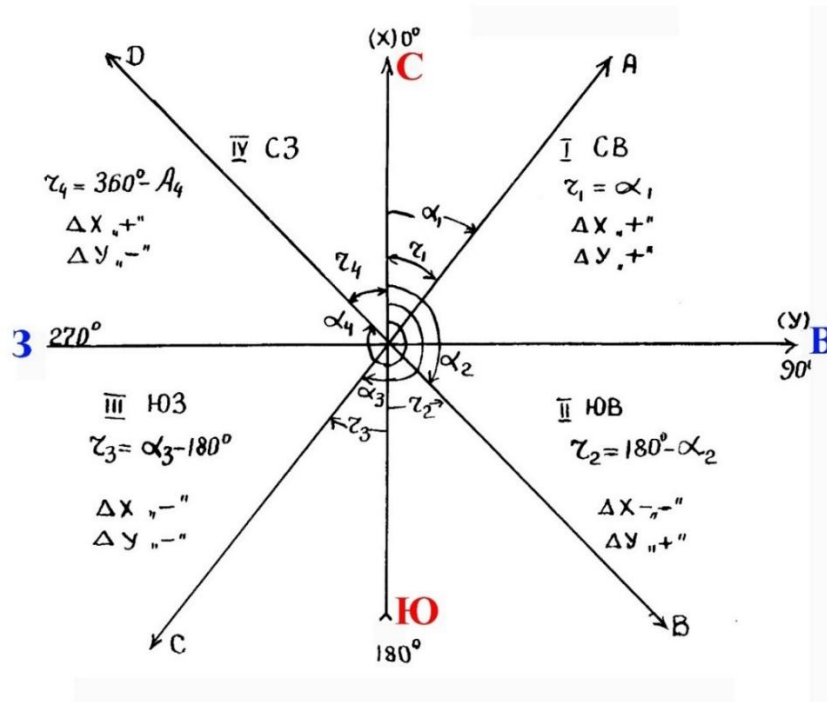


Рисунок 11 – Схема зависимости между дирекционными углами и румбами

Зависимость между прямыми и обратными дирекционными углами показана на рис. 12. Она определяется по формуле

$$\alpha_{\text{обрат.}} = \alpha_{\text{прям.}} \pm 180^\circ \quad (7)$$

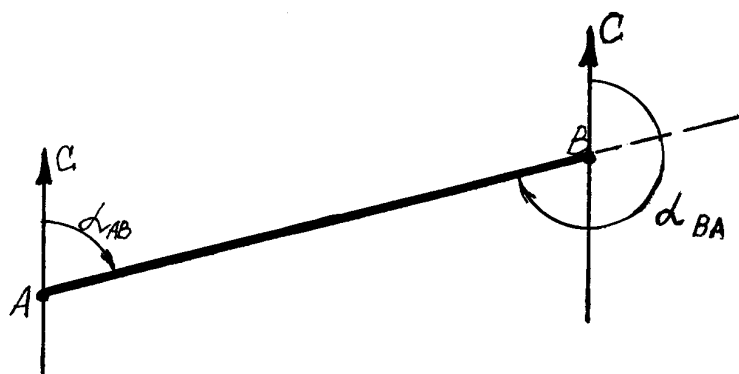


Рисунок 12 – Схема зависимости между прямыми и обратными дирекционными углами

На практике часто пользуются соотношениями между дирекционными углами и углами полигона.

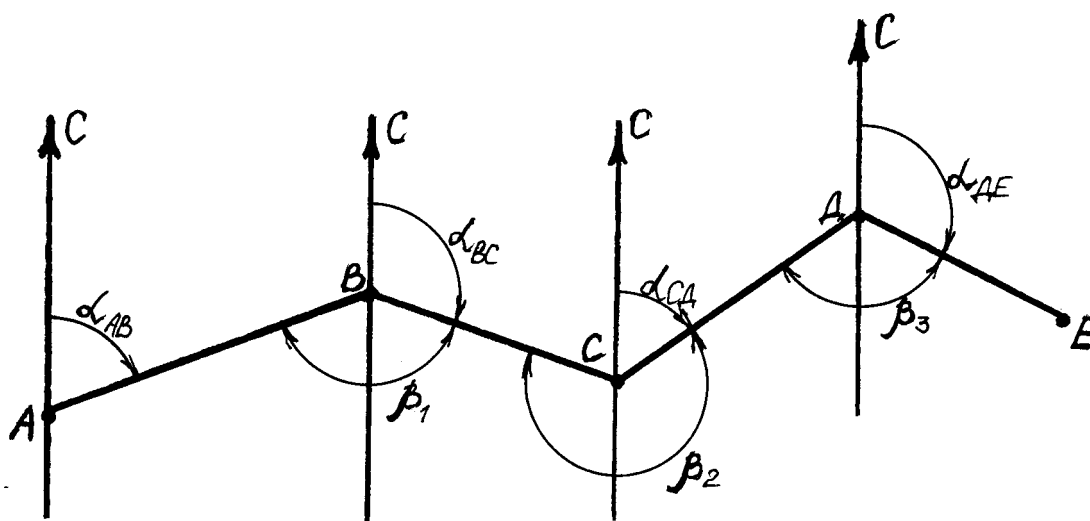


Рисунок 13 – Схема зависимости между дирекционными и внутренними углами в полигоне

В случае правого хода (рис. 13) дирекционные углы последующих направлений определяются по формуле:

$$\alpha_{\text{посл.}} = \alpha_{\text{пред.}} + 180^\circ - \beta, \quad (8)$$

а в случае левого хода:

$$\alpha_{\text{посл.}} = \alpha_{\text{пред.}} - 180^\circ + \beta, \quad (9)$$

где  $\alpha_{\text{посл.}}$  – дирекционный угол следующего направления;  
 $\alpha_{\text{пред.}}$  – дирекционный угол исходного направления;  
 $\beta$  – внутренний угол при следующей вершине.

## 2.4 Прямая и обратная геодезическая задачи

*Прямая геодезическая задача.* Даны координаты первой точки ( $X_1$  и  $Y_1$ ), горизонтальное расстояние от первой до второй точки  $d_{1-2}$  и дирекционный угол  $\alpha_{1-2}$  линии 1-2 (рис. 14). Требуется определить координаты точки 2 ( $X_2$  и  $Y_2$ ).

Из треугольника 1-2-2' находим приращения координат  $\Delta X$  и  $\Delta Y$ .

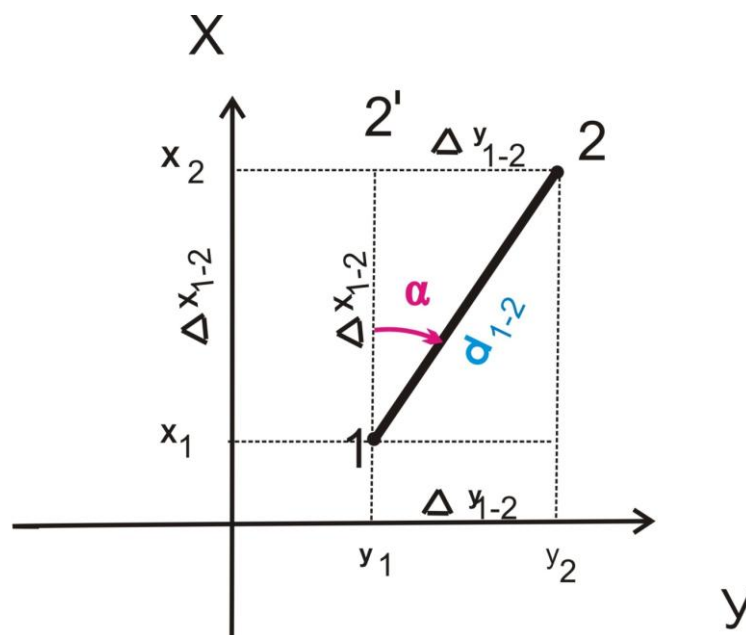


Рисунок 14 – Графическое решение прямой геодезической задачи

Координаты точки 2 находим по формулам:

$$X_2 = X_1 + \Delta X; \quad (10)$$

$$Y_2 = Y_1 + \Delta Y. \quad (11)$$

Например: даны координаты точки 1, дирекционный угол направления 1-2, и расстояние (горизонтальное проложение) между точками 1 и 2. ( $X_1 = 886$  м;  $Y_1 = 222$  м;  $\alpha_{1-2} = 82^\circ 30'$ ,  $d_{1-2} = 604.0$  м). Требуется определить координаты точки 2 ( $X_2$ ;  $Y_2$ ).

Находим приращения координат линии 1 – 2 :

$$\Delta X_{1-2} = d_{1-2} \cdot \cos \alpha_{1-2} = 604,0 \text{ м} \times \cos 82^\circ 30' = 78,84 \text{ м.}$$

$$\Delta Y_{1-2} = d_{1-2} \cdot \sin \alpha_{1-2} = 604,0 \text{ м} \times \sin 82^\circ 30' = 598,83 \text{ м.}$$

Приращения координат по осям  $X$  и  $Y$  имеют положительные значения, так как дирекционный угол отвечает первой четверти.

Перед тем как взять функцию косинуса или синуса, переводим значение градусов из градусной системы в десятичную. Для этого значения минут делим на 60, а затем прибавляем значение градуса.  $(30' : 60) = 0.5 + 48^\circ = 48,5^\circ$ . Эта операция осуществляется при положении DEG на калькуляторе.

Определяем координаты точки 2 по формулам:

$$X_2 = X_1 + \Delta X_{1-2} = 886 + 78.84 = 964.84 \text{ м.}$$

$$Y_2 = Y_1 + \Delta Y_{1-2} = 222 + 598.83 = 820.83 \text{ м.}$$

*Обратная геодезическая задача.* Даны координаты точек 1 ( $X_1=886$  м.,  $Y_1=222$  м.) и 2 ( $X_2=964.84$ ,  $Y_2=820.83$  м.). Требуется определить дирекционный угол ( $\alpha_{1-2}$ ) направления 1-2 и расстояние  $d_{1-2}$ . Из треугольника 1-2-3 (Рис.11), можно определить, что

$$\tan \alpha_{1-2} = \frac{\Delta X}{\Delta Y} \quad (12)$$

Эта формула справедлива только для I четверти, в остальных четвертях мы получаем тангенс румба направления 1-2. Определяем значения приращений координат:

$$\Delta X_{1-2} = X_2 - X_1 = 964,84 - 886 = 78,84 \text{ м.}$$

$$\Delta Y_{1-2} = Y_2 - Y_1 = 820,83 - 222 = 598,83 \text{ м.}$$

Определяем тангенс дирекционного угла:

$\text{tg } \alpha_{1-2} = \Delta Y_{1-2} / \Delta X_{1-2} = 598,83 / 78,84 = 7,5955$ , что соответствует углу  $82,4998^\circ$ . Первые две цифры после запятой соответствуют значениям минут, а вторые секунд. Для того чтобы перевести минуты и секунды из десятичной системы в градусную, умножаем их значения на 0,6.

$49 \times 0,6 = 29'$ ;  $98 \times 0,6 = 59''$ , таким образом  $r_{1-2} = 82^\circ 29' 59''$  Так как знаки приращения координат имеют положительные значения и дирекционный угол отвечает первой четверти, следовательно:  $\alpha_{1-2} = r_{1-2} = 82^\circ 29' 59''$ .

Расстояние  $d_{1-2}$  определяем по формулам:

$$d_{1-2} = \Delta X_{1-2} / \cos \alpha_{1-2}, \quad (13)$$

$$d_{1-2} = \Delta Y_{1-2} / \sin \alpha_{1-2} \quad (14)$$

Определяем длину линии 1-2:

$$d_{1-2} = \Delta X_{1-2} / \cos \alpha_{1-2} = 78.84 / 0.13053 = 603.99 \text{ м.}$$

$$d_{1-2} = \Delta Y_{1-2} / \sin \alpha_{1-2} = 598.83 / 0.991444 = 603.99 \text{ м.}$$

$$d_{1-2 \text{ ср}} = 603.99 \text{ м.}$$

Длину линии можно определить по теореме Пифагора. По формуле:

$$d = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2} \quad (15)$$

Незначительная разница между длинами прямой и дирекционными углами объясняется округлением количества знаков после запятой при расчетах.

### **Контрольные вопросы**

1. Форма земли и её размеры?
3. Суть метода проекции в геодезии
4. Как определяется положение точки в прямоугольной системе координат
5. Что значит ориентировать линию на местности?
6. Что называется румбом линии?
7. Что называется дирекционным углом линии?
8. Какая зависимость между азимутами и румбами?
9. Зависимость между прямым и обратным азимутом
10. Связь между дирекционными и внутренними углами полигона?
11. Как определить внутренний угол, если известны дирекционные углы его сторон?

## 3 ТОПОГРАФИЧЕСКИЕ КАРТЫ И ПЛАНЫ.

План

3.1 Понятие топографического плана и карты

3.2 Элементы карты.

3.3 Генерализация.

3.4 Условные знаки, виды, таблица условных знаков.

### 3.1 Понятие топографического плана и карты

Участки земной поверхности, как правило, изображают на плоском листе бумаги. Для решения различных практических и инженерных задач пользуются изображениями земной поверхности, которые представляют в виде планов и карт, либо в виде их электронных аналогов – цифровых моделей местности (ЦММ) или цифровых карт (ЦК), на которых представлены контуры объектов местности: лесов, угодий, рек и озер, дорог, зданий и сооружений, линий электропередач, линий связи, рельефа местности и других объектов согласно принятым условным обозначениям.

*Картой* называют уменьшенное и обобщённое изображение на плоскости значительных участков земной поверхности, полученное в определенных масштабе и проекции, а также с использованием условных знаков. Для изготовления карты объекты местности проектируют на поверхность земного эллипсоида и полученное изображение переносят на плоскость. Такой перенос невозможно выполнить без искажений, определённых законом перехода от геодезических координат объектов к плоским координатам карты, то есть, картографической проекцией.

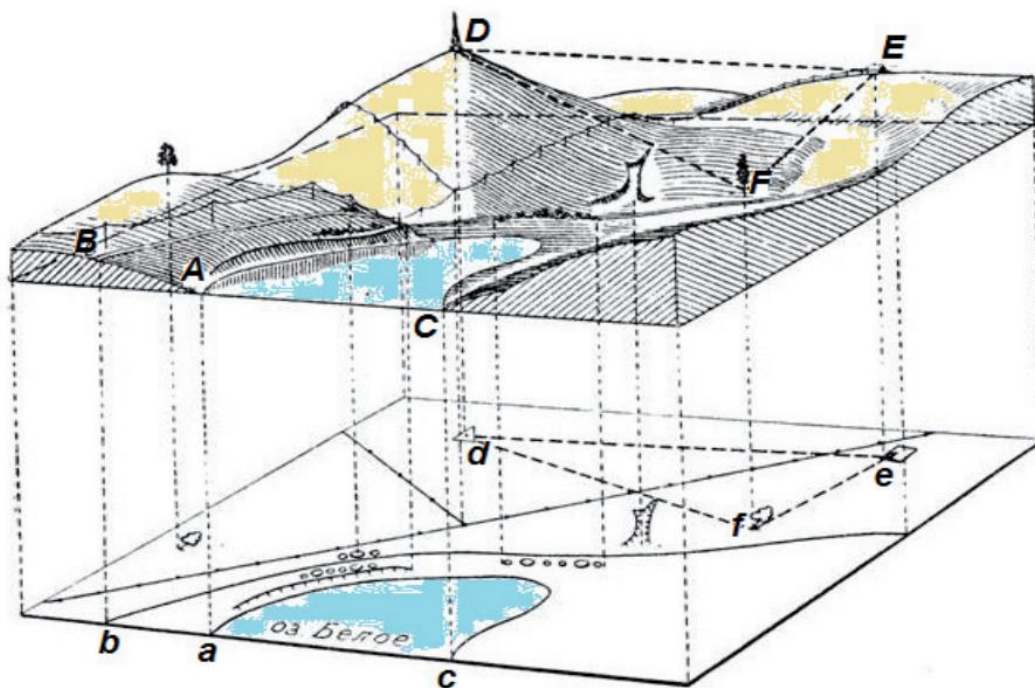
Топографические карты в России издают в поперечной цилиндрической проекции Гаусса – равноугольной проекции, в которой прямыми линиями без искажений изображаются осевой меридиан зоны и экватор. В то же время небольшую часть поверхности Земли можно без ущерба для точности принять за плоскость и получить ее изображение на бумаге с сохранением полного подобия всех очертаний местности. Такое изображение называется *планом*.

В результате специальных расчетов установлено, что в средних широтах за плоскость может быть принят любой участок земной поверхности, составляющий по меридиану 20' и по параллели 30'.

В геодезии используют ортогональный метод проектирования, при котором точки земной поверхности А, В, С, D, E, F (рис. 15) проектируют отвесными линиями на уровенную (горизонтальную) поверхность и получают горизонтальную проекцию соответствующих точек физической земной поверхности а, b, с, d, e, f.

Изображение местности, полученное в ортогональной проекции, оказывается весьма удобным для изучения геометрических соотношений между объектами местности. Это объясняется тем, что углы на таком изображении равны или весьма близки углам между соответствующими направлениями на местности, а расстояния – соответственно пропорциональны. Заметим, что на горизонтальной плоскости показываются не наклонные расстояния измеренные на местности называемые наклонными дальностями, а их горизонтальные проекции или горизонтальные проложения.

Изображение контуров различных объектов оказывается по начертанию подобным соответствующим контурам в натуре. Таким образом, изображение местности, полученное в ортогональной проекции, позволяет производить измерение углов и расстояний, определять конфигурацию и взаимное расположение местных предметов, находить свое местоположение и направление движения или, как это принято называть, ориентироваться на местности.



*Рисунок 15 – Перенос на карту объектов реальной действительности в ортогональной проекции*

## 3.2 Элементы карты

Элементы карты – это ее составные части, включающие само картографическое изображение, легенду и зарамочное оформление.

Основной элемент картографическое изображение, т.е. содержание карты, совокупность сведений об объектах и явлениях, их размещении, свойствах, взаимосвязях, динамики.

Картографическое изображение строится на математической основе, элементами которой на карте являются координатные сетки, масштаб и геодезическая основа. На мелкомасштабных картах геодезическая основа не показывается. С математической основой тесно связана и компоновка карты, т.е. взаимное размещение в пределах рамки самой изображаемой территории, название карты, легенды, дополнительных карт и других данных.

Вспомогательное оснащение карты облегчает чтение и пользование ею. Оно включает различные картометрические графики (например: графики уклонов), схемы изученности картографируемой территории и использованных материалов, разнообразные справочные сведения. К дополнительным данным относятся карты-врезки, фотографии, диаграммы, графики, профили, текстовые и цифровые данные. Они не принадлежат непосредственно картографическому изображению или легенде, но тематически связаны с содержанием карты, дополняют и поясняют его.

## 3.3 Генерализация

*Картографическая генерализация* (от лат. *generalis* – главный, общий) – это процесс отбора и целенаправленного обобщения содержания географических карт при их составлении.

Суть генерализации состоит в передаче на карте основных, типичных черт объектов, их характерных особенностей и взаимосвязей, соответственно назначению, масштаба и тематики. Генерализация усиливает познавательную ценность карт, сохраняя и подчеркивая существенное и устраняя второстепенные детали. Генерализация имеется на всех географических картах, но ее эффект особенно проявляется при сравнении карт разных масштабов на одну и ту же местность – с уменьшением масштаба уменьшается количество изображаемых объектов. Свои особенности картографическая генерализация имеет на

тематических картах, которые по содержанию более разнообразны, чем общегеографические.

Основными факторами, которые определяют степень генерализации на топографических картах являются масштаб, географические особенности территории и назначение.

Отбор картографируемых объектов имеет целью ограничить содержание карты только главными типичными объектами, опускаются менее существенные и мелкие детали. Например, на картах масштабов 1: 10 000–1: 100 000 не изображаются водоемы площадью менее чем 1мм<sup>2</sup>, поляны в лесу менее 4 мм<sup>2</sup>.

Переход от отдельных объектов к их сборным обозначениям проявляется в замене значков отдельных объектов обозначениями обобщенного понятия: на крупномасштабных картах населенные пункты показывают отдельными строениями, на среднемасштабных – кварталами и объединением кварталов, а на мелкомасштабных пунсонами.

### **3.4 Условные знаки, виды, таблица условных знаков.**

Важнейший элемент всякой карты – легенда, т. е. система использованных на ней условных обозначений и текстовых пояснений к ним. Для топографических карт составлены специальные таблицы условных знаков.

Они стандартизированы и обязательны к применению на всех картах соответствующего масштаба.

*Картографические условные знаки* – это графические построения определенной величины, формы и цвета, с помощью которых на картах изображаются различные географические объекты и предметы местности. Все объекты местности изображаются на планах в ортогональной проекции (вид сверху) в виде линий, точек или контуров. Относительно линий и точек, которые соответствуют действительному положению предметов на местности, строят условные знаки, а внутри контуров дают пояснительные условные знаки, как правило, по форме и внешнему виду напоминающие изображаемый предмет. Такой подход к изображению родственных объектов единообразными условными знаками способствует их лучшему запоминанию.

Условные знаки разработаны таким образом, чтобы их можно было легко построить и вычертить от руки или с помощью чертежных инструментов, а также с учетом оптимальности пропорций его

конструкции, возможности их воспроизведения в печати без потери качества. Большинство условных знаков представляет собой сочетание точек, линий, штрихов и простейших геометрических фигур. Чтобы улучшить читаемость карты и различить отображаемые объекты местности, для условных знаков введены следующие цвета: синий – при изображении гидрографии, коричневый – рельефа, черный – населенных пунктов, дорожной сети и др.

Большое разнообразие объектов местности по форме, площади привело к классификации условных знаков (рис. 16).

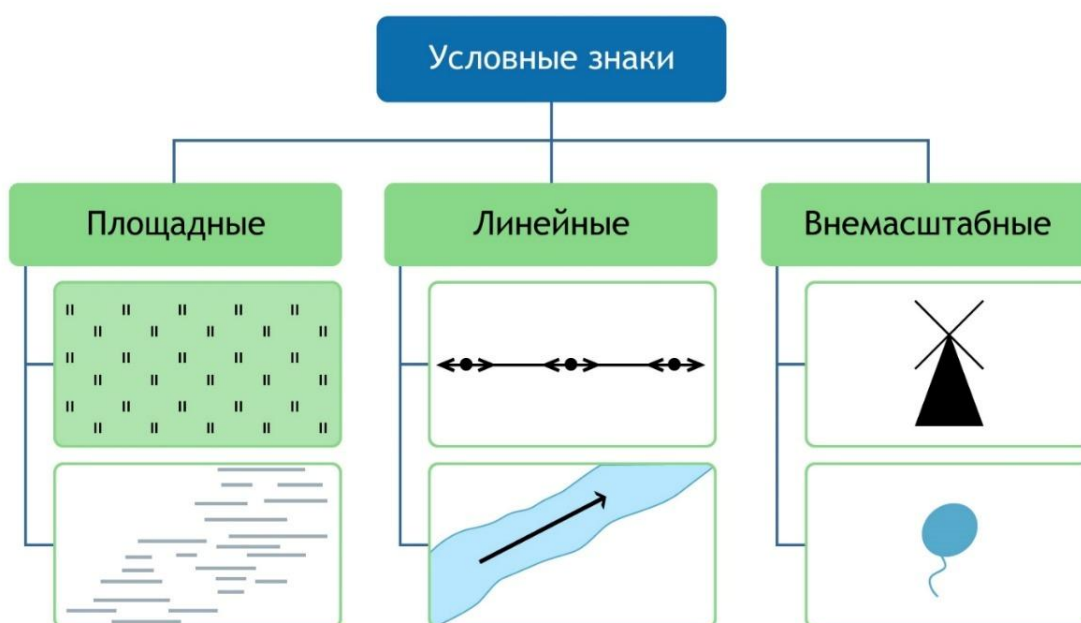


Рисунок 16 – Основные вид условных знаков

*Масштабные условные знаки.* Масштабные условные знаки применяются тогда, когда размеры объектов местности выражаются в масштабе карты. Объекты, проектируемые на карту в виде ограниченной контуром площади и заполняемые внутри условными знаками или подписью, называются площадными. Внутри площади условные знаки размещают равномерно в произвольной или в строго определенной расстановке. Условные знаки, заполняющие всю площадь, не указывают ни местоположение самих предметов в пределах контура, ни их количество. Иногда вместо заполняющих условных знаков применяется фоновая окраска. Иногда применяют заполнение площади штриховым условным знаком по фоновой окраске. Часто на оригинале

карты вместо заполняющего условного знака внутри контура дают пояснительную подпись.

*Линейные условные знаки.* К линейным условным знакам относятся условные знаки, имеющие линейное протяжение, - дороги, границы, изгороди и т.д. Линейные условные знаки сохраняют в масштабе карты протяженность того или иного объекта, а ширину объекта могут преувеличивать. На планах масштаба 1: 2000, 1: 5000 и т.д. дороги выражаются в масштабе карты не только по длине, но и по ширине.

*Внемасштабные условные знаки.* К этому виду относятся условные знаки отдельных объектов местности, площадь которых не выражается в масштабе карты. К таким предметам местности можно отнести пункты государственной геодезической сети, отдельно стоящие деревья, указатели дорог, мельницы и т.д. Условный знак центрируется на точку по-разному, в зависимости от его формы и рисунка: если условный знак имеет вид геометрической фигуры, то действительному положению на местности такого предмета соответствует его геометрический центр; если в рисунке условного знака имеется прямой угол, то за центр знака принимают вершину угла или основание подошвы знака; если условный знак изображается фигурой с широким основанием, то такой знак центрируется на точку серединой основания; если условный знак представляет собой сочетание нескольких фигур, то такой знак центрируется на точку центром нижней фигуры.

*Пояснительные условные знаки.* В особую группу относят пояснительные подписи и цифровые данные, которые дают на карте дополнительную качественную или количественную характеристику. Они, как правило, применяются в сочетании с другими условными знаками. К пояснительным условным знакам относятся, например, знаки, обозначающие преобладающую породу леса или кустарника, среднюю высоту деревьев или кустарника.

Часто пояснительная подпись на карте дается в сокращенном виде. Обычно она располагается справа от условного знака или на свободном месте там, где она хорошо видна. Подпись помещают на таком расстоянии от условного знака, чтобы не возникло сомнения, к какому условному знаку она относится, параллельно северной и южной рамкам карты.

Рисунок, цвет и размеры условных знаков для топографических карт и планов установлены в специальных таблицах условных знаков. Таблицы условных знаков, издаваемые в РФ, являются обязательными

для всех ведомств и учреждений, ведущих съемку или составление топографической карты (плана) в том или ином масштабе. Условные знаки всех масштабов являются стандартными и, как правило, согласованными между собой по форме (начертанию) и цвету.

Условные знаки в таблицах «Условные знаки для топографической карты масштаба 1:10 000», изданных в 1977 г. сгруппированы по разделам соответственно основным объектам местности: геодезические пункты; населенные пункты и отдельные строения; промышленные, сельскохозяйственные и социально-культурные объекты; железные дороги и сооружения при них; гидрография; рельеф; растительность; грунты и микроформы земной поверхности; границы и ограждения. Кроме самих условных знаков, в таблицах помещаются образцы шрифтов надписей, масштабов заложений, оформления рамок и зарамочного оформления, примеры сочетания условных знаков и пояснения к ним.

Большинство таблиц условных знаков состоит из трех граф: в первой графе помещается порядковый номер условного знака, во второй – название условного знака, в третьей – его изображение. Условный знак следует вычерчивать тем цветом, каким он дан в таблицах условных знаков. Исключение составляют элементы гидрографии. При вычерчивании съемочного оригинала штриховой рисунок синего цвета заменяют на зеленый.

### **Контрольные вопросы**

1. Что относится к основным элементам карты?
2. Что представляет собой карт компоновка карты?
3. С какой целью проводят картографическую генерализацию?
4. Укажите основные виды условных знаков и их назначение.
5. Каково назначение таблиц условных знаков?
6. Какие требования предъявляются к выполнению условных знаков топографических карт?

## 4 ИЗОБРАЖЕНИЕ РЕЛЬЕФА НА КАРТЕ И ПЛАНЕ

### План

#### 4.1 Рельеф и его способы его изображения

#### 4.2 Характеристика рельефа по карте

### 4.1 Рельеф и его способы его изображение на карте

Совокупность неровностей земной поверхности называют *рельефом*.

Из всех элементов местности рельеф играет самую важную роль, потому что он влияет на состояние и положение всех остальных элементов: гидрографию, распределение населенных пунктов, дорог, растительности и т.д. Между всеми этими элементами существует определенная взаимосвязь, на которую оказывает влияние рельеф. Рельеф труднее всего изобразить на карте, потому что необходимо отобразить объемность рельефа, а карта представляет собой плоское изображение местности. Рельеф трехмерен в пространстве и имеет огромное разнообразие объемных форм, которые необходимо передать на плоскости. Поэтому существует несколько способов изображения рельефа, которые в настоящее время так или иначе используются на картах разного назначения (рис. 17).

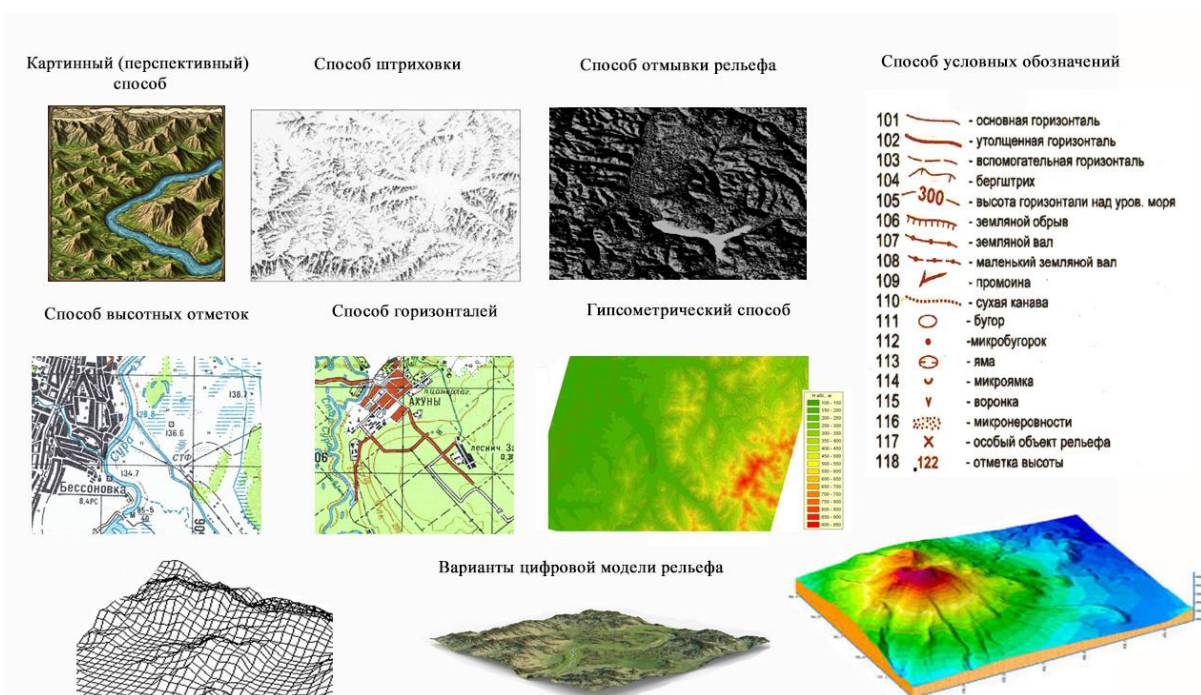


Рисунок 17 – Способы изображения рельефа на картах и планах

1 *Картинный (перспективный) способ.* Этим способом рельеф изображался на старых картах в виде примитивных рисунков возвышенностей, гор, хребтов. Рельеф изображался так, как его видели. Для большей наглядности горы покрывались тенями.

2. *Способ штриховки.* Для передачи более точного представления о пересеченности местности и крутизне склонов картографы используют шкалу штрихов крутизны. Принцип построения таких шкал прост: чем круче склон, тем толще и плотнее штриховка, что отвечает изменению освещенности, при которой крутые склоны как бы покрыты глубокой тенью, а пологие – максимально освещены. Способы штрихов очень хорошо передают пластику рельефа, его морфологию, но не позволяют определять абсолютные и относительные высоты.

3. *Способ отмывки рельефа,* т.е. создание полутонового изображения при заданном освещении местности. Отмывка применяется для придания объемности формам рельефа. Отмывка используется как основной способ изображения рельефа на некоторых мелкомасштабных общегеографических картах, но чаще легкую серую отмывку наносят в дополнение к горизонталям и многоцветной гипсометрической окраске. Этим обеспечивается максимальная пластичность и высокие эстетические качества изображения.

4 *Способ высотных отметок.* Высотные отметки – это подписанные на карте абсолютные отметки высот точек. С помощью высотных отметок показывают характерные высоты, в том числе командные, имеющие наибольшую высоту, с которых реализуется возможность хорошего обзора местности. Выделяют высотные отметки гор, холмов, курганов, перевалов, обрывов и уступов, насыпей и выемок. Они облегчают чтение карты и дают возможность определения превышений одних точек над другими.

5 *Способ горизонталей.* *Горизонталь* – это линия, соединяющая одинаковые отметки высот. Это основной способ изображения рельефа на топографических картах. Существуют следующие виды горизонталей: *сплошные* (проводятся соответственно высоте сечения); *утолщенные* (при сечении 5,0 м и 20 м утолщается каждая пятая горизонталь, при сечении 2,5 м – каждая десятая); *дополнительные* горизонтали, или *полугоризонтали* (проводятся на половине высоты сечения рельефа); вспомогательные горизонтали (проводятся на четверти высоты сечения рельефа).

Понятие о горизонтали можно получить, если представить себе местность, затопленную водой до данной отметки (рис. 18). Береговая линия в этом случае будет горизонталью. Таким образом, горизонталь можно рассматривать как след сечения местности уровнями поверхностью.

Дополняются горизонтали бергштрихами (короткими черточками, перпендикулярными к горизонталям, указывающими направление склона), подписями отметок абсолютных высот характерных точек местности и некоторых горизонталей (отметки подписываются в их разрывах и основанием цифр всегда располагаются вниз по склону). Главным достоинством этого способа является то, что по горизонталям можно осуществлять различные картометрические работы: определять абсолютные высоты точек и превышений одних точек над другими, крутизну и направление склонов и др. По рисунку горизонталей, их форме, густоте проведения можно получить представление о рельефе местности. Правильно подобранная высота сечения рельефа на карте позволяет очень наглядно передать характер рельефа и степень его расчлененности. Поэтому этот способ сегодня используют на государственных топографических картах.

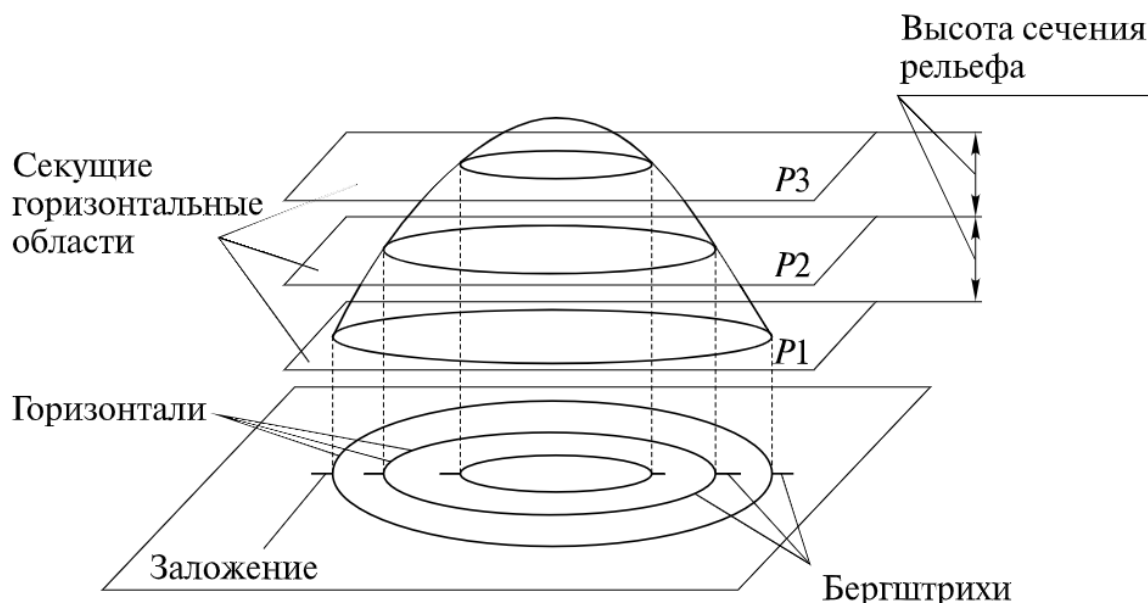


Рисунок 18 – Изображение рельефа горизонталями на плоскости

Свойства горизонталей:

а) Горизонталь – линия равных высот, то есть все её точки имеют одинаковую высоту.

б) Горизонталь должна быть непрерывной плавной линией. Если горизонталь не замыкается внутри карты, то может обрываться только у рамки карты. 2

в) Горизонтали не могут раздваиваться и пересекаться. Исключение – нависающие или обратные скаты, но они могут слиться в одну линию на крутом склоне.

г) Расстояние между горизонталями (заложение) характеризуют крутизну ската. Чем меньше расстояние, тем круче скат.

д) Водораздельные и водосборные линии горизонтали пересекают под прямым углом.

6. *Гипсометрический способ*, или послойная окраска ступеней высот, основной и наиболее применяемый способ изображения рельефа на физических и гипсометрических картах. Горизонтали на обзорных картах называют изогипсами.

7. *Условные обозначения рельефа*. Применяются для отображения форм рельефа, не выражающихся горизонталями: резких нарушений рельефа, например скал, промоин, обрывов, оврагов и т.д. В этих случаях используют знаки коричневого цвета, которые хорошо сочетаются с горизонталями. Искусственные формы рельефа, например уступы карьеров, канавы, насыпи, терриконы и т.п., показывают знаками черного цвета.

8. *Цифровые модели рельефа (ЦМР)*. ЦМР – совокупность (массив, файл) высотных отметок  $Z$ , взятых в узлах некоторой сети точек с координатами  $x$ ,  $y$  и закодированных в числовой форме.

## 4.2 Характеристика рельефа по карте

Выделяют следующие основные формы рельефа:

1. Возвышенности и горы. Если относительная высота возвышенности менее 200 м, то – это холм. Возвышенности более 500 м относительной высоты именуется горами. Наивысшая точка горы или возвышенности – вершина, низ – подошва (подножье), боковые поверхности – скаты (склоны).

2. Котловина, впадина – замкнутое углубление поверхности. Наиболее низкая часть впадины – дно, линия слияния с окружающей местностью – бровка.

3. Хребет – вытянутая в одном направлении возвышенность со скатами в двух противоположных направлениях.

4. Линия встречи скатов называется водоразделом.

5. Лощина – вытянутое в одном направлении понижение с двумя скатами. Линия встречи скатов называется водосливом (тальвегом).

6. Седловина – понижение между двумя возвышенностями. Наиболее низкую точку линии, соединяющей вершины возвышенностей, называют перевалом.

На планах и картах высоты горизонталей изменяются через равные промежутки. Разность высот двух соседних горизонталей называют высотой сечения рельефа (см. рис. 18), а расстояние между соседними горизонталями на плане – заложением. Высоту сечения рельефа выбирают в зависимости от масштаба карты и характера местности в соответствии с Приложением к приказу Минэкономразвития России от 6 июня 2017 г. № 271 «Об утверждении требований к государственным топографическим картам и государственным топографическим планам...».

Нормальное сечение рельефа рассчитывают по формуле:

$$h_c = 0,2 \times M \text{ (мм)}, \quad (16)$$

где  $M$  – знаменатель масштаба карты.

Так, для карты масштаба 1 : 25 000,  $h_c = 0,2 \times 25\,000 = 5\,000$  мм = 5 м. Такая высота сечения применяется для составления карт соответствующего масштаба на равнинные, пересеченные и предгорные территории. При картографировании плоскоравнинных территорий высота сечения должна быть уменьшена до 2,5 м, высокогорных – увеличена до 10 м.

В России высоты сечения рельефа для карт разных масштабов и разных типов рельефа регламентированы инструкциями по составлению топографических карт и планов. На топографической карте высота сечения рельефа всегда указана в виде фразы «Сплошные горизонталы проведены через ... метров». Горизонталы, полученные в результате сечения поверхности с таким шагом, называются основными и отображаются сплошными линиями. Каждую пятую горизонталь утолщают и подписывают в разрыве основанием цифры в сторону падения ската (рис. 19).

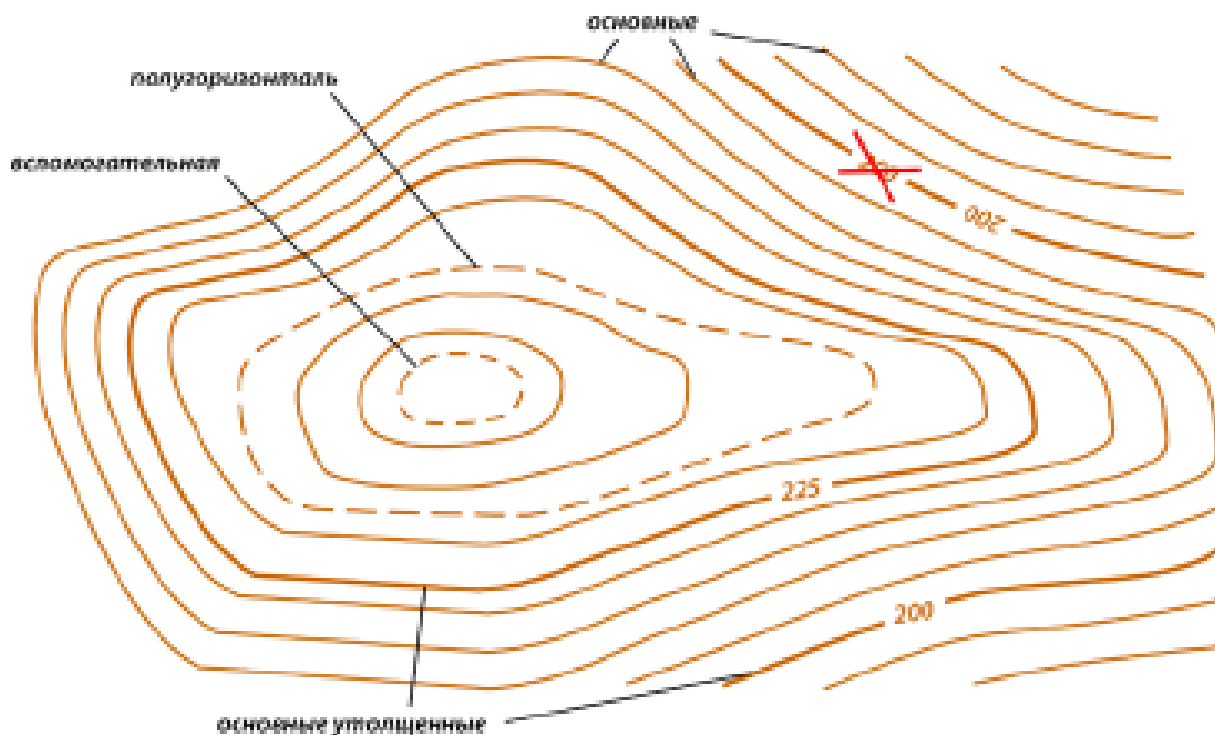


Рисунок 19 – Изображение горизонталей на топографической карте

При низкой плотности горизонталей на равнинных и плоских территориях проводят дополнительное сечение поверхности с шагом, равным половине основной высоты сечения. Полученные горизонталю отображают пунктирными линиями и называют дополнительными или полугоризонталями.

При отрисовке замкнутых форм рельефа для корректного отображения вершины или днища иногда проводят вспомогательные горизонталю с произвольным шагом, величина которого меньше основной высоты сечения, например,  $1/3$  или  $2/3$ . Такие горизонталю нужны для более верного отображения формы рельефа.

По изображению горизонталей можно определять формы рельефа, судить о его качественных и количественных характеристиках.

Для определения направления понижения ската пользуются черточками, называемыми бергштрихами (см. рис. 18). Как правило, бергштрихи проводят по линиям водораздела либо по линиям водотока. Для указания высот горизонталей их отметки подписывают в разрывах горизонталей, располагая верх цифр по направлению верха ската.

О крутизне ската можно судить по величине заложений на карте. Чем меньше заложение, тем круче скат. Для характеристики крутизны ската используют угол наклона  $\nu$  между линией, соединяющей данные точки, и урoвневной поверхностью (рис. 20). Чем больше угол наклона, тем круче скат.

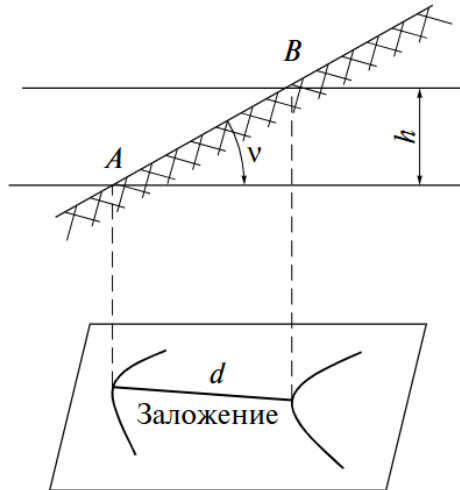


Рисунок 20 – Определение крутизны ската

Другой характеристикой крутизны служит уклон. Уклоном линии местности называют отношение превышения к горизонтальному проложению:

$$i = \frac{h}{d} = \tan v, \quad (17)$$

где  $h$  – превышение между точками А и В, м;

$d$  – горизонтальное проложение, м.

Уклон – безразмерная величина, его выражают в процентах или в промилле. Иными словами, величина уклона равна тангенсу угла между величиной подъёма склона и горизонталью (тангенсу угла наклона).

Например, подъёму 12 метров на 100 метров перемещения по горизонтали соответствует уклон, равный 0,12 (12 % или 120 ‰). При чтении нотации знак «%» произносится «сотых», а «‰» – «тысячных».

Обычно уклон определяют графически, пользуясь графиком заложений (рис. 21).

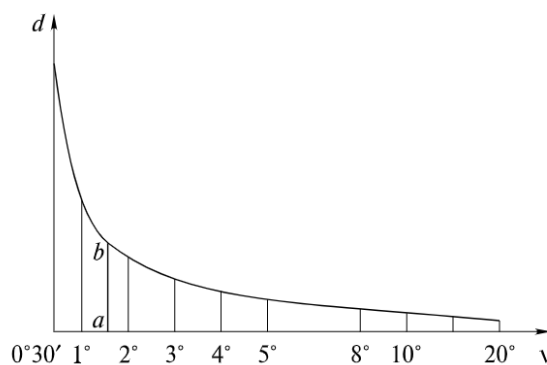


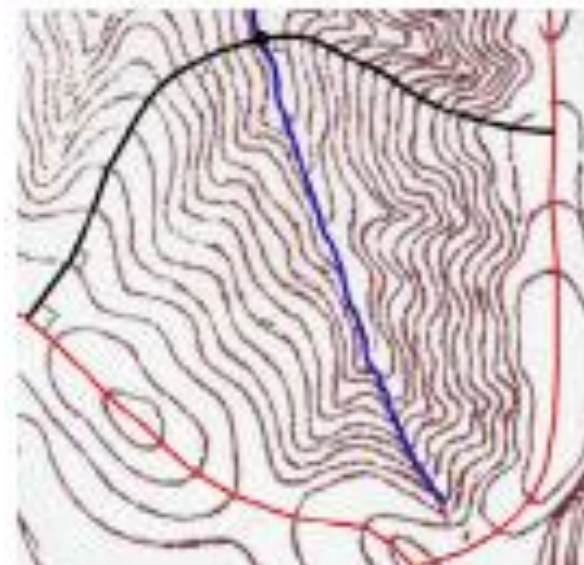
Рисунок 21 – График заложений (линия  $a-b$  – соответствует горизонтальному проложению линии  $d$  рис. 20)

Величина заложения определяет крутизну склона, а изменение заложения – его форму (прямой, вогнутый, выпуклый) (рис. 22). Хорошо в рисунке горизонталей читаются долины рек и эрозионных форм.



*Рисунок 22 – Основные формы рельефа и формы склонов*

Водосборной площадью называется участок земной поверхности, с которого вода по условиям рельефа должна стекать в водоток (лощину, тальвег). Границы водосборных площадей проходят по водоразделам. Для любой заданной точки или линии на топографической карте можно выделить водосборную площадь (рис. 22).



*Рисунок 22 – Линии границ водораздела (красным), тальвега (синим) и подножье склона (черным).*

При определении границ водосбора можно руководствоваться следующим правилом: один водораздел разделяет минимум два тальвега, или два тальвега разделены одним водоразделом. Для этого нужно от точки или крайних точек линии провести перпендикуляр к ближайшей горизонтали (на рисунке черные линии, соответствующие линиям наибольшего ската), затем от точки пересечения к следующей горизонтали и т.д. Восстанавливать перпендикуляры (черные линии) нужно до ближайшей водораздельной линии (красные линии), а далее следовать ей. Замкнутый контур (на рисунке он ограничен черными и красными линиями) необходимо перенести на кальку или прозрачную миллиметровую бумагу.

Изображение рельефа на картах и планах — одна из важнейших задач топографии, поскольку рельеф оказывает влияние на все аспекты хозяйственной и инженерной деятельности. Наиболее точным и универсальным способом передачи рельефа является способ горизонталей, который позволяет не только визуально воспринимать форму земной поверхности, но и выполнять количественные расчёты — определять высоты точек, превышения, уклоны и крутизну скатов. Дополнительно применяются бергштрихи, высотные отметки и условные знаки для передачи деталей рельефа, не выражаемых горизонталями. Владение методами интерпретации рельефа по горизонталям является необходимым навыком для специалистов по землеустройству и кадастрам, поскольку позволяет анализировать пригодность территорий для различных видов землепользования, проектировать инженерные сооружения и проводить планировочные мероприятия.

### **Контрольные вопросы**

1. Какие существуют основные способы изображения рельефа на топографических картах и планах? Назовите их и кратко охарактеризуйте.
2. Что такое горизонтали и каковы их основные свойства?
3. Как определяется высота сечения рельефа и от чего она зависит?
4. Что такое заложение и как оно связано с крутизной ската?
5. Как с помощью горизонталей и бергштрихов можно определить форму рельефа (например, холм, котловину, хребет или лощину)?

## 5 КООРДИНАТИЗАЦИЯ ПРОСТРАНСТВА РОССИИ

План:

5.1 Государственные геодезические (плановые) сети.

5.2 Высотная (нивелирная) сеть.

5.3 Геодезические съемочные сети.

5.4 Плановая привязка вершин теодолитного хода к пунктам государственной геодезической сети.

### 5.1 Государственные геодезические (плановые) сети

Геодезические измерения сводятся к определению взаимного положения точек на земной поверхности. Чтобы ослабить влияние ошибок измерений и не допустить их накопления при геодезической съемке участков местности, принято за правило вести работу от общего к частному. Для этого из множества определяемых точек участка земной поверхности выделяют наиболее характерные и определяют в первую очередь их положение. Такие точки называют *опорными*. Эти точки образуют *геодезическую опорную сеть* (геодезическое основание), т.е. составляют как бы общую канву, на основе которой с необходимой, хотя и более низкой точностью производится дальнейшая съемка.

Для того чтобы результаты съемок были надежны, все важнейшие геодезические действия должны выполняться с контролем. Поэтому в основе качества геодезических работ лежит принцип ни одного шага вперед без контроля предыдущих действий.

С 1919 года в нашей стране было положено начало научно-обоснованной организации всех топографо-геодезических работ. Исполнительные, контрольные, разрешительные и надзорные функции при их производстве были объединены в Высшем геодезическом управлении (ВГУ). Впоследствии оно было преобразовано в Главное управление геодезии и картографии. С 1 марта 2009 года эти функции переданы Федеральной службе государственной регистрации, кадастра и картографии.

Одной из важнейших задач данного государственного органа является создание государственной геодезической сети (ГГС) на территории нашей страны.

*Государственной геодезической сетью* является совокупность опорных геодезических пунктов, прочно закрепленных на местности, взаимное расположение которых точно определено в единой государственной системе координат и высот.

Геодезические сети подразделяются на государственную геодезическую сеть, геодезическую сеть сгущения и съемочную геодезическую сеть. Государственная геодезическая сеть является исходной для других геодезических сетей. Она делится на плановую и высотную.

*Плановая государственная геодезическая сеть* создается астрономическим или геодезическим методами. При астрономическом методе плановое положение каждого из отдельных пунктов сети определяется независимо друг от друга из астрономических наблюдений.

*Геодезический метод* состоит в том, что для определения координат точек находят из астрономических наблюдений координаты только нескольких точек, называемых *исходными*. Дальнейшее определение планового положения точек производят путем геодезических измерений на местности.

*Высотная государственная геодезическая сеть* создается методом геометрического нивелирования.

Основными методами создания государственной геодезической сети являются триангуляция, трилатерация, полигонометрия и спутниковые координатные определения. Триангуляция (рис. 23, а) представляет собой цепь прилегающих друг к другу треугольников, в каждом из которых измеряют высокоточными теодолитами все углы. Кроме того, измеряют длины сторон в начале и конце цепи.

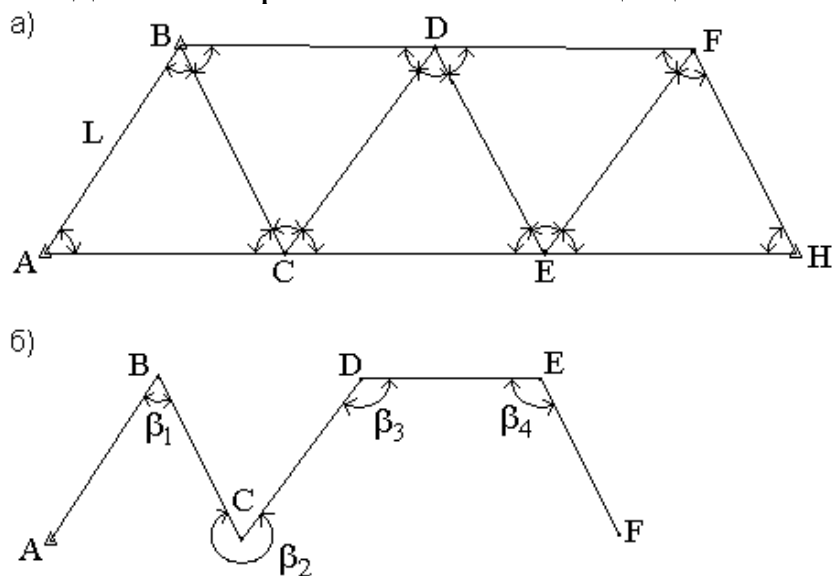


Рисунок 23 – Схема триангуляции (а) и полигонометрии (б)

В сети триангуляции известными являются базис  $L$  и координаты пунктов  $A$  и  $B$ . Для определения координат остальных пунктов сети измеряют в треугольниках горизонтальные углы.

*Триангуляция делится на классы 1, 2, 3, 4.* Треугольники разных классов различаются длинами сторон и точностью измерения углов и базисов.

Развитие сетей триангуляции выполняется с соблюдением основного принципа «от общего к частному», т.е. сначала строится триангуляция 1 класса, а затем последовательно 2, 3 и 4 классов.

Съемочную сеть, развиваемую методом триангуляции, называют *микротриангуляцией*. Микротриангуляцию применяют только на открытой местности.

Пункты государственной геодезической сети закрепляются на местности центрами. Для обеспечения взаимной видимости между пунктами над центрами устанавливают геодезические знаки деревянные или металлические. Они имеют приспособление для установки прибора, платформу для наблюдателя и визирное устройство.

В зависимости от конструкции, наземные геодезические знаки подразделяются на пирамиды и простые и сложные сигналы.

Типы подземных центров устанавливаются в зависимости от физико-географических условий региона, состава грунта и глубины сезонного промерзания грунта. Например, центр пункта государственной геодезической сети 1-4 классов типа 1 согласно инструкции «Центры и реперы государственной геодезической сети» предназначен для южной зоны сезонного промерзания грунтов. Он состоит из железобетонного пилона сечением  $16 \times 16$  см (или асбоцементной трубы 14-16 см, заполненной бетоном) и бетонного якоря. Пилон цементируется в якорь. Основание центра должно располагаться ниже глубины сезонного промерзания грунта не менее 0,5 м и не менее 1,3 м от поверхности земли. В верхней части знака на уровне поверхности земли бетонируется чугунная марка. Над маркой в радиусе 0,5 м насыпается грунт слоем 10-15 см. В 1,5 м от центра устанавливается опознавательный столб с охранной плитой.

В настоящее время широко используют радиотехнические средства для определения расстояний между пунктами сети с относительными ошибками  $1:100\,000 - 1:1\,000\,000$ . Это дает возможность строить геодезические сети методом *трилатерации*, при которой в сетях

треугольников производится только измерение сторон. Величины углов вычисляют тригонометрическим способом.

*Метод полигонометрии* (рис. 23, б) состоит в том, что опорные геодезические пункты связывают между собой ходами, называемыми *полигонометрическими*. В них измеряют расстояния и справа лежащие углы.

*Спутниковые методы* создания геодезических сетей подразделяются на геометрические и динамические. В геометрическом методе искусственный спутник Земли используют как высокую визирную цель, в динамическом – ИСЗ является носителем координат.

*Специальную сеть* создают для геодезического обеспечения строительства зданий и сооружений. Плотность пунктов, схема построения и точность сетей зависит от специфики объекта строительства.

*Опорная межевая сеть (ОМС)* является геодезической сетью специального назначения, которую создают для планового обеспечения государственного земельного кадастра, государственного мониторинга земель, землеустройства и других мероприятий по управлению земельным фондом России.

Опорные межевые сети 1 класса создают для установления (восстановления) границ городской территории, границ земельных участков, как объектов недвижимости, находящихся в собственности граждан или юридических лиц.

Опорные межевые сети 2 класса создают в черте поселений для решения задач на землях сельскохозяйственного назначения; для межевания земельных участков, государственного мониторинга, инвентаризации земель; для обновления планов земель.

Средние квадратические погрешности взаимного положения пунктов не должны превышать для ОМС1 0,05 м, для ОМС2 – 0,10 м. Плотность пунктов должна быть не менее: четырех на 1 км<sup>2</sup> – в черте города; двух на 1 км<sup>2</sup> – в черте других поселений; четырех на один населенный пункт в поселениях, площадь которых менее 2 км<sup>2</sup>.

На землях сельскохозяйственного назначения и других землях число пунктов ОМС устанавливают на основе технического проекта. Координаты пунктов ОМС определяют либо глобальными спутниковыми системами ГЛОНАСС и GPS, либо наземными способами: триангуляцией, полигонометрией, трилатерацией и их комбинациями.

## 5.2 Высотная (нивелирная) сеть

Государственная высотная геодезическая сеть – это нивелирная сеть I, II, III и IV классов. При этом сети I и II классов являются высотной основой, с помощью которой устанавливается единая система высот на всей территории страны.

На линиях I, II, III и IV классов закладывают вековые, фундаментальные, грунтовые, скальные, стенные и временные реперы (марки). Вековые и фундаментальные реперы закладываются в скальные породы или в грунт. Они отличаются повышенной устойчивостью и обеспечивают сохранность высотной основы на длительное время.

Вековыми реперами закрепляют места пересечений линий нивелирования I класса, а фундаментальные – закладывают на линиях I и II классов не реже, чем через 60 км (рис. 24).

Временные реперы используют в качестве высотной основы при топографических съемках, а также включают в линии нивелирования II, III и IV классов.

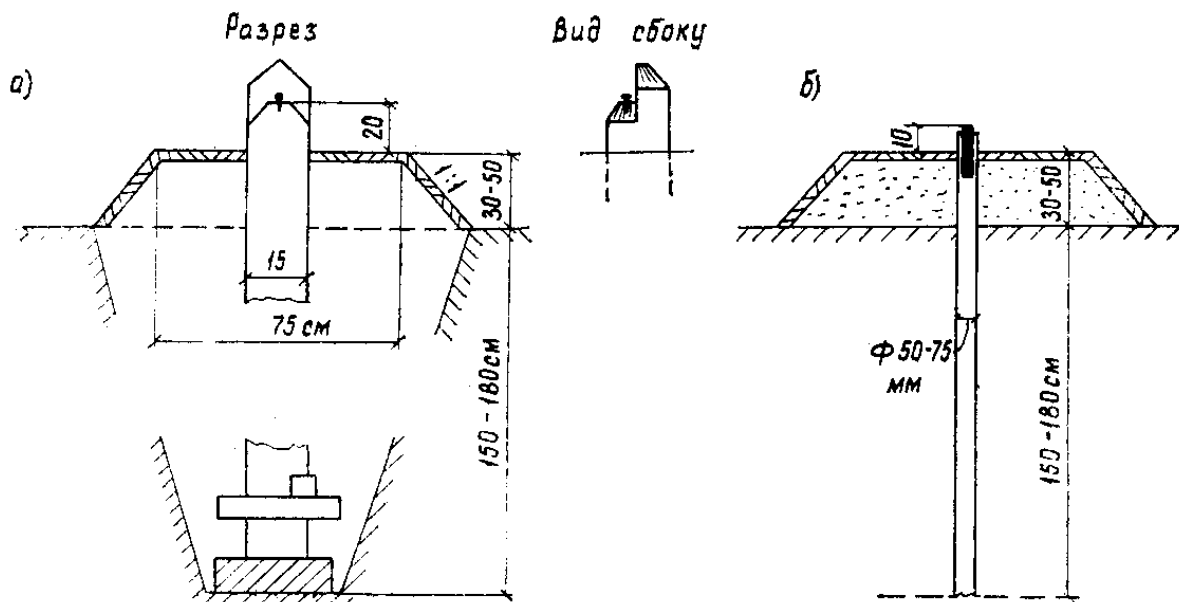


Рисунок 24 – Конструкция временного репера:  
а – из дерева; б – из трубы

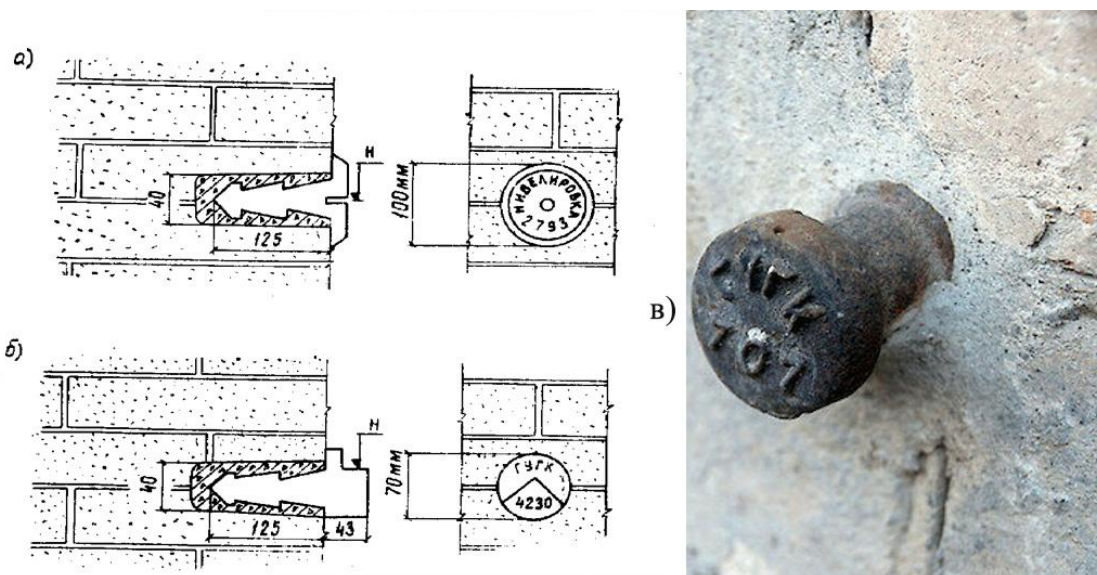


Рисунок 25 – Марка (а) и репер (б и в), закладываемые в стене здания

Высотную сеть сгущения развивают в отдельных районах при недостаточном числе реперов государственной нивелирной сети для обоснования съемок в масштабе 1:5000–1:500 и инженерно-геодезических работ. Ее создают проложением отдельных ходов, как нивелирование II, III и IV классов, но со своими характеристиками:

- длина хода между исходными пунктами высшего класса: 40 км для II класса, 15 км для III класса;
- длина хода между узловыми точками: 10 км для II класса, 5 км для III класса;
- средняя квадратическая погрешность среднего превышения на 1 км хода: 0,8 мм для II класса, 1,7 мм для III класса и 6,7 мм для IV класса;
- расстояние между знаками:
  - на застроенной территории – 2 км для II класса, 0,2 км для III и IV классов;
  - на незастроенной территории – 5 км для II класса, 0,5–2 км для IV класса.

В горной местности отметки пунктов сетей сгущения могут определяться тригонометрическим нивелированием для съемок с высотой сечения рельефа 2 и 5 м, а в особых случаях – при высоте сечения рельефа 1 м.

Высоты пунктов государственной нивелирной сети определяют геометрическим нивелированием. По точности и назначению государственную нивелирную сеть подразделяют на нивелирные сети I, II, III

и IV классов Технические допуски нивелирных сетей приведены в табл. 1.

Нивелирные сети I и II классов обеспечивают единую систему высот на всей территории страны. Нивелирные сети III и IV классов обеспечивают топографические съемки и решение инженерно-геодезических задач.

Линии нивелирования II класса прокладывают между пунктами нивелирования I класса. Линии начинают и заканчивают на пунктах нивелирования I класса и образуют замкнутые полигоны с периметром 500–600 км (рис. 26).

Таблица 1 – Технические допуски нивелирных сетей I–IV классов

Наименование допуска	Ед. изм.	Класс нивелирования				Техническое нивелирование (ТН)
		I	II	III	IV	
Длина хода или полигона L	км	3000-4000	500-600	150-200	–	2-16
Расстояние от прибора до реек	м	50	65	75	100	150
Неравенство расстояний от нивелира до реек на отдельных стадиях	м	0,5	1,0	75	5,0	10
Высота визирного луча над землей не менее	м	0,8	0,5	0,3	0,2	0,2
Допустимые расхождения в превышениях на станции	мм	0,5	0,7	3	5	5
Допустимые расхождения в превышениях хода	мм	$3\sqrt{L}$	$5\sqrt{L}$	$10\sqrt{L}$	$20\sqrt{L}$	$50\sqrt{L}$
То же, но при числе станций более 15 для I–IV классов и 25 для ТН на 1 км	мм	$4\sqrt{L}$	$6\sqrt{L}$	$2,6\sqrt{L}$	$5\sqrt{L}$	$10\sqrt{L}$

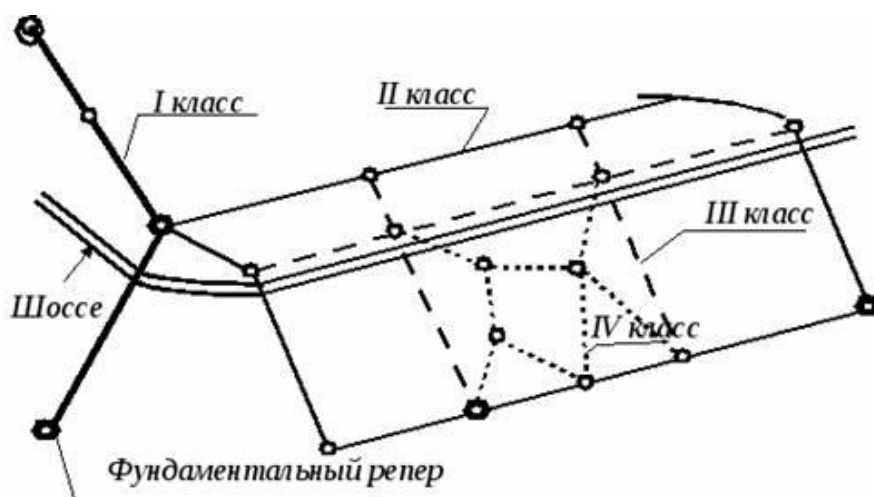


Рисунок 26 – Схема построения государственной нивелирной сети

### 5.3 Геодезические съёмочные сети

Съёмочные сети являются геодезической основой при решении инженерно-геодезических задач. Их создают в качестве *съёмочного обоснования* для производства топографических съёмок, выноса на местность инженерных сооружений, а также для плановой и высотной привязки отдельных объектов.

Съёмочное обоснование разбивается от пунктов плановых и высотных опорных сетей.

Самый распространённый вид съёмочного обоснования – *теодолитные ходы* (рис. 27), опирающиеся на один или два исходных пункта. Они представляют собой геодезические построения в виде ломаных линий, в которых углы измеряют одним полным приемом с помощью технического теодолита, а стороны – стальной 20-метровой лентой или дальномерами, обеспечивающими заданную точность. Теодолитные ходы могут быть *замкнутыми* или *разомкнутыми*.

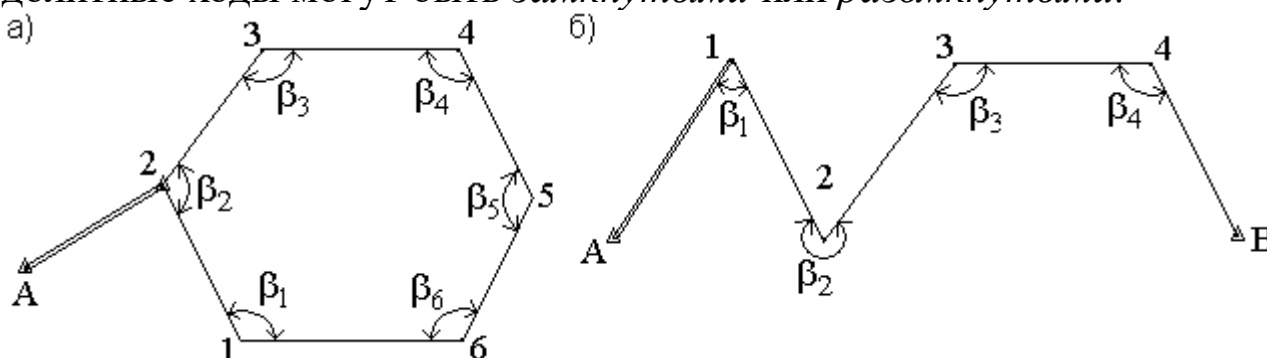


Рисунок 27 – Теодолитные ходы: а) замкнутый; б) разомкнутый

Замкнутые теодолитные ходы начинают и заканчивают на одном из пунктов опорной геодезической сети и представляют собой многоугольники, в которых углы измерены теодолитом полным приемом.

Допустимую угловую невязку в таком ходе определяют по формуле:

$$\Delta\beta_{\text{доп.}} = 2t\sqrt{n}, \quad (18)$$

где  $t$  – точность отсчетного устройства теодолита;

$n$  – число углов полигона.

Длины линий (сторон) теодолитных ходов зависят от масштаба съемки и условий снимаемой местности и должны быть не более 350 м и не менее 20 м. Относительные линейные невязки в ходах должны быть менее 1:2000, при неблагоприятных условиях измерений допускается 1:1000.

Углы поворота на точках хода измеряют теодолитом со средней квадратической ошибкой 0,5' одним приемом. Расхождение значений углов в полуприемах не более двойной точности теодолита.

Точки съемочного обоснования, как правило, закрепляют на местности временными знаками: деревянными кольями, столбами, металлическими штырями, трубами.

Если эти точки предполагается использовать в дальнейшем для других целей, их закрепляют постоянными знаками.

Класс и разряд геодезического обоснования на объекте зависит от площади участка съемки (табл. 2)

Таблица 2 – Обоснование выбора опорных сетей и съемочного обоснования в зависимости от площади съемочного обоснования

Площадь участка, км <sup>2</sup>	Опорные сети (триангуляции, трилатерации и полигонометрии)		Съемочные сети
	Класс	Разряд	
50–200	3; 4	1; 2	Теодолитные ходы и техническое нивелирование, а также заменяющие их триангуляция и засечки
25–50	4	1; 2	
10–25	4	1; 2	
5–10	–	1 или 2	
1–5	–	2	
до 1	Только съемочные сети		

Осваиваемая территория должна обеспечиваться определенным числом равномерно расположенных пунктов. Для застроенных территорий необходимо иметь не менее четырех пунктов на 1 км<sup>2</sup>, а для незастроенных – не менее одного опорного пункта.

Таблица 3 – Требования качества к сетям триангуляции

Классификация сети	Триангуляция			
	Средняя квадратическая ошибка измерения угла $m_{\beta}$	Допустимая невязка	Относительная ошибка стороны	
			исходной	Наиболее слабой
4 класс	2''	8''	1: 200 000	1: 70 000
1 разряд	5''	20''	1: 50 000	1: 20 000
2 разряд	10''	40''	1: 20 000	1: 10 000
Съемочная сеть	0,5'	1,5''	1:5 000	1: 2000

Таблица 4 – Требования качества к сетям полигонометрии и теодолитных ходам

Классификация сети	Полигонометрия, теодолитные ходы		
	Средняя квадратическая ошибка угла $m_{\beta}$	Допустимая угловая невязка	Предельная относительная невязка в ходах
4 класс	3''	$5''\sqrt{n}$	1: 25 000
1 разряд	5''	$10''\sqrt{n}$	1: 10 000
2 разряд	10''	$20''\sqrt{n}$	1: 5 000
Теодолитный ход	0,5'	$1'\sqrt{n}$	1: 2000

Обеспечивая определенную плотность и точность пунктов, всегда следует стремиться к уменьшению возможного числа ступеней обоснования. Это служит гарантией отсутствия недопустимых невязок в сетях более низкого класса. Требования к точности положения отдельных пунктов плановых и высотных сетей в действующих нормативных документах отсутствуют. Критериями качества триангуляционных, полигонометрических и съемочных сетей являются невязки в треугольниках и ходах, на основе которых в последующем подсчитываются средние квадратические ошибки углов, относительные ошибки слабо определяемых сторон (табл. 3, табл. 4). В трилатерации средние

относительные ошибки измерения сторон не должны превышать 1:100 000, 1:50 000, 1:20 000 для 4 класса, 1 и 2 разряда соответственно. В сложных для измерения условиях допускаются невязки теодолитных ходов до 1: 1 000.

Для пунктов съемочной сети (в отличие от опорных сетей) в нормативных документах приводятся требования к абсолютным погрешностям в положении пунктов: средняя погрешность пунктов плановой съемочной сети относительно пунктов опорной сети не должна превышать 0,1 мм для открытой и застроенной территории, 0,15 мм – для закрытой местности. за счет ошибок исходных данных.

#### 5.4 Плановая привязка вершин теодолитного хода к пунктам государственной геодезической сети

Совокупность геодезических измерений и вычислений, необходимых для определения положения вершин теодолитного хода в государственной системе координат, называется *привязкой*.

Привязку можно выполнить несколькими методами.

1. *Плановая привязка методом угловой засечки* (рис. 28).

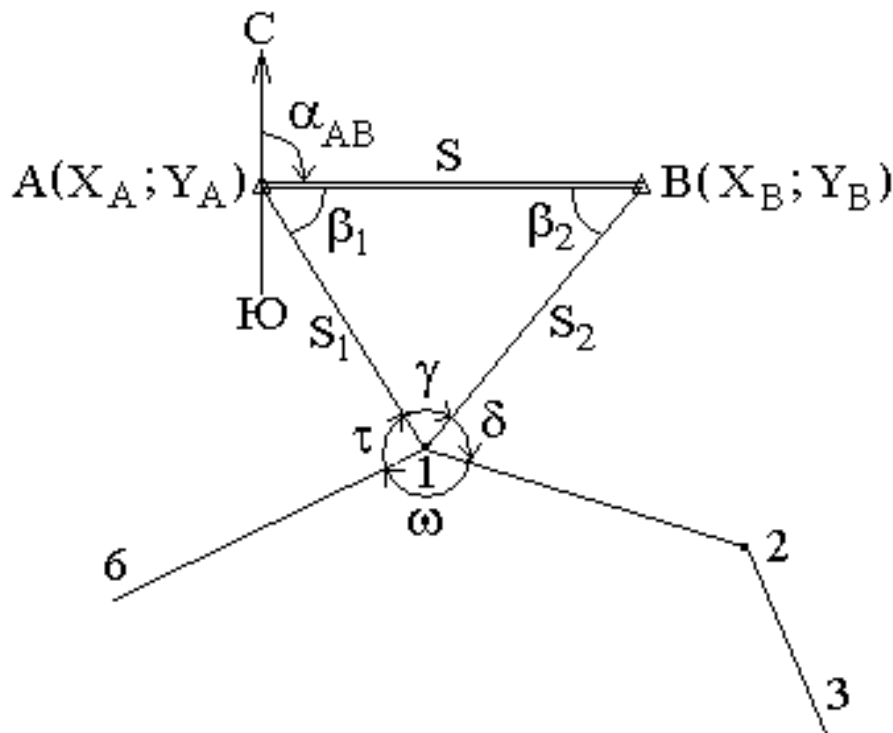


Рисунок 28 – Привязка теодолитного хода методом угловой засечки

Дано: А ( $X_A, Y_A$ ); В ( $X_B, Y_B$ );

Измеренные углы:  $\beta_1, \beta_2, \gamma, \delta, \omega, \tau$

Контроль измерений:  $\beta_1 + \beta_2 + \gamma = 180^\circ$ ;  $\gamma + \delta + \omega + \tau = 360^\circ$

Найти координаты точки 1 ( $X_1, Y_1$ ); дирекционный угол  $\alpha_{1-2}$ .

1. Решение обратной геодезической задачи:

$$S_{AB} = \sqrt{(X_B - X_A)^2 + (Y_B - Y_A)^2} \quad (19)$$

$$\tan r_{AB} = \frac{\Delta Y}{\Delta X} = \frac{Y_B - Y_A}{X_B - X_A} \rightarrow r_{AB} \rightarrow \alpha_{AB} \quad (20)$$

Контроль:

$$S_{AB} = \frac{\Delta X}{\cos \alpha_{AB}} = \frac{\Delta Y}{\sin \alpha_{AB}} \quad (21)$$

2. Решение треугольника привязки.

$$S_1 = \frac{S \times \sin \beta_2}{\sin \gamma}; \quad (22)$$

$$S_2 = \frac{S \times \sin \beta_1}{\sin \gamma} \quad (23)$$

3. Передача дирекционных углов.

$$\alpha_{A-1} = \alpha_{A-B} + \beta_1 \quad (24)$$

$$\alpha_{B-1} = \alpha_{A-B} + 180^\circ - \beta_2 \quad (25)$$

$$\alpha_{1-2} = \alpha_{A-1} + 180^\circ - (\tau + \omega) = \alpha_{A-1} + 180^\circ \times (\gamma + \delta) \quad (26)$$

Контроль вычислений:

$$\alpha_{1-2} = \alpha_{B-1} + 180^\circ + \delta = \alpha_{B-1} + 180^\circ \times (\gamma + \delta + \omega) \quad (27)$$

4. Решение прямой геодезической задачи.

$$\Delta X_{A-1} = S_1 \times \cos \alpha_{A-1} \quad (28)$$

$$\Delta Y_{A-1} = S_1 \times \sin \alpha_{A-1} \quad (29)$$

$$\Delta X_{B-1} = S_2 \times \cos \alpha_{B-1} \quad (30)$$

$$\Delta Y_{B-1} = S_2 \times \sin \alpha_{B-1} \quad (31)$$

$$X_1 = X_A \pm \Delta X_{A-1} \quad (32)$$

$$Y_1 = Y_A \pm \Delta Y_{A-1} \quad (33)$$

$$X_1 = X_B \pm \Delta X_{B-1} \quad (34)$$

$$Y_1 = Y_B \pm \Delta Y_{B-1} \quad (35)$$

Если расхождение в координатах не более 0,02 м, то находят средние значения координат  $X_1$  и  $Y_1$ .

2. Метод снесения координат (рис. 29)

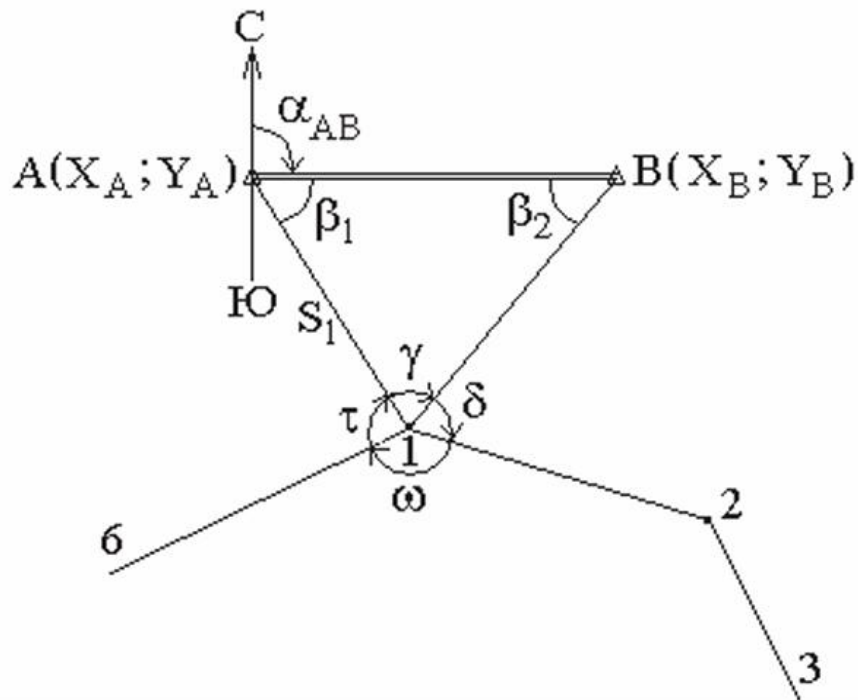


Рисунок 29 – Привязка методом снесения координат

Дано:  $A(X_A, Y_A)$ ;  $B(X_B, Y_B)$ ;

Измерены:  $S, S_1$ , углы  $\gamma, \delta, \omega, \tau$

Контроль измерений:  $\gamma + \delta + \omega + \tau = 360^\circ$

Найти координаты точки 1 ( $X_1, Y_1$ ); дирекционный угол  $\alpha_{1-2}$ .

1. Решение обратной геодезической задачи.

2. Решение треугольника привязки:

$$\sin \beta_2 = \frac{S_1 \sin \gamma}{S} \rightarrow \beta_2 \quad (36)$$

$$\beta_1 = 180^\circ - (\gamma + \beta_2) \quad (37)$$

$$S_2 = \frac{S \sin \beta_1}{\sin \gamma} \quad (38)$$

3. Передача дирекционных углов

$$\alpha_{A-1} = \alpha_{A-B} + \beta_1 \quad (39)$$

$$\alpha_{B-1} = \alpha_{A-B} + 180^\circ - \beta_2 \quad (40)$$

$$\alpha_{1-2} = \alpha_{A-1} + 180^\circ - (\tau + \omega) = \alpha_{A-1} + 180^\circ \times (\gamma + \delta) \quad (41)$$

Контроль вычислений:

$$\alpha_{1-2} = \alpha_{B-1} + 180^\circ + \delta = \alpha_{B-1} + 180^\circ \times (\gamma + \delta + \omega) \quad (42)$$

4. Решение 1 прямой геодезической задачи.

$$\Delta X_{A-1} = S_1 \times \cos \alpha_{A-1} \quad (43)$$

$$\Delta Y_{A-1} = S_1 \times \sin \alpha_{A-1} \quad (44)$$

$$\Delta X_{B-1} = S_2 \times \cos \alpha_{B-1} \quad (45)$$

$$\Delta Y_{B-1} = S_2 \times \sin \alpha_{B-1} \quad (46)$$

$$X_1 = X_A \pm \Delta X_{A-1} \quad (47)$$

$$Y_1 = Y_A \pm \Delta Y_{A-1} \quad (48)$$

$$X_1 = X_B \pm \Delta X_{B-1} \quad (49)$$

$$Y_1 = Y_B \pm \Delta Y_{B-1} \quad (50)$$

Если расхождение в координатах не более 0,02 м, то находят средние значения координат  $X_1$  и  $Y_1$ .

3. Метод привязки теодолитного хода к одному опорному пункту с известным направлением в нем (рис. 30)

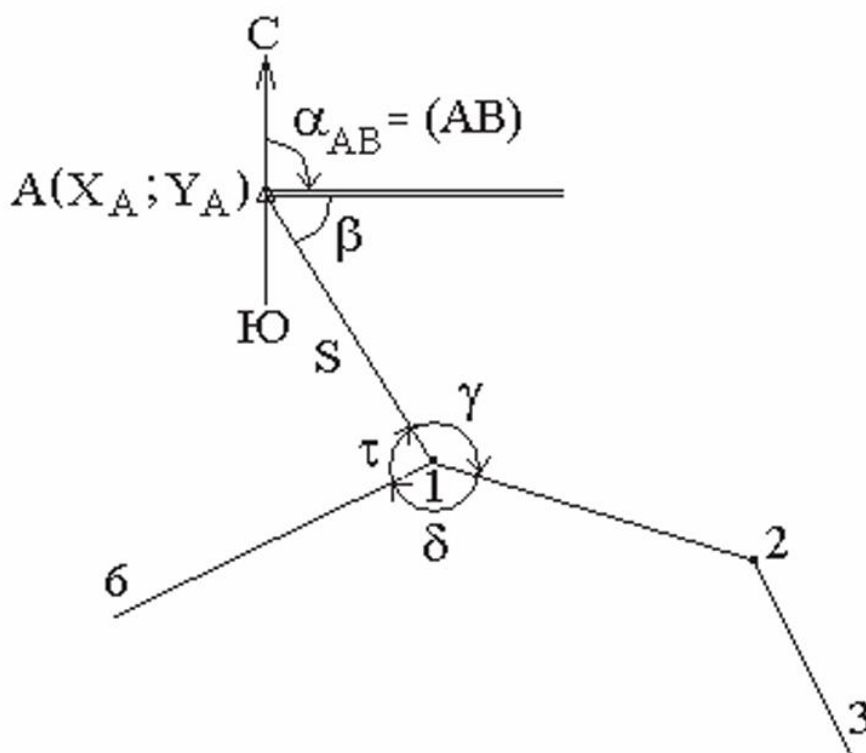


Рисунок 30 – Привязка к одному пункту с известным направлением

Дано:  $A (X_A, Y_A)$ ;  $\alpha_{A-B}$ ;

Измеренные углы:  $S$ , углы  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$ ,  $\tau$

Контроль измерений:  $\gamma + \delta + \tau = 360^\circ$

Найти координаты точки 1 ( $X_1, Y_1$ ); дирекционный угол  $\alpha_{1-2}$ .

1. Передача дирекционных углов

$$\alpha_{A-1} = \alpha_{A-B} + \beta \quad (51)$$

$$\alpha_{1-2} = \alpha_{A-1} + 180^\circ + \gamma = \alpha_{A-1} + 180^\circ - (\tau + \delta) \quad (52)$$

2. Решение прямой геодезической задачи.

$$\Delta X_{A-1} = S \times \cos \alpha_{A-1} \quad (53)$$

$$\Delta Y_{A-1} = S \times \sin \alpha_{A-1} \quad (54)$$

$$X_1 = X_A \pm \Delta X_{A-1} \quad (55)$$

$$Y_1 = Y_A \pm \Delta Y_{A-1} \quad (56)$$

Для контроля привязки необходимо другую вершину теодолитного хода привязать к опорному пункту

### **Контрольные вопросы**

1. Каково назначение государственной геодезической сети?
2. Когда и под чьим руководством была разработана первая в России Государственная геодезическая сеть?
3. Какими способами развивается государственная геодезическая сеть на местности?
4. Какие виды государственных геодезических сетей вам известно?
5. Какие допустимые погрешности заложены в различные классы государственных нивелирных сетей?
6. Перечислите основные задачи развития государственной геодезической сети на современном этапе развития.
7. Какие методы используют для привязки вершин теодолитного хода?

## 6 ОСНОВЫ ТЕОРИИ ПОГРЕШНОСТЕЙ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

План

6.1 Погрешности измерений и их характеристики

6.2 Оценка точности результатов

6.3 Источники погрешностей и их устранение.

### 6.1 Погрешности измерений и их характеристики

*Погрешностью*  $\Delta$  измерения называют отклонение результатов измерения  $l$  от истинного точного значения измеряемой величины  $x$ :

$$\Delta = l - X \quad (57)$$

Грубые погрешности возникают из-за грубых промахов в процессе измерений и вычислений. Их можно избежать, а поэтому они недопустимы, должны быть обнаружены и полностью исключены из результатов измерений, например, путем многократного повторного измерения или вычисления; способом измерения, отличающимся один от другого приемами и приборами; повторного вычисления другим лицом.

*Систематические погрешности* возникают в процессе измерений из-за однообразного и непрерывного действия какой-либо причины. Их не всегда удается выявить и полностью исключить из результатов измерений, несмотря на принятые меры. Поэтому в ходе выполнения и обработки измерений эти погрешности стараются исключить, вводя поправки в результаты измерений, юстируя или компарируя приборы или соблюдая необходимую методику измерений. Например, если рулетка или мерная лента короче своей номинальной длины на 2 мм, то следует либо отказаться от прибора, либо ввести поправки в длину измеренного расстояния. Устанавливая нивелир на равных расстояниях от задней и передней реек, можно исключить влияние систематических погрешностей за счет оставшейся после поверки нивелира непараллельности оси визирования и оси цилиндрического уровня за счет влияния кривизны Земли.

*Случайные погрешности* неизбежны при измерениях и представляют собой мелкие погрешности, закономерность появления которых при небольшом ряде измерений данной величины не обнаруживается. Поэтому исключить их из результатов измерений невозможно, а в ходе

выполнения и обработки измерений необходимо стремиться лишь ослабить их влияние.

Причины появления случайных погрешностей и их действие в данный момент измерения установить невозможно, они могут быть разными: ограниченная точность мерного прибора, помехи среды, оценка на глаз доли делений шкалы мерного прибора и т.п. Путем совершенствования техники измерений или улучшения условий для измерений можно ослабить влияние случайных погрешностей, но исключить их полностью не представляется возможным.

Поэтому необходимо знать, что случайные погрешности обладают следующими свойствами: малые по абсолютному значению погрешности встречаются чаще больших; погрешности со знаком плюс появляются также часто, как и со знаком минус; среднее арифметическое из случайных погрешностей с увеличением числа измерений приближается к нулю.

Среднее арифметическое из результатов даже небольшого числа измерений будет ближе к истинному значению, чем любой отдельно взятый результат. Поэтому среднее арифметическое из результатов измерений называют *вероятнейшим значением* измерений величины, а отклонение результата измерения от среднего арифметического – *вероятнейшей погрешностью*.

Например, если  $l_1, l_2, l_3, \dots, l_n$  – отдельные результаты измерений величины  $x$  при числе измерений  $n$ , то ее вероятнейшее значение

$$L = \frac{l_1 + l_2 + l_3 + \dots + l_n}{n} \quad (58)$$

Ввиду того, что истинные значения измеряемых величин в основном неизвестны, при оценке точности измерений пользуются вероятнейшими значениями измеряемых величин. Например, в замкнутом многоугольнике истинные значения измеренных величин являются известными в виде суммы горизонтальных углов или суммы превышений.

Основным критерием для оценки точности результатов измерений, выполненных в одинаковых условиях, является средняя квадратическая ошибка измерений  $m$ , определяемая по формуле Гаусса:

$$m = \sqrt{\frac{\Delta_1^2 + \Delta_2^2 + \Delta_3^2 + \dots + \Delta_n^2}{n}} = \sqrt{\frac{[\Delta^2]}{n}} \quad (59)$$

где  $n$  – число измерений;

$\Delta_1, \Delta_2, \dots, \Delta_n$  – случайные погрешности измерений.

Установлено, что погрешности измерений, превышающие среднюю квадратическую погрешность  $m$  в 2 раза, встречаются редко, а превышающие в 3 раза – еще реже; 95,5% всех погрешностей по модулю меньше, чем  $2m$ ; 99,7% погрешностей – меньше, чем  $3m$ . Поэтому утроенную квадратическую погрешность называют предельной:

$$\Delta_{\text{пред.}} = 3 \times m \quad (60)$$

Измерения, содержащие погрешности больше  $\Delta_{\text{пред.}}$ , бракуют. Критерием точности линейных измерений является относительная погрешность, равная отношению абсолютной величины погрешности к измеренной величине и выраженная в виде дроби с единицей в числителе:

$$\frac{m}{1} = \frac{1}{N} \quad (61)$$

где  $N = \frac{1}{m}$ .

## 6.2 Оценка точности результатов

*Равноточными* называют измерения, выполненные приборами одинаковой точности, равным числом приемов, в одной и той же внешней среде, одним и тем же исполнителем. Если для определения величины  $x$  выполнен ряд равноточных измерений и получены результаты  $l_1, l_2, \dots, l_n$ , то за окончательное значение  $L$  принимают величину, вычисляемую как среднее арифметическое из всех результатов:

$$L = \frac{l_1 + l_2 + l_3 + \dots + l_n}{n} = \frac{[l]}{n} \quad (62)$$

Для контроля вычислений находят вероятнейшие погрешности  $v$  (уклонение от среднего арифметического):

$$v_1 = L - l_1; v_2 = L - l_2; v_3 = L - l_3; \dots v_n = L - l_n.$$

Сумма вероятнейших погрешностей (поправок) должна равняться нулю ( $[v] = 0$ ) при любом числе измерений.

Знание поправок позволяет вычислить среднюю квадратическую погрешность по формуле

$$m = \sqrt{\frac{[v^2]}{n-1}} \quad (63)$$

Так как все измерения равноточны, то средняя квадратическая погрешность  $m$  в равной мере дает оценку точности  $l_1, l_2, \dots, l_n$  и является обобщенной оценкой погрешности данного ряда измерений.

Для оценки точности среднего арифметического  $x_0$  вычисляют среднюю квадратическую погрешность по формуле

$$M = \frac{m}{\sqrt{n}} \quad (64)$$

Кроме оценки точности выполненных измерений, формула (64) может быть использована для расчета числа измерений точности  $M$ :

$$n = \frac{m^2}{M^2} \quad (65)$$

В геодезической практике распространены двойные непосредственные измерения. Так, превышения при техническом нивелировании определяют для контроля дважды: один раз по черным сторонам реек, другой раз – по красным. Расстояния лентой измеряют дважды – в прямом и обратном направлениях. Различие двух результатов одной и той же величины несет информацию о величине погрешностей измерений. Имея разности измерений ряда величин, можно вычислить среднюю квадратическую погрешность одного измерения:

$$m = \sqrt{\frac{[d^2]}{2n}} \quad (66)$$

где  $d$  – разность двойных измерений;

$n$  – число двойных измерений.

Неравноточными называют измерения, выполненные приборами разной точности, разным числом приемов и в различных условиях. Для обработки таких измерений каждому измерению присваивают свой вес, вычисляемый по формуле

$$p = \frac{c}{m^2}, \quad (67)$$

где  $c$  – произвольное число.

Имея ряд результатов измерений  $l_1, l_2, \dots, l_n$ , полученных со средними квадратическими погрешностями  $m_1, m_2, \dots, m_n$ , определяют соответствующий им вес:

$$p_1 = \frac{c}{m_1^2}; \quad p_2 = \frac{c}{m_2^2}; \quad \dots \quad p_n = \frac{c}{m_n^2} \quad (68)$$

Окончательное значение измеряемой величины находят как общую арифметическую середину или среднее весовое по формуле

$$L_0 = \frac{P_1 L_1 + P_2 L_2 + \dots + P_n L_n}{P_1 + P_2 + \dots + P_n} \quad (69)$$

Контролем правильности вычисления среднего весового служит равенство  $[Pv] = 0$ , где поправки  $v_i$  вычисляют по формулам:

$$v_1 = L_0 - l_1; \quad v_2 = L_0 - l_2; \quad v_3 = L_0 - l_3; \quad \dots \quad v_n = L_0 - l_n$$

Среднюю квадратическую погрешность одного измерения, имеющего вес, равный единице, определяют по формуле

$$\mu = \sqrt{\frac{[pv^2]}{n-1}} \quad (70)$$

Оценку точности вероятнейшего значения  $L_0$  находят по формуле

$$M_0 = \frac{\mu}{\sqrt{[P]}} \quad (71)$$

### 6.3 Источники погрешностей и их устранение.

В связи с тем, что точность измерений на строительномонтажных работах увязывается со значениями строительных допусков, необходимо знать их величины погрешностей, источники их появления и методы устранения или ослабления. Ниже приводится перечень возможных источников систематических и случайных погрешностей, способов их устранения при измерении длин линий лентой и при геометрическом нивелировании.

Источники погрешностей при измерении длин линий лентой или рулеткой следующие:

1. Отклонение конца ленты (или рулетки) при измерениях от створа линии (допустимы до 15 см). Это позволяет укладывать мерный прибор в створе линии на глаз.

2. Несоответствие силы натяжения ленты при измерениях силе натяжения ее при компарировании (допустимо до 1,5 кг).

3. Неточность отсчитывания по ленте при измерении остатков линии (допустима до 1 см при длине линии 100 м и более). Остатки более коротких линий следует измерять стальной рулеткой.

4. Неточность определения длины ленты при компарировании (допустима до 3 мм).

5. Неточность определения поправки за наклон линии к горизонту (зависит от величины угла наклона, который можно измерять с ошибкой до 50, и величины превышения, определяемого с ошибкой до 1,5 м на 100 м расстояния).

6. Различие в температурах ленты в моменты компарирования и измерения (допустимо до 8 ).

7. Провес или прогиб ленты в вертикальной плоскости или изгиб ее в сторону (допускается до 0,1 м в одной из точек прибора).

8. Состояние поверхности, на которой располагается мерный прибор (измерения по вязкой и липкой почве могут привести к накоплению недопустимых ошибок).

Источники погрешностей при геометрическом нивелировании и их устранение:

1. Погрешность  $x$  в отсчетах по рейкам, возникающую при непараллельности визирной оси и оси цилиндрического уровня, можно устранить, соблюдая равенство плеч  $l$  (расстояний от нивелира до задней и передней реек). Действительно, при нивелировании по способу из середины и при наличии в отсчетах по рейкам погрешности  $x$  превышение  $h = (a - x_1) - (b - x_2) = a - b + (x_1 - x_2)$ . Так как  $x_1 = l_1 \times \operatorname{tgi}$  и  $x_2 = l_2 \times \operatorname{tgi}$ , то погрешность в превышении из-за наличия  $x$  будет:  $\Delta h = (x_2 - x_1) = (l_2 - l_1) \operatorname{tgi}$ . При  $l_1 = l_2$  погрешность в превышении  $\Delta h = 0$ . Так как угол  $i$  изменяется под влиянием температуры, то поверку параллельности визирной оси и оси цилиндрического уровня следует производить особенно тщательно.

2. Погрешности от оседания штатива можно избежать, если устанавливать его на твердом грунте, надежно вдавливая в него ножки. При перемещении пузырька цилиндрического уровня в одну сторону следует проверить крепление винтов штатива. При нивелировании заболоченной местности необходимо заранее в местах установки штатива и реек забивать прочные деревянные колья.

При нивелировании песчаной местности для устранения погрешностей от оседания реек следует пользоваться «башмаками», при нивелировании по пашне предварительно снимают верхний рыхлый слой и используют «костыли». При постановке «башмака» на траву снимают дерн. При нивелировании через торфяные болота в местах установки реек забивают большие колья с гвоздями в их головках. При нивелировании по льду следует предварительно произвести разбивку мест установки нивелира и реек и заморозить в лед колья с гвоздями на головках.

3. При геометрическом нивелировании способом из середины для уменьшения погрешностей  $\Delta$  в отсчетах, возникающих от оседания реек, рекомендуется производить отсчеты в такой последовательности: 1) по черной стороне задней рейки  $a_{\text{ч}}$ ; 2) по черной стороне передней рейки  $b_{\text{ч}}$ ; 3) по красной стороне передней рейки  $b_{\text{к}}$ ; 4) по красной стороне задней рейки  $a_{\text{к}}$ . Если допустить, что эти отсчеты выполняются через одинаковые промежутки времени, то погрешности в этих

отсчетах следующие:  $\Delta a_{\text{ч}} = 0$ ;  $\Delta b_{\text{ч}} = \Delta$ ;  $\Delta b_{\text{к}} = 2\Delta$ ;  $\Delta a_{\text{к}} = 3\Delta$ . При этих условиях превышения на станциях определяют по формулам:

$$\begin{cases} h_{\text{ч}} = a_{\text{ч}} - (b_{\text{ч}} + \Delta) = a_{\text{ч}} - b_{\text{ч}} - \Delta \\ h_{\text{к}} = (a_{\text{к}} + 3\Delta) - (b_{\text{к}} + 2\Delta) + a_{\text{к}} - b_{\text{к}} + \Delta. \end{cases} \quad (72)$$

Тогда их средние значения  $h = \frac{h_{\text{к}} + h_{\text{ч}}}{2}$  будут свободны от погрешностей  $\Delta$ . Так как оседание оставленной на точке рейки происходит и при переходе с нивелиром на следующую станцию (для которой она будет задней), то для избавления от погрешностей, вызываемых оседанием реек, следует ставить их на "костыли", деревянные колышки или «башмаки», забиваемые в твердый грунт. Если при правильных отсчетах по рейкам суммы превышений прямого и обратного ходов будут значительно отличаться друг от друга, то одна из причин этого – оседание реек.

4. Погрешности от рефракции и конвекционных токов воздуха имеют наибольшее значение с 11 до 15 часов дня. Поэтому рекомендуется производить нивелирование в ранние утренние и вечерние часы. К 11 часам расстояния между нивелиром и рейкой следует сокращать. В горных условиях работу можно выполнять в любое время дня при расстояниях между нивелиром и рейкой не более 20 м.

5. Погрешности в отсчетах от неточного нанесения делений на рейках должны быть определены при компарировании реек и учтены при вычислении превышений путем введения соответствующих поправок в отсчеты по рейкам.

6. Погрешность от наклона реек носит систематический характер. Погрешность отсчета по наклонной рейке  $\Delta_i = a' - a$ , где  $a'$  и  $a$  – отсчеты соответственно по наклонно и вертикально установленным рейкам:

$$a = a' \times \cos \varepsilon \quad (73)$$

где  $\varepsilon$  – угол между наклонно и вертикально установленными рейками.

По размеру угла  $\varepsilon$  можно принять

$$\cos \varepsilon = 1 - \frac{\varepsilon^2}{2\rho^2} \quad (74)$$

где  $\rho = 3438'$ .

При этих условиях

$$\Delta_{\text{н}} = \frac{a' \varepsilon^2}{2\rho^2} \quad (75)$$

если  $a = 3$  м и  $\varepsilon = 15'$ , погрешность  $\Delta_{\text{н}} = 0,03$  мм.

## Контрольные вопросы

1. Что такое погрешность измерения?
2. Чем различаются между собой случайные и систематические погрешности?
3. Перечислите свойства случайных погрешностей.
4. Как определяют наилучшее приближение к истинному значению измеряемой величины? Почему его называют вероятнейшим значением?
5. Что такое средняя квадратическая погрешность и для чего она служит?
6. Какую погрешность называют предельной?
7. По какой формуле определяется относительная погрешность измерений?
8. Назовите источники погрешностей измерения при геометрическом нивелировании.
9. Назовите возможные источники случайных и систематических погрешностей при измерении длин линий.
10. Как оценить точность функций измеренных величин?
11. Как оценить точность измерений и среднее арифметическое, если дан ряд равноточных измерений?
12. Как оценить точность по разностям двойных равноточных измерений?
13. Что понимают под весом измерения и по какой формуле его можно вычислить?
14. Какой ряд измерений называют равноточным?
15. Что такое средняя квадратическая погрешность единицы веса?
16. Что такое весовое среднее и как его определить?
17. Как вычислить среднюю квадратическую погрешность среднего весового значения и результатов ряда неравноточных измерений?

## 7 ИЗМЕРЕНИЕ ДЛИНЫ ЛИНИЙ

План

7.1 Измерение длин линий мерными приборами

7.2 Измерение длины линий дальномерами

### 7.1 Измерение длин линий мерными приборами

Применяемые в настоящее время приборы для измерения длины линий в инженерной геодезии можно условно разделить на две группы: механические и физико-оптические.

*Механические мерные приборы* представляют собой линейные меры различной длины, изготавливаемые чаще всего из металла в виде лент. Они служат для измерения длины путем последовательной укладки прибора в створе линии. Конечный результат получают суммированием количества отложений в принятых единицах измерений. Различают ленты штриховые типа ЛЗ-20 и ЛЗ-50 (соответственно длиной 20 и 50 м) и шкаловые типа ЛЗШ-20 и ЛЗШ-50.

За длину штриховых лент (рис. 31) принимается расстояние между штрихами, нанесенными у крючков.

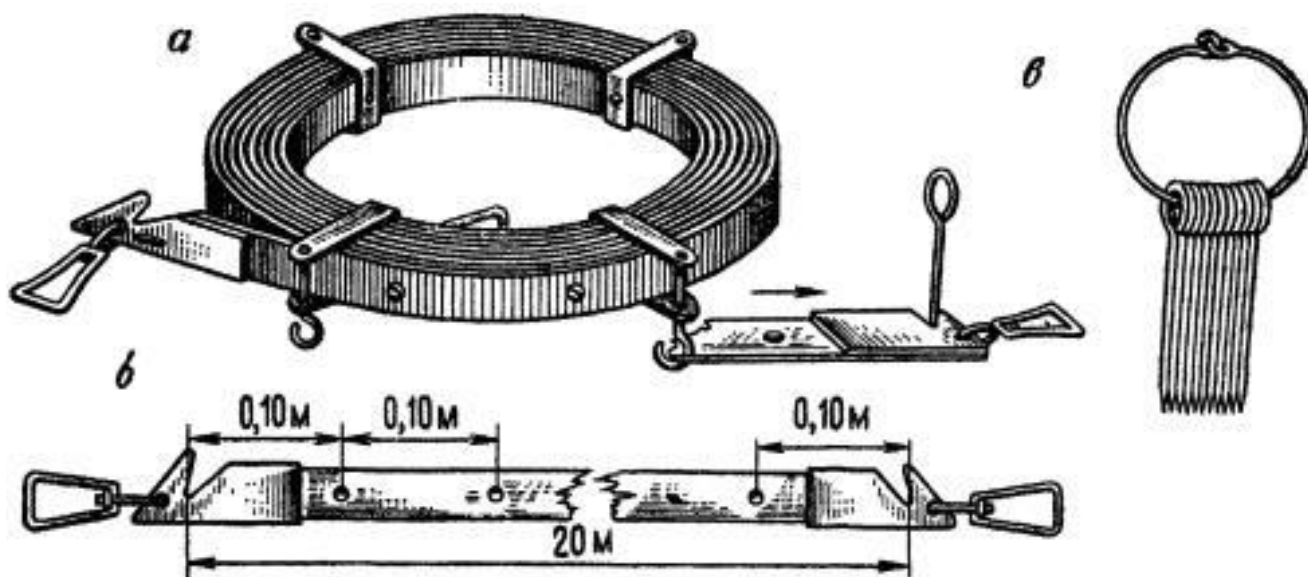


Рисунок 31 – Схемы землемерных лент: а – вид при хранении; б – штриховая; в – комплект шпилек.

На ленте отдельные метры обозначены пластинами с номерами, полуметры-заклепками, а дециметры – небольшими круглыми отверстиями. При перевозке и хранении ленту наматывают на железное кольцо и закрепляют винтом. К ленте прилагается 6 или 11 шпилек, служащих для обозначения концов ленты при укладывании ее на местности. Шпильки надевают на проволочное кольцо.

Для более точных измерений применяются узкие шкаловые ленты шириной 6-10 мм или стальные и инварные проволоки. На концах таких лент имеются шкалы с миллиметровыми делениями.

В строительной практике для измерения расстояний применяют измерительные рулетки стальные, а также тесьмяные в закрытом корпусе.

Перед использованием мерные приборы должны быть проверены путем сравнения их длины с эталоном, длина которого известна с высокой точностью. Такое сравнение называют *компарированием*. Компарирование выполняют на специальных приборах – компараторах. Компараторы бывают лабораторные и полевые. Лабораторные компараторы устанавливают на ровном полу, на бетонных столбах или на специальных полках, укрепленных вдоль стен. Длина компаратора определяется путем измерения высокоточными приборами – инварными жезлами, которые регулярно сравнивают с эталоном длины. На концах компаратора прикрепляются металлические шкалы с миллиметровыми делениями длиной 150 мм. Компарированная лента укладывается на компаратор и при натяжении ленты силой 10 кг берутся отсчеты по шкалам. Компарирование выполняют несколькими приемами, сдвигая каждый раз ленту вдоль шкалы компаратора. За окончательную длину ленты принимается среднее значение, определенное из нескольких приемов.

При компарировании лент вычисляется температура воздуха  $t_k$ . Ее величина записывается в журнал. После компарирования получают уравнение рабочей ленты:

$$l_{\phi} = l_0 \pm \delta l_k, \quad (76)$$

где  $l_{\phi}$  – фактическая длина рабочей ленты, м;

$l_0$  – номинальная длина рабочей ленты, м;

$\delta l_k$  – поправка за компарирование.

Компарирование лент может быть выполнено на полевом компараторе (базисе) длиной около 120 м. Базис измеряют рабочей лентой не

менее 4-х раз в прямом и обратном направлениях, а поправку  $\delta l_k$  за компарирование вычисляют по формуле

$$\delta l_e = \frac{D_e - D_0}{n}, \quad (77)$$

где  $D_e$  – длина компаратора, м;

$n$  – число уложений мерного прибора;

$D_0$  – результат измерения базиса рабочей лентой при нормальной температуре  $t_0 = +20^\circ\text{C}$ .

Температура компарирования  $t_k$  обычно отличается от температуры  $t_0$ , поэтому средний результат измерения  $D_n$  приводят к температуре  $t_0 = +20^\circ\text{C}$ :

$$D_p = D_n + \alpha D_n (20^\circ\text{C} + t_k), \quad (78)$$

где  $\alpha = 12,5 \cdot 10^{-6}$  – коэффициент линейного расширения стали.

Точность компарирования в основном зависит от точности измерения базиса рабочими лентами. Поэтому сначала вычисляют среднюю квадратическую погрешность измерения базиса одним приемом:

$$m = \sqrt{\frac{\sum_1^n V_i^2}{n-1}}, \quad (79)$$

где  $V_i = D_{ui} - D_i$  – отклонение от арифметической середины;

$n$  – число приемов измерения базиса,

а затем оценивают погрешность поправки за компарирование:

$$M = \frac{m}{\sqrt{n}}, \quad (80)$$

По результатам компарирования составляют уравнение мерного прибора:

$$l = l_0 + \delta l_e + \delta l_t, \quad (81)$$

где  $l_0$  – номинальная (стандартная) длина рабочей ленты;

$\delta l_t$  – поправка за температуру, определяемая по формуле

$$\delta l_t = \alpha l_0 (t - 20^\circ\text{C}) = \alpha_{mn} (t - 20^\circ\text{C}) \quad (82)$$

При этом  $\alpha l_{mn} = \alpha l_0$  – линейное расширение мерного прибора при измерении температуры на  $1^\circ\text{C}$ .

При измерении расстояний штриховую ленту последовательно укладывают в створ с измеряемой линией, регистрируют число  $N$  передач шпилек у заднего мерщика и измеряют остаток  $r$ . Если в комплекте  $(K+1)$  шпилек, то длину линии вычисляют по формуле

$$D_{пр} = (kN + n) \times l_0 + r \quad (83)$$

Таблица 5 – Допускаемые расхождения  $\Delta D$  для измерений длин линий трех классов местности

Длина линии, м	Допускаемые расхождения, см		
	при благоприятных условиях I класс	при средних условиях II класс	при неблагоприятных условиях III класс
100	7	9	10
200	11	13	15
300	14	17	19
400	17	20	23
500	19	23	27
600	22	27	31
700	24	30	34
800	27	33	38
900	29	36	41
1000	32	39	45

Для повышения точности и осуществления контроля измерения повторяют в обратном направлении, вычисляют значения  $D_{\text{обр}}$  и находят расхождение в результатах  $\Delta D = |D_{\text{пр}} - D_{\text{обр}}|$ . При этом величина  $\Delta D$  зависит от длины линий и условий измерений. В табл.5 приведены допускаемые значения  $\Delta D$  для измерений длин линий трех классов местности.

Пользуясь таблицей, можно рассчитать относительные ошибки  $\Delta D/D$  для различных условий.

Например, при средних условиях относительные ошибки для  $D = 100, 500$  и  $1000$  м получатся следующие:

$$\frac{\Delta D}{D} = \frac{0,09}{100} \approx \frac{1}{1100}; \quad \frac{0,23}{500} \approx \frac{1}{2200}; \quad \frac{0,39}{1000} \approx \frac{1}{2600}.$$

Для исключения систематических погрешностей в результаты измерений длин линий вводят следующие поправки.

Поправка  $\delta D_k$  за компарирование.

Если поправка за компарирование мерного прибора длиной  $l_0$  равна  $\delta l_k$ , то поправку за компарирование в длину линии  $D$  вычисляют по формуле

$$\delta D_k = \delta l_k \frac{D}{l_0} \quad (84)$$

Поправка  $\delta D_t$  за температуру мерного прибора. Если температура  $t$ , при которой производят измерения, отличается от температуры  $t_0$

компарирования на  $8^\circ$  и более, то в измеряемую дину линии вводят поправку

$$\delta D_t = \alpha(t - t_0)D \quad (85)$$

В некоторых случаях для вычисления поправки используют уравнение мерного прибора со значением его линейного удлинения при измерении температуры на  $1^\circ\text{C}$ . В этом случае поправку вычисляют по формуле

$$\delta D_t = \frac{\alpha_{\text{МП}}}{l_0}(t - t_0)D \quad (86)$$

Поправка  $\delta D_v$  за наклон линии. Она позволяет от наклонного расстояния  $D$  прийти к горизонтальному проложению. Если линия местности  $AB$  (рис.14) наклонена к горизонту под некоторым углом  $v$ , то для определения горизонтального проложения поступают следующим образом. На местности измеряют стальной лентой длину  $D$ , линии  $AB$  и ее угол наклона  $v$ . Тогда горизонтальная проекция  $d = AC$  получается вычислением из прямоугольного треугольника  $ABC$  по формуле:

$$d = D \cos v \quad (87)$$

Разность  $\delta D_v = D - d$  называется поправкой за наклон линии местности к горизонту.

Если угол  $v$  не превышает  $10^\circ$ , то поправку вычисляют по формуле

$$\delta D_v = -0,5D (\sin v)^2, \quad (88)$$

а при углах  $|v| > 10^\circ$  – по формуле:  $v$

$$\delta D_v = -2D \left(\sin \frac{v}{2}\right)^2 \quad (89)$$

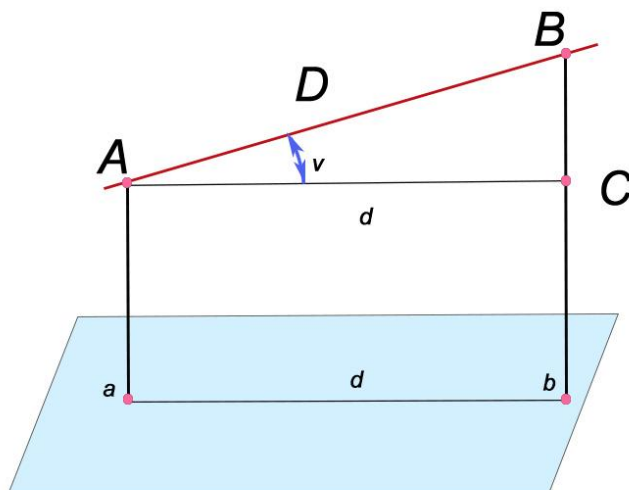


Рисунок 32 – Схема определения горизонтальных проложений

Таблица 6 – Значение поправок за наклон местности

Угол наклона	Расстояния, м									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Поправки $\delta D_v$ , мм										
1°0'	2	3	5	6	8	9	11	12	14	15
1°30'	3	7	10	14	17	20	24	27	30	34
2°0'	6	12	18	24	30	37	43	49	55	61
2°30'	10	19	29	38	48	57	67	76	86	95
3°0'	14	27	41	55	69	82	96	110	124	137
3°30'	19	37	56	75	94	112	131	149	168	187
4°	24	49	73	98	122	146	171	195	220	224
4°30'	31	62	92	123	154	185	216	246	277	308
5°	38	76	114	152	190	229	2678	305	343	381
5°30'	46	92	138	184	230	276	322	368	414	460

По данным формулам составлена таблица поправок за наклон (табл. 6), в которой приведены величины  $\delta D_v$  для небольших углов наклона  $v$ .

Пример:  $D = 125,70$  м;  $v = 4^\circ 30'$ .

Из таблицы находим  $\delta D_v$ :

[для 100 м  $\delta D = 308$  мм];

[для 20 м  $\delta D = 62$  мм];

[для 5 м  $\delta D = 15$  мм];

[для 0,70 м  $\delta D = 2$  мм];

127,5 м  $\delta D = 387$  мм; округлив, получим 0,39 м.

Тогда горизонтальное проложение

$$d = D - \Delta D = 125,7 - 0,39 = 125,31 \text{ м.}$$

После определения поправок за компарирование мерного прибора  $\delta D_k$ , за температуру  $\delta D_t$  и за наклон  $\delta D_v$  вычисляют горизонтальное проложение линии по формуле

$$d = D + \delta D_k + \delta D_t + \delta D_v \quad (90)$$

Рассмотрим пример определения длины по результатам ее измерения. Уравнение ленты, полученное по результатам компарирования:

$$l = l_0 + \delta l = 20,000 + 0,005 \text{ м.}$$

Температура компарирования  $t_k = + 15^\circ$ . При измерении линии получены: число передач шпилек по 10 шт.  $N = 1$ ; число шпилек у заднего мерщика  $n = 4$ ; остаток в прямом направлении  $r_1 = 6,28$  м, в обратном

–  $r_2 = 6,20$  м. Температура воздуха при измерении линии  $t = + 25^\circ\text{C}$ .  
Угол наклона  $\nu = 4^\circ 30'$ .

Длина измеренной линии в прямом направлении

$$D_{\text{пр}} = 200 \cdot 1 + 20 \cdot 4 + 6,28 = 286,28 \text{ м,}$$

в обратном направлении

$$D_{\text{обр}} = 200 \cdot 1 + 20 \cdot 4 + 6,20 = 286,20 \text{ м.}$$

Полученное расхождение в  $0,08$  м составляет  $\frac{1}{2800}$ , что меньше допустимого  $\frac{1}{200}$ . Среднее значение длины линии  $D = 286,24$  м.

Поправка за компарирование

$$\delta D_{\text{комп.}} = \frac{286,24}{20} \times 0,005 \approx +0,072$$

Поправка за температуру

$$\delta[D_t = 286,24 \times (12,5 \times 10^{-6}) \times (25^\circ - 15^\circ) = +0,04 \text{ м.}]$$

Поправка заклон

$$\delta D_\nu = -0,5 \times 286,24 \times (\sin 4^\circ 30')^2$$

Окончательная длина линии с учетом поправок

$$d = 286,24 + 0,07 + 0,04 - 0,89 = 285,46 \text{ м.}$$

## 7.2 Измерение длины линий дальномерами

Для определения расстояний в зрительных трубах теодолитов и нивелиров имеются штрихи  $kk'$  и  $ll'$  (рис. 33).

При измерении расстояния  $AB$  над точкой  $A$  устанавливают теодолит, на точку  $B$  – рейку и наводят на нее зрительную трубу. Число делений рейки между дальномерными штрихами называют дальномерным отсчетом  $n$ . Расстояние по нитяному дальномеру вычисляют по формуле

$$D = kn + c, \quad (91)$$

где  $k$  – коэффициент дальномера (в современных оптических дальномерах  $k = 100$ );

$c$  – постоянное слагаемое, которое пренебрежимо мало по сравнению с точностью измерений.

Поэтому во многих случаях пользуются формулой

$$D = 100 \times n. \quad (92)$$

При измерении наклонных линий горизонтальное проложение вычисляют по формуле

$$d = (kn + c) \times (\cos v)^2, \quad (93)$$

где  $v$  – угол наклона визирной оси зрительной трубы.

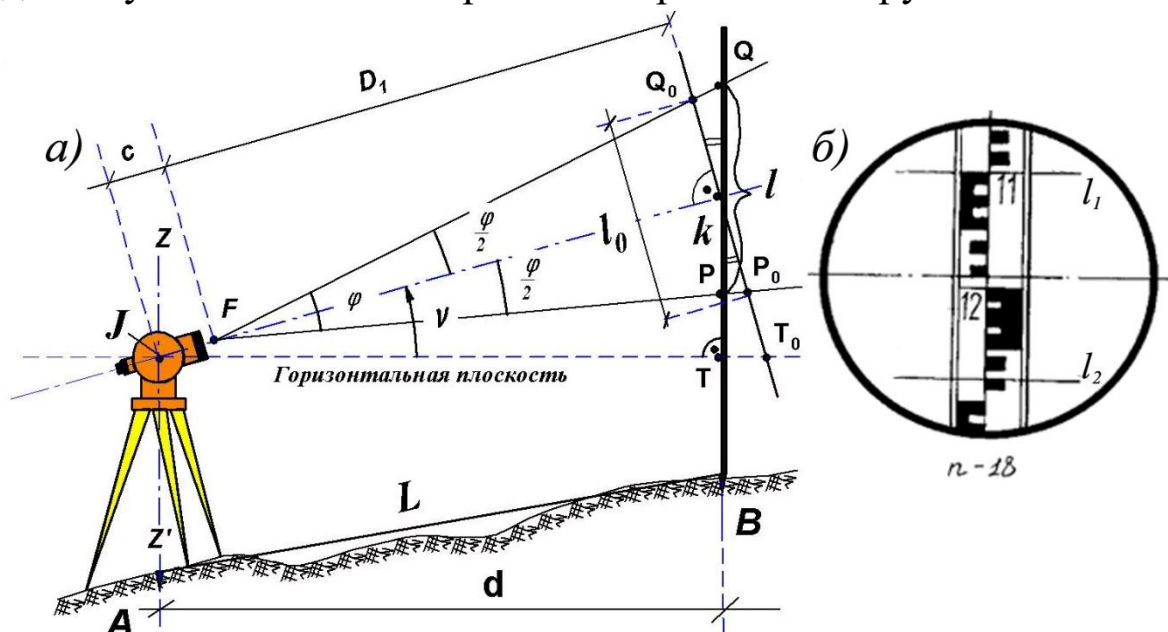


Рисунок 33 – Схема определения расстояний нитяным дальномером: а – схема измерений; б – поле зрения трубы  $l_1$

Относительная погрешность измерения расстояний нитяным дальномером составляет величину порядка 1:300-1:400 измеряемого расстояния. При такой точности определения расстояний в вычислениях целесообразно удерживать только десятые доли метра.

### Контрольные вопросы

1. Какие механические приборы применяют для определения расстояний?
2. Что такое компарирование мерного прибора?
3. Как влияет температура на результаты измерения расстояний?
4. Напишите формулу определения поправки за наклон линии.
5. От чего зависит точность измерения линий лентой и каковы относительные ошибки измерения линий в зависимости от характера местности?
6. Что такое дальномерный отсчет по рейке?

## 8 ВЕРТИКАЛЬНАЯ СЪЕМКА

План

8.1 Нивелиры, нивелирные рейки и их устройство.

8.2 Поверки и юстировки нивелиров.

8.3 Нивелирные рейки и штативы.

8.4 Способы нивелирования и вычисление отметок.

### 8.1 Нивелиры, нивелирные рейки и их устройство.

Геодезические измерения, в результате которых определяются превышения одной точки относительно другой, называются нивелированием. В зависимости от точности определения превышений геометрическое нивелирование подразделяется на I, II, III, IV классы и техническое.

При решении инженерных задач используется нивелирование II – IV класса точности и техническое, характеризующиеся средними квадратическими погрешностями  $m_{III} = 10$  мм,  $m_{IV} = 20$  мм,  $m_{техн} = 50$  мм, (где  $L$  – длина хода в км), соответственно.

Чем выше класс точности нивелира, тем большее у него увеличение зрительной трубы (32х, 28х, 24х), и тем точнее приведение линии визирования в горизонтальное положение 0,3" – 0,8" (угол «компенсации»).

Согласно ГОСТу по точности нивелиры делятся на три типа:

- Н-05 – нивелир высокоточный с оптическим микрометром для определения превышений с погрешностью не более 0,5 мм на 1 км двойного хода; предназначен для нивелирования I и II классов;

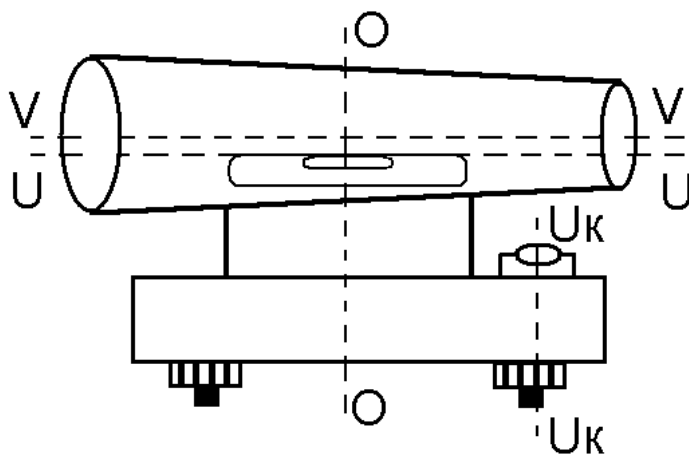
- Н-3 – нивелир точный для определения превышений с погрешностью не более 3 мм на 1 км двойного хода; служит для нивелирования III и IV классов и при инженерно-геодезических изысканиях;

- Н-10 – нивелир технический для определения превышений с точностью не более 10 мм на 1 км двойного хода; предназначен для нивелирования при обосновании топографических съемок, инженерно-геодезических изысканиях и в строительстве.

По способу установки визирной оси в горизонтальное положение различают два типа нивелиров:

- нивелиры с уровнем при зрительной трубе (Н-05, Н-3, Н-10);
- нивелиры с компенсатором (Н-05К, Н-3К, Н-10К).

У нивелиров первого типа зрительная труба и цилиндрический уровень скреплены вместе и могут наклоняться на небольшой угол относительно подставки прибора с помощью элевационного винта; такая конструкция облегчает приведение визирной оси в горизонтальное положение по цилиндрическому уровню. Главное условие, предъявляемое к таким нивелирам, – взаимная параллельность визирной оси  $V-V$  и оси цилиндрического уровня  $U-U$  (рис. 34). При соблюдении этого условия визирная ось зрительной трубы 1 займет горизонтальное положение после установки пузырька цилиндрического уровня 2 в нуль-пункт.

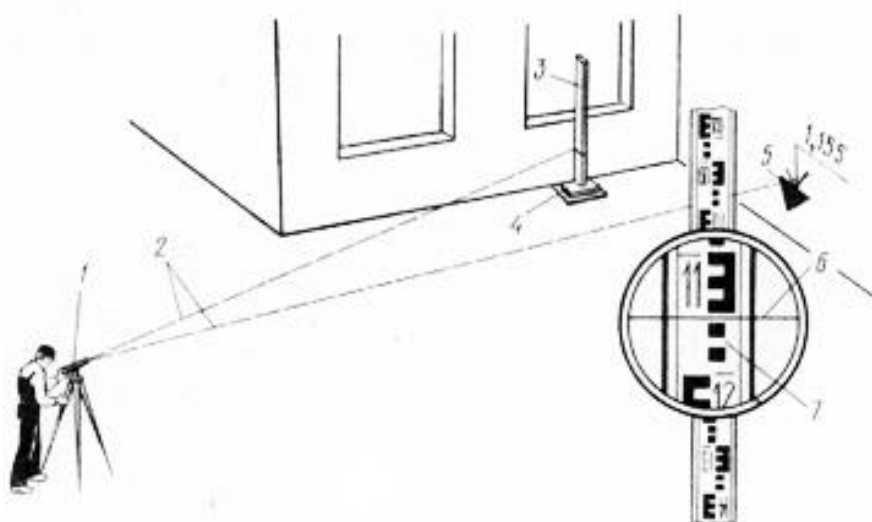


*Рисунок 34 – Принципиальная съема осей нивелира:  
 $U_k-U_k$  – ось круглого уровня;  
 $U-U$  – ось цилиндрического уровня;  
 $V-V$  – визирная ось;  $O-O$  – ось вращения*

У нивелиров с компенсаторами (с самоустанавливающейся линией визирования) приближенная установка оси вращения прибора производится по круглому уровню; после этого в работу включается компенсатор, который автоматически приводит визирную ось в горизонтальное положение. Главное условие, предъявляемое к нивелирам данного типа, – горизонтальность визирной оси в пределах углов стабилизации компенсатора ( $\pm 8 - 20''$ ). Нивелиры с компенсаторами в последние годы получили широкое распространение в геодезической практике, т. к. обеспечивают более высокую производительность труда, особенно при работе на неустойчивых грунтах.

Точные и технические нивелиры могут изготавливаться также с лимбами для измерения горизонтальных углов; при этом в шифре нивелира добавляется буква Л (например, Н-3Л, 2Н-10КЛ).

Выпускаемые предприятием УОМЗ по ГОСТ 10528–90 нивелиры 4Н-2КЛ, 4Н-3КЛ, 3Н-5Л отличаются более современной конструкцией и повышенными требованиями к точности определения превышений.

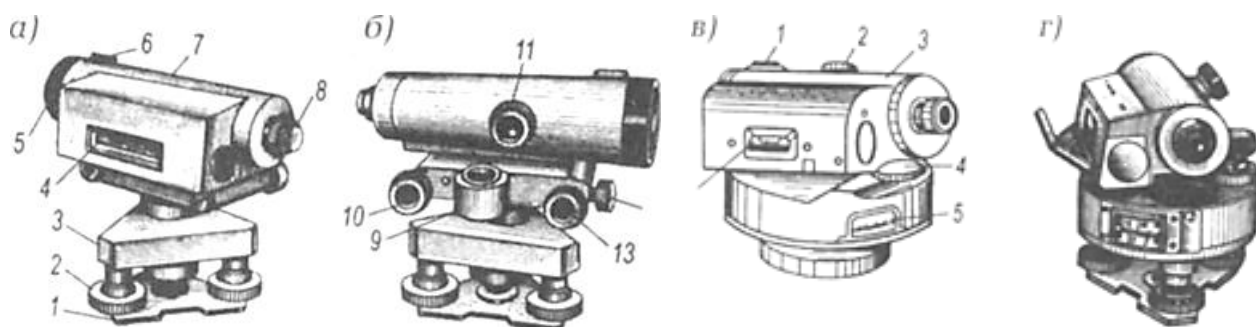


*Рисунок 35 – Процесс нивелирования поверхности:*

*1 – нивелир, 2 – визирные лучи, 3 – нивелирная рейка, 4 – реперный маяк, 5 – геодезическая отметка, 6 – горизонтальная черта в окуляре нивелира, 7 – рейка в поле зрения нивелира*

Нивелиры с уровнем при зрительной трубе. Из приборов данного типа рассмотрим нивелиры Н-3 и Н-10, получившие широкое распространение в геодезической практике.

Точный нивелир Н-3 служит для нивелирования III и IV классов и используется также для производства технического нивелирования. Он состоит (рис. 36, а, б) из двух основных частей: верхней подвижной и нижней, представляющей собой подставку 3 с тремя подъемными винтами 2 и пружинящей пластиной 1. Через втулку пластины проходит становой винт, с помощью которого нивелир закрепляется на штативе. Верхняя часть нивелира состоит из зрительной трубы 7, с которой жестко связан контактный цилиндрический уровень 4 с ценой деления 15'' и призмное устройство, передающее изображение концов пузырька уровня в поле зрения трубы (см. рис. 36 б). Это позволяет одновременно наблюдать за рейкой и уровнем. Зрительная труба с внутренним фокусированием состоит из объектива 5 и окуляра 8; имеет увеличение 30,5'; фокусирование трубы осуществляется кремальерой 11.



*Рисунок 36 – Нивелиры с уровнем при зрительной трубе:  
 точный нивелир Н-3: а – вид слева; б – вид справа;  
 технические нивелиры; в – Н-10Л; г – 2Н-10Л*

Для юстировки цилиндрического уровня в корпусе со стороны окуляра имеются четыре юстировочных (исправительных) винта, закрытых крышкой. Для грубого наведения прибора на рейку на корпусе зрительной трубы имеется мушка 6; точное наведение осуществляется наводящим винтом 13 при зажатом положении закрепительного винта 12.

Предварительную установку нивелира в рабочее положение проводят по круглому уровню 9 путем вращения подъемных винтов. Точное приведение визирной оси трубы в горизонтальное положение выполняют с помощью элевационного винта 10, совмещая изображения концов пузырька уровня.

Современная модификация точного нивелира 2Н-3Л отличается от нивелира Н-3 наличием наводящего винта бесконечной наводки и лимба для измерения горизонтальных углов с точностью отсчитывания по нониусу  $0,1^\circ$ , зрительной трубой прямого изображения и рядом других технических новшеств.

Технический нивелир Н-10Л предназначен для технического нивелирования. Он состоит (рис. 36, в) из вращающейся части со зрительной трубой 3 и неподвижной части с горизонтальным кругом 5, закрепляемой на шаровой пяте штатива становым винтом. Зрительная труба с внутренним фокусированием, осуществляемым кремальерой 2, имеет увеличение  $23\times$ . Со зрительной трубой жестко скреплен контактный цилиндрический уровень 6 с ценой деления  $45''$ , изображение которого, как и у нивелира Н-3, передается в поле зрения трубы. Предварительная установка нивелира выполняется по круглому уровню путем наклона прибора с помощью рукоятки станового винта. Точное совмещение изображения концов цилиндрического уровня осуществляется

при помощи элевационного винта 4. Нивелир не имеет обычных крепежного (зажимного) и наводящего (микрометричного) винтов. Наведение на рейку выполняется вращением трубы от руки по мушке 1, укрепленной на корпусе зрительной трубы. Для измерения горизонтальных углов нивелир снабжен горизонтальным кругом с ценой деления лимба  $1^\circ$ ; отсчеты берутся по индексу, расположенному в окне алидады, с точностью  $0,1^\circ$ . Малая масса (1,0 кг), компактность и наличие горизонтального круга обеспечивают широкое применение нивелира в прикладных задачах геодезии в агрономии и лесном хозяйстве.

У нивелира 2Н-10Л (рис. 36, г) основанием служит подставка с тремя подъемными винтами (вместо шаровой пяты нивелира Н-10Л).

Модификация технического нивелира 3Н-5Л отличается более совершенной конструкцией, оптимальным расположением уровней и рукояток управления и более удобна в эксплуатации. Нивелир обеспечивает точность определения превышений не более 5 мм на 1 км двойного хода.

В настоящее время на практике получили широкое распространение нивелиры с компенсаторами. Использование компенсаторов позволяет исключить трудоемкий процесс приведения пузырька цилиндрического уровня в нуль-пункт, что повышает производительность труда при нивелировании примерно на 60 %.

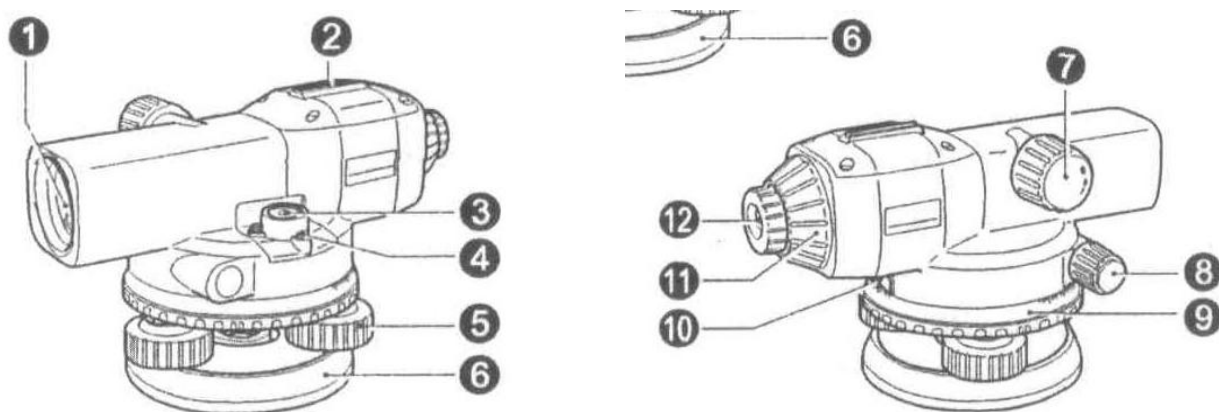


Рисунок 37 – Устройство нивелира SOKKIA C410:

1 – объектив, 2 – визир, 3 – круглый уровень, 4 – юстировочный винт круглого уровня, 5 – подъемные винты, 6 – подставка, 7 – компенсатора, 8 – наводящий винт зрительной трубы, 9 – горизонтальный круг, 10 – индекс горизонтального круга

Так, в последние годы широкое распространение получил нивелир с компенсатором С410 от японской компании «SIKKIA CO., LTD» (рис. 37). Этот прибор предназначен для измерения превышений методом геометрического нивелирования по вертикальным рейкам (изображение прямое). Используется для обоснования топографических съемок, прикладной геодезии, строительстве и инженерно-геодезических изысканиях.

Принцип действия нивелира основан на автоматической установке визирной оси в горизонтальное положение с помощью маятникового оптико-механического компенсатора с магнитным демпфером. Измерение превышений состоит в суммировании разностей отсчетов (проекция визирной оси на нивелирную рейку) по нивелирным рейкам, установленных на каждой двух последовательных точках, расположенных по некоторой линии и образующей нивелирный код.

Таблица 7 – Технические характеристики нивелира SOKKIA C410

Наименование характеристики	Значение
Допускаемое СКО измерения превышения на 1 км двойного хода, не более :	
При длине визирного луча 25 м	2,5 мм
При длине визирного луча 100м	5,0 мм
Диапазон измерений горизонтальных углов :	0°-360°
Цена деления горизонтального лимба :	1°
Допускаемое СКО измерения горизонтальных углов, не более :	0,2°
Диаметр входного зрачка зрительной трубы , не менее :	30 мм
Увеличение зрительной трубы , не менее :	20 крат
Предел разрешения зрительной трубы , не более:	4,5"
Угловое поле зрения зрительной трубы, не менее :	1°30'
Цена деления установочного круглого уровня :	(10±1,5)/2 мм
Наименьшее расстояние визирования , не более :	0,9 м
Диапазон работы ком пенсатора, не менее :	±15'
Коэффициент нитяного дальномера :	100±1
Допускаемое СКО установки линии визирования , не более :	0,5"
Значение постоянного слагаемого нитяного дальномера :	±0,1 м
Диапазон рабочих температур :	от -40°С до +50°С
Габаритные размеры , ДхШхВ, не более :	
Нивелира	(190x 115 x 122) мм
Футляра	(280x 195 x200) мм
Масса нивелира ( в футляре), не более:	2,1 кг

Основными частями нивелира являются зрительная труба с компенсатором (рис. 37), несъемная подставка (трегер) с тремя подъемными винтами и вертикальная осевая система. Приведение нивелира в рабочее положение осуществляется по круглому установочному уровню. Наведение в горизонтальной плоскости на нивелирную рейку осуществляется с помощью бесконечного наводящего винта без зажимного устройства. Нивелир имеет горизонтальный лимб для угловых измерений и дальномерные нити для измерения расстояний. Взятие отсчета по рейке выполняется визуально. При работе используются рейки нивелирные РН-10 ГОСТ 10528-90. Основные технические характеристики нивелира SOKKIA C410 приведены в таблице 7.

Отличительной особенностью электронных нивелиров является встроенное электронное оборудование для снятия отсчетов по специальной кодовой (инварной) рейке с высокой точностью, позволяющее также определять расстояние до рейки.

Одним из распространенных в геодезических измерениях является нивелир Trimble DiNi 12. Прибор выделяется высокой точностью, удобством эксплуатации, надежностью и цифровым предоставлением данных. Среди преимуществ следует выделить:

- Проведение измерений одним нажатием клавиши.
- Исключение ошибок и переделок благодаря цифровому считыванию.
- Быстрый и удобный обмен данными с компьютером.
- Измерения по 30-сантиметровому сегменту рейки.
- Работа на 60% быстрее по сравнению с обычным нивелиром с компенсатором.
- Качественная оптика от «Carl Zeiss»

Технические характеристики Trimble DiNi 12 приведены в табл. 8.

Измерения DiNi можно выполнять как электронным методом с автоматическим считыванием отсчетов по кодовым рейкам, так и визуальным методом с использованием реек РН-3, т.е. как оптическим нивелиром. В последнем случае отсчеты снимают по метрической стороне рейки и вводят в память прибора вручную.

Автоматическое снятие отсчетов обеспечивается с помощью специального приемного устройства, в качестве которого в нивелире использована (рис. 38) ПЗС-матрица (прибор с зарядовой связью); она

размещается в плоскости изображений, создаваемых зрительной трубой.

Таблица 8 – Технические характеристики электронного нивелира Trimble DiNi 12

Наименование характеристики	Значение
Минимальное фокусное расстояние	1,3 м
Увеличение зрительной трубы	26 крат
Диапазон измерений	100 м
Точность измерения превышений	0,3 мм на инвар; 1,0 мм на штрихкодую рейку
Диапазон работы компенсатора	15'
Дисплей	ЖК / 4 строки по 21 символу
Клавиатура	2
Память	2
Изображение	прямое
Рабочая температура	-20°C ... +50°C
Источник питания / зарядное устройство	Аккумулятор NiMH: 6В, 1.1Ач
Время работы без подзарядки	1 час
Время зарядки аккумулятора	1 час



Рисунок 38 – Устройство электронного нивелира Trimble DiNi 12

Цифровой нивелир DiNi 12 позволяет выполнять нивелирование с высокой точностью: 0,3 мм на 1 км двойного хода при использовании инварных штрих-кодовых реек (с VAR-кодом) и 1,0 мм – при использовании складных алюминиевых штрих-кодовых реек (табл. 8). При визуальных измерениях по складным рейкам с метрической оцифровкой точность измерений снижается до 1,5 мм на 1 км хода.

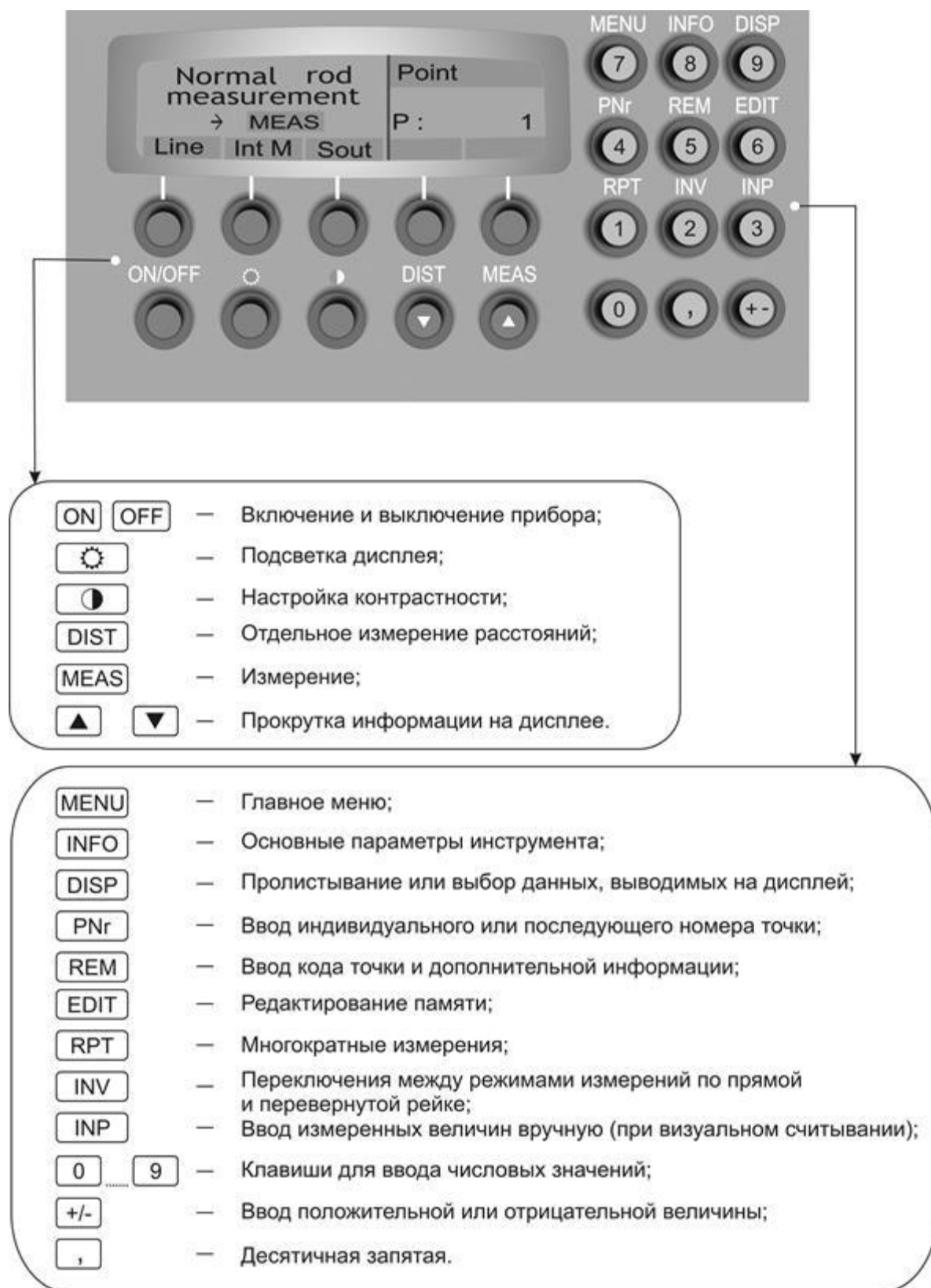


Рисунок 39 – Клавиатура и дисплей панели управления DiNi 12

Прибор позволяет также выполнять измерения направлений с помощью горизонтального лимба с ценой деления  $1^\circ$ , что позволяет брать отсчеты по отсчетному индексу до  $0,1^\circ$ . Предварительную установку прибора выполняют подъемными винтами трегера 9 (см. рис. 38) по круглому уровню с ценой деления  $8'$  на 2 мм. Точное приведение визирной оси в горизонтальное положение осуществляется с помощью оптического компенсатора; рабочий диапазон компенсатора составляет  $\pm 15'$  с точностью установки  $\pm 0,2''$ . Визирование на рейку выполняют с помощью бесконечного наводящего винта 5.

Со стороны окулярной части нивелира располагается панель управления с жидкокристаллическим дисплеем и клавиатурой (рис. 26); назначение клавиш определяется подписями. Назначение функциональных клавиш, расположенных непосредственно под дисплеем, описано в нижней строке дисплея.

Для сохранения данных измерений служит карта памяти РСМСІА объемом до 8 Мбайт, размещаемая в защищенном отсеке прибора. РС карты отличаются большой емкостью, высокой сопротивляемостью к внешним условиям, прочностью и надежностью. На РС карте объемом 1 Мб можно записать около 10000 строк с данными полевых измерений со сроком хранения 1 год.

В карте памяти записи данных последовательно пронумерованы. Каждая запись данных состоит из адреса, идентификатора точки, содержащего номер точки, код точки и номер хода, и 3 измеренных и вычисленных величин. Для хранения данных на РС картах можно создавать DOS совместимые каталоги и файлы (проекты) и сохранять записи данных для других проектов.

Встроенное в прибор стандартные программы обеспечивают различные функции измерений: однократные и многократные измерения, проложение нивелирного хода, нивелирование поверхности и вынос точек в натуру. Главное меню программного обеспечения включает следующие функции:




1. «Input» – Установка постоянных прибора;
2. «Adjustment» – Юстировка положения визирной оси;
3. «Data transfer» – Передача данных;
4. «Setting of recording» – Установка параметров данных;
5. «Instrument settings» – Установка параметров прибора;
6. «Line adjustment» – Уравнивание нивелирного хода.

Передача измеренных и вычисленных величин из прибора на внешние устройства (напр., персональный компьютер), и наоборот осуществляется через интерфейс 10 RS 232C (рис. 39).

Питание прибора осуществляется от аккумуляторной батареи, располагаемой в специальном отсеке 6 (см. рис. 39). Емкость аккумулятора обеспечивает работу прибора в течение 3 дней при интенсивной работе (800 – 1000 измерений в день).

Работа с нивелиром Dini 12 представлена следующей последовательностью.

Нивелир извлекают из футляра, и закрепляют на головке штатива с помощью станкового винта.

Прибор включают с помощью клавиши . На дисплее отображается программа измерений, использованная в предыдущий раз. Если изображение на дисплее нечеткое, то следует включить подсветку  (что подтверждается мигающей звездочкой в правом верхнем углу экрана), либо подрегулировать контрастность с помощью кнопки .

С помощью кнопки (INFO) следует проконтролировать состояние аккумулятора, которое отображается символом аккумулятора в правом верхнем углу дисплея. Если аккумулятор садится, то на дисплее появляется сообщение «Change battery» (Замените аккумулятор). После этого сообщения необходимо быстро заменить аккумулятор, предварительно выключив прибор, чтобы предотвратить потерю информации.

Если карта памяти PCMCIA не находится в отсеке прибора, то сообщение об ошибке выдается на дисплей.

Перед измерениями нивелир устанавливают в рабочее положение, включающее горизонтирование прибора и подготовку зрительной трубы для наблюдений.

*Горизонтирование* нивелира выполняют с помощью подъемных винтов по круглому уровню.

*Подготовка трубы для наблюдений* состоит по установки трубы по глазу наблюдателя и по предмету (фокусирование трубы). Для установки трубы по глазу наводит зрительную трубу на светлую поверхность, и вращают окулярное кольцо до получения четкого изображения сетки нишей. Фокусирование трубы выполняют с помощью фокусировочного винта 2 (рис. 26) до получения четкого изображения делений рейки.

После фокусирования трубы следует убедиться в отсутствии *параллакса сетки нишей*; при движении глаза наблюдателя перед окуляром изображения сетки нитей и делений рейки не должны смещаться относительно друг друга.

С учетом производства определенного вида работ выполняют установку параметров и постоянных прибора.

К основным параметрам прибора относятся:

- единицы измерения высот при электронном (и визуальном) считывании отсчетов по соответствующим рейкам – м (метры);
- дискретность отсчетов по рейке – 0,00001 м (0,001 м);
- автоматическое выключение прибора – через 10 минут; OFF (ВЫКЛ);
- звуковой сигнал – ON (ВКЛ); OFF (ВЫКЛ).

Постоянные прибора, которые обеспечивают автоматический контроль измерений и при их нарушении выдают предупреждения, включают показатели:

- максимальная длина плеча – от 10 до 100 м;
- минимальная высота визирования – от 0 до 1 м;
- максимальная разница превышений, полученных на станции – от 0 до 0,01 м;
- коэффициент рефракции – от -1 до +1;
- постоянная рейки – от 0 до 5 м (для реек сторонних производителей);
- дата;
- время.

Перед началом нивелирования создается файл с названием местоположения объекта нивелирных работ; далее в программу измерений вводят номер хода, номера задней и передней точек и информацию о методе нивелирования, отражающую порядок считывания отсчетов по задней и передней рейкам на нечетных/четных станциях.

Например:

- при обычном методе порядок визирования на нечетных/четных станциях не изменяется: ЗП-ПЗ/ЗП-ПЗ, ЗП-ЗП/ЗП-ЗП, ЗЗ-ПП/ЗЗ-ПП;
- при альтернативном методе: ЗП-ПЗ/ЗП-ПЗ, ЗП-ЗП/ПЗ-ПЗ, ЗЗ-ПП/ПП-ЗЗ.

Если после установки нивелира в рабочее положение наклон визирной оси выходит за пределы рабочего диапазона компенсатора («залипание» компенсатора), то на дисплее появится сообщение

«!!Сomp!!». При попытке выполнить измерение включается сигнал предупреждения. В этом случае следует заново отгоризонтировать прибор и при необходимости выполнить поверки. Если устранить неисправность не удалось, следует обратиться в сервисную службу.

Выбор типа нивелира и его марки зависит от целей исследования и точности измерений, которые определяются увеличением зрительной трубы и ценой деления цилиндрического уровня при трубе. По этим характеристикам определяет пригодность нивелира для выполнения работ заданной точности. Чтобы получить численные значения увеличения трубы и цены деления уровня, выполняют соответствующие исследования нивелира.

## 8.2 Поверки и юстировки нивелиров

Перед началом геодезических измерений нивелир необходимо поверить и если надо – отъюстировать. Но прежде всего следует проверить исправность штатива. Он должен быть устойчив, т.е. не иметь люфта в головке штатива и в наконечниках ножек штатива. Недостатки устраняются подтяжкой болтов, скрепляющих элементы штатива. Стоит убедиться в функциональности зажимных винтов ножек штатива.

Нивелир закрепляется станovým винтом на головке надежно установленного штатива. Подъемными винтами подставки пузырек круглого уровня приводится в нуль-пункт. Если штатив имеет сферическую головку, то надо слегка ослабить становой винт и, перемещая руками прибор по головке, добиться, чтобы пузырек уровня был близок к центру. Далее закрепить становой винт и при помощи подъемных винтов подставки привести пузырек уровня в центр.

Нивелир должен удовлетворять следующим геометрическим условиям:

*1. Ось круглого уровня должна быть отвесной и параллельной оси вращения прибора.*

Для проверки этого условия надо взять отчет по горизонтальному кругу нивелира и повернуть его на  $180^\circ$ . Если пузырек останется в центре, то условие выполнено. В противном случае его надо переместить на половину дуги отклонения к центру подъемными винтами подставки, а на другую, т.е. в центр, переместить юстировочными винтами уровня. Вновь повернуть прибор на  $180^\circ$ . Если пузырек уйдет из

центра, юстировку надо повторить. В результате после завершения юстировки пузырек уровня должен остаться в центре при любом положении зрительной трубы. Далее следует отфокусировать окуляр до резкого изображения сетки нитей, вращая окулярное кольцо. Навести зрительную трубу на рейку и убедиться в отсутствии параллакса. Параллакс отсутствует в том случае, когда изображение рейки и сетки нитей остаются неподвижными относительно друг друга при изменении положения глаза наблюдателя относительно окуляра. Если параллакс имеется, его надо устранить фокусировкой зрительной трубы. При невозможности его устранения прибор подлежит ремонту в мастерской. Параллакс может привести к большим ошибкам в измерениях!

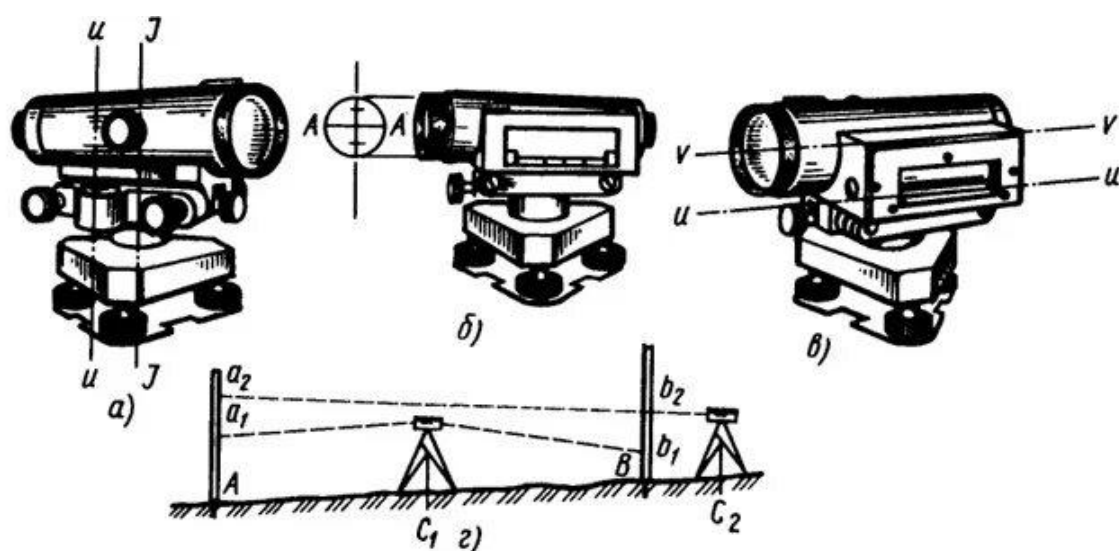


Рисунок 40 – Геометрические условия проверок нивелира НЗ:

а) ось круглого уровня  $U-U$  параллельная оси вращения  $J-J$ ; б) горизонтальная нить сетки должна быть перпендикулярна к вертикальной нити; в) ось цилиндрического уровня  $U-U$  должна быть параллельна визирной оси  $V-V$ ; г) способы нивелирования поверхности ( $C_1$  – из середины;  $C_2$  – вперед).

## II. Проверка работы компенсатора

Навести зрительную трубу на рейку, взять отсчет по рейке. Слегка стукнуть пальцем по корпусу прибора или ножкам штатива, не отрывая глаз от зрительной трубы. Нить сетки должна качнуться и вновь вернуться на место (на прежний отсчет). Это указывает, что компенсатор работает. Или, глядя в зрительную трубу, взять по рейке отсчет, затем повернуть подъемный винт подставки на  $1/8$  оборота. При этом нить

должна качнуться, а затем встать на прежнее место (на прежний отчет) – компенсатор работает. Если отчет по рейке изменился, т.е. нить не заняла прежнее место, компенсатор не работает. Убедиться в этом еще раз, повторив контроль. Прибор надо сдать в ремонтную мастерскую. Работу компенсатора следует проверять каждый раз перед началом измерений.

*III. Вертикальная нить сетки должна быть отвесной и параллельной оси вращения нивелира, а горизонтальная – перпендикулярна к ней.*

На расстоянии 15–20 м от нивелира подвешивается тяжелый отвес и вверху поля зрения трубы нить сетки совмещается с нитью отвеса. Если внизу поля зрения трубы нить совпадет с отвесом – условие выполнено. Если имеется несовпадение более 0,5 мм, необходима юстировка. Для этого надо: снять защитный кожух юстировочных винтов сетки, ослабить 4 винта, скрепляющих обойму сетки с корпусом трубы, и, вращая сетку вокруг визирной линии (под винтами имеются вырезы в обойме сетки), совместить нить сетки с нитью отвеса. Винты аккуратно закрепить. Навести зрительную трубу на рейку, например в левый край поля зрения трубы, и взять отчет. Затем перевести изображение рейки в правый край поля зрения, взять отчет по рейке. Отсчеты должны быть одинаковы (перпендикулярность нити гарантируется заводом изготовителем).

*IV. Горизонтальная нить сетки должна быть перпендикулярна к вертикальной нити, а вертикальный штрих – параллелен оси вращения нивелира.*

Перпендикулярность горизонтального и вертикального штрихов сетки нитей гарантируется заводом-изготовителем. Поэтому проверка этого условия может быть выполнена различными способами.

I способ. На расстоянии 20–25 м от нивелира подвешивают отвес (рис. 28, а). По круглому уровню тщательно приводят ось вращения нивелира в отвесное положение. Зрительной трубой визируют на отвес и совмещают один из концов вертикального штриха сетки с нитью отвеса. Если другой конец вертикального штриха отходит от нити отвеса более чем на 0,5 мм, то проводят исправление положения сетки нитей.

II способ. Нивелир наводят на рейку так, чтобы ее изображение в трубе оказалось в левой части поля зрения (рис. 29, б, позиция 1, и берут отчет по горизонтальной нити сетки. Поворотом нивелира переводят изображение рейки в правую часть поля зрения трубы (рис. 29,

б, позиция 2) и вновь берут отсчет по рейке. Взятые отсчеты не должны различаться более чем на 1 мм.

У нивелира Н-3 доступ к сетке нитей возможен только после отделения окулярной части от корпуса зрительной трубы, для чего предварительно вывинчивают крепежные винты 1 (рис. 29, в). Затем ослабляют винты 2 секторной пластинки 3, несущей сетку нитей, и поворачивают ее в нужную сторону за счет люфта в отверстиях винтов. Проверяют правильность исправления сетки нитей и после этого заворачивают все винты.

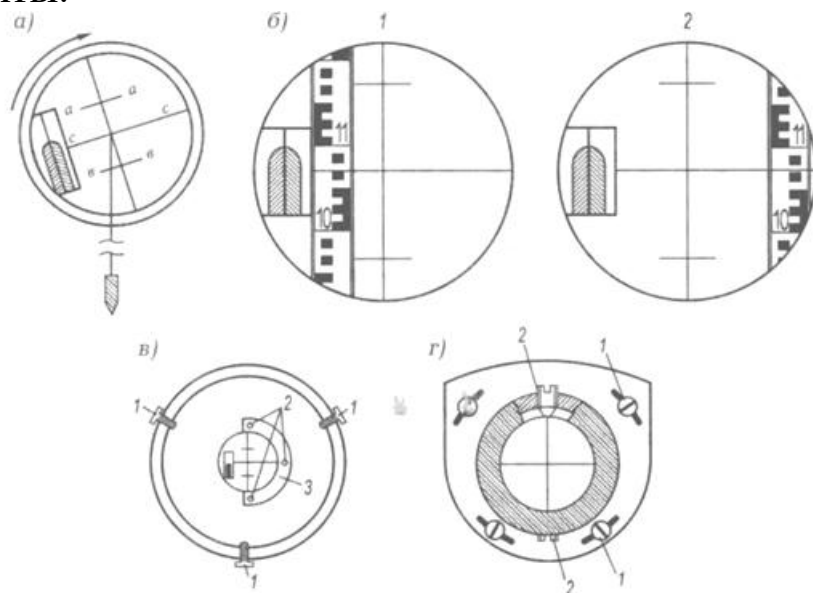


Рисунок 41 – Схема проверки сетки нитей нивелира

У нивелиров с компенсатором (Н-3К, Н-10К) исправление положения сетки нитей выполняют поворотом оправы сетки совместно с корпусом окулярного колена. Для этого с окулярной части трубы снимают защитный колпачок, закрывающий крепежные винты 1 окуляра 2, и ослабляют крепежные винты 2 сетки нитей (рис. 29, г); сетку поворачивают, горизонтируя среднюю нить. Затем винты вновь закрепляют и повторяют проверку.

#### *V. Визирная линия нивелира должна быть горизонтальной*

Эта проверка носит название – проверка главного условия нивелира. Невыполнение условия приводит к погрешности, называемой (обозначаемой)  $x$ . Проверку можно выполнить двумя методами.

#### *1. Нивелирование из середины (рис. 40, г)*

На местности закрепляются две точки на расстоянии примерно 50-70 м. Нивелир устанавливается точно посередине между указанными

ранее точками ( $\pm 10-20$  см). Берутся отчеты по рейке  $a_1$  и  $b_1$  (рис. 40, г), вычисляется превышение между точками А и В

$$h = a_1 - b_1 \quad (94)$$

Здесь значение  $h$  безошибочно, так как отклонение  $x$  визирной линии от горизонта одинаково на заднюю и переднюю рейки. Следовательно, при разности отсчетов оно исключается.

Затем нивелир переставляется из середины к точке А с учетом возможности взятия отсчета по рейке ( $\approx 2$  м). Берутся отчеты по рейке  $a_2$  и  $b_2$ .

Отсчет  $a_2$  будет практически безошибочным из-за негоризонтальности визирной линии нивелира, т.к. он близко расположен к рейке, а  $b_2$  будет содержать составляющую  $x$ . Следовательно, можно вычислить отсчет  $b_2'$  по рейке свободный от значения  $x$  (43), а также и  $x$  (44)

$$b_2' = a_2 - h, \quad (95)$$

$$x = b_2 - b_2'. \quad (96)$$

Если значение  $x \leq 3$  мм юстировка не требуется.

В противном случае надо снять защитный кожух юстировочного винта компенсатора (винтов сетки) и при помощи шпильки (отвертки) установить отсчет  $b_2'$  по рейке, перемещая сетку нетей. Проверку повторить после юстировки.

## 2. Двойное нивелирование вперед.

Этот метод имеет преимущество над рассмотренным выше методом вследствие его корректности. Здесь нивелир устанавливается так, чтобы проекция окуляра зрительной трубы совпала с точкой А (рис. 30). Берется отсчет ( $a_1$ ) по рейке, установленной на точке В. Измеряется высота прибора над точкой А при помощи рулетки или рейки до середины окуляра. Это можно сделать, наблюдая рулетку или рейку через объектив зрительной трубы и беря отсчет  $i_1$  по центру поля зрения с точностью до 1 мм. Вычисляется превышение между точками А и В:

$$h = (a_1 - x) - i_1. \quad (97)$$

Далее нивелир устанавливается в точке В аналогично точке А. Берется отсчет ( $a_2$ ) по рейке, установленной в точке А. Измеряется высота прибора  $i_2$  (рис. 42) с точностью до 1 мм. Вычисляется превышение:

$$h = i_2 - (a_2 - x) \quad (98)$$

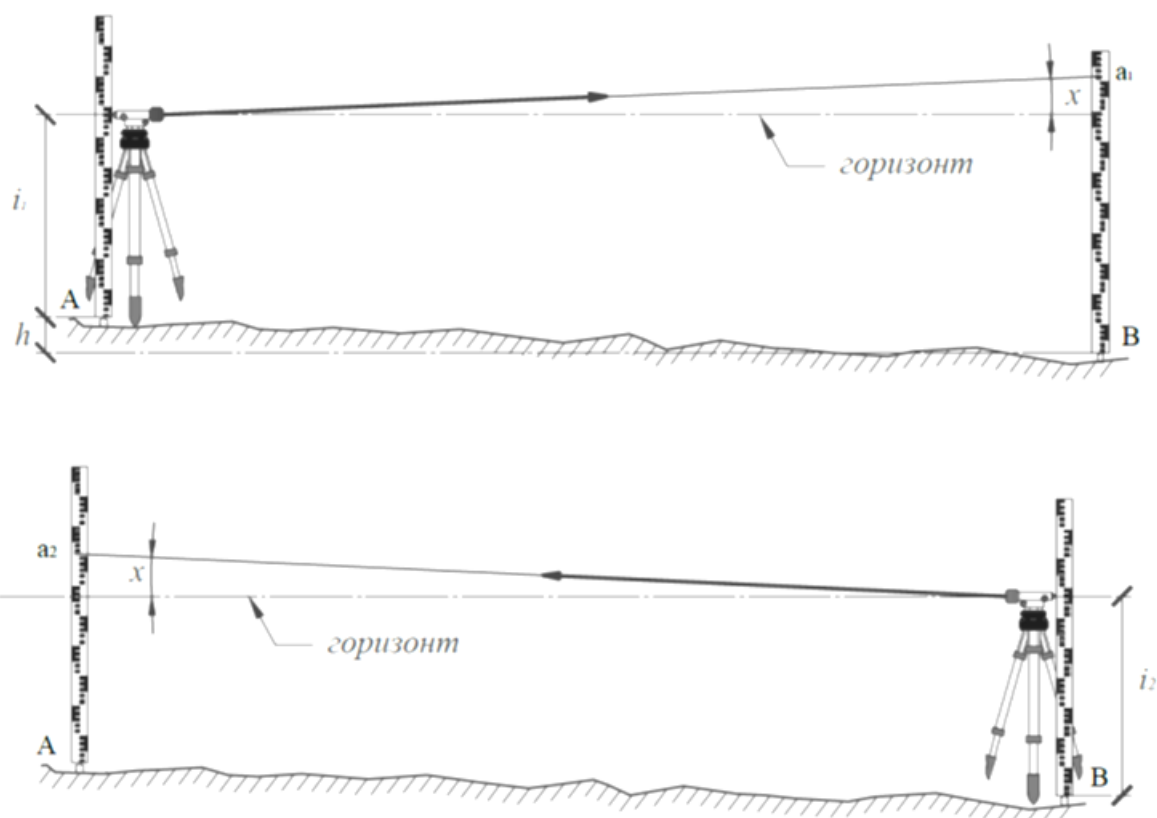


Рисунок 42 – Схема двойного нивелирования проверки главного геометрического условия нивелира

Приравняем выражения (99) и (100), и преобразуем равенство

$$(a_1 - x) - i_1 = i_2 - (a_2 - x), \quad (99)$$

$$a_1 - x - i_1 = i_2 - a_2 + x. \quad (100)$$

Таким образом, если вычисленное значение  $x$  как разность полусуммы отсчетов по рейкам в точках А и В и полусуммы высот нивелира в этих точках при нивелировании вперед (8) не превосходит 3 мм, юстировка не требуется. В противном случае вычисляется значение отсчета свободное от  $x$  ( $a_2' = a_2 - x$ ), и крест сетки нитей перемещается юстировочным винтом компенсатора (винтами сетки) на безошибочный отсчет  $a_2'$ . После юстировки проверка повторяется. Здесь (винтами сетки) – относится к нивелиру с цилиндрическим уровнем при зрительной трубе.

Отметим, при выполнении проверки главного условия нивелира отсчеты берутся по вертикально установленным рейкам в точках А и В по круглому уровню. При отсутствии уровня на рейке ее необходимо качать в направлении нивелира и от него, пересекая вертикаль. Берется минимальное значение отсчета по рейке, что соответствует ее

вертикальному положению. Рейка должна устанавливаться на полусферическую головку закрепленных точек.

Проверка главного условия нивелира выполняется периодически, но обязательно – если прибор подвергся тряске при его транспортировке или переносе, а также при большом перепаде температуры окружающей среды (осень-зима, зима-весна). В последнем случае меняется упругость возвратной пружины юстировочного винта компенсатора, что приводит к изменению значения «х».

Цифровой (электронный) нивелир перед началом измерений также необходимо проверить и, если надо, отъюстировать. Проверки следует начать с круглого уровня. Они выполняются аналогично проверкам для оптических нивелиров. Затем надо проверить положение креста сетки нитей: сначала – вертикальность нити, далее – положение горизонтальной нити. Вертикальность проверяется по отвесу, подвешенному в 15-20 м от прибора. При несовпадении вертикальной нити креста с нитью отвеса надо ослабить 4 винта, скрепляющих обойму креста сетки с корпусом зрительной трубы (предварительно снять защитный кожух сетки нитей), повернуть обойму вокруг визирной линии до совпадения с отвесом и закрепить винты.

Положение горизонтальной нити проверяется взятием отсчета по кодовой стороне рейки, установленной в 20 м от прибора, а затем по сантиметровой стороне рейки. Если разность отсчетов более 2 мм, крест сетки надо переместить вертикальными юстировочными винтами сетки до совпадения кодового отсчета с отсчетом по сантиметровой стороне рейки. Если кодовый отсчет меньше, то сетку надо переместить вверх, ослабив верхний юстировочный винт и подтянув нижний винт.

Далее проверяется главное условие нивелира – линия визирования должна быть горизонтальной. Проверка выполняется аналогично изложенным ранее процессам (например, нивелированием из середины и расположением прибора вблизи или за задней рейкой в 3 м). Юстировка выполняется вращением юстировочного винта компенсатора.

### **8.3 Нивелирные рейки и штативы.**

Нивелирная рейка – прибор, при помощи которого определяется величина превышения при нивелировании. Для нивелирования I, II, III, IV кл., а также высокоточного инженерно-технического нивелирования

используются 3-х метровые цельные рейки. Для высокоточного нивелирования используются штриховые инварные рейки с 0,5 см делениями, для III, IV кл. нивелирования – шашечные с сантиметровыми делениями цельные 3-х метровые.

Основные типы реек показаны на рис. 43.

В геодезии широкое применение нашли 3, 4, 5-метровые телескопические алюминиевые рейки с сантиметровыми делениями (звено 1 м) – рис. 43 а-д. В высокоточном цифровом нивелировании (электронном) применяются рейки штриховые кодовые с одной стороны и шашечные с сантиметровыми делениями с другой стороны, рейки из углепластика, фибerglassа (рис. 43, д).

Прежде чем приступить к измерениям, нивелирные рейки необходимо исследовать:

1. Осмотреть шкалы, пятки, замки-фиксаторы телескопических реек, их функциональность;
2. Степень коробления (прогиба) плоскости рейки.

Для этого надо натянуть капроновые тонкие нити вдоль ребра рейки через ее пятку и верх, измерить при помощи линейки с миллиметровой шкалой стрелки прогиба (двухавровая форма поперечного сечения рейки – антикоробление) плоскости шкалы. Допускаются величины стрелок прогиба не более для нивелирования:

- II класс – 2 мм;
- III класс – 4 мм;
- IV класс – 7 мм;
- технического класса – 10 мм.

3. Правильность крепления на ребрах рейки кронштейнов для подвески и центрирования нитяного отвеса (для установки рейки в вертикальное положение). Проверяется выверенным теодолитом при двух положениях рейки.

4. Правильность установки круглого уровня на рейке проверяется при помощи нитяного отвеса, повешенного вдоль ребра рейки. Ребро рейки устанавливается параллельно нити отвеса в обеих плоскостях. В этом положении пузырек уровня должен быть в нуль-пункте. Если имеется отклонение пузырька, то оно устраняется юстировочными винтами уровня. Эту проверку можно выполнить, используя вертикальную нить креста сетки вместо отвеса. Положение рейки надо наблюдать в двух плоскостях, приводя при этом пузырек уровня в нуль-пункт его юстировочными винтами.

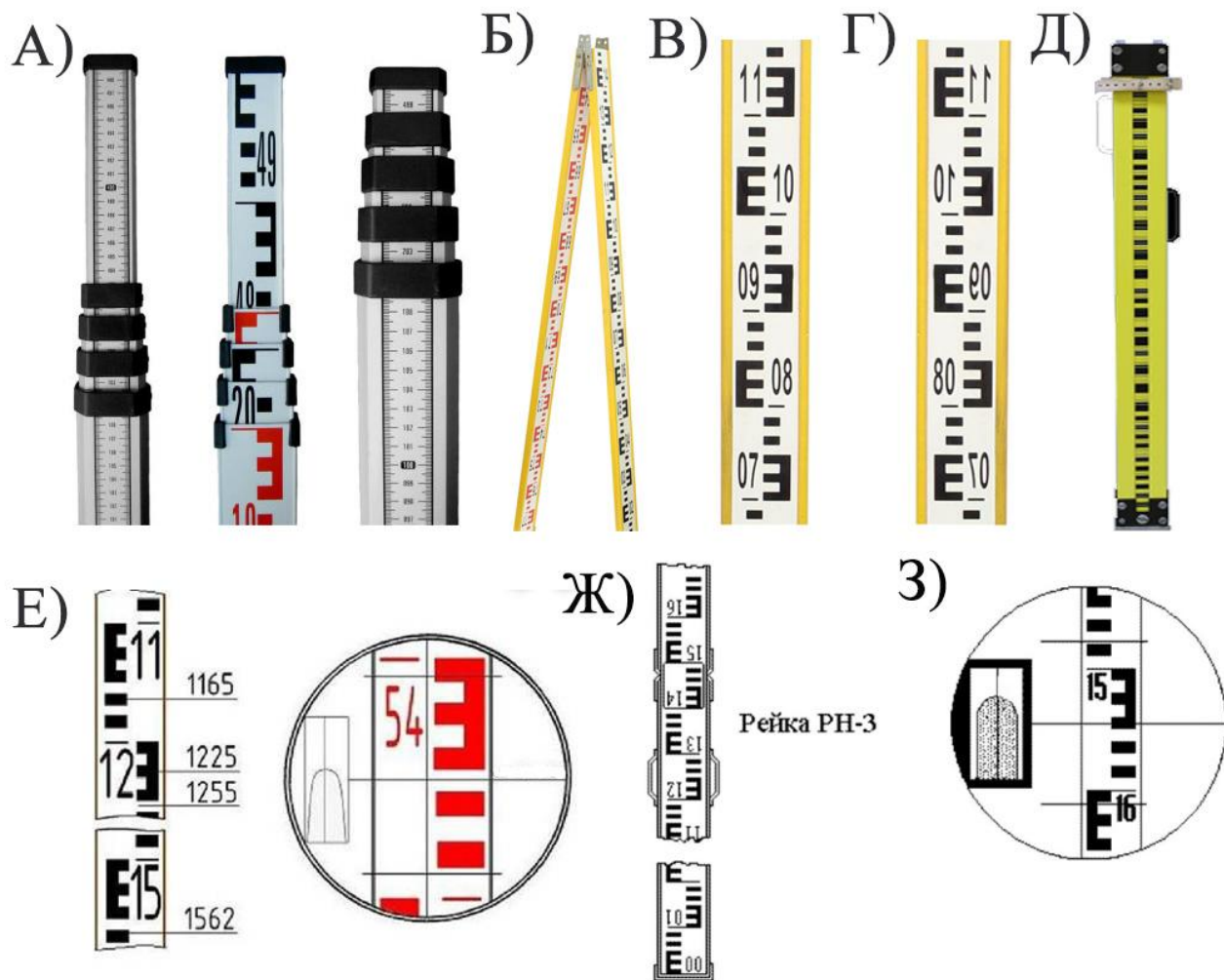


Рисунок 43 – Основные типы реек и снятие по ним отчетов:  
 а) рейка нивелирная телескопическая SIL, 5м; б) складная нивелирная деревянная рейка, 3 м; в) фрагмент рейки нивелирной с прямым изображением; г) фрагмент рейки с обратным изображением; д) телескопическая рейка; е) снятие отсчетов по красной стороне рейки нивелиром с прямым изображением; ж) нивелирная рейка НР-3 с обратным изображением; з) снятие отсчетов по рейке НР-3.

5. Пятка рейки должна быть перпендикулярна к оси рейки;

6. Разности высот идентичных точек пяток рабочей пары реек должны быть равны нулю. Для контроля обе рейки поочередно надо устанавливать вертикально, на удалении от нивелира 8-10 м, на полусферическую головку в точках на краях и середине пятки, беря отсчеты по рейке. Таких приемов измерений должно быть не меньше двух.

Затем по данным измерений вычисляется перекося пятки и разности высот идентичных точек рабочей пары реек. Если рейки снабжены подпятниками, то это исследование не проводится;

7. Определение разности высот нулей черной и красной стороны реек № 1 и № 2.

На расстоянии около 20 м от нивелира поочередно устанавливаются рейки в вертикальное положение на костыль (башмак) со сферической головкой, берутся отсчеты по черной и красной сторонам реек. *Разность отсчетов по красной стороне и черной называется пяткой рейки.* Таких определений надо выполнить около 10-12 на разных участках рейки по высоте. За окончательный результат принимается среднее из всех определений. Разность пятков реек № 1 и № 2 называется «разностью пары реек», и она является одним из полевых контролей на станции при производстве нивелирования.

Определение длины метровых интервалов шкал реек, вычисление средней длины рабочего метра пары реек выполняется при помощи контрольной (женевской) линейки в помещении с постоянной температурой. Измеряются метровые и дециметровые отрезки рейки, отмеченные острым карандашом. Измерения выполняются в прямом и обратном направлениях. В каждом направлении отрезки измеряются дважды, для этого линейка несколько сдвигается. Таким образом, получаем 4 значения отрезков, из которых выводится среднее значение метра, а также вычисляются случайные ошибки дециметровых отрезков.

Определяется совпадение нуля шкалы черной стороны рейки с пяткой. Для этого к пятке прикладывается лезвие бритвы и при помощи линейки измеряется отрезок до ближайшего края четко очерченного штриха или шашки сантиметра. Таким образом, устанавливается разность нулей пары реек.

В строительстве используются телескопические раздвижные алюминиевые рейки с сантиметровыми делениями. Их метровые и дециметровые отрезки измеряются при помощи стальной прокомпарированной рулеткой с миллиметровыми делениями. При этом особое внимание следует обратить на фиксацию колен рейки замками. Используя результаты компарирования рейки, надо вводить соответствующие поправки в превышения и отсчеты по рейке при производстве разбивочных и контрольных измерительных работ, а при особо ответственных работах – использовать только первое колено рейки.

Штрих-кодовые рейки для цифрового (электронного) нивелира исследуются для каждого комплекта на специальном лабораторном компараторе, оснащённом соответствующей измерительной аппаратурой, например, интерферометром. В результате выдается уравнение ввода поправок в измеренные превышения.

Наконец, неотъемлемой частью всех геодезических исследований является штатив. *Штатив для геодезических инструментов* – это устройство, используемое для поддержки любого из множества геодезических инструментов, таких как теодолиты, тахеометры, нивелиры или нивелирные рейки.

Штативы относятся к приспособлениям первой группы и служат для закрепления на них геодезических приборов и предварительного приведения их в рабочее положение от руки и на глаз. На них можно устанавливать теодолиты, нивелиры, дальнометры, тахеометры и другие геодезические приборы.

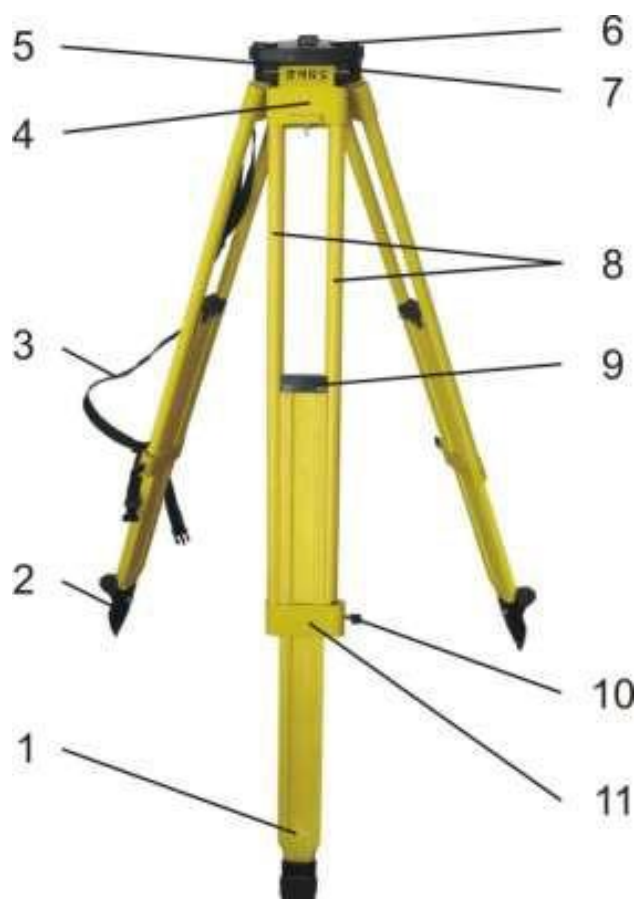
Современная прочная, но портативная тренога с тремя парами ножек, прикреплёнными к треугольной металлической головке, была изобретена и впервые выпущена в продажу сэром Фрэнсисом Рональдсом в конце 1820-х годов в Кройдоне (Англия).

Материалами для старых штативов в основном служили дерево и латунь, а также сталь для наиболее изнашиваемых деталей, таких как ножки или опоры.

Основные конструктивные элементы современных штативов представлены на рис. 44.

Конструкция штатива СТР101 типовая: металлическая головка 5 с площадкой для установки на ней прибора и три ножки для установки штатива над точкой. Ножки штатива составные и состоят из 2-х частей: верхней, стационарной и нижней, выдвигной. Каждая из ножек шарнирно соединена с головкой штатива. На концы ножек одеты металлические наконечники 2 с упором для ног, который используется для вдавливания ножки в грунт.

Верхняя стационарная часть ножки 8 представляет собой две круглых деревянных рейки, которые входят в металлическую обойму 4, и фиксируется в ней зажимным устройством распорного типа.



*Рисунок 44 – Геодезический штатив Leica STP101:*

*1 – нижняя выдвижная часть ножки; 2 – металлический наконечник ножки с упором для ног; 3 – ремень для переноски; 4 – металлическая обойма для крепления верхней части ножки штатива; 5 – головка штатива; 6 – крышка головки штатива; 7 – шарнирное соединение ножки штатива с головкой; 8 – верхняя стационарная часть ножки; 9 – ограничитель; 10 – зажимной винт; 11 – зажимное устройство*

Верхняя площадка головки штатива, на которую устанавливается прибор, плоская, полированная, без каких-либо проточек. С нижней стороны головки на подвижной рамке смонтирован становой винт 7, внутри которого по центру закреплен крючок для подвешивания шнурового отвеса. Становой винт может иметь различную резьбу диаметра, что обусловлено типом прибора, который будет устанавливаться на штатив, а также требованиям стандартов ISO 263-73 или ГОСТ Р 11897-94.

## 8.4 Способы нивелирования и вычисление отметок.

Работа с нивелиром на станции. Перед выполнением измерений необходимо усвоить следующие понятия и правила:

1) станцией называется точка, на которой устанавливается прибор и производится нивелирование;

2) отметкой называется числовое значение высоты точки. Отметки бывают:

- абсолютные – расстояние по отвесной линии от точки до уровенной поверхности земли;

- относительные, или условные – расстояние по отвесной линии от точки до заданной или произвольно взятой уровенной поверхности.

На каждой станции одна из нивелируемых точек обязательно должна быть с известной отметкой.

Нивелируемые точки на станции:

- задняя – точка с известной отметкой;

- передняя – точка, отметка которой определяется и которая на следующей станции будет задней;

- промежуточные – точки, отметки которых определяются и число которых на каждой станции может быть неограниченным.

Связующими называются точки, на которые берутся отсчеты с двух соседних станций (на предыдущей – передний, на последующей – задний отсчеты), а также начальная и конечная точки нивелируемого участка.

Рейки и отсчеты по ним, соответственно, называются: задними, передними и промежуточными.

Икс-точками называются дополнительные связующие точки, устанавливаемые при нивелировании крутых склонов.

Отметки вычисляются по превышениям или горизонту инструмента.

Превышением называется разность высот двух точек: оно равно разности отсчетов по задней (З) и передней (П) рейкам (рис. 45).

Отметка передней точки равна сумме отметки задней точки и превышения со своим знаком.

Горизонтом прибора называется отметка линии визирования. Он равен сумме отметки задней точки и отсчета по задней рейке, снятого по черной стороне рейки.

Существует два способа геометрического нивелирования: нивелирование вперед и нивелирование из середины.

Нивелирование из середины, является наиболее применяемым способом геометрического нивелирования, которое производится горизонтальным лучом визирования, параллельным уровенной поверхности. При этом способе, нивелир устанавливается между двумя точками, примерно на равном расстоянии от них (рис. 45).

Известна абсолютная отметка т. А:  $H_A$ . Нивелир приводится в рабочее положение и наводится на заднюю рейку.



Рисунок 45 – Схема работы с нивелиром на станции (способ нивелирование из середины)

Отсчеты по рейкам на связующих точках А и В при нивелировании из середины берут (после установки цилиндрического уровня в нуль-пункт) в таком порядке:

- «взгляд назад» – отчет по черной стороне задней рейки  $a_{ч} = 1321$ ;
- «взгляд вперед» – по черной стороне передней рейки  $b_{ч} = 1733$ ;
- «взгляд назад» – по красной стороне передней рейки  $a_{к} = 6416$ ;
- «взгляд вперед» – по красной стороне задней рейки  $b_{к} = 6003$ .

После взятия отсчетов вычисляют превышения между связующими точками по черной и красной сторонам реек:

$$h_{ч} = a_{ч} - b_{ч}; \quad (101)$$

$$h_{ч} = 1321 - 1733 = -0412 \text{ мм};$$

$$h_{к} = a_{к} - b_{к}; \quad (102)$$

$$h_k = 6003 - 6416 = -0409 \text{ мм.}$$

Расхождения в превышениях, найденных по черной и красной сторонам реек, не должны превышать 5 мм. После вычисления  $h_q$  и  $h_k$  определяют среднее превышение:

$$h_{\text{ср.}} = \frac{h_1 + h_2}{2} \quad (103)$$

$$h_{\text{ср.}} = \frac{(-0412) + (-0408)}{2} = -0410 \text{ мм.}$$

Для определения превышений между связующими точками берут отсчет по рейкам на промежуточные точки  $s_q = 1910$  только по черной стороне реек.

Результаты работы с нивелиром на станции записывают в журнал технического нивелирования (табл. 9).

Таблица 9 – Журнал технического нивелирования

Номер станции	Номер точки	Результаты по рейкам, мм			Превышения, мм		Горизонт прибора (инструмента), мм	Отметка высоты, м
		задние	передние	промежуточные	вычисленные	средние		
	A	1321			-0412	-0410	121,621	120,30
		6008			-0408		121,623	
I		4687					121,622	
	B		1733					119,89
			6416					
			4683					
	C			1910				119,712

Зная превышения между задней и передней точками, определяют отметку передней точки по формуле

$$H_{\text{п}} = H_{\text{з}} \pm h_{\text{ср.}}; \quad (104)$$

$$H_{\text{п}} = 120,30 - 0,410 = 119,89 \text{ м.}$$

Отметку промежуточной точки С вычисляют через горизонт прибора (ГП), который определяют как среднее значение между найденным горизонтом инструмента по задней и передней точкам:

$$\text{ГП}_1 = H_{\text{з}} + a_{\text{ч}}; \quad (105)$$

$$\text{ГП}_2 = H_{\text{п}} + b_{\text{ч}}; \quad (106)$$

Важно: расхождение между найденными величинами горизонта прибора не могут быть более 5 мм.

$$\text{ГП}_{\text{ср}} = \frac{\text{ГП}_1 + \text{ГП}_2}{2} \quad (107)$$

$$\text{ГП}_1 = 120,3 + 1,321 = 121,621 \text{ м;}$$

$$\text{ГП}_2 = 119,89 + 1,733 = 121,623 \text{ м;}$$

$$\text{ГП}_{\text{ср}} = \frac{121,621 + 121,623}{2} = 121,622 \text{ м.}$$

Тогда отметку промежуточной точки  $H_{пр}$  находят по формуле

$$H_{пр} = ГП_{ср} - З_{пр}. \quad (108)$$

$$H_{пр} = 121,622 - 1,910 = 119,712 \text{ м.}$$

При нивелировании вперед нивелир устанавливается над точкой с известной абсолютной отметкой (репером).

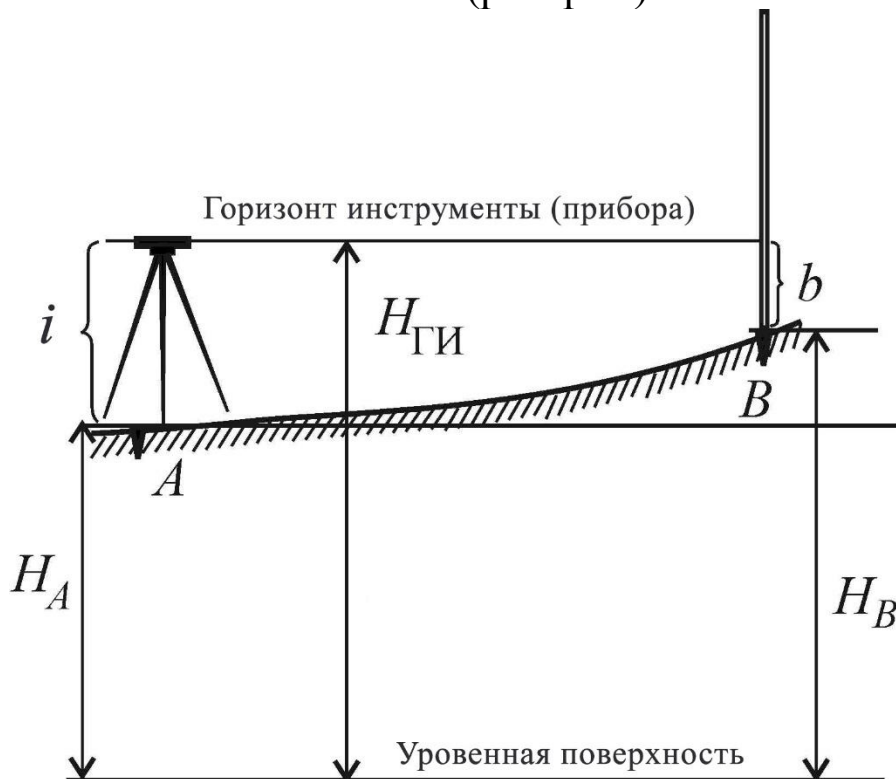


Рисунок 46 – Схема нивелирования поверхности способом вперед

Измеряется высота прибора  $i$  (рис. 46). Рейка устанавливается над точкой, отметку которой необходимо определить.

Нивелир наводится на рейку и берется отсчет  $b$ .

Превышение  $h$  находится по формуле:

$$h = i - b. \quad (109)$$

Абсолютная отметка точки B находится по формуле:

$$H_B = H_{рп(A)} \pm h. \quad (110)$$

Недостатком способа нивелирования вперед является необходимость измерения высоты инструмента, а также учета поправок за кривизну земли и рефракцию света.

## Контрольные вопросы

1. Что называется нивелированием? Каково главное условие нивелира?
2. Назовите основные типы нивелиров. Каковы особенности их конструкций?
3. Укажите типы нивелирных реек, охарактеризуйте их.
4. В каком положении должен быть пузырек цилиндрического уровня перед снятием отсчета?
5. Что такое ось вращения инструмента, визирная ось трубы, оси цилиндрического и круглого уровней? Какое положение они должны занимать по отношению друг к другу у исправного инструмента?
6. Что значит установить нивелир в рабочее положение? Объясните, как это делается.
7. Объясните вычисление отметок в геометрическом нивелировании.
8. Какие точки называются задними, передними, связующими, промежуточными, икс-точками?
9. Как следует устанавливать нивелир между связующими точками и почему? Ответ подтвердите чертежом.
10. Что такое превышение и горизонт прибора, как они вычисляются?
11. Что такое штатив и какого его назначение?
12. Как снимаются отчеты по рейке?

## 9 УГЛОВЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ

План:

9.1 Понятие угловых измерений и инструменты измерений

9.2 Устройство теодолита ЗТ5КП

9.3 Методика угловых измерений

9.4 Поверки и юстировки теодолита ЗТ5КП

### 9.1 Понятие угловых измерений и инструменты измерений

Для определения взаимного положения точек необходимо измерять не только расстояния, но и горизонтальные и вертикальные углы.

Измерения горизонтальных и вертикальных углов выполняют оптико-механическими и электронными теодолитами и электронными тахеометрами.

Горизонтальным называют угол  $ABC$  (рис. 47) между проекциями линий (направлениями на точки)  $ab$  и  $bc$  на горизонтальную плоскость  $Q$ , т.е. горизонтальный угол – это двугранный угол между отвесными плоскостями ( $P$  и  $T$ ), проходящими через его стороны. Он отсчитывается по ходу часовой стрелки. Вертикальным называют угол между линией  $AB$  ( $BC$ ) и горизонтальной плоскостью. Он отсчитывается от горизонтальной плоскости к линии.

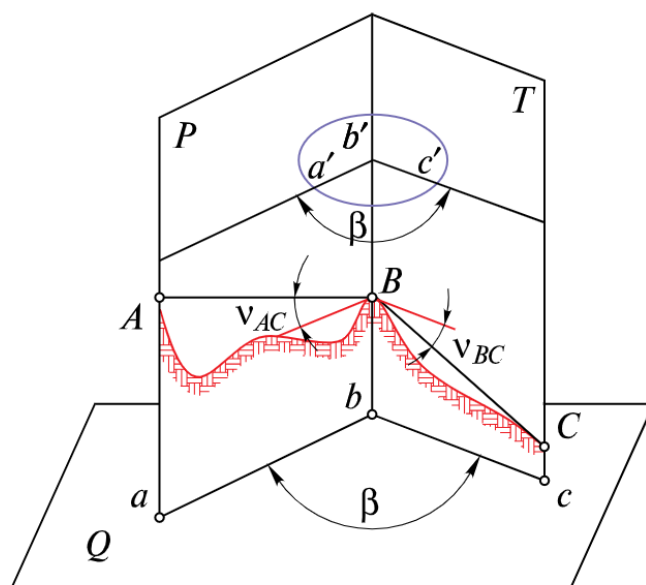


Рисунок 47 – Принцип измерения горизонтальных и вертикальных углов

Теодолиты предназначены для измерения углов в теодолитных и тахеометрических ходах, при разбивке плановых и высотных съемочных сетей, для измерения расстояний с использованием нитяного дальномера зрительной трубы, определения магнитных азимутов по ориентир-буссоли. Стороны измеряемого угла проектируются на плоскость лимба подвижной вертикальной плоскостью, которая называется коллимационной плоскостью. Коллимационная плоскость образуется визирной осью зрительной трубы при вращении трубы вокруг своей оси. Визирная ось трубы (или визирная линия) – это воображаемая линия, проходящая через центр сетки нитей и оптический центр объектива трубы.

По конструкции современные теодолиты подразделяются на оптические, электронные и лазерные (электронный теодолит со встроенным лазером). По точности измерения они подразделяются на:

а) Высокоточные теодолиты имеют среднеквадратическую погрешность измерения не более одной угловой секунды.

б) Точные теодолиты, выполняющие измерения с погрешностью меньше 10".

в) Технические теодолиты, определяющие угловую точность 15", 30", 60".

Точные теодолиты выпускаются в основном с компенсаторами, устраняющими погрешности измерения вертикальных углов, вызванные наклоном прибора во время работы в полевых условиях.

В условное обозначение теодолита входит обозначение типа и исполнения теодолита. В зависимости от конструктивных особенностей следует различать теодолиты следующих исполнений (ГОСТ 10529-96):

- С уровнем при вертикальном круге (традиционные, обозначение не применяется);
- С компенсатором углов наклона – К;
- С автоколлимационным окуляром (автоколлимационные) - А;
- С зрительной трубой прямого видения (изображения) – П;
- Маркшейдерский – М;
- Электронный – Э.

Допускается сочетание указанных исполнений в одном приборе. Если теодолит имеет зрительную трубу прямого изображения, то в условное обозначение теодолита добавляют букву П. Например,

теодолит с допускаемой погрешностью измерения горизонтального угла 2" с компенсатором углов наклона, автоколлимационный: Т2КА. Теодолит с допускаемой погрешностью измерения горизонтального угла 30" с уровнем при вертикальном круге и зрительной трубой прямого изображения, маркшейдерский: Т30МП.

Теодолит с допускаемой погрешностью измерения горизонтального угла 5", электронный: Т5Э.

Для модификаций теодолитов допускается перед условным обозначением теодолита указывать порядковый номер модели, например 3Т2КА.

Теодолиты по конструктивной особенности также разделяются:

- Повторительный теодолит – имеет специальную повторительную систему осей лимба и алидады, позволяющую лимбу вместе с алидадой вращаться вокруг собственной оси отдельно и/или совместно. Такой теодолит позволяет, последовательным вращением алидады, несколько раз откладывать (повторять) на лимбе величину измеряемого горизонтального угла, что увеличивает точность измерений.

- Простой теодолит – теодолит, где лимб может поворачиваться, но совместного с алидадой вращения не имеет.

Отличительной особенностью электронных теодолитов является наличие специальных датчиков, позволяющих передавать изображения горизонтального и вертикального кругов на дисплей прибора. Также результаты измерений могут быть занесены во внутреннюю память и переданы в персональный компьютер. Работать электронным теодолитом удобно и просто. Достаточно наблюдателю навести зрительную трубу на цель, после чего считывание отсчетов по лимбу и последующая обработка выполняются автоматически. Процесс измерения горизонтальных и вертикальных углов занимает считанные доли секунды и требует сравнительно невысокой квалификации наблюдателя. При этом значительно ускоряется процесс геодезических измерений.

## **9.2 Устройство теодолита 3Т5КП**

Теодолит 3Т5КП предназначен для измерения углов в геодезических сетях сгущения, съемочных сетях, для теодолитных съемок, проведения изыскательских работ, измерения в прикладной геодезии и определения магнитных азимутов.

А)



Б)



Рисунок 48 – Устройство теодолита 3Т5КП

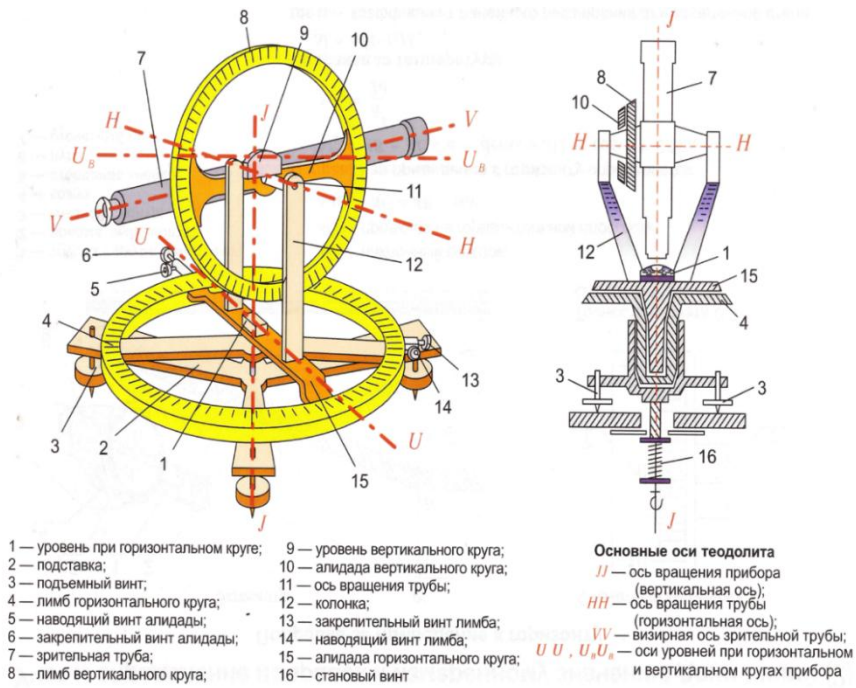


Рисунок 49 – Схема устройства теодолита и его геометрических осей

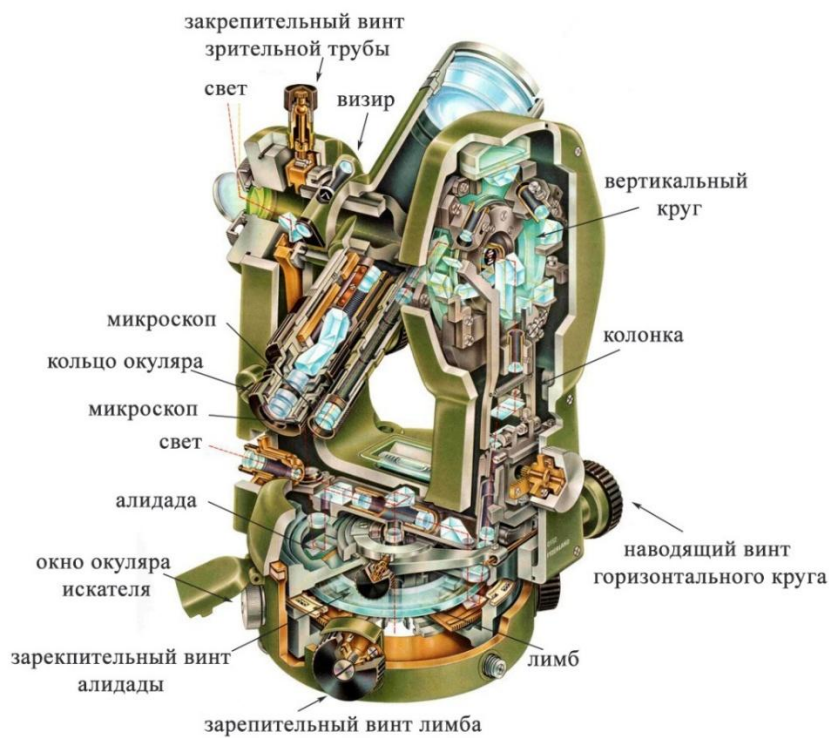


Рисунок 50 – Принципиальная схема оптического устройства теодолита 2Т30П

Для более универсального использования теодолитов промышленность выпускает целый ряд приспособлений к ним: – комплекты визирных целей, оптические двухсторонние центриры, накладные уровни, буссоли, центрировочные плиты, комплект электрооборудования.

Теодолит ЗТ5КП (рис. 48) – оптический прибор с самоустанавливающимся компенсатором вертикального круга и шкаловым отсчетным микроскопом. Благодаря секторной оцифровке вертикального круга и устройству автоматического изменения знаков отсчеты по величине и знаку соответствуют измеренному вертикальному углу без дополнительных вычислений независимо от того, при каком положении теодолита (круг слева или справа) проводилось измерение (символы Л и П).

Теодолит ЗТ5КП сконструирован по модульному принципу (рис. 49-50). Основными частями теодолита являются зрительная труба, вертикальная ось с горизонтальным кругом, колонка с горизонтальной осью и вертикальным кругом, модуль отсчетной системы, отсчетный микроскоп, наводящие устройства.

Горизонтальный круг теодолита предназначен для измерения горизонтальных углов и состоит из лимба и алидады (рис. 49). Лимб представляет собой стеклянное кольцо, на скошенном крае которого нанесены равные деления с помощью автоматической делительной машины (рис. 49).

Цена деления лимба (величина дуги между двумя соседними штрихами) определяется по оцифровке градусных (реже градусных) штрихов. Оцифровка лимбов производится по часовой стрелке от  $0^\circ$  до  $360^\circ$ .

Алидада вращается вокруг своей оси относительно неподвижного лимба вместе с верхней частью прибора; при этом отсчёт по горизонтальному кругу изменяется. Если закрепить зажимной винт и открепить лимб, то алидада будет вращаться вместе с лимбом и отсчёт изменяться не будет (рис. 49). Лимб закрывается металлическим кожухом, предохраняющим его от повреждений, влаги и пыли.

Установка теодолита в рабочее положение складывается из трех действий: центрирования, приведения основной оси прибора в отвесное положение, установки трубы для визирования.

Центрирование при помощи оптического центрира. Производят предварительное центрирование при помощи нитяного отвеса. Для

этого теодолит прикрепляют основным винтом к головке штатива. При помощи ножек штатива осуществляют предварительное центрирование, наблюдая при этом, чтобы головка штатива была горизонтальна, а острое отвеса находилось в непосредственной близости от центра знака, закрепляющего вершину угла. Центрирование уточняют передвижением теодолита на головке штатива. Для этой цели предварительно открепляют становой винт и после уточнения центрирования вновь его закрепляют.

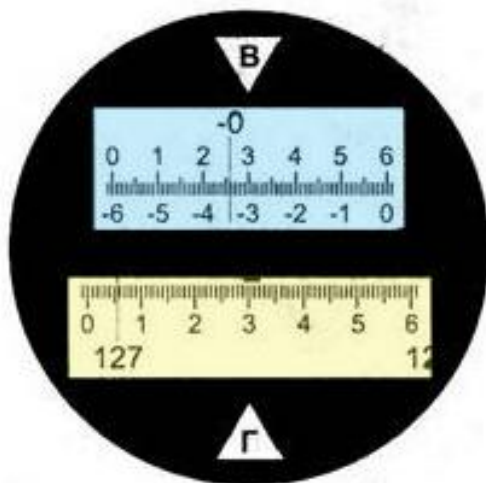
Далее отводят нитяной отвес в сторону, открепляют становой винт и, слегка перемещая теодолит на головке штатива, вводят изображение точки в центр окружности сетки оптического центрира, затем вновь закрепляют теодолит на штативе при помощи станowego винта.

Приведение основной оси теодолита в отвесное положение производится при помощи уровня на алидаде горизонтального круга действием подъемных винтов.

Установка трубы для наблюдения состоит из трех действий: установки трубы по глазу, установки трубы по предмету, устранения параллакса сетки нитей. Чтобы установить трубу по глазу, надо привести ее на светлый фон и, вращая окулярное кольцо, добиться четкой видимости сетки нитей. После того, как наблюдаемый предмет попадает в поле зрения трубы, зажимают закрепительные винты лимба и зрительной трубы. Вращением кольца кремальеры добиваются четкого изображения наблюдаемого предмета. Действуя наводящими винтами алидады и зрительной трубы, совмещают центр сетки с изображением визирного знака. После получения четкой видимости наблюдаемой точки и совмещения ее изображения с центром нитей надо слегка отвести глаз в сторону от центра окуляра. Если изображение точки смещается относительно центра сетки нитей, то параллакс имеется. Устранение параллакса сетки нитей производится небольшим вращением кольца кремальеры.

Горизонтальный и вертикальный круги разделены и оцифрованы через  $1^\circ$ . Изображения штрихов и цифр проецируются на плоскость отсчетных шкал микроскопа. Изображение вертикального круга оттенено голубым фоном, горизонтального – желтым. Поворотом и наклоном зеркала 5 (см. рис. 51) достигают оптимального освещения поля зрения. Вращением диоптрийного кольца окуляр микроскопа устанавливают по глазу до появления четкого изображения шкал.

Вид поля зрения отсчетного микроскопа показан на рис. 38.



*Рисунок 51 – Поле зрения микроскопа теодолита 3Т5КП*

В верхнюю его часть, отмеченную буквой В, проецируются изображения отсчетной шкалы и вертикального лимба, в нижнюю, отмеченную буквой Г, – изображение шкалы и горизонтального лимба.

Каждое деление шкалы соответствует одной угловой минуте. Доли деления оцениваются на глаз с округлением до 0,1 интервала. Индексом для отсчета служит штрих лимба. Погрешность отсчитывания 0,05...0,1 деления шкалы, что соответствует 3...6".

Для секторного исполнения отсчетная шкала вертикального круга имеет два ряда цифр, возрастающих слева направо и справа налево. По обе стороны расположены математические символы «+» и «-». Во время измерения углов одна пара символов оказывается открытой, а другая закрытой в зависимости от того, при каком положении теодолита производится измерение (круг слева или справа). Верхний знак относится к верхнему ряду цифр шкалы, нижний – к нижнему. Знак «-», а следовательно, и весь ряд сопряженных с ним цифр используется, когда в пределах шкалы находится штрих вертикального круга со знаком «-», и наоборот, знак «+» и весь ряд сопряженных с ним цифр используется, когда штрих вертикального круга не имеет знака.

Одновременно с этим поле зрения отсчетного микроскопа содержит информацию о том, при каком положении теодолита произведен отсчет. Эта информация содержится в боковых, попеременно закрывающихся окошках с нанесенными на них обозначениями Л (круг слева) и П (круг справа). На рис. 38 для исполнения с секторной оцифровкой вертикального круга отсчет по вертикальному кругу соответствует минус  $0^{\circ} 23,2'$ , по горизонтальному  $127^{\circ} 05,7'$  при круге справа.

### 9.3 Методика угловых измерений

Для измерения горизонтального угла выверенный и исправленный теодолит устанавливают в рабочее положение над вершиной угла. После этого приступают к угловым измерениям. Углы можно измерять способом приемов и способом круговых приемов – непосредственным чтением величины угла по лимбу, или способом измерения угла от нуля. При измерении горизонтального угла способом приемов работа осуществляется в следующем порядке:

- открепляют зажимные винты трубы и алидады и наводят трубу на заднюю визирную цель с помощью оптического прицела: цель попадает в поле зрения трубы;
- закрепляют зажимные винты трубы и алидады и, действуя наводящими винтами, вводят цель в центр сетки нитей;
- берут отсчет по отсчетному устройству горизонтального круга при положении вертикального круга КЛ, то есть слева от наблюдателя;
- открепляют зажимные винты трубы и алидады, выполняют аналогичные действия, наводя трубу на переднюю визирную цель.

Разность заднего  $a$  и переднего  $b$  отсчетов – есть угол, измеренный одним полуприемом  $\beta$  (рис. 39). После завершения полуприема трубу теодолита переводят через зенит, переставляют лимб примерно на  $90^\circ$  и выполняют измерения при втором положении вертикального круга КП.

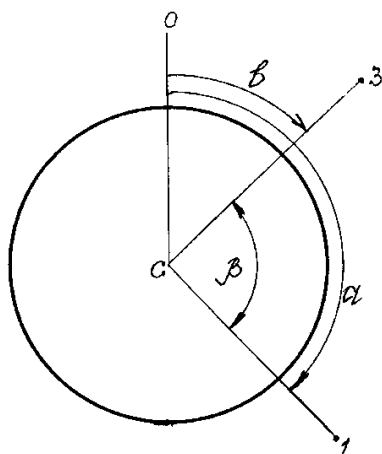


Рисунок 52 – Схема измерения горизонтального угла способом приемов

Результаты измерений записывают в журнал (табл. 10).

Расхождение углов, полученных из двух приемов, не должно превышать двойную точность приборов. При расчете горизонтальных углов первого и второго приема значения из правой точки вычитаются из левой. Это обусловлено устройством лимба, который оцифрован по кругу.

Таблица 10 – Журнал измерений горизонтальных углов способом приемов теодолитом

Наименование станции	Наблюдаемые точки	Положение вертикального круга	Отсчеты	Угол из 1-го и 2-го приемов	Среднее значение угла
Ш	1	КЛ	142°18'	118°34'	118°34'
	3		23°44'		
	1	КП	230°42'	118°34'	
	3		112°08'		

Используя рукоятку перевода лимба, можно обнулить значения по горизонтальному кругу. В этом случае, при измерении горизонтальных углов способом измерений угла от нуля работы производят в следующем порядке:

- отпустив зажимной винт алидады и лимба, совмещают нулевой штрих лимба с нулевым штрихом алидады и закрепляют алидаду;
- поворотом лимба наводят трубу на переднюю точку, закрепляют лимб;
- отпускают алидаду, поворотом ее наводят трубу на заднюю точку и снимают отсчет по отсчетному устройству.

Точность измерения углов зависит от следующих погрешностей: неточного центрирования и нивелирования теодолита, неточной установки вех на точках наблюдения и неточного наведения трубы на цель, от погрешности при снятии отсчета, инструментальных погрешностей, длины сторон, угла и др.

В инженерной геодезии, в частности, при определении превышений тригонометрическим нивелированием необходимо измерять вертикальные углы (углы наклона) при помощи теодолита.

Измерение вертикальных углов производят при обоих положениях вертикального круга КЛ и КП и вычисляют угол наклона по формуле

$$v = \frac{(КЛ - КП - 180^\circ)}{2}, \quad (111)$$

где КЛ и КП – отсчеты по вертикальному кругу.

Если угол измеряют теодолитом ТЗО, а также при одном (КЛ или КП) положении вертикального круга, то предварительно вычисляется МО:

$$МО = \frac{(КЛ + КП + 180^\circ)}{2} \quad (112)$$

На рис. 53 показана схема измерения угла наклона  $v$ .

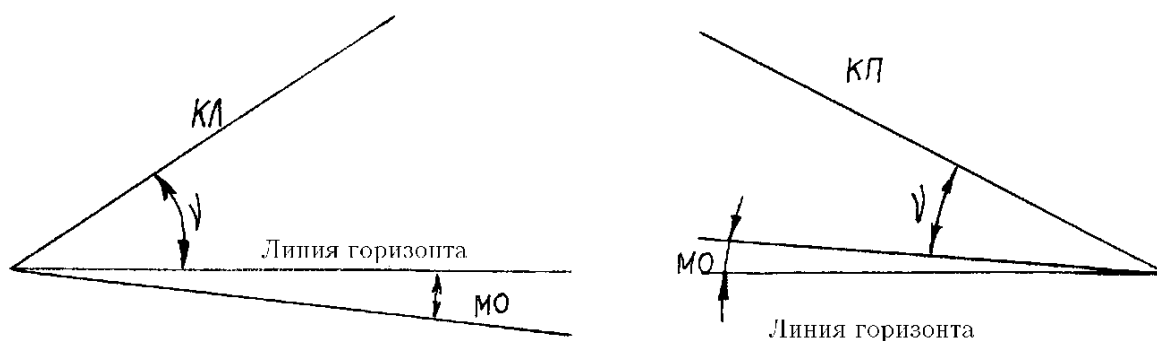


Рисунок 53 – Схема измерения угла наклона

Угол наклона можно вычислить по формулам:

$$v = МО - КП - 180^\circ; \quad (113)$$

$$v = КЛ - МО, \quad (114)$$

где КЛ и КП – отсчеты по вертикальному кругу при его положении слева и справа от наблюдателя;

МО – место нуля вертикального круга.

При вычислении углов наклона по данным формулам к отсчету КП и КЛ, меньше  $90^\circ$ , прибавляют  $360^\circ$ .

Перед измерением вертикального угла пузырек уровня при алидаде приводят подъемными винтами на середину

Результаты измерений записывают в журнал (табл. 11).

Таблица 11 – Журнал измерений вертикальных углов теодолитом

Номер станции	Наблюдаемые точки	Положение вертикального круга	Отсчеты по вертикальному кругу	Место нуля	Угол наклона $v$
5	3	КП	178°16'	-2'	1°42'
		КЛ	1°40'		

Наименьшая погрешность измерения углов обеспечивается при выполнении измерений полными приемами (при положениях теодолита «круг слева» и «круг справа»). Количество приемов зависит от требуемой точности измерения (устанавливается соответствующими инструкциями и наставлениями по проведению геодезических работ) и влияния внешних условий.

Для уменьшения влияния погрешности диаметров после каждого приема следует переставлять горизонтальный круг на  $180^\circ/n$  ( $n$  – количество приемов).

Не допускается измерять горизонтальные углы полуприемами (при одном положении теодолита), так как результаты будут искажены влиянием эксцентриситета алидады горизонтального круга, а при измерении угла между целями, расположенными под разными углами относительно горизонта, кроме того, будут искажены влиянием коллимационной погрешности и наклона горизонтальной оси.

#### 9.4 Поверки и юстировки теодолита 3Т5КП

Теодолит 3Т5КП необходимо содержать в исправности и постоянной готовности к применению. Бережное обращение с теодолитом обеспечит надежную его работу и длительный срок службы без ремонта.

При эксплуатации необходимо соблюдать следующие правила:

- оберегать теодолит от осадков и одностороннего нагрева солнечными лучами, при кратковременном дожде накрывать теодолит чехлом, при длительном – укладывать в футляр. При перерывах в работе надевать на объектив крышку, накрывать теодолит чехлом;

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

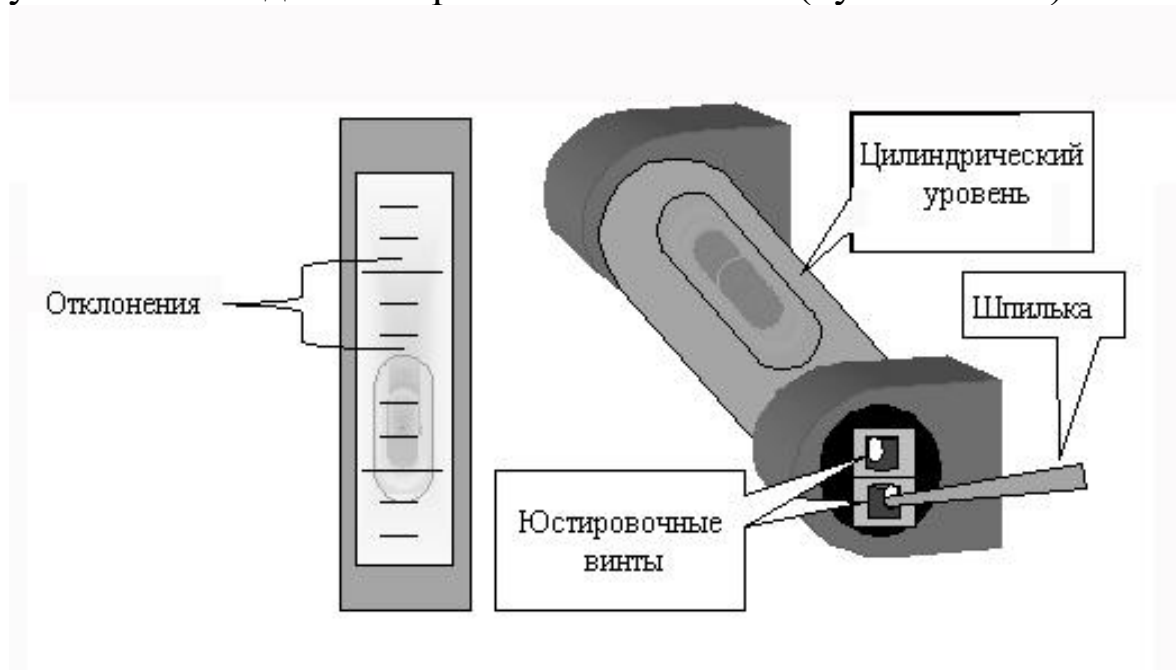
- вынося теодолит на холод, вынимать его из футляра не ранее чем через 30 мин во избежание больших местных напряжений в оптических деталях, приводящих к разъюстировке.

Необходимо соблюдать правила транспортирования и хранения.

Целью поверок и юстировок теодолита является выявление отступлений от основных геометрических условий теодолита, вызванных нарушением правильного взаимного расположения его частей и осей. Поверки и, если необходимо юстировки следует проводить систематически.

*Поверка № 1. Ось цилиндрического уровня на алидаде горизонтального круга должна быть перпендикулярна к вертикальной оси.*

Эта поверка выполняется аналогично тому, как производится установка теодолита в рабочее положение (пункты 2 – 5).



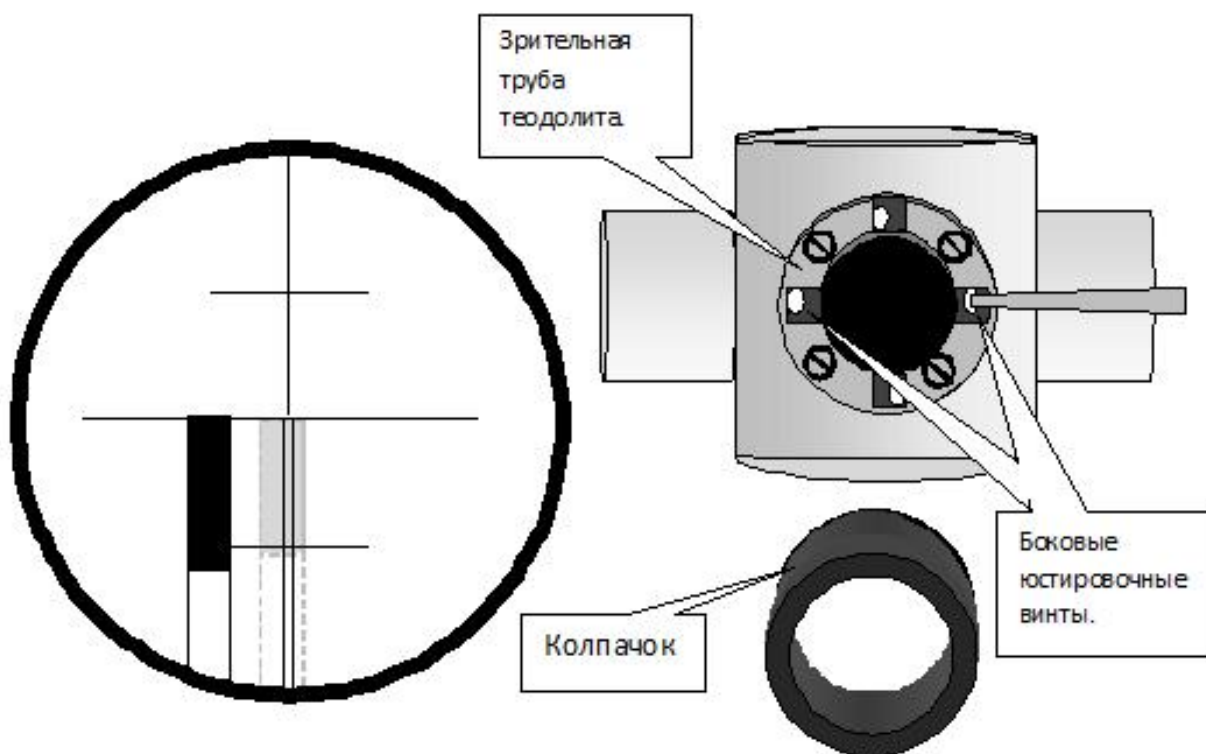
*Рисунок 54 – Схема юстировки цилиндрического уровня при алидаде.*

Если, после поворота на  $180^\circ$ , пузырек отклонился более чем на половину деления уровня, делаем юстировку уровня. Для этого с помощью подъемных винтов перемещаем пузырек на половину дуги отклонения, после чего юстировочными винтами уровня приводим его на середину (рис. 54).

Затем поверку повторяют до тех пор, пока пузырек, при повороте на  $180^\circ$ , не останется на середине.

*Поверка № 2. Визирная ось зрительной трубы должна быть перпендикулярна к горизонтальной оси вращения трубы.*

Для выполнения этой поверки выбирают на местности точку, при наблюдении на которую, зрительную трубу устанавливают приблизительно горизонтально. Приведя теодолит в рабочее положение делают отсчеты при КЛ1 и КП2. Затем открепив закрепительный винт лимба, поворачиваем прибор на  $180^\circ$ . Закрепляем винт лимба, открепляем винт алидады. И наведя теодолит на ту же точку, берем отсчеты КЛ2 и КП2.



*Рисунок 55 – Схема исправления коллимационной погрешности.*

Вычисляем значение коллимационной погрешности по формуле:

$$C_1 = 0.25 [(КЛ1 - КП1 \pm 180^\circ) + (КЛ2 - КП2 \pm 180^\circ)] \quad (115)$$

Для контроля повторяют определения, визируя трубу на вторую точку и вычисляют среднее арифметическое значение  $C_0 = (C_1 + C_2) / 2$ . Колебания  $C$  не должны превышать  $15''$ . Если среднеарифметическое значение погрешности превышает  $2'$ , то производят исправления.

Предположим  $C_0 = 6'$ . Для исправления этой погрешности берем последний отсчет. Например:  $КЛ2 = 212^\circ 25'$ .

Теодолит наводим на вершину вешки, где брался отсчет КЛ2. Вычисляем исправленный отсчет.

$$КЛ_{испр.} = КЛ2 - C_0 = 212^{\circ}25' - 0^{\circ}06' = 212^{\circ}19'$$

Наводящим винтом алидады устанавливаем на лимбе исправленный отсчет. Перекрестие нитей сойдет с верхней части вешки. Откручиваем колпачок зрительной трубы и боковыми юстировочными винтами совмещаем перекрестие нитей с верхушкой вешки (рис. 55). После исправления поверка повторяется.

*Поверка № 3. Горизонтальная ось должна быть перпендикулярна вертикальной оси.*

Для выполнения этой поверки теодолит устанавливается в 5 -30 метрах от стены здания. На стене выбирается высоко расположенная точка А, на которую, приведя теодолит в рабочее положение, при КЛ, наводится перекрестие сетки нитей. Застопорив закрепляющие винты горизонтального круга, опускаем трубу теодолита вниз до горизонтального положения и отмечаем на стене точку В. Переводим трубу через зенит, наводим ее на точку А' и при КП опускаем ее в точку В'. Если точки В и В' совпадают, то условие поверки считается выполненным. Если точки В и В' не совпали то условие считается нарушенным. Исправление необходимо выполнять в специальной мастерской или на заводе.

*Поверка № 4. Основной вертикальный штрих сетки нитей должен быть перпендикулярен к горизонтальной оси.*

Для выполнения этой поверки теодолит наводится на хорошо видимую удаленную точку на местности. Вращая наводящий винт зрительной трубы, наблюдаем, сходит ли выбранная цель с основного вертикального штриха сетки нитей. Если изображение точки не сходит со штриха, то условие считается выполненным. В противном случае, ослабив винты, скрепляющие окуляр с корпусом трубы, поворачивают его так, чтобы условие оказалось выполненным, и поверку повторяют (рис. 56).

*Поверка № 5. Место нуля вертикального круга должно быть известно или приведено к нулю.*

Место нуля вертикального круга (M0) определить визированием на удаленную цель при двух положениях теодолита и вычислить до целого числа секунд по формуле:

$$M_0 = 0,5 (Л - П), \quad (116)$$

где  $L$ ,  $\Pi$  – отсчеты по вертикальному кругу при двух положениях теодолита.

Повторить определение  $M_0$  и вычислить его среднее арифметическое значение. Разность между значениями места нуля не должна превышать  $1'$ . Если среднее арифметическое значение места нуля больше  $1'$ , рекомендуется исправление и повторение проверки.

Для исправления места нуля вертикального круга снять отсчет по вертикальному кругу ( $L$  или  $\Pi$ ), вращением винта 4 (рис. 57), закрытого пробкой, установить отсчет, равный  $(L - M_0)$  или  $(\Pi + M_0)$ . Исправить место нуля можно перемещением гаек балансировки маятника.

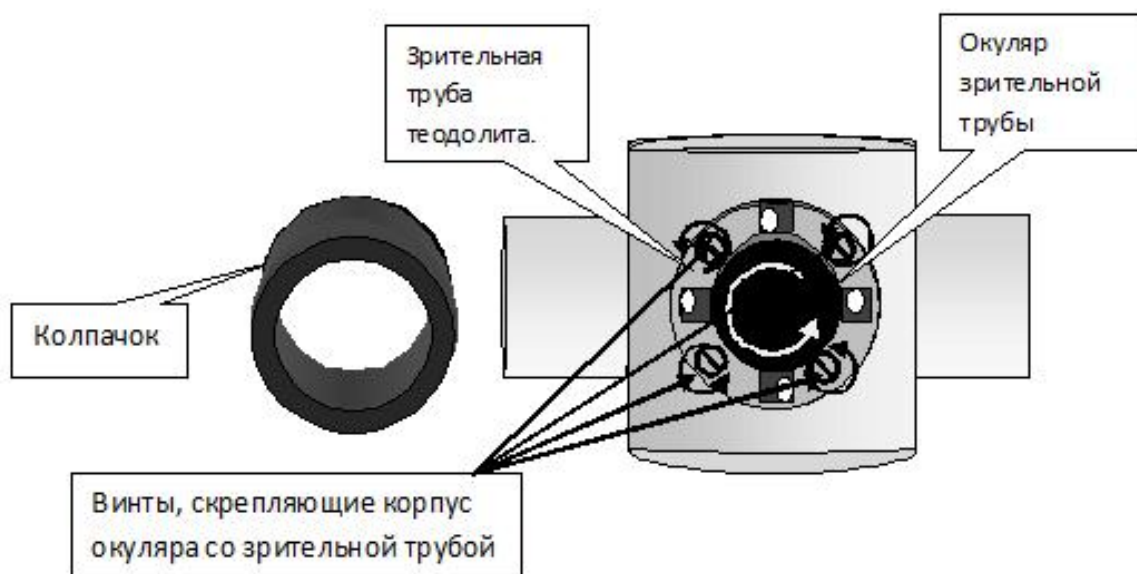


Рисунок 56 – Схема исправления вертикальности сетки нитей.

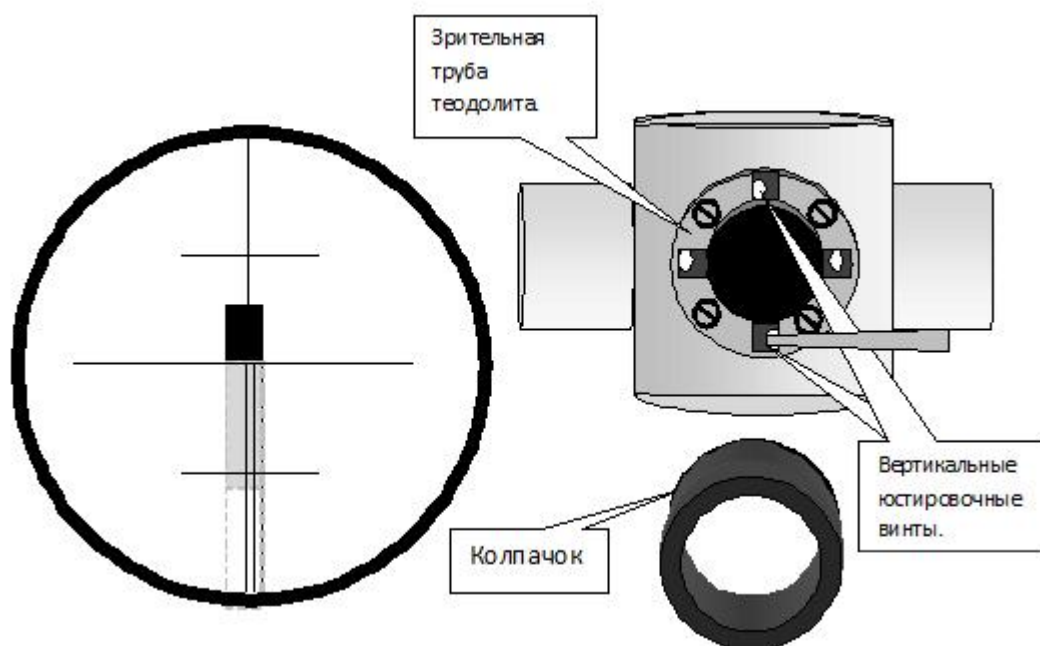


Рисунок 57 – Исправление места нуля вертикального круга.

## 9.5 Способы измерения углов на местности

Измерение горизонтального угла теодолитом может быть выполнено различными способами:

- способом приемов;
- способом повторений;
- способом круговых приемов.

При инженерно-геодезических работах наиболее распространенным является способ приемов. При этом способе теодолит приводится в рабочее положение, наводится на точку, аналогично тому, как это было описано выше и берется отсчет по микроскопу. В том случае, когда вертикальный круг находится слева от зрительной трубы, отсчет называется круг «лево» или КЛ. Когда вертикальный круг находится справа от зрительной трубы, отсчет называется круг «право» или КП.

Измерение горизонтального угла производится в следующей последовательности:

I. Теодолит устанавливается на вершине измеряемого угла точка В, приводится в рабочее положение, наводится на правую точку (А) и берется отсчет при круге «лево». В результате получаем отсчет КЛ1 (рис. 45).

II. Теодолит переводится на левую точку (С) и берется отсчет КЛ2.

Так как измеряемый угол  $\beta$  равен разности двух направлений, а подписи делений лимба возрастают по ходу часовой стрелки, то из правого направления вычитают левое, то есть

$$\beta_1 = \text{КЛ1} - \text{КЛ2}. \quad (117)$$

Если полученный отсчет на правую точку меньше отсчета на левую точку, то к его значению прибавляем  $360^\circ$ .

Измерение угла при одном положении вертикального круга называется полуприемом.

III. Для контроля и ослабления погрешности измеряем угол  $\beta_2$  при круге право (рис. 25). Для этого трубу теодолит переводим через зенит и наводим на правую точку (А), получаем отсчет КП1.

IV. Теодолит переводится на левую точку (С) и берется отсчет КП2.

Угол  $\beta_2$  определяется по формуле:

$$\beta_2 = \text{КП1} - \text{КП2}. \quad (118)$$

Допустимая разница двух полуприемов не должна превышать  $1'$ :

$$(\beta_1 - \beta_2) \leq 1'. \quad (119)$$

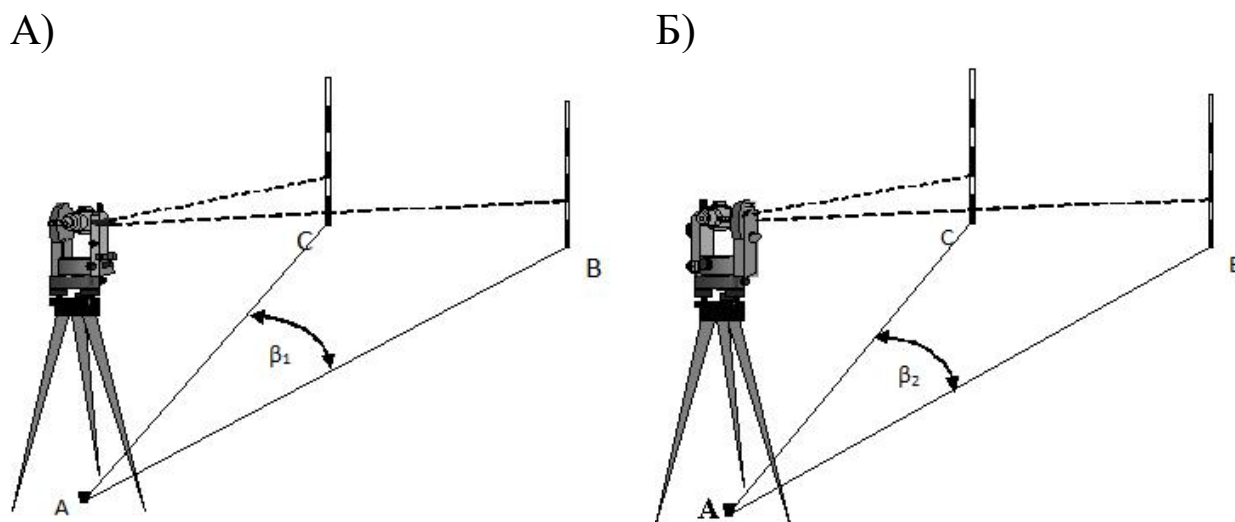


Рисунок 58 – Схема измерения горизонтального угла при круге левом (А) и круге правом (Б).

V. Значение горизонтального угла вычисляется как среднее из двух полуприемов:

$$\beta_{\text{ср}} = \frac{\beta_1 + \beta_2}{2}, \quad (120)$$

Измерение горизонтального угла при двух положениях вертикального круга называется полным приемом.

Вертикальным углом является угол наклона  $\gamma$ , составленный визирной осью зрительной трубы, наведенной на определяемую точку, с горизонтальной плоскостью.

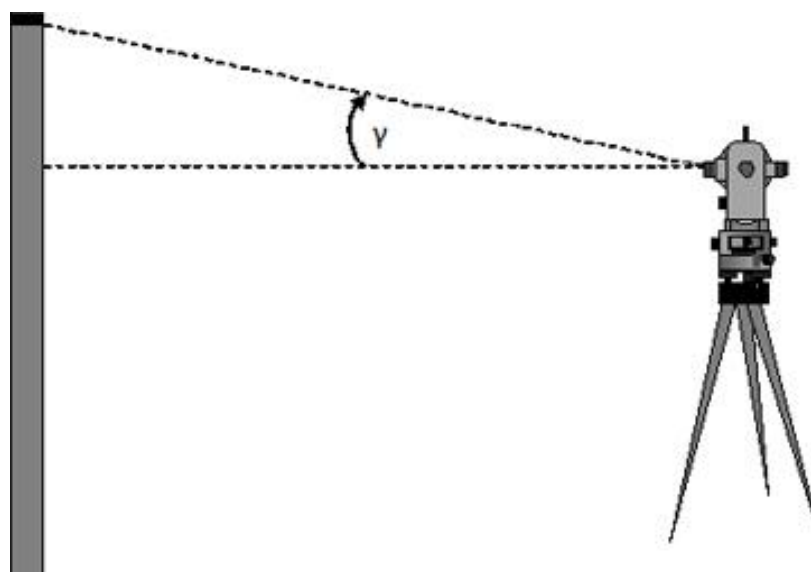


Рисунок 59 – Схема измерения вертикального угла

Измерение углов наклона выполняются для определения горизонтальных проекций линий, при определении превышений методом

тригонометрического нивелирования, при определении высоты сооружения или отдельных его точек, а также при решении геодезических задач на строительной площадке. Как и при измерении горизонтального угла, измерение вертикального угла производится при двух положениях вертикального круга, круге «лево» и круге «право».

Определение значения вертикального угла производится в следующей последовательности.

I. Теодолит наводится на удаленную точку при круге «лево» и берется отсчет КЛ по шкале вертикального круга (рис. 59).

II. Зрительная труба теодолита поворачивается на  $180^\circ$  и наводится на определяемую точку при круге «право». Получаем отсчет КП.

III. Определяем место нуля вертикального круга. Если визирную ось поставить в горизонтальное положение и пузырек цилиндрического уровня при алидаде вывести на середину, то отсчет по лимбу вертикального круга должен быть равен нулю, что будет соответствовать нулевому значению угла наклона. В случае, когда ось уровня не окажется параллельна визирной оси, последняя составит с визирной осью некоторый угол  $X$ , то есть отсчет по лимбу будет отличаться от нуля (рис. 60). Этот отсчет является местом нуля вертикального круга  $M_0$ .

IV. Таким образом, местом нуля вертикального круга называется отсчет по лимбу вертикального круга, соответствующий горизонтальному положению визирной оси трубы и положению пузырька уровня при алидаде на середине.

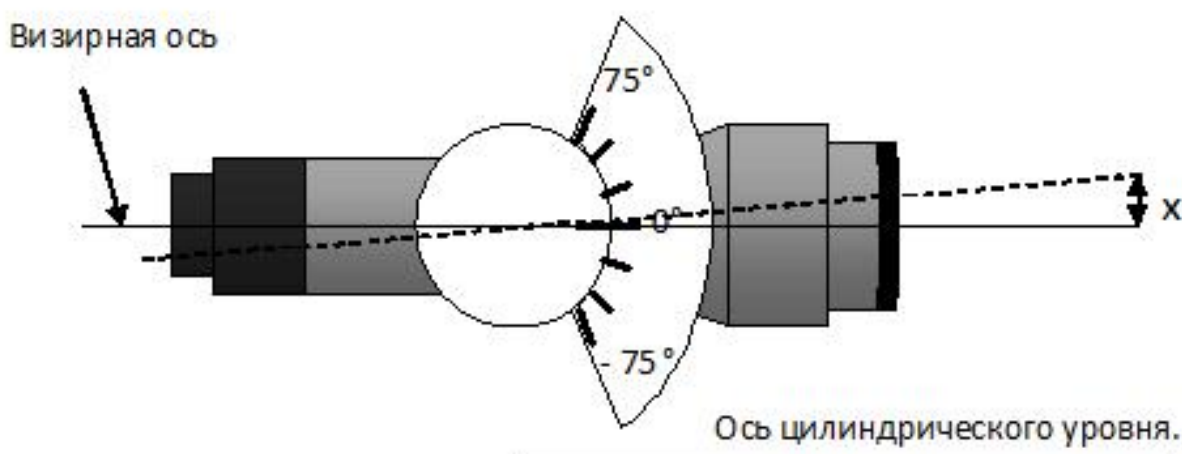


Рисунок 60 – Соотношение визирной оси теодолита и оси цилиндрического уровня.

Место нуля вертикального круга вычисляем по формуле 121:

$$M_0 = \frac{\text{КЛ} + \text{КП}}{2} \quad (121)$$

В идеальном варианте место нуля равно нулю. Колебания места нуля не должно превышать двойной точности теодолита. Для теодолита ЗТ5КП это 1'. Если  $M_0$  значительно отличается от 0, то возникают трудности при определении угла наклона. Для этого место нуля приводят к значению близкому 0.

V. Угол  $\gamma$  для теодолита вычисляется по формуле:

$$\gamma = \frac{\text{КЛ} - \text{КП}}{2} \quad (122)$$

Для контроля значения угла  $\gamma$  вычисляем по формулам 123–124:

$$\gamma = \text{КЛ} - M_0, \quad (123)$$

$$\gamma = M_0 - \text{КП}. \quad (124)$$

Сходимость значений вертикального угла  $\gamma$ , полученных по трем формулам, свидетельствует о правильности выполненных вычислений.

### Контрольные вопросы

1. Назовите основные части теодолита ЗТ5КП?
2. Назовите проверки теодолита и порядок их выполнения?
3. Как задается маркировка теодолита?
4. Как берутся отсчёты по микроскопу теодолит ЗТ5КП?
5. Чем отличаются электронные теодолиты от тахеометров?
6. Что называется визирной осью зрительной трубы?
7. От чего зависит точность визирования трубы?
8. Что называется параллаксом зрительной трубы и как он устраняется?

## 10 УСТРОЙСТВО ЭЛЕКТРОННОГО ТАХЕОМЕТРА

План

10.1 Устройство электронного тахеометра SOKKIA SET530R.

10.2 Поверки и юстировки электронного тахеометра.

10.3 Тригонометрическое нивелирование.

### 10.1 Устройство электронного тахеометра SOKKIA SET530R.

Электронным тахеометром называется устройство, объединяющее в себе теодолит и светодальномер. Одним из основных узлов современных электронных тахеометров является микро ЭВМ, с помощью которой можно автоматизировать процесс измерений и решать различные геодезические задачи по заложенным в них программам.

Увеличение числа программ расширяет диапазон работы тахеометра и область его применения, а также повышает точность работ. Наличие регистрирующих устройств в тахеометрах позволяет создать автоматизированный геодезический комплекс: тахеометр – регистратор информации – преобразователь – ЭВМ – графопостроитель, обеспечивающий получение на выходе конечной продукции – топографического плана в автоматическом режиме.

При этом сводятся к минимуму ошибки наблюдателя, оператора, вычислителя и картографа, возникающие на каждом этапе работ при составлении плана традиционным способом.

Для автоматизации измерений при производстве топографической съемки и инженерно-геодезических работ на строительной площадке созданы высокоточные электронные тахеометры (далее – тахеометр). Тахеометр содержит угломерную часть, сконструированную на базе кодового теодолита, светодальномер и встроенную ЭВМ. С помощью угломерной части определяются горизонтальные и вертикальные углы, светодальномера – расстояния, а ЭВМ решает различные геодезические задачи, обеспечивает управление прибором, контроль результатов измерений и их хранение.

В России наибольшее распространение получили электронные тахеометры, изготавливаемые фирмами Японии. Они устойчивы в работе, имеют свыше 30 функций, точные и высокоточные, а по стоимости почти в 1,5 раза дешевле приборов, изготавливаемых в Европе. В таблице 12 приведены технические характеристики приборов

фирмы Sokkia. Приборы имеют безотражательный режим измерений.

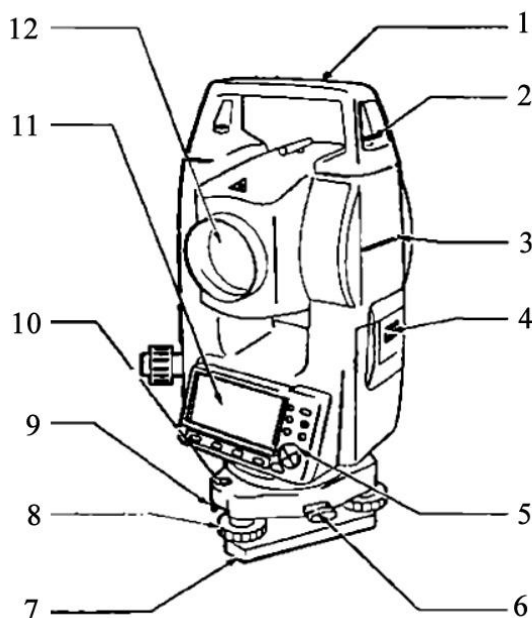
Таблица 12 – Технические характеристики электронного тахеометра Sokkia SET 530R

Показатель	Значение
Точность измерения углов	5"
Увеличение, крат	30
Компенсатор / диапазон работы	двухосевой, $\pm 3'$
Минимальное расстояние фокусирования, м	1,3
Дальность измерения расстояний на одну призму, м	5000
Дальность измерения расстояний на три призмы, м	6000
Дальность измерения расстояний без отражателя, м	150
Точность измерения расстояний на призму, мм	$\pm(2+2 \times 10^{-6} \times D)$
Время измерения расстояний, сек	1,3
Дисплей	ЖК, 192×80 точек
Защита от пыли и воды	IP66
Внутренняя память	10000 точек
Рабочая температура	от $-20^{\circ}\text{C}$ до $+50^{\circ}\text{C}$
Время работы от одного аккумулятора, часов	5
Время заряда одного аккумулятора	2
Вес, кг	5,3

При помощи тахеометров серии Sokkia 30R измеряют расстояния без использования отражателей. Это очень важное положительное качество прибора, так как появляется возможность выполнять измерения на точки, на которые невозможно или опасно для жизни устанавливать отражатель. Видимый лазерный луч имеет малый диаметр, поэтому измерения сквозь листву деревьев, заборы стали простыми. Переключение режимов работы «пленка» – «без отражателя» – «призма» осуществляется одной кнопкой. Питание электронного тахеометра осуществляется от Li-Ion аккумулятора (вес – около 100 гр.). Аккумуляторы можно приобрести в магазинах бытовой электроники.

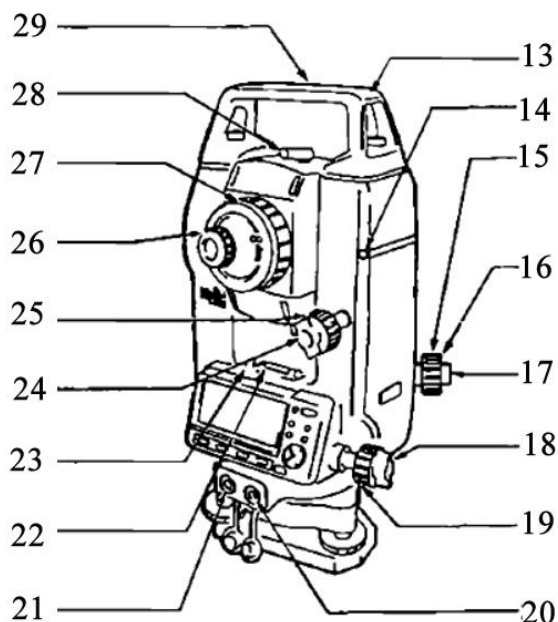
Электронные тахеометры оснащены панелью управления с 15 клавишами. Можно использовать беспроводную клавиатуру SF14, при необходимости быстрого ввода координат, имен точек. Измерение и сохранение данных осуществляется нажатием одной кнопки. Объем внутренней памяти довольно внушительный, 10 000 точек. Возможна установка считывателя SCRC2 для Compact Flash карт.

А



- 1 - ручка
- 2 - винт фиксации ручки
- 3 - метка высоты инструмента
- 4 - крышка аккумуляторного отсека
- 5 - рабочая панель
- 6 - защелка трегера
- 7 - основание трегера
- 8 - подъемный винт
- 9 - юстировочные винты  
круглого уровня
- 10 - круглый уровень
- 11 - дисплей
- 12 - объектив ( с функцией  
лазерного указателя)

Б



- 13 - паз для установки буссоли
- 14 - приемный датчик для  
внешней клавиатуры
- 15 - фокусирующее кольцо  
оптического отвеса
- 16 - крышка сетки нитей  
оптического отвеса
- 17 - окуляр оптического отвеса
- 18 - горизонтальный закрепительный  
винт
- 19 - горизонтальный винт точной  
наводки
- 20 - разъем ввода/вывода данных
- 21 - разъем для внешнего  
источника питания
- 22 - цилиндрический уровень
- 23 - юстировочные винты  
цилиндрического уровня
- 24 - вертикальный  
закрепительный винт
- 25 - вертикальный винт  
точной наводки
- 26 - окуляр зрительной трубы
- 27 - фокусирующее кольцо  
зрительной трубы
- 28 - видоискатель
- 29 - метка центра инструмента

Рисунок 61 – Устройство тахеометра Sokkia SET 530R

Sokkia SET 530R – это не просто измерительный прибор, а многофункциональный инструмент, который позволяет выполнять широкий спектр геодезических задач:

- Измерение расстояний – как с использованием отражателя, так и без него.
- Измерение углов – горизонтальных и вертикальных.
- Определение координат и высот точек местности – с высокой точностью.
- Создание планов земельных участков – с использованием программного обеспечения.
- Вычисление площадей и объемов – для различных задач.
- Выполнить обратную засечку.
- Вынести линии в натуру.

Определить недоступные расстояния. Такие возможности позволяют использовать Sokkia SET 530R для межевания земель, топографической съемки, строительства, инженерных изысканий и других работ.

Sokkia SET 530R оснащен цифровым дальномером Red-Tech класса 3R, позволяющим измерять расстояния без использования отражателя, что особенно удобно при работе с труднодоступными объектами (табл. 12).

Как и в случае с оптическим теодолитом 3Т5КП, Sokkia SET 530R имеет зрительную трубу с сеткой нитей (рис. 61). Близ окуляра расположено фокусирующее кольцо, позволяющее наладить четкость изображения (на метку, светоотражатель и пр.). Закрепительный горизонтальный винт вызывает зафиксировать положение тахеометра по «горизонтальному кругу», а горизонтальный винт точной наводки поправить изображение влево и вправо в горизонтальной плоскости. Вертикальный закрепительный винт позволяет зафиксировать положение зрительной трубы в вертикальной плоскости (верх-низ), а вертикальный винт точной наводки уточнить положение изображения.

Положение пузырька круглого уровня позволяет сориентировать положение на станции. Центрировать положение цилиндрического уровня необходимо, руководствуясь общими действиями к установке теодолита в рабочее положение – подъемными винтами.

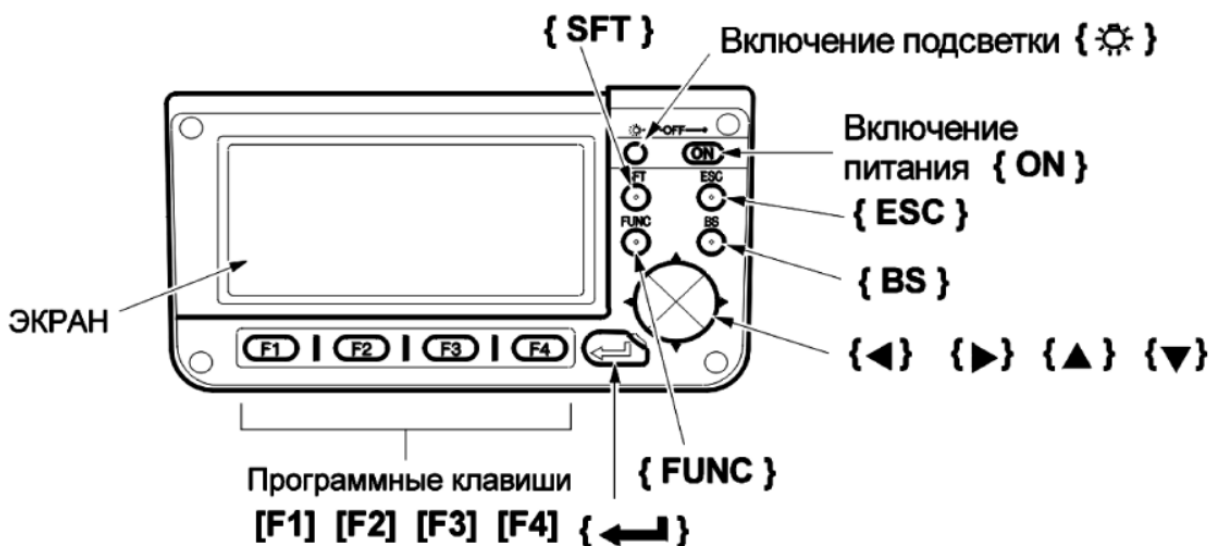


Рисунок 62 – Внешний вид рабочей панели Sokkia SET 530R

Основные операции тахеометра расположены на рабочей панели (рис. 62). К ним относят:

1. Включение/выключение питания: кнопкой { ON } – включение; { ON } + { ☀ } – отключение.

2. Подсветка экрана: { ☀ } – включение/выключение подсветки экрана.

3. Программные клавиши, названия которых выводятся на нижней строке экрана:

{ F1 } + { F4 } – выбор функции, соответствующей программной клавише;

{ FUNC } – переключение между страницами экранов MEAS – режима (при размещении более четырех программных клавиш).

4. Ввод букв/цифр:

{ F1 } + { F4 } – ввод буквы или цифры, соответствующей программной клавише;

{ FUNC } – переход а следующую страницу программных клавиш (для поиска нужной буквы или цифры);

{ FUNC } (кратковременное удержание) – возврат на предыдущую страницу программных клавиш;

{ BS } – удаление символа слева;

{ ESC } – отмена ввода данных;

{ SFT } – переключатель регистра между прописными и строчными буквами;

{ ← } – выбор/подтверждение ввода слова/значения.

### 5. Выбор опций:

{▲}/ {▼} – перемещение курсора вверх и вниз;

{▶}/ {◀} – перемещение курсора вправо и влево/ выбор другой опции;

{←} – подтверждение выбор.

### 6. Переключение режимов:

[КОНФ] – от режима статуса к режиму конфигурации;

[ИЗМЕР] – от режима статуса к режиму измерений;

[ПАМ] – от режима статуса к режиму памяти;

{ESC} – возвращение в режим статуса из любого другого.

### 7. Другое действие:

{ESC} – возвращение к предыдущему экрану.

На экране статуса (рис. 63, А) отображается название инструмента, номер и версия, а также файл, в котором осуществляется запись данных. На экране режима измерений указывается значение поправки призмы, величина атмосферной поправки, номер страницы (рис. 63, Б). На рисунке 63, Б номерами указаны следующие символы:

1 – расстояние:

S – наклонное расстояние;

D – горизонтальное проложение;

h – превышение.

2 – отсчет по вертикальному кругу:

Z – зенитное расстояние;

VУ – угол наклона (от горизонта  $0^\circ \dots 360^\circ$ / от горизонта  $\pm 90^\circ$ ).

Для представления вертикального угла в виде %, необходимо нажать клавишу [Z/%].

3. Отсчет по горизонтальному кругу:

Путем нажатия клавиши [П/Л] определяется выбор отсчетов горизонтальных углов – вправо/влево для переключения в соответствующее состояние:

ГУп – отсчет по горизонтальному кругу, выполненный по часовой стрелки (вправо);

Гул – отсчет по горизонтальному кругу, выполненный против часовой стрелки (влево).

4. Остаточный заряд аккумулятора.

5. Компенсация угла наклона.

Подготовка тахеометра к работе осуществляется следующим образом (рис. 64):

### I. Установка прибора.

Установить ножки штатива (1) над точкой стояния и выдвинуть их на удобную для наблюдений высоту, зафиксировать их, используя винты штатива (2). Установить прибор на столике штатива (3). Подъемные винты трегера (4) желательно установить в среднее положение.

### II. Грубое центрирование.

После установки штатива над точкой стояния (репером) плоскость столика штатива (3) должна быть примерно горизонтальна.

Глядя через оптический центрир (5), установить центр (центральный кружок центрира) над точкой стояния, используя подъемные винты трегера. Для фокусировки изображения центрального кружка центрира, повернуть окуляр.

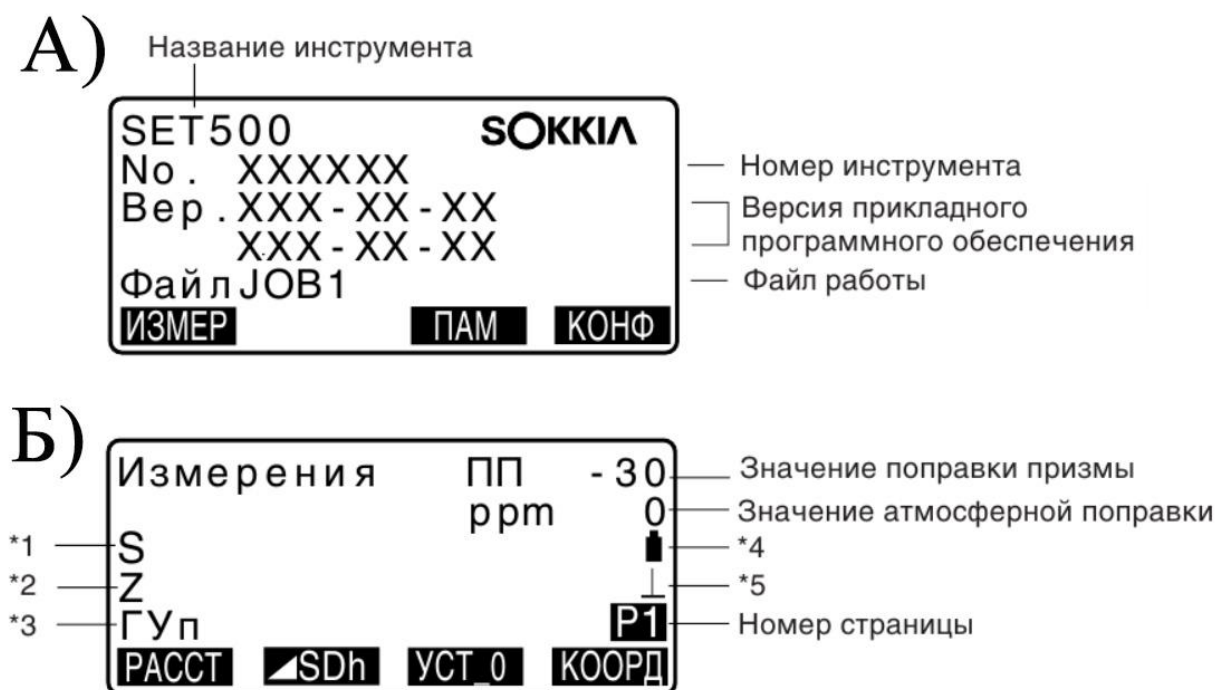
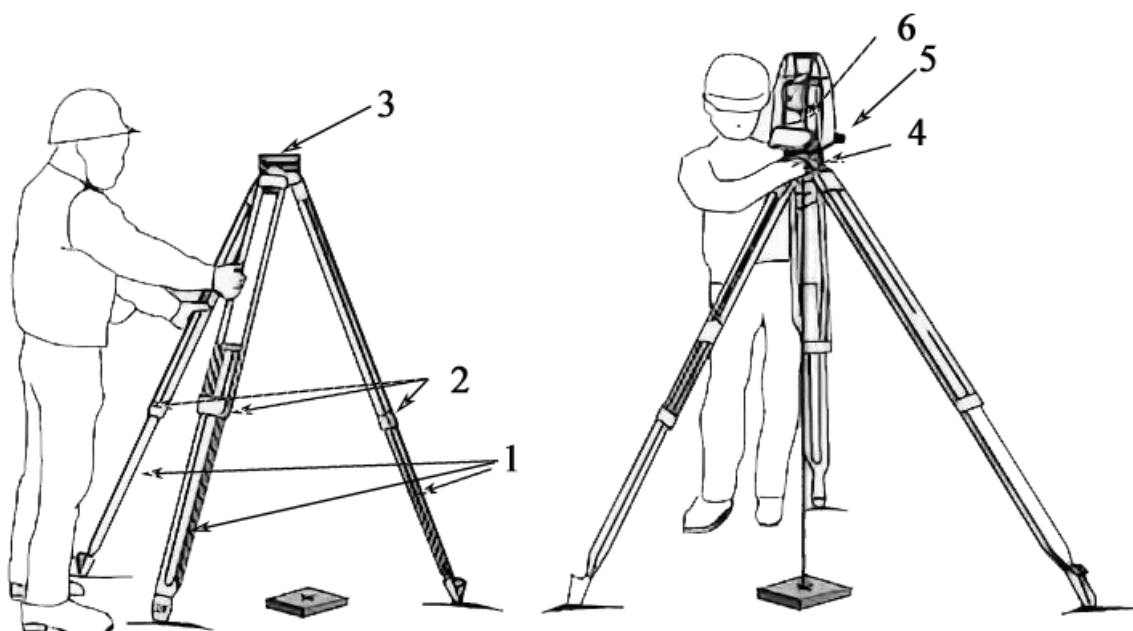


Рисунок 63 – Отображаемые символы на дисплее тахеометра: А) экран статуса; Б) экран режима измерений.



*Рисунок 64 – Установка тахеометра в рабочее положение*

Чтобы отфокусировать изображение репера, следует вращать диоптрийное кольцо окуляра оптического центра.

III. Горизонтирование точное центрирование в следующей последовательности:

а) Грубое центрирование (рис. 65, А). Привести пузырек круглого уровня (б) в нуль-пункт, регулируя ножки штатива (рис. 51, 1).



*Рисунок 65 – Горизонтирование точное центрирование*

б) Точное горизонтирование (рис. 65, Б). Установить продольный уровень параллельно двум подъемным винтам трегера. Вывести пузырек уровня в нуль-пункт, поворачивая два подъемных винта трегера а и в одновременно в противоположных направлениях. Повернуть прибор на  $90^\circ$  и отгоризонтировать третьим винтом. Поворачивая прибор

вокруг вертикальной оси, убедиться в том, что пузырек уровня не смещается от центра больше чем на одно деление.

в) Точное центрирование (рис. 65, В). Перемещать трегер на століке штатива до тех пор, пока изображение репера не появится в центральном круге оптического центрира, повторить горизонтирование при необходимости несколько раз.

IV. Фокусировка зрительной трубы.

а) Фокусирование сетки нитей. Навести на яркую равномерно окрашенную поверхность и поворачивать окуляр зрительной трубы до тех пор, пока сетка нитей не станет четкой.

б) Фокусирование объекта. Навести на объект, и поворачивать фокусировочное кольцо зрительной трубы до тех пор, пока объект не станет четким.

V. Включение прибора. Прибор включается клавишей ON. На короткое время на дисплее появляется заставка с логотипом SOKKIA, номером версии программного обеспечения (важно для последующих обновлений) и установленными значениями.

Компенсатор включается автоматически вместе с включением прибора. Если горизонтирование произведено неточно, то минуты и секунды отсчетов углов будут меняться рывками.

## **10.2 Поверки и юстировки электронного тахеометра.**

Все геодезические приборы, используемые для обеспечения строительства, должны быть исследованы на их пригодность к эксплуатации один раз в течение года в специальных лабораториях, имеющих государственную лицензию на тестирование приборов. На каждый прибор лабораторией выдается «Свидетельство о поверке средств измерений \*\*\*», где указывается пригоден или не пригоден прибор к эксплуатации.

Если поверки электронного тахеометра ЭТ будут выполняться с его установкой на штативе, то в первую очередь необходимо осмотреть и исследовать штатив на его пригодность к работе. А именно: закрепительные винты ножек штатива должны надежно работать, штатив должен быть устойчив, т.е. не должно быть люфта в головке штатива и металлических наконечниках (оковках) ножек штатива.

Надежность работы скрепляющих винтов ножек штатива проверяется вручную, и если имеется срыв резьбы винта, то узел

необходимо заменить. Если наконечники ножек штатива имеют подвижность, что практически всегда имеет место у деревянных штативов вследствие усушки дерева, то следует подтянуть болты, скрепляющие металлическую обойму наконечника с ножкой штатива. При этом иногда возникает необходимость вставки клиньев в обойму наконечника, а затем уже надо произвести затяжку болта.

Головка штатива может иметь подвижность (люфт) вследствие усушки дерева ножек штатива или недостаточной затянутости болтов, скрепляющих верх ножек штатива с его головкой. В обоих случаях для устранения имеющейся подвижности надо подтянуть болты, скрепляющие элементы конструкции штатива, не допуская при этом перетяжки болтов.

После осмотра штатива и устранения обнаруженных в нем неисправностей его устойчивость проверяется посредством установки прибора на головку, закрепления станвого винта, горизонтирования, наведения зрительной трубы на визирную цель (при этом наконечники ножек штатива должны быть надежно задавлены в грунт). Прикладывается пальцем руки легкое усилие на головку штатива во вращательном направлении. Усилие снимается, наблюдатель смотрит в зрительную трубу – визирная цель не должна сойти с креста сетки, что указывает на устойчивость штатива. После этого приступаем к поверкам и юстированию тахеометра в изложенной ниже последовательности.

1. *Ось цилиндрического уровня, установленного на алидаде ЭТ, должна быть горизонтальна и перпендикулярна главной оси вращения прибора.* (Это требование относится и к изображениям уровней на дисплее прибора).

Прибор горизонтируется. Ампула уровня устанавливается по направлению двух подъемных винтов подставки. Пузырек уровня точно приводится на середину ампулы подъемными винтами подставки (рис. 66, а). По отсчету горизонтального круга алидада поворачивается на  $180^\circ$ , если геометрическое условие выполнено, то пузырек уровня останется на середине ампулы уровня, в противном случае пузырек уйдет с середины (рис. 66, б). Тогда пузырек уровня приводится на  $1/2$  дуги отклонения юстировочным винтом уровня в сторону центра ампулы (шпилькой или отверткой), а на вторую половину дуги отклонения – подъемными винтами подставки, т.е. в центр.

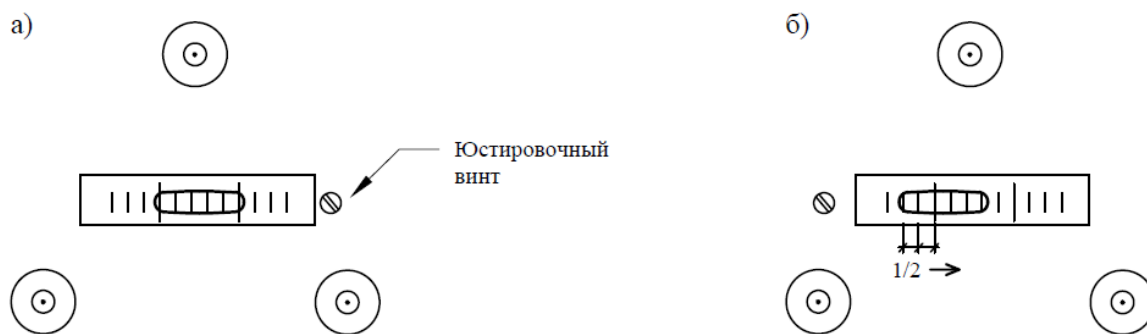


Рисунок 66 – Схема горизонтирования электронного тахеометра

Затем алидада вновь поворачивается на  $180^\circ$ . Если юстировка выполнена точно, то пузырек уровня останется на середине ампулы. В противном случае юстировку надо повторить. После выполнения условия прибор горизонтируется по направлению третьего подъемного винта. В итоге, вращая алидаду на  $360^\circ$ , пузырек уровня не должен уходить от нуля больше одного деления.

Наклон вертикальной оси вращения тахеометра определяется с помощью встроенного электронного уровня, и это отклонение индицируется в цифровом виде на дисплее ЭТ. Определяя отклонения оси вращения через каждые  $30''$  дважды (поворот на  $720''$ ), надо вывести среднее значение отклонения оси от вертикали, оно не должно превосходить  $10''$ .

После выполнения этой поверки и горизонтирования тахеометра следует посмотреть на положение пузырька круглого уровня, установленного на подставке прибора. Если пузырек не в нуль-пункте (не в центре окружности), то, действуя шпилькой тремя юстировочными винтами уровня необходимо привести пузырек в нуль-пункт. Тем самым будет выполнено требование к прибору – ось круглого уровня должна быть отвесна и параллельна оси вращения тахеометра.

В последних моделях электронных тахеометров фирмы «SOKKIA» и «TOPCON» (серия 50RX) на алидаде цилиндрический уровень отсутствует. Прибор приводится к горизонту по круглому уровню подставки.

Далее после включения электропитания на дисплей ЭТ выводится изображение пузырька уровня и показания датчиков углов наклона прибора по осям X и Y, например, X  $2'38''$ , Y  $1'25''$ . Действуя тремя подъемными винтами подставки необходимо привести

пузырек (черную точку) в центр пересечения осей датчика, т.е. установить отсчеты X и Y близкие к 0-5". После этого следует проверить положение пузырька круглого уровня на подставке. Если пузырек сместился из центра, необходимо при помощи шпильки и юстировочных винтов привести его в центр. Тем самым выполняется требование – ось круглого уровня должна быть отвесна и параллельна оси вращения прибора.

Отметим, это будет справедливо только при условии правильной регулировки датчиков углов наклона тахеометра.

Затем следует переходить к поверке места нуля компенсатора.

## 2. Определение места нуля компенсатора

Если выведенный на дисплей угол наклона лимба горизонтального круга отличается от 0, то это отрицательно повлияет на точность угловых измерений. Чтобы исключить это влияние на результаты измерений необходимо устранить величину «места нуля компенсатора». Для этого надо:

- тщательно горизонтировать прибор, затем установить отсчет 0° на горизонтальном круге (дважды нажать клавишу [уст 0])
- в режиме Конфигурация, выбрать "Константы прибора", а затем комп x400 y400 , нажать клавишу ENTR (рис. 67).

На дисплее появятся значения, например,

X	0° 01' 16''
Y	0° 00' 08''
ГУп	0° 00' 00''
ДА	

Рисунок 67 – Состояние дисплея в режиме «Конфигурация»

Когда отсчеты стабилизируются, их надо записать в журнал и нажать клавишу ДА;

-повернуть алидаду точно на 180°00'00'', закрепить винт. На дисплее появится новая запись. Например, см. рис. 68.

X	0 ° 01' 18 ''
Y	0 ° 00' 10 ''
ГУП	0° 00' 00''
	ДА

Рисунок 68 – Показатели отчетов в режиме «Конфигурация»

Далее надо вычислить «место нуля компенсатора» как среднее из двух значений X и Y, соответственно:

$$X_{\text{откл.}} = \frac{X_1 + X_2}{2} = \frac{0^\circ 01' 16'' + 0^\circ 01' 18''}{2} = 0^\circ 01' 17'' \quad (125)$$

$$Y_{\text{откл.}} = \frac{Y_1 + Y_2}{2} = \frac{0^\circ 00' 08'' + 0^\circ 00' 10''}{2} = 0^\circ 00' 09'' \quad (126)$$

Если  $X_{\text{откл.}}$ ,  $Y_{\text{откл.}}$  каждая величина не превышает 20'', то юстировку «места нуля» выполнять не требуется. Для этого следует нажать клавишу ESC.

В нашем примере необходимо выполнить юстировку «места нуля компенсатора». Для этого следует:

- при значениях  $X_2$  и  $Y_2$  нажать клавишу ДА, на дисплее появится «отсчет при КП»,
- повернуть алидаду на 180°, появятся отсчеты  $X_1$  и  $Y_1$  на дисплее отобразится информация, например, (для приборов серии SET 130R)

Компенсатор		
Текущий	X 400	Y 400
Новый.....	X 410	Y 402
	Нет	Да

Рисунок 69 – Юстировка места нуля компенсатора

Если значения  $X_2$ ,  $Y_2$  находятся в пределах  $400 \pm 30$  (диапазон юстировки), то юстировку следует продолжать. Для этого надо нажать клавишу ДА, при этом восстановятся «Константы прибора»:

- нажать клавишу ENTR при информации «Константы прибора»,
- появятся новые скомпенсированные отсчеты  $X_3$ ,  $Y_3$ , их нужно записать в журнал и нажать клавишу ДА,

- повернуть алидаду на  $180^\circ$ , появятся скомпенсированные отсчеты  $X_4$ ,  $Y_4$ .

Вычисляются средние значения отклонений:

$$X_{\text{откл.}} = \frac{X_3 + X_4}{2} \quad (127)$$

$$Y_{\text{откл.}} = \frac{Y_3 + Y_4}{2} \quad (128)$$

Если средние значения отклонений не превосходят  $\pm 20''$ , то юстировка завершена. Для выхода из режима юстировки нажать клавишу **ESC**.

Если среднее значение  $X_{\text{откл}}$  и  $Y_{\text{откл}}$  превосходят  $20''$  (хотя бы одно), то юстировку по вышеизложенной схеме надо повторить 2 – 3 раза, пока отклонения не будут превосходить  $20''$ . Если отклонения все же будут превосходить  $20''$ , прибор необходимо сдать в ремонтную мастерскую.

Здесь угол  $X$  – наклон по направлению линии визирования,  $Y$  – наклон по оси вращения зрительной трубы.

В приборах серии 50RX на дисплее будут высвечиваться только значения углов наклона по осям  $X$  и  $Y$ . Действия по устранению влияния места нуля компенсатора на результаты измерений аналогичны вышеизложенному.

*3. Определение и юстировка коллимационной погрешности тахеометра.*

Геометрическое условие конструкции тахеометра:

*Визирная линия должна быть перпендикулярна оси вращения зрительной трубы.* Невыполнение этого условия вызывает погрешность в измерении горизонтальных углов и носит название коллимационной погрешности.

Конструкция электронного тахеометра позволяет измерить величину коллимационной погрешности, и при производстве угловых измерений при одном положении вертикального круга автоматически вносить поправки в измеренные углы.

Для этого в режиме «Конфигурация», «Константы прибора» выбрать «Коллимация»:

- навести крест сетки нитей зрительной трубы на хорошо видимую цель (дальность 150-200м) при КЛ, нажать клавишу **ДА**, перевести зрительную трубу через зенит и провизировать на ту же цель при КП, нажать клавишу **ДА**;

- для учета поправок за коллимацию в измеряемые углы тахеометром при одном круге нажать клавишу **ДА**;

Если нет уверенности в качестве наведения зрительной трубы на цель – нажать клавишу **НЕТ**.

В этом случае прибор вновь выйдет в режим «Коллимация», операции по учету коллимационной погрешности повторить заново.

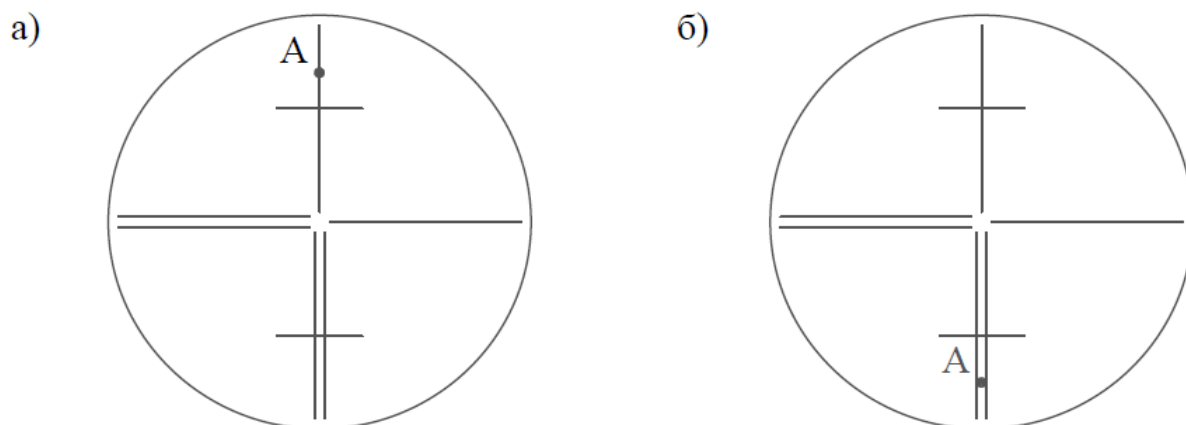
В учебных целях рекомендуется определить значение коллимационной погрешности из наблюдений на 2-3 цели, не включая режим учета.

И только при твердой уверенности определения значений коллимационной погрешности при последующем визировании на цель нажать трижды клавишу **ДА**, т.е. включить программу учета коллимационной погрешности.

*4. Вертикальная нить креста сетки нитей должна быть отвесной, а горизонтальная – горизонтальной.*

Тщательно горизонтировать прибор. Навести зрительную трубу на хорошо видимую цель, совместив ее с вертикальной нитью креста сетки вверху поля зрения (рис. 70, а) трубы.

Далее при помощи микрометрического винта вертикального круга переместить визирную цель вниз поля зрения трубы (рис. 70, б). Если цель не сойдет с вертикальной нити сетки, то условие отвесности выполнено. В противном случае прибор необходимо сдать в ремонтную мастерскую (сервисный центр фирмы).



*Рисунок 70 – Схема сетки нитей зрительной трубы*

Аналогично контроль положения сетки можно выполнить, пользуясь горизонтальной нитью, при этом перемещение цели,

расположенной на горизонтальной нити, из одного края поля зрения на другой переместить вращением микрометрического винта горизонтального круга. Если цель останется на нити – условие выполнено.

Положение креста сетки нитей поверяется по визирной цели, установленной на расстоянии 100 м от прибора примерно на одной высоте, при отсутствии рефракции (рис. 71).

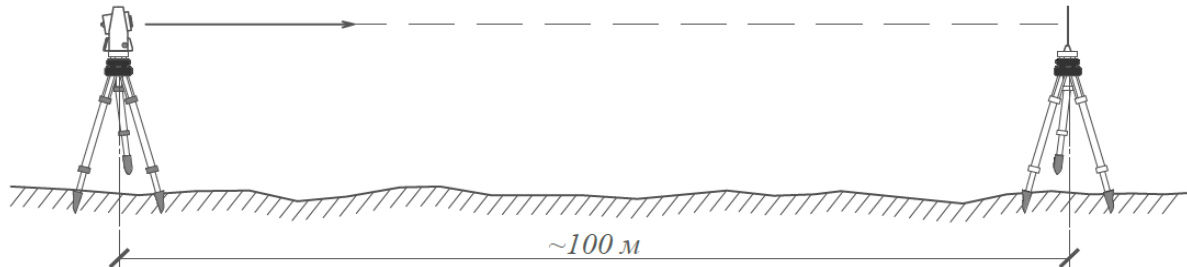


Рисунок 71 – Схема поверки сетки нитей по визирной цели

Крест сетки нитей зрительной трубы наводится на центр визирной марки. Устанавливается режим измерений. Записываются в журнал отсчеты по горизонтальному и вертикальному кругам, например:

$$\begin{aligned} \text{КЛ: Гор. } A1 & 37^{\circ}18'42'', \\ \text{Верт. } B1 & 269^{\circ}33'55''. \end{aligned}$$

Зрительная труба переводится через зенит и наводится на центр визирной марки, отсчеты записываются в журнал:

$$\begin{aligned} \text{КП: Гор. } A2 & 217^{\circ}18'30'', \\ \text{Верт. } B2 & 90^{\circ}26'17''. \end{aligned}$$

Вычислим разность отсчетов по горизонтальному кругу:

$$A2 - A1 = 217^{\circ}18'30'' - 37^{\circ}18'42'' = 179^{\circ}59'48'',$$

и сумму отсчетов

$$B1 + B2 = 269^{\circ}33'55'' + 90^{\circ}26'17'' = 360^{\circ}00'12''.$$

Если разность  $(A2 - A1)$  находится в пределах  $180^{\circ} \pm 20''$ , а сумма  $(B2 + B1)$  в пределах  $360^{\circ} \pm 4''$ , то юстировка креста сетки нитей не требуется. Если же значения находятся не в указанных пределах (при 2–3 контрольных измерениях), то необходима юстировка положения сетки нитей зрительной трубы в сервисном центре (ремонтной мастерской).

5. *Ось оптического центра должна быть отвесна и совпадать с осью вращения прибора.*

Прибор тщательно приводится к горизонту. Внизу, под центр штатива (на землю, асфальт) помещается кусок фанеры или дощечки с прикрепленным листом бумаги. На листе отмечается карандашом

проекция креста сетки нитей центрира. Далее надо повернуть алидаду на  $180^\circ$  и вновь отметить проекцию креста сетки нитей. Если проекции не совпадают в пределах  $1\text{ мм}$ , то юстировка креста сетки центрира не требуется. В противном случае необходимо выполнить юстировку.

Для этого:

- обе точки проекций креста сетки соединяются линией, отрезок делится пополам и отмечается его середина точкой;
- прибор надо крепко зафиксировать закрепительным винтом горизонтального круга (алидады);
- снять окуляр оптического центрира;
- снять защитное кольцо юстировочных винтов креста сетки центрира;
- установить окуляр на место;
- посредством юстировочных винтов сетки нитей переместить центр креста до его совмещения с серединой точной отрезка, отмеченной на листе бумаги. Перемещать обойму сетки нитей надо, наблюдая одновременно в окуляр, юстировочными винтами, первоначально ослабив противоположный винт, т.е. тот, в направлении которого будет перемещаться обойма сетки. По окончании юстировки все винты должны быть затянуты, но при этом нельзя допускать их перетяжку;
- действуя подъемными винтами подставки, совместить крест сетки нитей с первоначальной проекцией креста сетки (точка 1);
- повернуть прибор на  $180^\circ$ , убедиться, что юстировка выполнена правильно (крест сетки не сошел с точки 1). Поставить на место защитное кольцо юстировочных винтов сетки, для чего надо предварительно снять окулярное колено центрира;
- поставить на место окуляр центрира.

(В сериях приборов RX 50 достаточно вывернуть защитное кольцо в окуляре центрира для доступа к юстировочным винтам сетки нитей).

Вновь после завершения юстировки, т.е. сборки окулярного колена, повторить поверку, допускается несовпадение креста сетки нитей с проекцией точки на листе бумаги не более  $1\text{ мм}$ .

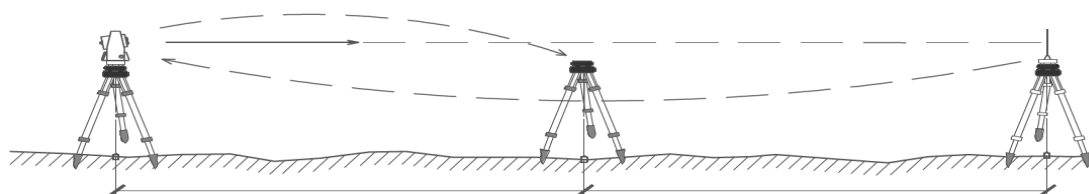
*б. Определение постоянной поправки светодальномера тахеометра.*

Постоянную поправку светодальномера требуется определять несколько раз в течение года, а именно:

- при замене светоотражательной призмы,
- при длительном времени неиспользования прибора,
- при заметном отклонении измеренных расстояний от предполагаемых их значений.

Не смотря на то, что на светоотражательной угломерной призмемарке указана ее постоянная поправка (с одной стороны 0 мм, с другой – (-30 мм) необходимо перед началом работ определить постоянную поправку, вводимую (автоматически) в измеренные расстояния.

Затем установить тахеометр в точке  $C$ , измерить 10 раз отрезок  $CB$ . Снять отражатель с подставки в точке  $B$  и установить его в подставку в точке  $A$ .



*Рисунок 72 – Схема определения постоянной поправки светодальномера тахеометра.*

Это можно выполнить следующим образом:

1. На относительно ровном месте закрепить 2 точки примерно на расстоянии 100 м одна от другой  $A$  и  $B$  (рис. 72). В точке  $A$  установить тахеометр, в точке  $B$  – отцентрированный штатив с визирной маркой-отражателем. Примерно в середине линии  $AB$  закрепить третью точку  $C$  на местности, устанавливая ее на прямой с помощью тахеометра. Отцентрировать над точкой  $C$  третий штатив с подставкой (подставки – адаптеры, т.е. взаимозаменяемые с прибором и марками-отражателями).

Измерить 10 раз горизонтальное проложение линии  $AB$  тахеометром.

Измерить отрезок  $CA$  тахеометром 10 раз. Вычислить средние значения линии  $AB$  и отрезков  $CB$ ,  $CA$  ( $S_{AB}, S_{CB}, S_{CA}$ ).

Далее можно написать равенство и преобразовать его:

$$S_{AB} + K = (S_{CB} + K) + (S_{CA} + K), \quad (129)$$

$$S_{AB} + K - S_{CB} - K - S_{CA} - K = 0,$$

$$S_{AB} - (S_{CB} + S_{CA}) = K, \quad (130)$$

где  $K$  – постоянная поправка в измеряемые расстояния тахеометром с используемой светоотражательной маркой-призмой.

Такое определение поправки  $K$  следует выполнять два, три раза. Отклонения значений  $K$  должно находиться в пределах  $\pm 3$  мм (паспортная характеристика точности измерений расстояний светодальномером).

Если расхождения значений  $K$  превосходят указанный предел, прибор надо отправить в сервисный центр (ремонтную мастерскую).

Постоянную поправку  $K$  в измеряемые расстояния ЭТ необходимо определить для каждой используемой в измерениях светоотражательной марки-призмы. И эту величину надо вводить в память прибора (клавиша ДЛН) перед началом измерений, она будет автоматически учитываться прибором в измеренных расстояниях.

2. Наиболее быстрый, но менее точный метод определения постоянной поправки  $K$  комплекта тахеометра с светоотражательными марками-ризмами следующий:

Выбрать ровную площадку (асфальт, бетон), закрепить одну точку на местности  $A$  и установить над ней ЭТ, приведя его в рабочее состояние. На второй переносный штатив установить светоотражательную марку-призму. Этот штатив устанавливается от тахеометра свободно на расстоянии 5, 7, 10, 15 м. При каждой его установке измеряется ЭТ расстояние, и это же расстояние измеряется при помощи стальной рулетки с миллиметровыми делениями. Ноль рулетки устанавливается на фиксированную точку  $A$ , полотно рулетки укладывается и натягивается (усилие 10 кг) под переносным штативом так, чтобы можно было взять отсчет по рулетке по кресту сетки нетей оптического центрира. Для контроля точности измеренного расстояния рулеткой следует выполнить 3-4 измерения, смещая для этого ноль рулетки и считывая расстояния по оптическим центрирам тахеометра и светоотражательной марки-призмы на штативе.

Разности между расстояниями, измеренными светодальномером и средними значениями из измерений этих же расстояний рулеткой, будут выражать постоянную поправку  $K$ . Расхождения между вычисленными значениями  $K$  могут достигать 3-4 мм. Наиболее достоверными будут значения  $K$ , полученные на коротких расстояниях, это значение  $K$  и надо принять за рабочее. Пользуясь этим методом, можно определять постоянную поправку  $K$  для минипризм, широко используемых в геодезических измерениях.

### 7. Лазерный указатель створа (направления).

Разделительная линия между зеленым и красным цветом индикатора указателя направления должна совпадать с визирной линией.

Эта поверка выполняется у приборов, имеющих лазерный створоуказатель (серия 50RX). Для этого в режиме «Установки дальномера» (клавиша ДЛН) нужно установить курсор на излучение **СТВОР**:

- включить лазерный указатель створа, для этого нажать и удерживать кнопку освещения,
- на расстоянии 20 м от прибора (он установлен и приведен в рабочее состояние) установить на штативе светоотражательную призму и навести при КЛ зрительную трубу на центр призмы,
- установить отсчет по горизонтальному кругу  $0^{\circ}00'00''$  (дважды нажать клавишу Уст 0),
- глядя в зрительную трубу, увидим цвет – красный или зеленый, или оба цвета.

Если виден только красный или только зеленый цвет, то требуется юстировка прибора. Для этого надо поворачивать юстировочный винт указателя створа (он находится наверху зрительной трубы у объектива) при красном цвете – по часовой стрелке до момента совпадения разделительной линии с перекрестием сетки; если виден зеленый цвет, то винт надо поворачивать против часовой стрелки до момента совпадения разделительной линии с перекрестием.

Если видны оба цвета, то прибор надо поворачивать микрометрическим винтом горизонтального круга до момента, когда будет виден только один цвет, например, зеленый. Надо снять отсчет по горизонтальному кругу, например,  $0^{\circ}06'36''$ , затем повернуть прибор в другую сторону пока не будет виден только красный цвет. Снять отсчет по кругу, например, он будет  $359^{\circ}57'06''$ , т.е. угол будет равен  $2'54''$ . Следовательно, разность отсчетов (асимметрия) будет равна  $3'42''$ , и разделительная линия смещена в зеленый спектр.

Вращая юстировочный винт, надо добиться положения разделительной линии до ее совпадения с перекрестием сетки нитей, затем вновь измерить углы до появления только зеленого и только красного цвета. Разность углов не должна превосходить  $1'$ . Если разность углов больше  $1'$ , юстировку следует повторить.

### 10.3 Тригонометрическое нивелирование.

Тригонометрическое нивелирование производится с целью создания высотной основы топографических съемок, а также для решения различных инженерных задач. На рис. 53 показана схема тригонометрического нивелирования.

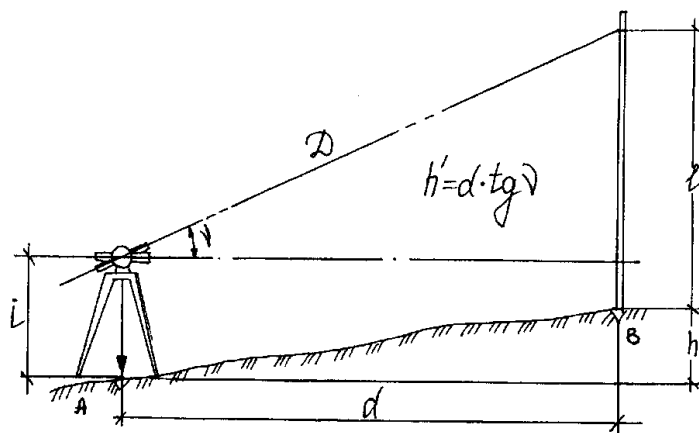


Рисунок 73 – Схема тригонометрического нивелирования

Пусть требуется определить превышение  $h$  точки  $B$  над точкой  $A$ . Для этого в точку  $A$  устанавливают теодолит-тахеометр, а в точку  $B$  помещают вежу или рейку высотой  $l$ . Наводят трубу на верх визирного знака и измеряют угол наклона  $v$ . Горизонтальное положение  $AB$  равно  $d$ . Измеряют высоту инструмента  $i$ . Из рис. 73 видно, что

$$h + l = h' + i \quad (131)$$

Отсюда превышение

$$h = h' + i - l \quad (132)$$

Поскольку  $h' = \frac{1}{2} D \sin 2v = dtg v$ , то искомая величина превышения

$$h = d \tan v + i - l \quad (133)$$

где  $d$  – горизонтальное проложение, м;

$v$  – угол наклона;

$i$  – высота инструмента, м;

$l$  – высота визирования, м;

Горизонтальное проложение  $d$  с учетом неперпендикулярности рейки к визирному лучу в момент отсчета вычисляется по формуле

$$d = D \cos^2 v \quad (134)$$

где  $D$  – расстояние, определенное нитяным дальномером, м.

Для определения наклонного расстояния  $D$  наводят среднюю нить сетки на отсчет по рейке  $l$  и берут отсчеты по крайним нитям  $a$  и  $b$  (рис. 54).

$$D = cn + c_1, \quad (135)$$

где  $c$  – коэффициент дальномера, принимаемый равным 100;

$c_1$  – постоянное слагаемое в трубах современных инструментов с внутренней фокусировкой (оно практически незначительно и его можно не учитывать);

$n$  – число сантиметровых делений по рейке между дальномерными нитями.

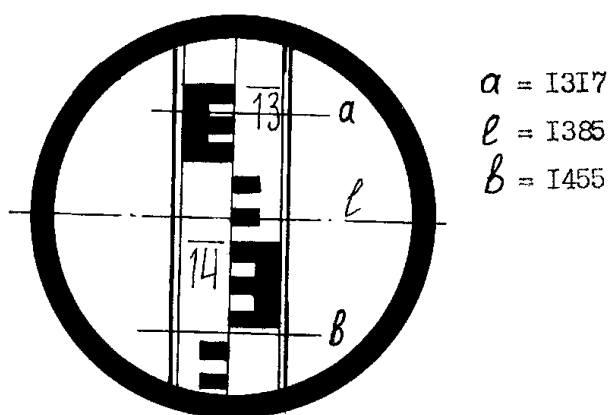


Рисунок 74 – Схема определения расстояния нитяным дальномером

Расстояние  $D$  вычисляют по формуле

Пример.  $a = 1317$ ,  $b = 1455$  (рис. 74). Определить  $D$ .

Решение.  $\Pi = b - a = 138$  мм;

$$D = c \times \Pi = 100 \times 138 = 13800 \text{ мм} = 13,8 \text{ м.}$$

#### 10.4 Технология выполнения тахеометрической съемки

Обоснованием для тахеометрической съемки является теодолитно-нивелирный или теодолитно-высотный ход, в котором определены не только плановое положение, но и высоты их точек.

В теодолитно-нивелирном ходе превышения определяют методом геометрического а, в теодолитно-высотном – тригонометрического нивелирования дважды в прямом и обратном направлениях. При измерении каждого вертикального угла берут отсчеты при двух положениях вертикального круга. Расхождение в измерении расстояний в прямом и

обратном направлениях  $f_{d \text{ доп.}}$ , м, не должно превышать значения 1/400 и вычисляемого по формуле:

$$f_{d \text{ доп.}} = \frac{\sum D}{100 \times \sqrt{n}} \quad (136)$$

где  $\sum D$  – сумма длин линий хода;

$n$  – число линий хода.

Допустимую невязку в превышениях замкнутого теодолитно-высотного хода вычисляют, используя формулу:

$$f_{h \text{ доп.}} = \frac{\pm 0.04 \times \sum D (100 \text{ м})}{\sqrt{n}}. \quad (137)$$

Съемку местности выполняют с точек съемочного обоснования (станций) методом полярных координат. Для этого на станции устанавливают теодолит-тахеометр (или электронный тахеометр). При круге слева от зрительной трубы (КЛ) приводят его в рабочее положение, совмещают нулевое деление лимба с одной из сторон хода, принимаемого за полярную ось, и поочередно наводят зрительную трубу на нивелирную рейку или отражатель электронного тахеометра, установленных в снимаемых (речных) точках. При этом отсчеты по горизонтальному кругу дают значения полярных углов.

Для определения полярного расстояния техническим теодолитом-тахеометром производят дальномерные отсчеты по рейке. Работая с электронным тахеометром, используют встроенный дальномер. Превышения и горизонтальные расстояния между станцией и точками местности вычисляют, используя соответствующие формулы тригонометрического нивелирования или применяя специальные компьютерные программы.

При съемке ситуации в качестве ее характерных точек используют углы контуров угодий, строений, дорожной сети, объектов гидрографии и гидротехнических сооружений, выходы подземных коммуникаций, опоры линий связи и электропередач. Кроме того, выполняют съемку рельефа. Расстояние между речными точками на местности должно соответствовать 2...3 см на плане. На холме точки обязательно располагают на вершине и вдоль подошвы, в котловане – на дне и по бортам, на хребте – по линиям водораздела и на подошве, в балках и оврагах – на бровках и тальвегах (водотоках), а также в местах изменения крутизны скатов всех форм рельефа.

Результаты записывают в журнал тахеометрической съемки или вносят в память электронного тахеометра. Параллельно ведут абрис, где схематически указывают взаимное положение снимаемых точек

различных объектов, их номера (сквозные для всего участка съемки) и направления скатов.

### **Контрольные вопросы**

1. Что собой представляют электронные тахеометры?
2. Перечислите достоинства электронных тахеометров в сравнении с оптическими теодолитами.
3. Какие технические характеристики выделяют электронный тахеометр SOKKIA SET 530R?
4. Какие геодезические задачи решаются с использованием электронного тахеометра SOKKIA SET 530R?
5. Каким образом SOKKIA SET 530R устанавливается в рабочее положение?
6. Какие поверки проводят для электронного тахеометра?
7. Что такое тригонометрическое нивелирование и как его проводят?
8. Каким образом проводится технология выполнения тахеометрической съемки?

## 11 ТЕОДОЛИТНАЯ СЪЕМКА

План

11.1 Содержание теодолитной съемки

11.2 Проложение теодолитных ходов и привязка к пунктам опорной геодезической сети

11.3 Съемка ситуации местности

### 11.1 Содержание теодолитной съемки

Целью теодолитной съемки является получение контурного плана местности, то есть ситуации. Съемочным обоснованием для нее служат полигоны (или теодолитные ходы) замкнутой или разомкнутой формы. Длина стороны полигона колеблется от 50 до 400 м. В исключительных случаях допускается длина 800 м. При большой величине участка внутри замкнутого полигона прокладывают диагональный ход, который служит одновременно и контролем правильности прокладывания основного хода.

Длины сторон измеряют с точностью не менее 1:1 500 – 1:2 000. Точность измерения углов должна быть не ниже 1'. Основные инструменты: теодолит, лента (дальномер), рулетка, эклиметр, эккер.

Участок для угломерной съемки должен иметь характерные формы рельефа. Общая площадь участка съемки должна быть не меньше 5 га. В начале необходимо провести рекогносцировку участка работ с одновременным закреплением точек полигона и диагонального хода. Точки полигона и диагонального хода выбирают с таким расчетом, чтобы было возможно и удобно измерять углы, линии и проводить съемку участка, всех элементов ситуации и рельефа.

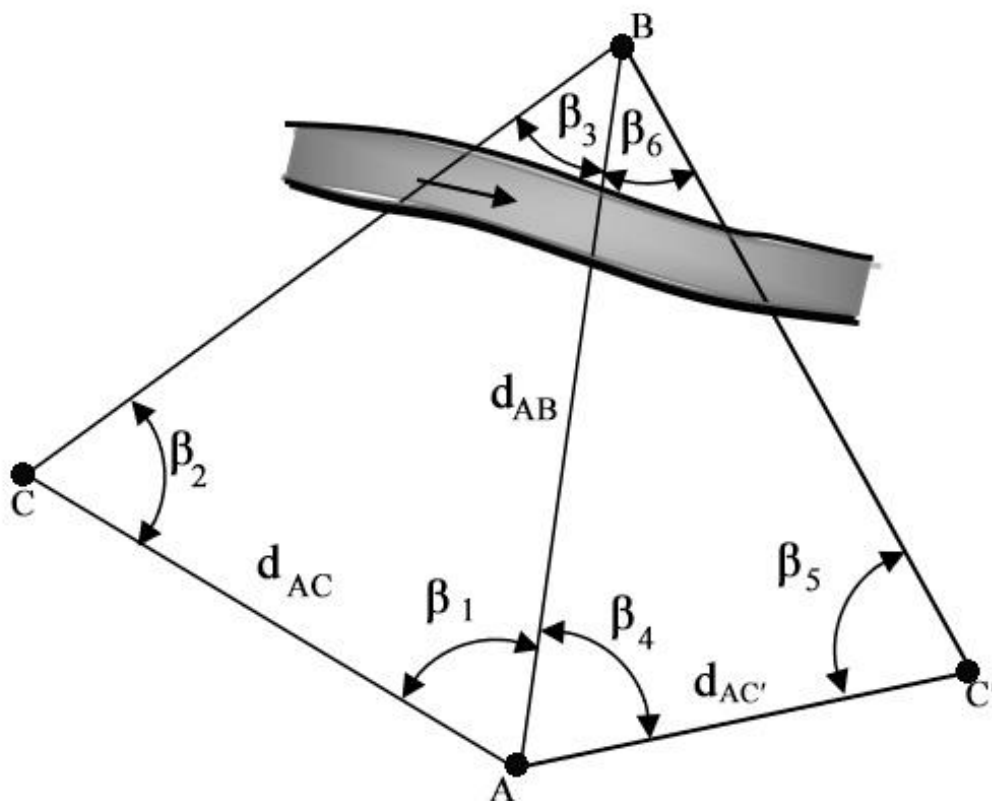
Длины сторон полигона в среднем должны быть не меньше 100 м, стороны короче 50 м допускаются лишь в порядке исключения. В процессе рекогносцировки одновременно намечают участки местности для тахеометрической съемки, участки для нивелирования поверхности по квадратам и решения инженерных задач. Места работ при теодолитной и тахеометрической съемках могут выходить за пределы съемочной сети.

Длины сторон теодолитных ходов измеряют стальной 20-метровой лентой в прямом и обратном направлениях с ведением абриса и записью результатов линейных измерений простым карандашом в

журнале измерения горизонтальных углов с точностью до сантиметра. Расхождение между результатами прямого и обратного измерений не должно превышать 4 см на 100 м длины линии. За окончательное значение берут среднее значение. Относительная погрешность – отношение разности результатов прямого и обратного измерений к среднему не должна превышать 1: 2000. Для вычисления горизонтальных проложений длин линий теодолитного хода измеряют углы наклона всей линии или частей ее вертикальным кругом теодолита или эклиметром.

Если угол наклона не превышает  $2^\circ$ , то поправку из-за наклона линии к горизонту не вводят. Рекомендуют измерять углы наклона линий в прямом и обратном направлениях; расхождение при этом не должно превышать  $0,5^\circ$ .

Если в теодолитном ходе какую – либо из сторон затруднительно измерить непосредственно, то ее находят косвенно из решения задачи определения недоступного расстояния (рис. 75).



*Рисунок 75 – Определение неприступного (недоступного) расстояния*

Например: необходимо определить расстояние от точки А до точки В, расположенной на другой стороне реки (рис. 75). Для решения этой задачи разбивается треугольник АВС (желательно, чтобы

треугольник был равносторонним). Тщательно измеряется длина базиса AC (в прямом и обратном направлениях). Теодолитом измеряются углы  $\beta_1$  и  $\beta_2$ . Определяется угол  $\beta_3$  по формуле:

$$\beta_3 = 180^\circ - (\beta_1 + \beta_2), \quad (138)$$

так как сумма углов треугольника должна быть равна  $180^\circ$ . Расстояние AB находят по теореме синусов:

$$d_{AB} = \frac{d_{AC} \times \sin \beta_2}{\sin \beta_3} \quad (139)$$

Значение синусов углов выбирают из таблиц с точностью до пяти знаков.

Для контроля измерений определяют расстояние AB, разбивая второй базис AC' (рис. 75). Из треугольника ABC', вычисляют длину линии AB ( $d'_{AB}$ ) по формуле:

$$d'_{AB} = \frac{d'_{AC} \times \sin \beta_5}{\sin \beta_6} \quad (140)$$

Если базисы  $d_{AB}$  и  $d'_{AB}$  измерены с точностью  $1/2000$ , то предельное расхождение между ними, полученное из двух треугольников, не должно быть более  $1/2000$  его средней длины. За окончательное значение принимается среднее из двух результатов.

Все вычисления проводят по форме табл. 13.

Таблица 13 – Определение недоступных расстояний

Наименование элементов	Значение элементов для треугольников	
	I	II
$\beta_1$		
$\beta_2$		
$\beta_3 = 180^\circ - (\beta_1 + \beta_2)$		
$d_{AC}$		
$d'_{AC}$		
$\sin \beta_1$		
$\sin \beta_3$		
$\sin \beta_5$		
$\sin \beta_6$		
$d_{AB}$		
$d'_{AB}$		

Если между точками A и B нет взаимной видимости, то используется другое построение. Для этого случая (рис. 76), измеряется два базиса  $b_1$  и  $b_2$  и угол между ними  $\beta$ .

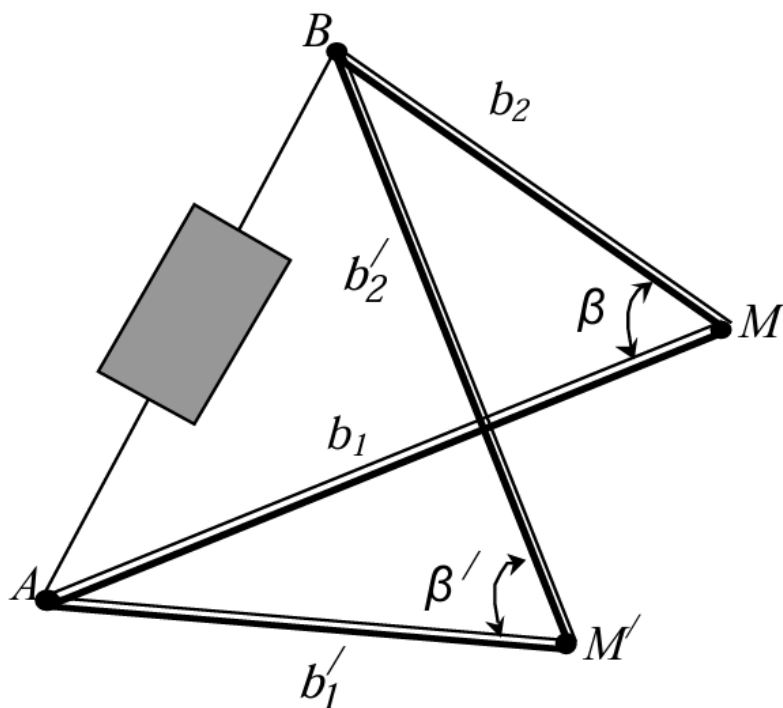


Рисунок 76 – Определение горизонтального проложения в случае отсутствия взаимной видимости

Искомое расстояние  $d$  вычисляется по формуле:

$$d = \sqrt{b_1^2 + b_2^2 - 2b_1b_2 \cos \beta} \quad (141)$$

Определение расстояний также выполняется дважды при положениях точки  $M$  и  $M'$ .

При съемке участка и элементов ситуации с точек теодолитного хода должны быть использованы основные способы съемки: прямоугольных координат (перпендикуляров), полярных координат, угловых засечек, линейных засечек. При съемке ситуации ведут специальный немасштабный чертеж – абрис, в который карандашом заносят все замеры и снимаемые объекты с аккуратной зарисовкой соответствующих точек, линий и углов.

После окончания полевых работ по созданию планового обоснования для топографической съемки подсчитывают угловую невязку по основному теодолитному полигону и диагональному ходу. Результаты полученных и допустимых угловых невязок записывают в журнал. Для удобства последующих вычислений на отдельном листе составляют схему теодолитных ходов, на которую выписывают из журнала измерения горизонтальных углов средние значения измеренных углов, длины сторон и углы наклона линий, полученные практические и допустимые невязки.

При топографической съемке теодолит рассматривается как инструмент, снабженный дальномерными нитями, буссолью и вертикальным кругом.

Для определения симметрии дальномерных нитей относительно средней нити зрительную трубу теодолита устанавливают на глаз горизонтально и затем берут отсчет на рейке, установленной на 30 - 40 м от инструмента по трем нитям – верхней, средней и нижней; вычисляют разности между отсчетами по нижней и средней, по средней и верхней нитям.

Если полученные разности одинаковы, нити симметричны и при необходимости расстояние можно определять по средней и какой-либо крайней нити, умножив его затем на два.

Коэффициент дальномера  $K$  рассчитывают из формулы определения расстояния:

$$D = K \times n + c \quad (142)$$

В современных зрительных трубах с внутренней фокусировкой постоянное слагаемое  $c$  близко к нулю, и, учитывая общую невысокую точность определения расстояний дальномером, этой величиной можно пренебречь, тогда:

$$K = \frac{D}{n} \quad (143)$$

где  $K$  – коэффициент дальномера;

$D$  – расстояние на местности, измеренное мерной лентой;

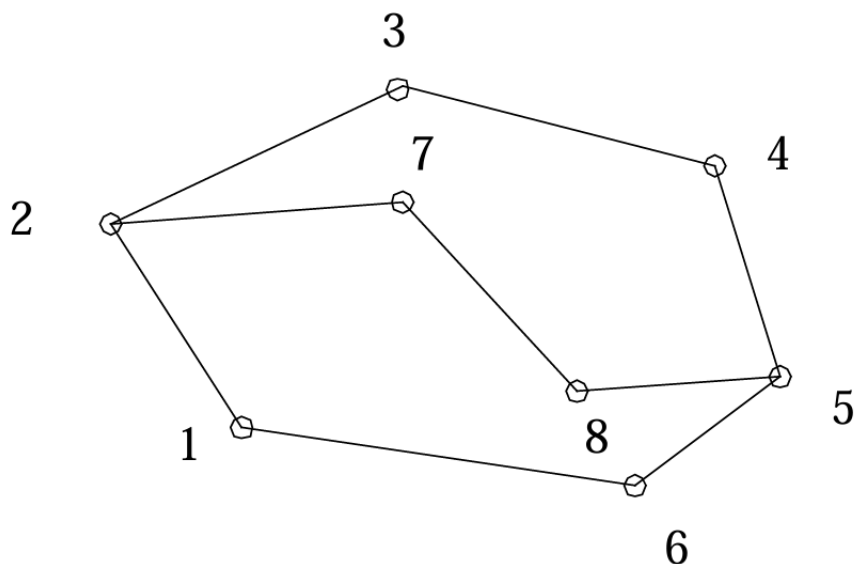
$n$  – число делений рейки между крайними дальномерными нитями.

На ровной местности по створу линии откладывают мерной лентой и закрепляют кольшками отрезки АВ, АС, АД, АЕ, соответственно равные 25, 50, 75 и 100 м. Затем в точке А устанавливают теодолит, приводят его в рабочее положение и берут отсчеты по рейке между дальномерными нитями в точках В, С, Д, Е. Для каждого расстояния вычисляют коэффициент дальномера; за окончательное значение берут среднее арифметическое из четырех значений коэффициента.

Для выяснения точности измерения расстояний дальномером на местности закрепляют и измеряют стальной лентой 2 – 3 отрезка, затем длины этих отрезков измеряют дальномером. Для каждой линии вычисляют относительную погрешность, которая должна быть около 1:300.

## 11.2 Проложение теодолитных ходов и привязка к пунктам опорной геодезической сети

Плановым обоснование теодолитной съемки служат теодолитные ходы, которые прокладываются в виде замкнутых и разомкнутых полигонов. При съемке населенного пункта и площадки для строительства обычно на границе участка прокладывается замкнутый полигон. Для обозначения съемки ситуации и для контроля измерения внутри полигона может быть проложен диагональный ход, например, 2-7-8-5 (рис. 77).



*Рисунок 77 – Замкнутый (1-6) и диагональный (2-7-8-5) теодолитный ход*

Разомкнутые теодолитные ходы должны быть вытянутыми, т.е. с углами поворота, по возможности, близкими к  $180^\circ$ , и прокладываться, как правило, между пунктами триангуляции или полигонометрии (рис. 78). Проложение теодолитных ходов начинается с закрепления на местности кольями или столбами вершин углов поворота. Точки углов поворота теодолитных ходов выбирают так, чтобы стороны между соседними точками было удобно измерять, а длины их были бы не более 350 м и не менее 20 м. Линии измеряют дважды, в прямом и обратном направлениях, с относительной ошибкой не более  $1:2000$ , а разница между двумя измерениями не должна превышать  $1:1500$ .

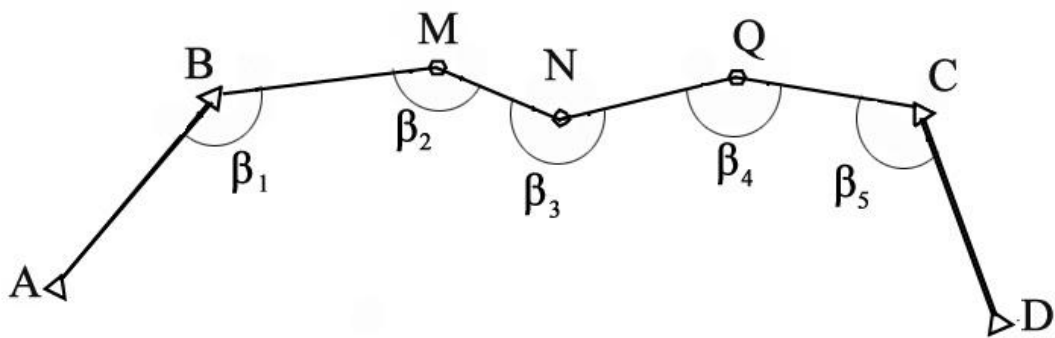


Рисунок 78 – Разомкнутый теодолитный ход

Длина теодолитного хода допускается при съемке масштаба: 1:5000 – 4 км, 1:2000 – 2 км, 1:1000 – 1 км. Углы в теодолитных ходах измеряют обычно вправо по ходу лежащие, с ошибкой не более 0,5. Измерения выполняются при двух положениях вертикального круга и за окончательный результат принимается среднее из двух измерений, если разница из этих измерений не превышает двойной точности прибора. Углы наклона линий измеряют с помощью вертикального круга теодолита, если они превышают  $1^\circ$ . Результаты угловых и линейных измерений записывают в журнал установленной формы.

Для получения исходных координат и дирекционного угла теодолитного хода его нужно привязать к пунктам триангуляции или полигонометрии, координаты которых известны.

Если ход проходит через пункт А опорной сети (рис. 79), то привязка заключается в измерении примыкающих углов в этой точке для передачи дирекционного угла на линию теодолитного хода. Такие ходы, опирающиеся на один исходный пункт геодезической сети, называются висящим.

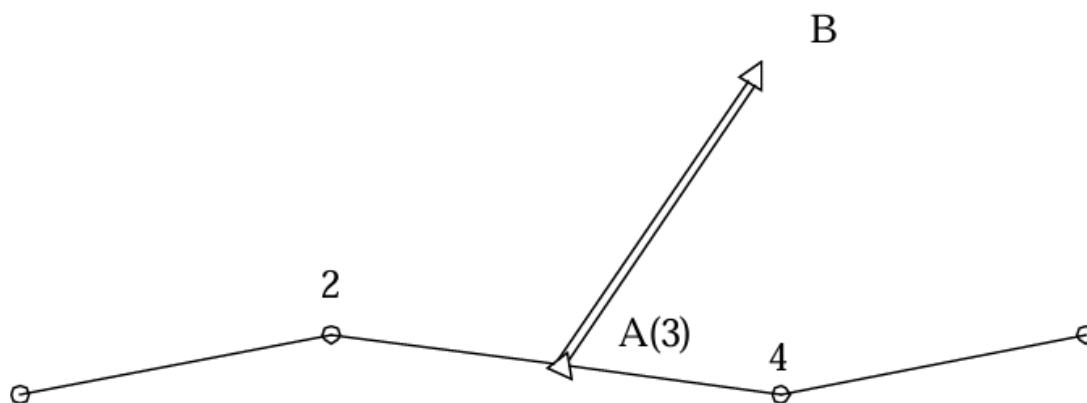


Рисунок 79 – Висячий теодолитный ход

Если теодолитный ход не проходит через пункт опорной сети, то в этом случае, от пункта данного хода прокладывают наиболее короткий теодолитный ход до пункта опорной сети и измеряют в этом ходе углы и линии для передачи координат, например, на пункт 8 и дирекционного угла на линию 8-9 (рис. 80).

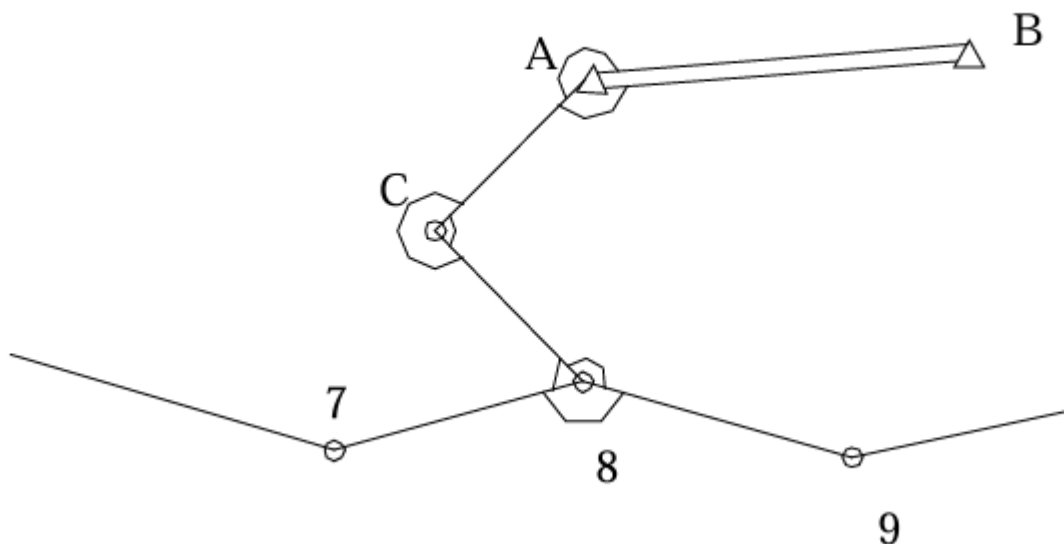


Рисунок 80 – Теодолитный ход, не проходящий через пункты геодезической сети

### 11.3 Съёмка ситуации местности

Для съёмки ситуации применяются различные способы, изложенные ниже.

1. *Способ перпендикуляров.* Этот способ применяется при съёмке ситуации: и местных предметов, имеющих правильные геометрические формы, например, зданий, а также криволинейных контуров, например, рек, дорог и других вытянутых в длину контуров.

Перпендикуляры опускают из снимаемых точек здания или контура местности на стороны теодолитного хода. Положение точек А и В (рис. 81) определится длиной перпендикуляров и расстоянием от точки 5 теодолитного хода до этих перпендикуляров.

Положение точек А и Д получают по данным обмера здания рулеткой.

На рис. 81 показана запись измерений при съёмке реки способом перпендикуляров. Длина перпендикуляров допускается при съёмке в масштабе: 1:5000 – 10 м; 1:2000 – 8 м; 1:1000 – 6 м; 1:500 – 4 м.

При такой длине перпендикуляры от снимаемых характерных точек опускаются на линию на глаз или с помощью эккера. Двухзеркальный эккер – простейший прибор, у которого зеркала установлены под углом  $45^\circ$ . Поэтому луч, попадающий на одно из зеркал, после двойного преломления выходит под прямым углом к своему исходному направлению. Схема построения прямого угла таким эккером показана на рис. 82.

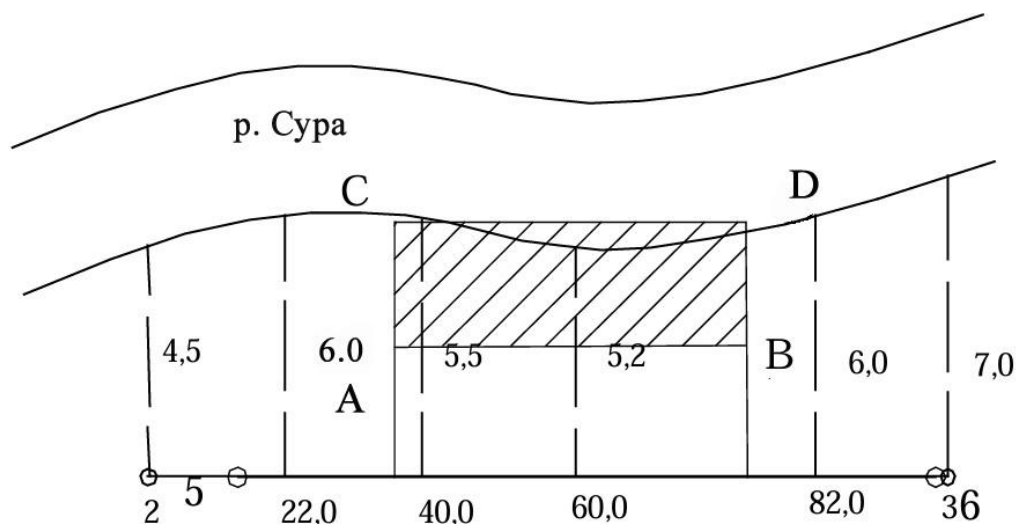


Рисунок 81 – Запись измерений способом перпендикуляров

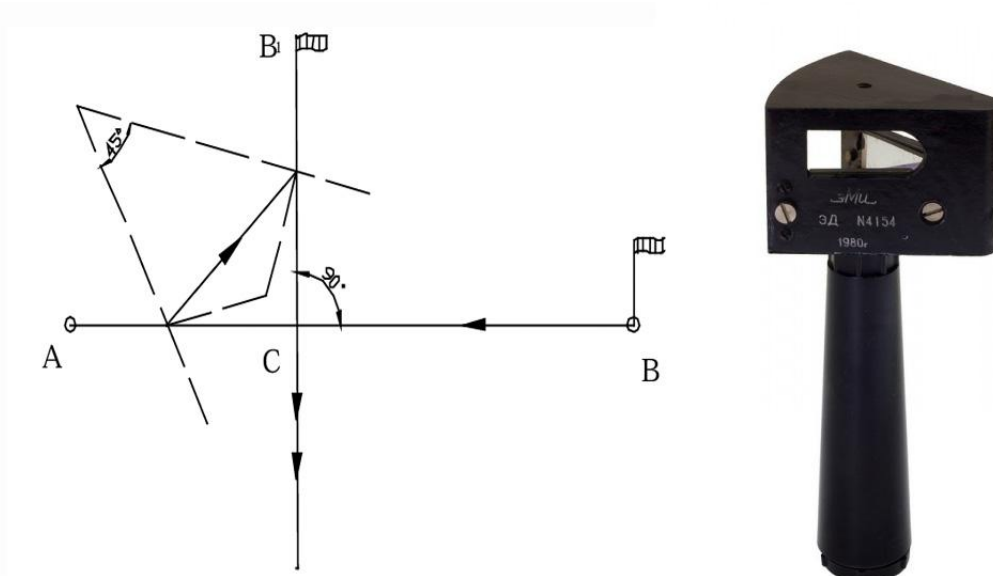


Рисунок 82 – Схема построения прямого угла эккером

При применении эккера длины перпендикуляров допускаются: до 80 м – при съемке в масштабе 1:5000, до 60 м – при съемке в масштабе

1:2000, до 49 м – при съемке в масштабе 1:1000, и до 20 м - при съемке в масштабе 1:500.  $\beta$

2. *Способ угловых засечек.* Этот способ выгодно применять, например, при съемке второго берега реки. В этом случае при точках 2 и 3 (рис. 83) теодолитом измеряют углы  $\beta_1$ ,  $\beta_2$ ,  $\beta_3$  и  $\beta_4$ .

Эти засечки должны быть под углом не менее  $30^\circ$  и не более  $150^\circ$ . Построением на плане этих углов получим точки  $a$  и  $b$  на противоположном, относительно линии теодолитного хода, берегу реки.

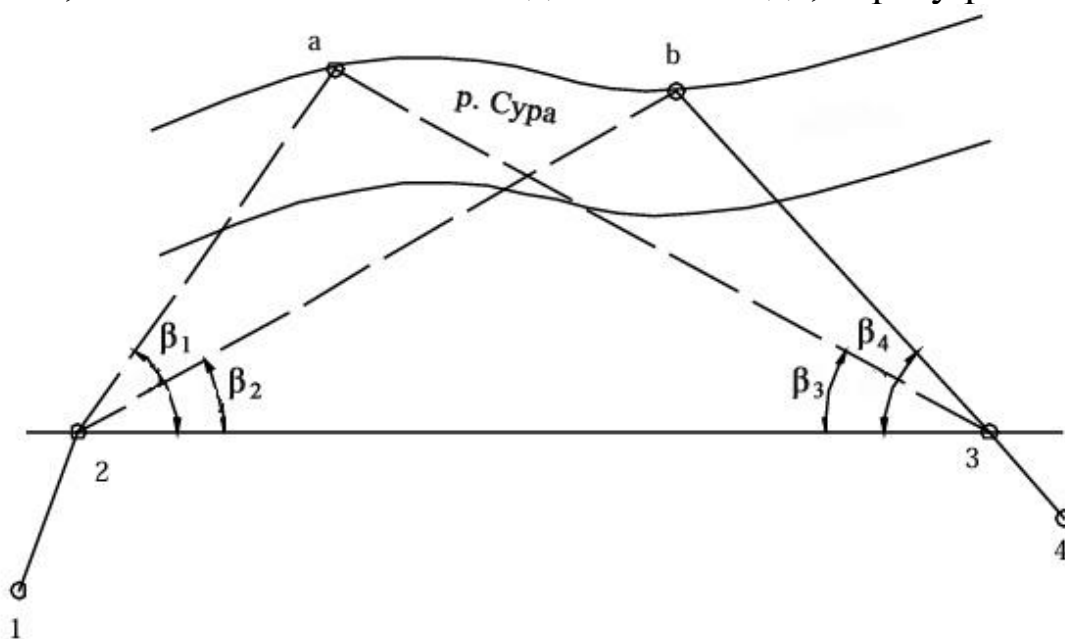


Рисунок 83 – Съемка способом угловых засечек

3. *Способ линейных засечек.* Способ применяется при съемке зданий. В этом случае положение точки (рис. 84) определяется измерением расстояний 6-А, 6-М и МА. Эти расстояния измеряются лентой или рулеткой, и они должны быть примерно равными и не более длины мерного прибора.

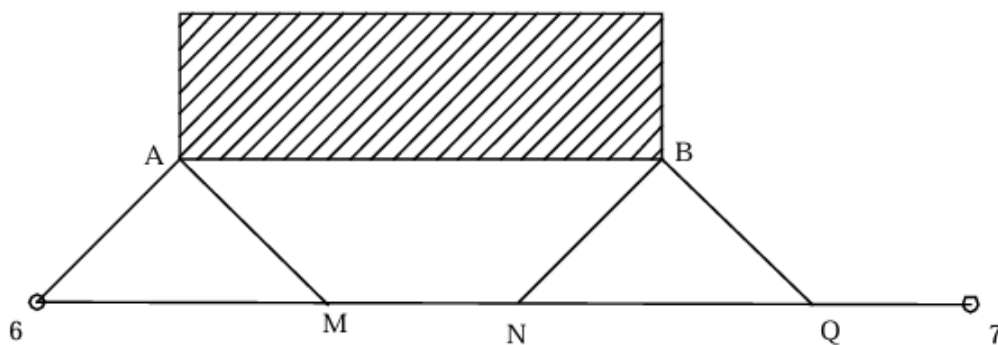


Рисунок 84 – Способ линейных засечек

4. *Полярный способ.* Суть полярного способа съемки ситуации заключается в том, что точка 1, 2, 3 (рис. 85) определяются в системе полярных координат, т.е. горизонтальными углами  $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ , образованными начальным направлением 7-8 и расстояниями 7-1, 7-2, 7-3 от точки полюса 7 до снимаемых точек.

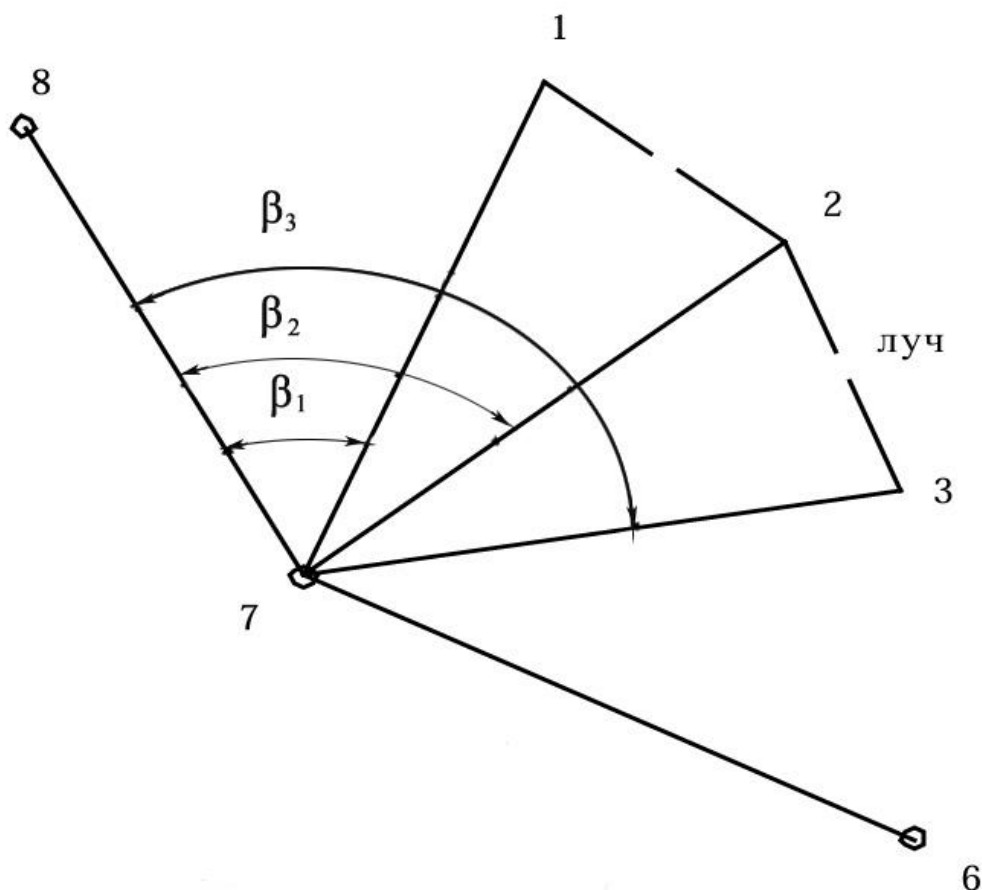


Рисунок 85 – Способ полярных координат

Эти расстояния определяются с помощью нитяного дальномера и не должны превышать при съемке масштаба 1:5000 – 150 м, 1:2000 – 100 м, 1:1000 – 60 м. Углы измеряются одним полуприемом. Чтобы не делать вычислений, поступают так. Совмещают нулевой штрих алидады с нулевым штрихом лимба и, вращая лимб, визируют на точку 8. Для съемки точек 1, 2, 3, вращением алидады последовательно визируют на дальномерную рейку, устанавливаемую на эти точки, и записывают отсчеты по лимбу, равные углам  $\beta_1, \beta_2, \beta_3$  и расстояния взятые по дальномеру. Для контроля визируют на точку 8 и делают отсчет, который не должен отличаться от нуля более 2. Результаты измерений этим способом записывают в таблицу.

5. *Способ створов.* Этот способ применяется при съемке точек расположенных в створе линии теодолитного хода, либо в створе линий, опирающейся на точки теодолитного хода (рис. 86). При съемке ситуации составляется абрис.

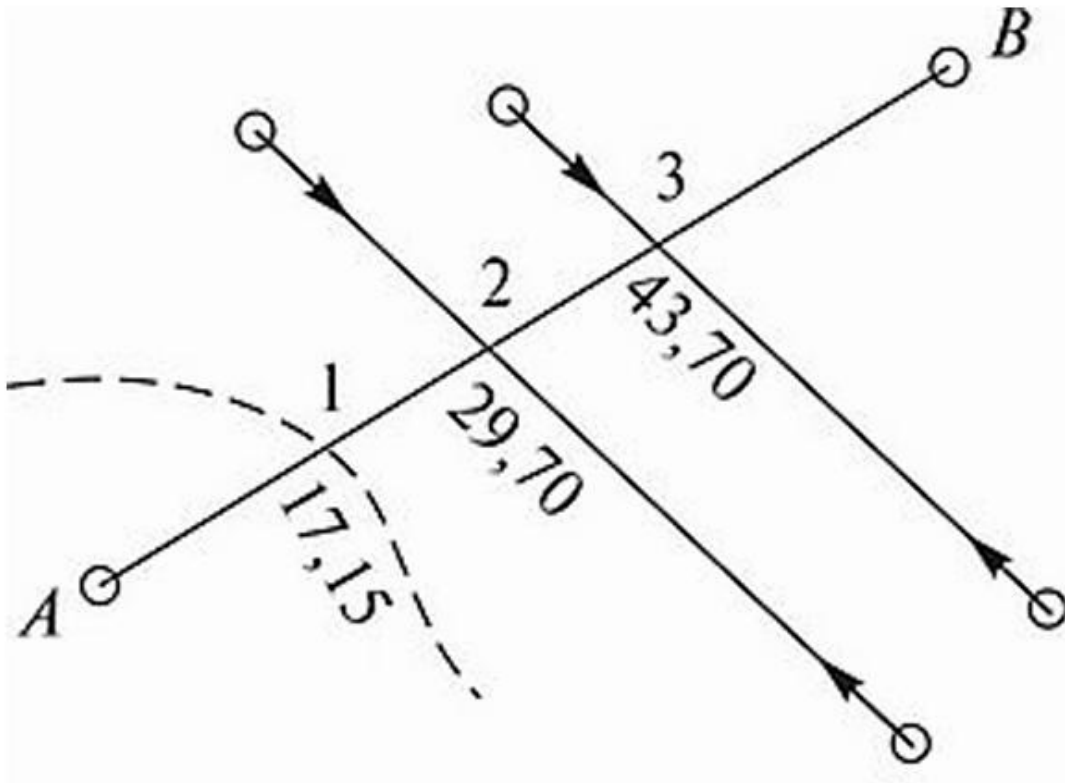


Рисунок 86 – Способ створов

*Абрис* является схематическим чертежом, на котором показывают все снимаемые точки с соблюдением порядка и взаимного расположения контуров между собой и относительно опорных линий. Абрис составляется отдельно для каждой стороны теодолитного хода и снятой ситуации с этой стороны. Абрис ведут карандашом четко и аккуратно с записями всех выполненных при съемке угловых и линейных измерений.

### Контрольные вопросы

1. Какова основная цель теодолитной съемки?
2. Какие инструменты используются при теодолитной съемке?
3. Какова допустимая длина сторон полигона при теодолитной съемке?
4. Какая точность измерения углов требуется при теодолитной съемке?

5. Как определяется недоступное расстояние при теодолитной съемке?

6. Какие способы съемки ситуации применяются при теодолитной съемке?

7. Какой прибор используется для построения прямого угла при съемке способом перпендикуляров?

8. Какие требования предъявляются к длине перпендикуляров при съемке в масштабе 1:1000?

9. Какой способ съемки применяется для определения положения точек на противоположном берегу реки?

10. Что такое абрис и для чего он используется при теодолитной съемке?

## 12 ТОПОГРАФИЧЕСКАЯ СЪЕМКА

План

12.1 Обработка результатов теодолитной съемки

12.2 Обработка результатов тахеометрической съемки

12.3 Построение топографического плана.

12.4 Топографическая съемка с применением систем спутникового позиционирования и беспилотных авиационных систем

12.5 Системы лазерного сканирования и 3D-моделирования местности

### 12.1 Обработка результатов теодолитной съемки

Получение контурного плана местности с помощью теодолита и мерной ленты (или дальномера) называется теодолитной съемкой. При теодолитной съемке рельеф не изображается. Съемка ведется по принципу от общего к частному, т. е. на местности выбираются и закрепляются опорные точки, определяются их координаты, а с них ведется съемка подробностей. Совокупность таких точек называется съемочной сетью, которая строится в виде теодолитных ходов, представляющих с собой систему ломаных линий, в которых углы измеряются теодолитом, а стороны мерной лентой или дальномером. Теодолитные ходы прокладываются с учетом надежного контроля. Поэтому в районах, где отсутствуют точки геодезической сети или они располагаются близко друг от друга, рекомендуется прокладывать замкнутые полигоны.

Основные требования при проложении теодолитных ходов следующие:

а) Выбирая положение точек теодолитного хода надо стремиться, что бы вокруг точки была горизонтальная площадка с твердым грунтом, с хорошим обзором соседних точек хода и удобством съемки подробностей.

б) Стороны хода должны находиться на твердых прямых участках местности с углами наклона не более 5 градусов и длиной от 50 до 350 метров.

Теодолитный ход представляет систему ломаных линий на местности, в которых углы измерены теодолитом, а стороны – 20-метровой стальной линейкой.

Исходными данными для вычислений координат вершин теодолитного хода являются горизонтальные углы в вершинах полигона и горизонтальные проложения длин сторон, дирекционный угол стороны ПП10-1 и координаты вершин ПП10 полигона (рис. 87). Координаты вершины и дирекционный угол задаются преподавателем.

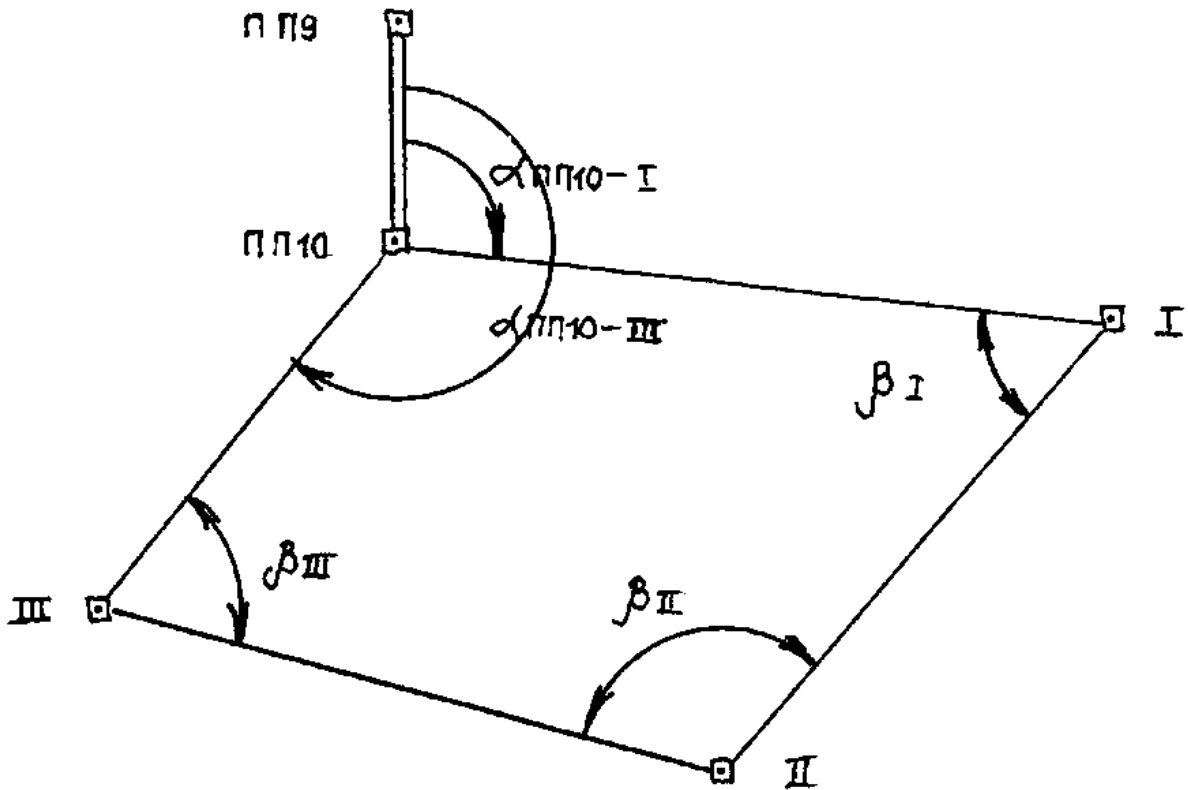


Рисунок 87 – Схема теодолитного хода

Вычисления производятся в специальной ведомости (табл. 13) в следующем порядке.

1. В графу 1 ведомости последовательно вписывают наименования точек хода.

2. Выписывают из журнала измерения углов (табл. 13) в графу 2 ведомости средние значения горизонтальных углов.

3. Заносят в графу 5 ведомости значения дирекционного угла стороны ПП10-1 (задаются преподавателем), в графы 15 и 16-значения координат  $x$  и  $y$  пункта ПП10 (задаются преподавателем).

4. В графу 8 ведомости выписывают горизонтальные проложения сторон полигона (табл. 13).

Таблица 13 – Результаты измерений углов и сторон теодолитного хода

Углы		Стороны	
номер вершин теодолитного хода	среднее значение горизонтальных углов и направлений	наименование сторон	горизонтальные проложения, м
I	70°20,5'	I-II	111,96
II	80°59,5'	II-III	93,49
III	94°22,5'	III-III10	66,39
III10	114°19'	III10-I	92,33
На III9	0°00'		
На т. I	65°10'		
На т. III	179°29'		
(179°29' – 65°10' = 114°19')			

Значения горизонтальных проложений длин сторон располагают в строке, которая размещена с наименованием конечных точек стороны.

5. Выполняют оценку точности угловых измерений по замкнутому теодолитному ходу. Для этого:

– подсчитывают сумму  $\sum \beta_{\text{пр}}$  измеренных углов по формуле 149:

$$\sum \beta_{\text{пр}} = \beta_{\text{I}} + \beta_{\text{II}} + \beta_{\text{III}}; \quad (144)$$

– вычисляют теоретическую сумму углов  $\sum \beta_{\text{т}}$  по формуле 150:

$$\sum \beta_{\text{т}} = 180^\circ \times (n - 2) \quad (145)$$

где  $n$  – число углов в полигоне;

– определяется практическая величина невязки  $f_{\beta}$  по формуле

$$f_{\beta} = \sum \beta_{\text{пр}} - \sum \beta_{\text{т}} \quad (146)$$

– допустимая угловая невязка оценивается  $f_{\beta_{\text{доп}}}$

$$f_{\beta_{\text{доп}}} = \pm \sqrt{n} \quad (147)$$

Результаты вычислений приведены под итоговой чертой граф 2-3 ведомости координат (табл. 14).

Если  $f_{\beta} \leq f_{\beta_{\text{доп}}}$ , то ее распределяют поровну на все углы с обратным знаком, то есть вводят поправку  $\delta_i$  во все измеренные углы со знаком, обратным знаку невязки:

$$\delta_i = -\frac{f_{\beta}}{n} \quad (148)$$

Поправки вводят с округлением до десятых долей минут. Для малых полигонов и коротких ходов с целью сокращения вычислений возможно введение поправок, чтобы округлить углы до целых минут.

Поправки записывают в графу 3 ведомости и вычисляют исправленные углы по формуле

$$\beta_{ур} = \beta_{и} + \delta\beta. \quad (149)$$

6. Контролируют правильность увязанных углов, для чего подсчитывают сумму  $\sum_1^n \beta_{исп}$  и убеждаются в соблюдении условия

$$\sum_1^n \beta_{ур} = \sum_1^n \beta_{т} \quad (150)$$

7. По исходному дирекционному углу и увязанным углам вычисляют дирекционные углы всех остальных сторон по формуле

$$\alpha_{посл.} = \alpha_{пред.} + 180^\circ - \beta_{посл.} \quad (151)$$

где  $\alpha_{посл.}$  – дирекционный угол последующей линии;

$\alpha_{пред.}$  – дирекционный угол предыдущей линии;

$\beta_{посл.}$  – исправленный угол при следующем направлении.

Вычисление дирекционных углов выполняют в рабочей тетради, располагая их столбиком. Если при вычислениях дирекционный угол какой-либо стороны окажется больше  $360^\circ$ , то эту величину (период) следует отнять от полученного значения.

Вычисления приведены применительно к графе 5 табл. 14.

$\alpha_{III-10-I} =$	$104^\circ 51'$ $+180^\circ$ <hr style="width: 100%;"/> $284^\circ 51'$ $- 70^\circ 20'$ <hr style="width: 100%;"/>	$r_{III-10-I} =$	ЮВ: $75^\circ 09'$
$\alpha_{I-II} =$	$214^\circ 31'$ $+ 180^\circ$ <hr style="width: 100%;"/> $394^\circ 31'$ $- 80^\circ 59'$ <hr style="width: 100%;"/>	$r_{I-II} =$	ЮЗ: $34^\circ 31'$
$\alpha_{II-III} =$	$313^\circ 32'$ $+ 180^\circ$ <hr style="width: 100%;"/> $493^\circ 32'$ $- 94^\circ 22'$ <hr style="width: 100%;"/> $399^\circ 10'$ $- 360^\circ$ <hr style="width: 100%;"/>	$r_{II-III} =$	СЗ: $46^\circ 28'$
$\alpha_{III-III10} =$	$39^\circ 10'$	$r_{III-III10} =$	СВ: $39^\circ 10'$

Производят контроль вычислений, для чего получают дирекционный угол исходной стороны:

$$\begin{array}{r} \alpha_{III - III_{10}} = 39^{\circ}10' \\ + 180 \\ \hline 219^{\circ}10' \\ - 114^{\circ}19' \\ \hline \alpha_{III_{10} - I} = 104^{\circ}51' \end{array}$$

Значения вычисленных румбов записаны в графы 6 и 7 табл. 7, против соответствующих дирекционных углов.

8. В ряде случаев полученные дирекционные углы целесообразно перевести в румбы. Зависимость между дирекционными углами и румбами приведена в табл. 15.

Таблица 15 – Зависимость между дирекционными углами, румбами и знаками приращений.

Пределы значений дирекционных углов	Четверть	Название румбов	Зависимость между румбами и дирекционными углами	Знаки приращений	
				$\Delta X$	$\Delta Y$
$0^{\circ}-90^{\circ}$	I	СВ	$r = \alpha$	+	-
$90^{\circ}-180^{\circ}$	II	ЮВ	$r = 180^{\circ}-\alpha$	-	+
$180^{\circ}-270^{\circ}$	III	ЮЗ	$r = \alpha-180^{\circ}$	-	+
$270^{\circ}-360^{\circ}$	IV	СЗ	$r = 360^{\circ}-\alpha$	+	-

9. В графе 8 ведомости подсчитывают длину хода

$$P = \sum_1^n d_i. \quad (152)$$

10. По горизонтальным проложениям  $d$  линий теодолитного хода и их дирекционным углам  $\alpha$  или их румбам  $r$  вычисляют приращения координат  $\Delta X$  и  $\Delta Y$  по формулам:

$$\Delta X = d \times \cos \alpha \quad (152)$$

$$\Delta Y = d \times \sin \alpha. \quad (153)$$

Знаки приращения координат определяют в зависимости от знаков  $\sin \alpha$  и  $\cos \alpha$  или от названий румбов (табл. 8).

Найденные значения приращений записывают в графы 9 и 10 ведомости.

Таблица 14 – Ведомость вычисления углов ориентирования теодолитного хода

№ вершин	Измеренные углы $\beta_{и}$	Поправки в углы $\delta_{\beta}$	Уравненные углы $\beta_{ур}$	Дирекционные углы, $\alpha_{i-k}$	Румбы $r_{i-k}$		Горизонтальное положение линии $d_{i-k}$ , м
					название	величина	
1	2	3	4	5	6	7	8
ПП10	114°19'	0	114°19'				
I	70°20,5'	-0,5	70°20'	104°51'	ЮВ	75°09'	92,33
II	80°59,5'	-0,5	80°59'	214°31'	ЮЗ	34°31'	111,96
III	94°22'	-0,5	94°22'	313°32'	СЗ	46°28'	93,49
				39°10'	СВ	39°10'	66,32
ПП10				104°51'			

$$\sum \beta_{п} = 360^{\circ}1,5'$$

$$\sum \beta_{ур} = 360^{\circ}00'$$

$$P = 364,10$$

$$\sum \beta_{т} = 360^{\circ}$$

$$\sum \beta_{т} = 180^{\circ} (n - 2)$$

$$f_{\beta} = \pm 1,5$$

$$f_{\beta} = \sum \beta_{пр} - \sum \beta$$

$$f_{\beta_{доп}} = \pm 1' \sqrt{n} = \pm 2'$$

Окончание таблицы 14 – Ведомость вычисления координат точек теодолитного хода

Вычисленные приращения координат		Поправки в приращения координат		Исправленные приращения координат		Координаты точек	
$\pm\Delta X_B, \text{ м}$	$\pm\Delta Y_B, \text{ м}$	$\pm\delta_x, \text{ м}$	$\pm\delta_y, \text{ м}$	$\pm\Delta X_{\text{испр.}}, \text{ м}$	$\pm\Delta Y_{\text{испр.}}, \text{ м}$	$X, \text{ м}$	$Y, \text{ м}$
9	10	11	12	13	14	15	16
-23,66	+89,25	+0,02	+0,02	-23,64	+89,27	400,00	500,00
-92,25	-63,44	+0,03	+0,02	-92,22	-63,42	376,36	589,27
+64,39	-67,78	+0,03	+0,02	+64,42	-67,76	284,14	525,85
+51,42	+41,89	+0,02	+0,02	+51,44	+41,91	348,56	458,09
$f_x = -0,1$	$f_y = -0,08$					400,00	500,00

$$f_p = \sqrt{f_x^2 + f_y^2} = \sqrt{(-0,1)^2 + (-0,008)^2} = 0,134$$

$$f_{\text{отн}} = \frac{f_p}{P} = \frac{1}{P \div f_p} = \frac{1}{N_{\text{пол.}}} = \frac{1}{364,10 \div 0,134} = \frac{1}{2717} < \frac{1}{N_{\text{доп.}}} = \frac{1}{2000}$$

11. Выполняют оценку точности линейных измерений.

Вычисляют практическую сумму приращений координат по осям:

$$\Sigma_{\Delta X} = f_x \quad (154)$$

$$\Sigma_{\Delta Y} = f_y \quad (155)$$

Определяем абсолютную невязку теодолитного хода:

$$f_p = \sqrt{f_x^2 + f_y^2} \quad (156)$$

Определяем относительную невязку:

$$n = \frac{f_p}{P} = \frac{1}{P \div f_p}, \quad (157)$$

где  $P$  – периметр полигона (длина хода);

Невязка считается допустимой, если она не превышает 1:2000 длины хода.

В предыдущем примере:

$$f_x = 0,10 \text{ м}; f_y = -0,08 \text{ м};$$

$$f_p = \sqrt{(0,1)^2 + (-0,08)^2} = 0,128$$

В этом случае относительная погрешность

$$n = \frac{0,128}{364,1} = \frac{1}{364,1 \div 0,128} = \frac{1}{2844,5} < \frac{1}{2000}$$

12. Допустимую невязку в приращениях координат распределяют пропорционально длинам сторон  $d_i$ . Для этого определяют поправки по формулам:

Невязки в приращениях координат распределяем в виде поправок, распределяя их пропорционально длинам сторон по формулам:

$$\delta \Delta X = \frac{f_x \times d_x}{P}, \quad (158)$$

$$\delta \Delta Y = \frac{f_y \times d_x}{P}, \quad (159)$$

где  $P$  – периметр полигона (длина хода);

$d_x$  – длина для каждой стороны, м.

Поправки  $\delta \Delta X$  и  $\delta \Delta Y$  округляют с точностью до 0,01 м и записывают их в графы 11 и 12 ведомости.

В нашем примере при распределении невязки  $f_x$  имеем:

$$\delta \Delta X_{\text{III-10-I}} = -(-0,10/364,10) 92,33 = +0,02;$$

$$\delta \Delta X_{\text{I-II}} = -(-0,10/364,10) 111,96 = +0,03;$$

$$\delta \Delta X_{\text{II-III}} = -(-0,10/364,10) 93,49 = +0,026 \approx +0,03;$$

$$\delta\Delta X_{III-III_{10}} = -(-0,10/364,10) 66,32 = +0,018 \approx +0,02.$$

$$\delta\Delta Y_{III_{10}-I} = -(0,08/364,10) 92,33 = +0,02;$$

$$\delta\Delta Y_{I-II} = -(0,08/364,10) 111,96 = +0,02;$$

$$\delta\Delta Y_{II-III} = -(0,08/364,10) 93,49 = +0,02;$$

$$\delta\Delta Y_{III-III_{10}} = -(0,08/364,10) 66,32 = +0,02.$$

Если сумма поправок с обратным знаком отличается от величины невязки на 0,01 или 0,02 м, то некоторые поправки округляют в нужную сторону. Выполняем проверку  $\Sigma\Delta X = f_x = \Sigma\delta\Delta X = -0,10$ ;  $\Sigma\Delta Y = f_y = \Sigma\delta\Delta Y = -0,08$ .

13. Определяют исправленные приращения координат по формулам:

$$\Delta X_{\text{испр.}} = \Delta X \pm \delta\Delta X \quad (160)$$

$$\Delta Y_{\text{испр.}} = \Delta Y \pm \delta\Delta Y \quad (161)$$

Суммы исправленных приращений должны быть равны нулю.

$$\Sigma\Delta X_{\text{испр.}} = 0;$$

$$\Sigma\Delta Y_{\text{испр.}} = 0$$

$$\Delta X_{(III_{10}-I) \text{ испр.}} = -23,66 + 0,02 = -23,64 \text{ м};$$

$$\Delta X_{(I-II) \text{ испр.}} = -92,25 + 0,03 = -92,22 \text{ м};$$

$$\Delta X_{(II-III) \text{ испр.}} = -64,39 + 0,03 = -64,42 \text{ м};$$

$$\Delta X_{(III-III_{10}) \text{ испр.}} = +51,42 + 0,02 = 51,44 \text{ м};$$

$$\Sigma\Delta X_{\text{испр.}} = -23,64 - 92,22 + 64,42 + 51,44 = 0.$$

$$\Delta Y_{(III_{10}-I) \text{ испр.}} = +89,25 + 0,02 = +89,27 \text{ м};$$

$$\Delta Y_{(I-II) \text{ испр.}} = -63,44 + 0,02 = -63,42 \text{ м};$$

$$\Delta Y_{(II-III) \text{ испр.}} = -67,78 + 0,02 = -67,76 \text{ м};$$

$$\Delta Y_{(III-III_{10}) \text{ испр.}} = +41,89 + 0,02 = +41,91 \text{ м};$$

$$\Sigma\Delta Y_{\text{испр.}} = +89,27 - 63,42 - 67,76 + 41,91 = 0.$$

Результаты записываются в графы 13 и 14 ведомости (табл. 7). Контролем вычисления служит равенство сумм вычислений исправленных приращений координат с их теоретическими значениями. В замкнутом теодолитном ходе эти суммы должны быть равны нулю.

14. По координатам начальной точки (III<sub>10</sub>) и исправленным приращениям вычисляют координаты остальных точек теодолитного хода по формулам:

$$X_{i+1} = X_i + \Delta X_{i \text{ испр.}}; \quad (162)$$

$$Y_{i+1} = Y_i + \Delta Y_{i \text{ испр.}} \quad (163)$$

Полученные значения координат последовательно выписывают в графы 15 и 16 (табл. 14). Контролем правильного вычисления

координат точек служит совпадение вычисленных координат точки ПП10 с их исходными значениями.

В нашем примере:

$$X_1 = X_{\text{ПП10}} + \Delta X_{\text{исп}} = 400,00 - 23,64 = 376,36 \text{ м};$$

$$X_2 = 376,36 - 92,22 = 284,14 \text{ м};$$

$$X_3 = 284,14 + 64,42 = 348,56 \text{ м};$$

$$X_{\text{ПП10}} = 348,56 + 51,44 = 400,00 \text{ м}.$$

## 12.2 Обработка результатов тахеометрической съемки

Тахеометрическую съемку выполняют для изображения рельефа и съемки отдельных контуров части территории местности. При этом одновременно определяют плановое и высотное положения точек местности.

Плановое положение реечных точек (пикетов) определяют полярным способом, высотное – тригонометрическим нивелированием.

В рассмотренном примере тахеометрическая съемка была выполнена теодолитом 3Т5КП с точки теодолитного хода ПП10.

На станции (пункте съемочного обоснования) устанавливают теодолит-тахеометр, измеряют высоту прибора  $i$  и ориентируют диаметр лимба по одной из сторон основания. В журнал тахеометрической съемки (табл. 16) записывают направление ориентирования лимба, высоту прибора и положение вертикального круга при съемке пикетов (круг лево). Для контроля направление ориентирования на станции фиксируют отсчетом  $0^{\circ}00''$  по горизонтальному кругу.

На все реечные точки берут дальномерные отсчеты по рейке, отсчеты по горизонтальному и вертикальному кругам, а также регистрируют высоту  $S$  наведения визирного луча на рейку при измерении угла наклона. В графе «Примечания» отмечают положение точек на местности.

Одновременно с измерениями ведут абрис тахеометрической съемки (рис. 88), на котором изображают контуры и приметы местности, реечные точки и их номера. Линии равномерного ската местности показывают на абрисе стрелками.

В журнал тахеометрической съемки из журнала нивелирования точек теодолитного хода выписывают отметки станции  $H_{\text{ст}}$  с



Таблица 16 – Журнал тахеометрической съемки

Дата «    »                      20    г.

Исполнитель: \_\_\_\_\_

Станция ПП10

$i=1,45$   
 $H_{ст.}=60,00$

$S=1,45$   $MO=0^{\circ}00'$

№ п/п	Дально- мерные расстоя- ния $D$ , м	Отсчеты по горизонталь- ному кругу		Отсчеты по вертикаль- ному кругу		УГЛЫ наклона $v$	Горизон- тальные проложе- ния $d$ , м	Превыше- ния $h'$ , м	Высота наведения $S$ , м	$h=$ $=h'+i-$ $-S$	$H_i=$ $=H_{ст.}+h$	Примечания
		кп	кл	кп	кл							
		0'	0'	0'	0'							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	I		0°00'									
1	14,3		151°20'	+	2°12'	+2°12'	14,3	+0,55	1,45	+0,55	60,55	Дорога
2	16,6		259°04'	+	3°02'	+3°02'	16,6	+0,88	-"	+0,88	60,88	Шоссе
3	24,8		302°33'	+	3°13'	+3°13'	24,7	+1,39	-"	+1,39	61,39	Забор
4	45,8		346°30'	+	1°58'				-"			Сад
5	38,4		11°38'	+	1°08'				-"			Рельеф
6	29,8		45°08'	+	3°06'				-"			Дорога
7	65,1		2°20'	+	1°06'				-"			Колодец
8	69,4		15°30'	+	1°05'				-"			Угол дома
9	76,3		32°06'	+	2°06'				-"			Угол забора
10	56,6		30°28'	+	2°16'				-"			Ворота

3. На микрокалькуляторе последовательно по формулам

$$h' = \frac{1}{2} D \sin 2v = d \tan v \quad (167)$$

$$h = h' + i - S \quad (168)$$

Вычисляют превышения между станцией и пикетными точками.

Результаты записывают в графы 9 и 11 (табл. 16):

$$h'_1 = 14,3 \cdot \operatorname{tg} 2^\circ 12' = + 0,55 \text{ м};$$

$$h_1 = 0,55 + 1,45 - 1,45 = + 0,55 \text{ м}.$$

4. Обработку журнала завершают вычислением отметок  $H_i$  пикетных точек по формуле

$$H_i = H_{\text{ст}} + h \quad (169)$$

Вычисленные значения отметок записывают в графу 12.

В нашем примере:

$$H_1 = 60,00 + 0,55 = 60,55 \text{ м};$$

$$H_2 = 60,00 + 0,88 = 60,88 \text{ м};$$

$$H_3 = 60,00 + 1,39 = 61,39 \text{ м}.$$

### 12.3 Построение топографического плана

Для составления плана масштаба 1:500 используют координатную сетку со стороной 100 мм.

Для построения небольшого числа квадратов сетки можно воспользоваться измерением и выверенной линейкой или специальным шаблоном.

Схема построения координатной сетки с помощью измерителя и линейки приведена на рис. 89.

От точки  $O$  пересечения диагоналей по всем четырем направлениям откладывают равные отрезки «а» и получают точки 1, 2, 3, 4. Концы отрезков соединяют прямыми линиями, которые образуют прямоугольник 1-2-3-4, являющийся базой для построения сетки. На сторонах прямоугольника откладывают при помощи измерителя отрезки по 100 мм. Соединив соответствующие точки противоположных сторон прямоугольника, получают сетку квадратов.

Правильность построения сетки контролируют путем сравнения длин сторон или диагоналей квадратов. Погрешность построения не должна превышать  $\pm 0,2$  мм.

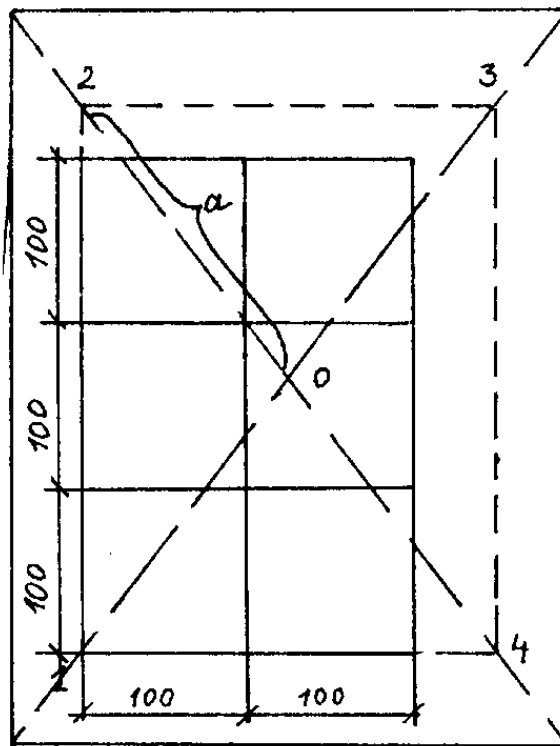


Рисунок 89 – Схема построения сетки квадратов при помощи линейки и циркуля-измерителя

Построенную одним из описанных способов сетку подписывают по осям  $X$  и  $Y$  в соответствии с масштабом плана. Для этой цели выбирают начало координат так, чтобы участок местности, подлежащей построению, разместился посередине листа бумаги.

По назначению  $X_{\min} = 284$  м (табл. 14) видим, что линию сетки по оси абсцисс целесообразно подписать, начиная со значения 250 м (рис.45). Далее по оси  $X$  координатные линии в масштабе 1:500 подписывают через 50 м. По значению  $Y_{\min} = 458$  м определяем, что подписи необходимо начинать со значения 450 м.

Для построения первой точки хода ПП10 с координатами  $X_{\text{ПП10}} = 450$  м и  $Y_{\text{ПП10}} = 500$  м находят точку пересечения координатных линий.

В этом месте иголкой измерителя делают накол, обводят его кружком и подписывают название точки ПП10.

Для построения второй точки необходимо сначала по координатам определить квадрат сетки, в котором она должна располагаться. Так, точка 1 имеет координаты:  $X_1 = 376,40$  м;  $Y_1 = 589,22$  м. Следовательно, она находится в квадрате с абсциссами 350 и 400 м и ординатами 550 и 600 м (рис. 90). От нижней границы этого квадрата откладывают вверх по его вертикальным сторонам отрезки, равные 26,40 м,

отмечая полученные точки тонким наколом иголки измерителя. Приложив к этим точкам линейку, их соединяют. После этого, отложив от линии ординат 550 м по прочерченной линии отрезок, равный 39,22 м, в масштабе плана находят искомую точку 1, которую накалывают и обводят кружочком диаметром 1,5 мм.

Аналогично производят построение всех других точек полигона. Правильность построения точек контролируют, сравнивая расстояния между ними, определенные при помощи измерителя и масштабной линейки в масштабе плана, с соответствующими горизонтальными проложениями, взятыми из графы 8 ведомости вычисления координат (см. табл. 14).

Расхождения в длинах не должны превышать 0,3 мм в масштабе плана. Полученные точки служат для построения ситуации на плане.

Нанесение ситуации и речных точек на план. Построение ситуации на плане осуществляют по абрисам горизонтальной съемки, на которых показаны предметы и контуры местности, а также приведены результаты измерений. Способ построения ситуации на плане соответствует способу съемки.

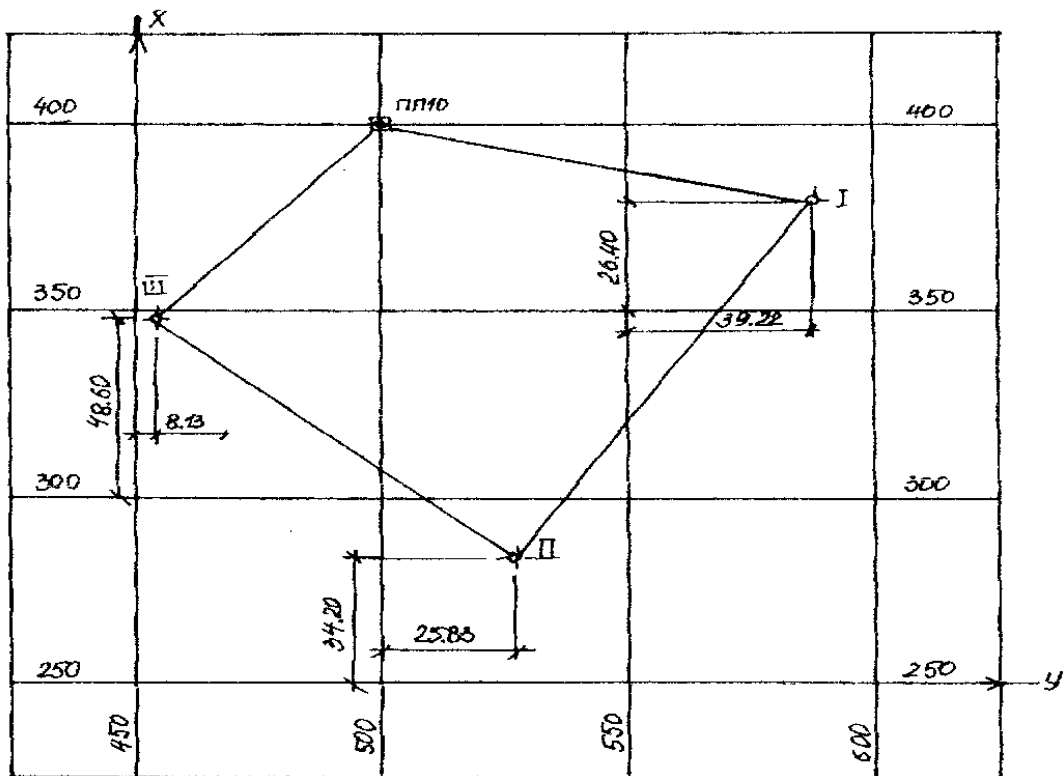


Рисунок 90 – Схема построения точек теодолитного хода

Построение объектов местности, снятых различными способами съемки строятся в соответствии с данными абриса. *Абрис* – это схематический план, сделанный от руки, на основе данных полевой съёмки (теодолитной).

1. *Способ перпендикуляров (прямоугольных координат)*. При этом способе из определяемой точки местности восстанавливают перпендикуляр до стороны сети, измеряют его длину и расстояние от пункта плановой сети до основания перпендикуляра. Результаты измерений записывают в абрис (рис. 91).

По линии I-II теодолитного хода при составлении абриса был использован способ перпендикуляров для привязки границы леса. Отметим, что в способе перпендикуляров все расстояния по стороне плановой сети отсчитывают от начальной точки (в нашем примере от пункта I).

Для построения на плане точек, заснятых этим способом, соединяют тонкой линией точки 1 и 2, с помощью измерителя откладывают от точки 1 в соответствующем масштабе расстояния 8 м; 44,15 м; 62,53 м; 86,00 м.

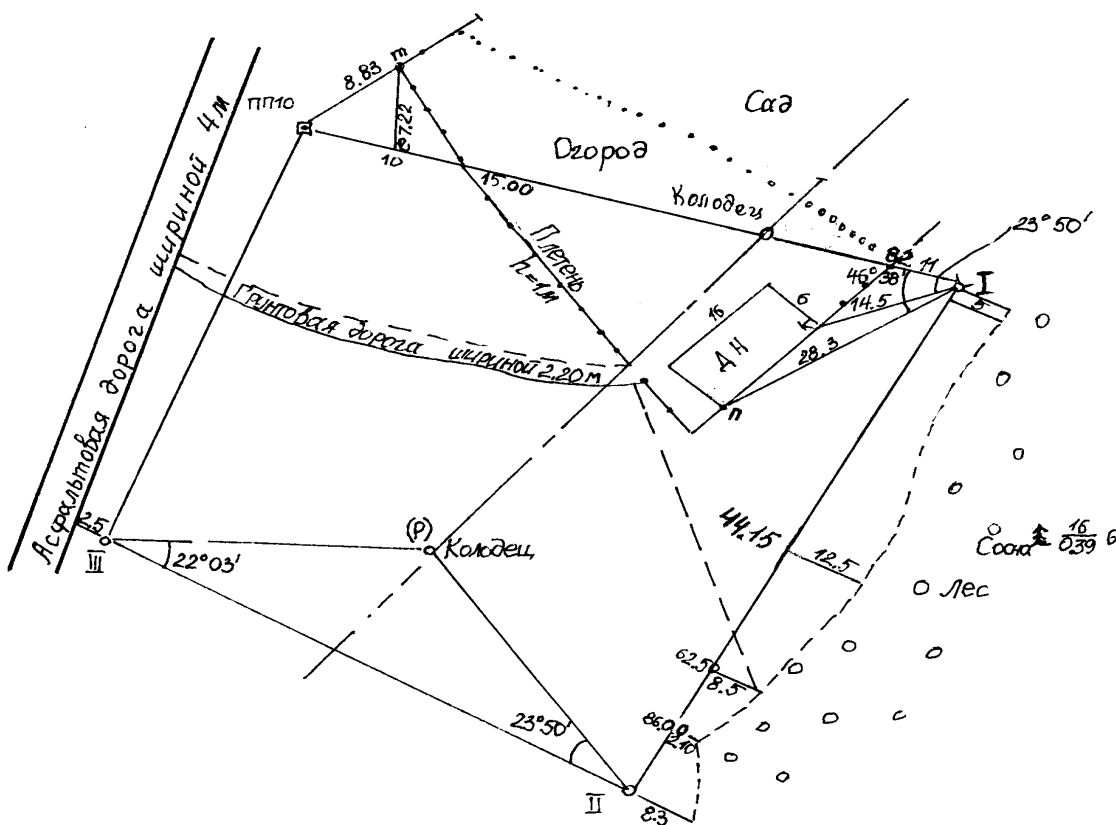


Рисунок 91 – Абрис теодолитной съёмки

В полученных точках восстанавливают с помощью угольника перпендикуляры и откладывают на них отрезки 5,00 м; 12,50 м; 8,51 м; 2,10 м.

Частным случаем рассмотренного способа является *способ створа*. В этом случае определяемая точка лежит на стороне планового обоснования. На рис.46 способом створа сняты точки изгороди (плетня); по стороне ПП10-1 от пункта ПП10 откладывают отрезки, равные 15,00 м и 82,11 м.

2. *Способ полярных координат*. При этом способе положение точек определяют по полярному углу и полярному расстоянию. За полярную ось обычно принимают направление одной из сторон планового обоснования. На рис. 46 положения точек к и п углов здания определяются полярными углами  $\beta_k = 23^\circ 50'$ ,  $\beta_p = 50^\circ 38'$  и полярными расстояниями  $d_k = 14,50$  м;  $d_p = 28,3$  м.

Для построения точек к и п на плане соединяют пункты обоснования ПП10 и I тонкой линией, откладывают от этой линии угол  $\beta_k = 23^\circ 50'$  и по полученному направлению отмеряют отрезок  $d_k = 14,50$  м в масштабе плана. Точку п строят аналогично. Построение полярного угла осуществляют с помощью геодезического транспортира с точностью до 1/4 деления, то есть до  $30'/4 = 7,5'$ .

3. *Способ линейной засечки*. От двух точек планового обоснования измеряют расстояния до определяемой точки. На рис.46 для определения положения угла изгороди точки т измерены расстояния 8,83 и 7,22 м от точки ПП10 и от точки l на стороне ПП10-1, удаленной от пункта ПП10 на 10,00 м.

Для построения точки т на плане по стороне ПП10-1 откладывают в соответствующем масштабе отрезок, равный 10 м, и получают вспомогательную точку l. От точек ПП10 и l с помощью циркуля растворами соответственно 8,83 и 7,22 м в масштабе плана проводят две дуги. Пересечение этих дуг дает положение определяемой точки.

4. *Способ угловой засечки*. На двух пунктах обоснования теодолитом измеряют углы между стороной сети и направлением на определяемую точку. На рис. 92 для съемки колодца (точки р) измерены углы  $\beta_{II} = 23^\circ 50'$  на пункте II и  $\beta_{III} = 22^\circ 03'$  на пункте III. При построении точки р на плане из пункта II откладывают с помощью транспортира округленное значение угла  $\beta_{III} \approx 24^\circ$  и тонкой линией проводят направление на определяемую точку. Аналогичные построения выполняют на пункте III (угол  $\beta_{III} = 22^\circ$ ) и получают второе направление. Пересечение

этих направлений определяет положение точки  $p$  на плане. Перечисленными способами осуществляют построение всех точек ситуации по абрису (рис. 59).

Для дальнейшего построения плана следует нанести на него точки тахеометрической съемки. Нанесение на план речных точек производят по горизонтальным (полярным) углам, взятым из графы 4 журнала тахеометрической съемки (табл. 16), и горизонтальным проложениям (графа 8). Полярные углы откладывают на станции при помощи транспортира. Для этого устанавливают центр транспортира на изображение станции на плане и совмещают нулевое деление транспортира со стороной съемочного обоснования, принятой за полярную ось (рис. 92).

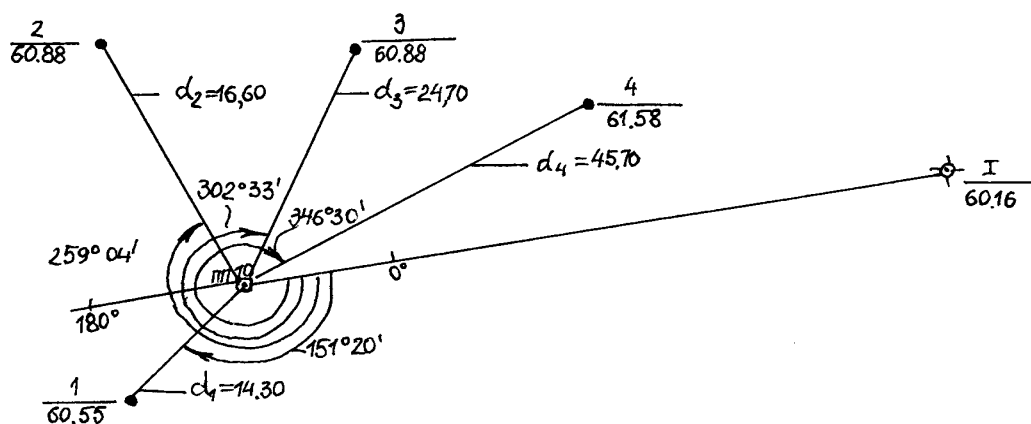


Рисунок 92 – Схема построения и нанесения на план речных точек

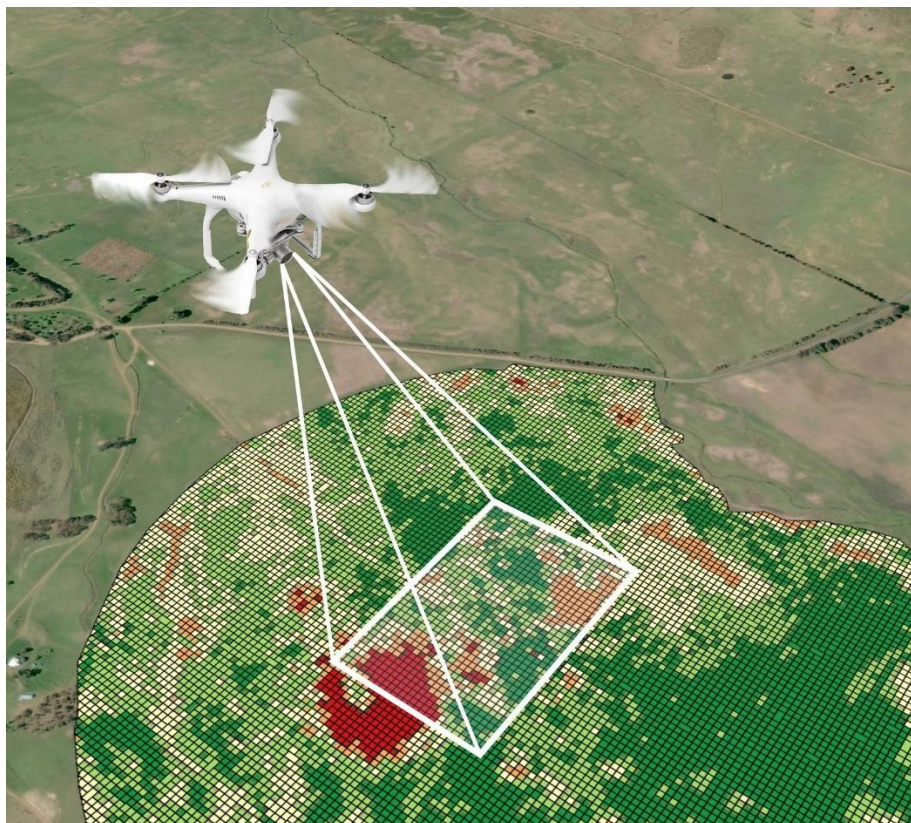
Углы откладывают по ходу часовой стрелки и по полученным направлениям от станции отмечают отрезки  $d$  по линейке в масштабе плана. У полученных точек подписывают номера и высоты, округляя их до 0,01 м. Для построения ситуации, пользуясь абрисом тахеометрической съемки (рис. 92), по соответствующим речным точкам на плане проводят контуры угодий и предметов местности. В нашем примере по точкам 1 и 2 достраивают асфальтовую дорогу; по точкам 3,10,9 – изгородь; по точкам 1,6,10 строят грунтовую дорогу.

## 12.4 Топографическая съемка с использованием беспилотных авиационных систем

Среди развивающихся современных методов топографической съемки нельзя обойти съемку с помощью квадрокоптеров (рис. 93). Ее по некоторым признакам можно отнести к методу

аэрофототопографической съемки, например по признаку «съемки с воздушного летательного аппарата».

С помощью аэрофототопографической съемки в нашей стране впервые в мире для такой обширной территории в 1955 г. были получены карты масштаба 1:100 000 (в 1 см карты – 1 км на местности) на всю территорию. В те времена ни одна страна Европы и Америки не имела регулярного покрытия всей своей территории картами такого масштаба.



*Рисунок 93 – Аэрофотосъемка беспилотным летательным аппаратом*

Метод аэрофототопографической съемки очень сложный. Для его реализации используются самолеты со специальными аэрофотоустановками, космические аппараты, специальные опознавательные знаки или тщательно выбранные четкие контурные точки на поверхности земли. Эти знаки и точки с определённым интервалом по маршруту полёта самолета должны были определяться в поле геодезическими методами. После аэрофотосъемки выполнялось трансформирование, дешифрирование аэрофотоснимков и ещё очень много других камеральных работ, перед тем как итоговый результат попадал на картографическую фабрику.

Одним из важнейших преимуществ использования беспилотных авиационных систем (БАС) в аэрофотосъемке является возможность получать изображения высокого разрешения с небольшой высоты. В отличие от традиционных методов съемки с самолетов или спутников, БВС могут летать на гораздо более низких высотах, что позволяет получать детализированные изображения даже небольших объектов или участков местности. Это особенно важно для задач, где необходима высокая точность, например, при создании топографических карт, инженерных изысканиях или обследовании инфраструктурных объектов.

Технология БАС позволяет эффективно проводить съемку больших территорий за относительно короткое время. Современные БВС оснащены автоматизированными системами полета и способны следовать заранее запрограммированным маршрутам с высокой точностью. Это исключает человеческие ошибки и обеспечивает сбор данных с равномерным покрытием всей заданной площади. Благодаря этому можно создать полные и точные карты больших территорий, таких как леса, сельскохозяйственные угодья, горные массивы или строительные площадки.

Одной из особенностей применения БАС в аэрофотосъемке является возможность использования различного оборудования, устанавливаемого на БВС. Это могут быть стандартные RGB-камеры, мультиспектральные камеры, тепловизоры и лидары (лазерные сканеры). Такое разнообразие сенсоров позволяет собирать широкий спектр данных, которые могут использоваться для различных целей. Например, мультиспектральные камеры применяются для мониторинга состояния сельскохозяйственных культур, тепловизоры – для обнаружения утечек тепла или анализа геотермальных аномалий, а лидары – для создания точных трехмерных моделей рельефа.

Собранные данные могут быть использованы для создания цифровых моделей местности, что особенно важно в геодезии и строительстве. Эти модели позволяют с высокой точностью анализировать рельеф, выявлять изменения в ландшафте или оценивать объем перемещенного грунта. В отличие от традиционных наземных методов, которые требуют значительных затрат времени и ресурсов, использование БАС позволяет значительно ускорить процесс и снизить затраты. К тому же, такая аэрофотосъемка позволяет избегать необходимости прямого контакта с опасными или труднодоступными участками местности, такими как горные склоны, болота или зоны активной стройки.

Важным аспектом является возможность интеграции данных, полученных с БАС, с геоинформационными системами. Это позволяет накладывать собранные изображения и трехмерные модели на существующие карты или использовать их для создания новых картографических продуктов. Данные с БАС могут быть также использованы для мониторинга изменений на местности с течением времени, что важно для отслеживания процессов эрозии, изменений растительного покрова или контроля за развитием инфраструктурных проектов.

Таким образом, использование БАС в аэрофотосъемке предоставляет широкий спектр возможностей для различных отраслей. БАС позволяют получать высококачественные данные с высокой точностью и в короткие сроки, что делает их незаменимым инструментом в современном мире для решения задач мониторинга, анализа и управления территориями.

## **12.5 Системы лазерного сканирования и 3D-моделирования местности**

Для проведения геодезических работ требуется высокоточное сертифицированное оборудование, которое прошло метрологический контроль. Практически всем этим оборудованием пользуются многие специалисты, для получения точных данных для выполнения своих работ. Актуальность оборудования растет, однако работа в узконаправленных сферах всегда остается за квалифицированными специалистами.

Технология лазерного 3D сканирования представляет собой измерение расстояния между сканером и обследуемым объектом [1]. В результате проводимых высокоскоростных измерений формируется облако точек с фиксацией пространственных координат, на основе которого строится трехмерная модель объекта. Такая модель может включать до нескольких миллионов точек, построенных с погрешностью до миллиметра. Это обеспечивают высокую степень точности измерений.

По сравнению с традиционным способом выполнения съемки при помощи тахеометра, эта технология обеспечивает бесконтактную работу, позволяет ее автоматизировать, обеспечивает высокую точность. Кроме этого, сканеры удобны в работе. Позиционирование измерительной головки в вертикальной и горизонтальной плоскости выполняется сервоприводом. Оператору не требуется управлять дальнометром, записывать координат, искать объект в окуляре, периодически

переставлять прибор. Техника позволяет проводить измерения из одной точки без снижения точности.

В геодезии используются следующие виды лазерного 3D-сканирования: наземное, воздушное и мобильное.

Метод наземного лазерного сканирования (или LIDAR – Light Detection and Ranging) предоставляет ряд преимуществ над другими способами получения пространственной информации, такими как традиционная фотограмметрия, геодезические измерения и даже аэрофотосъемка. Систему отличает:

- Высокая точность. Данная технология обладает исключительной точностью данных.

- Быстрая скорость съемки. Наземные лазерные сканеры могут создавать трехмерные облака данных на высокой скорости. Это позволяет собирать информацию быстро и эффективно, сокращая время и затраты на съемку.

- Способность сканировать в условиях ограниченной видимости. LIDAR не зависит от освещения и может работать даже в условиях недостаточной видимости, таких как ночь или плохая погода.

- Возможность собирать данные о форме и поверхности объектов. Лазерное сканирование в геодезии позволяет получать данные о фактической форме и текстуре объектов, что часто невозможно достичь с помощью фотограмметрии или других методов.

- Способность проникать сквозь растительность. LIDAR может анализировать почву на местности вне зависимости от посаженных растений.

- Возможность создания точных цифровых моделей поверхности. Оборудование позволяет создавать точные трехмерные изображения поверхности, что важно для геологических, геоморфологических и геодезических исследований.

- Автоматизация и улучшенная обработка данных. Современные программы обработки LIDAR-данных обеспечивают автоматизацию анализа и классификации данных, что упрощает и ускоряет процесс извлечения информации.

Разные типы лазерного сканирования могут использоваться для создания точных цифровых карт местности и определения уровней воды в почве. Это также полезно для определения наилучших мест для размещения культур и расположения дренажных систем. С помощью LiDAR можно также сканировать сельскохозяйственные участки с

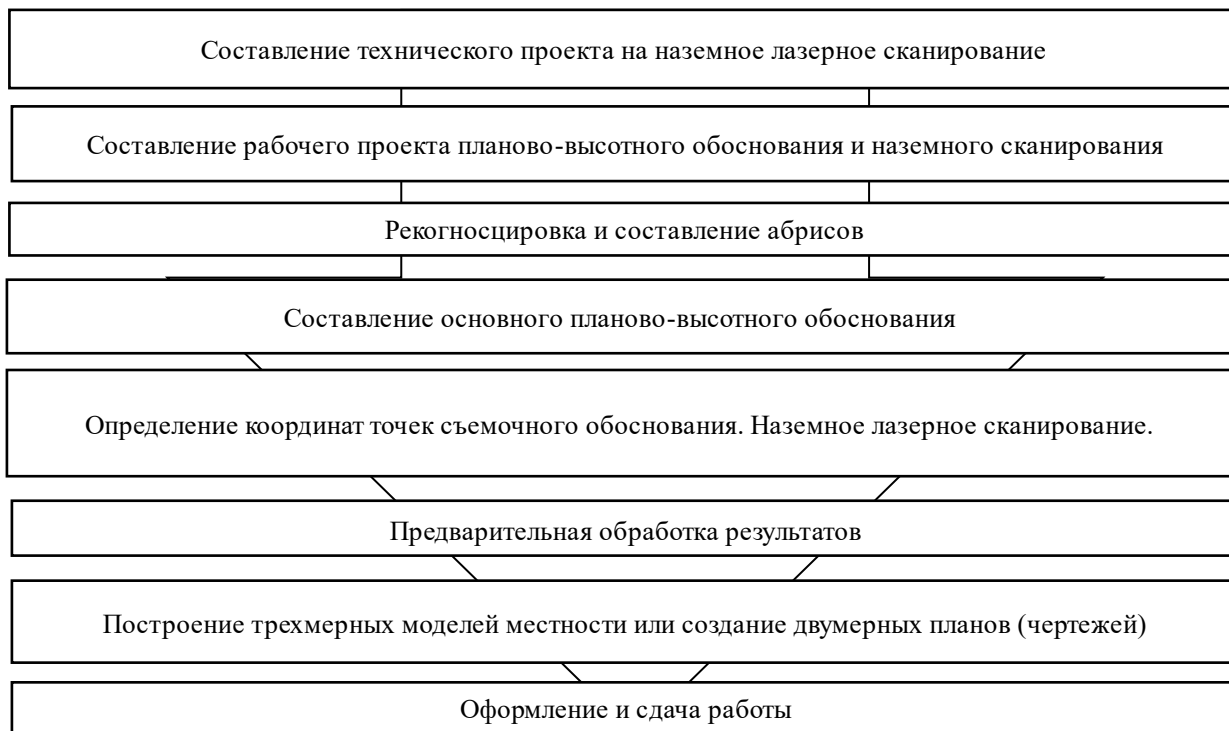
различными видами растений, чтобы оценить их рост, здоровье и потенциальные проблемы, такие как болезни и пестициды.

Система помогает фермерам более эффективно использовать свои земельные участки, оптимизировать высадку культур и повышать продуктивность полей. В производстве, связанном с лесовыращиванием и лесозаготовкой, система лазерного сканирования может использоваться для мониторинга роста и здоровья леса, а также для планирования оптимальных маршрутов и методов рубки.

Одной из популярных моделей является SLAM сканер XGRIDS LixelKity K1 из линейки китайского производителя XGRID LIMITED (рис. 94). Это компактный и мощный мобильный лазерный сканер, который открывает доступ к профессиональному 3D-сканированию для всех.



*Рисунок 94 – Лазерный сканнер XGRIDS LixelKity K1 – SLAM.*



*Рисунок 95 – Технология построения трехмерных моделей объектов и создания топографических планов по данным наземного лазерного сканирования*

Ключевой особенностью модели является способность создавать цветные облака точек в режиме реального времени благодаря интеграции панорамной камеры с разрешением 48 МП и технологии LiDAR. Это позволяет получать высококачественные 3D-модели объектов с точностью до сантиметра, отражая все детали и цвета.

SLAM-сканер отличается интуитивно понятным управлением, что делает его доступным как для профессиональных пользователей, так и для новичков в 3D-сканировании. Управление сканером осуществляется с помощью мобильного приложения LixelGO, которое позволяет контролировать устройство со смартфона, просматривать результаты сканирования в режиме реального времени и отслеживать состояние устройства.

Область применения охватывает:

- геодезия и картография;
- умные города;
- мониторинг опасных и чрезвычайных ситуаций;
- сельское, лесное хозяйство, культуры, туризм и творчество;
- энергетика;

– компьютерное моделирование и 3D-моделирование.

В настоящее время нет запатентованной технологии выполнения работ по наземной лазерной съемке с целью построения трехмерных моделей объектов и создания топографических планов и двумерных чертежей участков сканирования.

Рассмотрим сущность и особенности выполнения каждого этапа наземной лазерной съемки (рис. 95).

На этапе составления технического проекта регламентируется требуемая точность построения трехмерной модели объекта или цифрового плана, содержание и детализация их, необходимый формат (расширение) готовой продукции, используемое оборудование, стоимость проведения работ и обработки результатов. При необходимости уточняются вопросы о дополнительной семантической информации на каждый объект.

Проводится рекогносцировка местности. С учетом конкретных условий местности выбирается рациональный способ создания и сгущения съемочного обоснования. Выбор каждой точки съемочного обоснования зависит от того, как она будет использоваться в процессе съемки. Также во время рекогносцировки выбираются точки расположения сканера, места размещения специальных марок, уточняются сроки проведения работ и т.п. По завершении рекогносцировки составляются абрисы на снимаемую территорию. От полноты абрисов зависит надежность дальнейшего дешифрирования объектов съемки поточечной модели в камеральных условиях.

Далее создается планово-высотное обоснование сканерной съёмки. Планово-высотное обоснование необходимо для создания трехмерных моделей и крупномасштабных планов местности в заданной системе координат и включает следующие процессы:

– составление проекта сети основного и рабочего планово-высотного обоснования;

– закрепление точек основного планово-высотного обоснования;– полевые измерения по планово-высотной привязке точек основного обоснования, например тахеометром;

– камеральная обработка, включающая следующие этапы: уравнивание результатов полевых измерений и составление каталога координат точек основного планово-высотного обоснования;

– оценка точности создания основного съемочного обоснования.

С учетом конкретных условий местности выбирается рациональный способ создания основного и рабочего съемочного обоснования.

При наземной лазерной съемке объекта предлагается определять плановые координаты точек основной опорной сети с применением спутниковых геодезических технологий, проложением теодолитных или полигонометрических ходов, прямой или обратной засечкой, а отметки в этом случае определять при помощи тригонометрического или геометрического нивелирования.

Вычисление координат пунктов основного съемочного обоснования, а также оценка точности его создания осуществляются в зависимости от выбранного способа координатной привязки и программного обеспечения.

При использовании RTK-режимов (real time kinematic) спутниковой геодезии для определения координат точек основного планово-высотного обоснования процесс камеральной обработки измерений сводится к минимуму, что позволяет в процессе выполнения полевых работ получать пространственные координаты точек, которые записываются в контроллер приемника.

С пунктов основной опорной сети определяются координаты точек рабочего съемочного обоснования, которые проектируются на расстоянии от 2 до 250 м вокруг точек стояния сканера. На точки съемочной сети устанавливаются специальные марки, координаты которых рекомендуется определять электронным тахеометром в безотражательном режиме.

Оценка точности создания основного съемочного обоснования выполняется по невязкам. В случае применения GPS-технологий для определения координат точек основной опорной сети оценка точности выполняется с использованием алгоритмов, заложенных в программном обеспечении, с помощью которого производилась обработка спутниковых геодезических измерений.

При трехмерном наземном лазерном сканировании порядок работы на сканерной станции состоит из следующих этапов:

1) установка на запроектированной точке сканера на штатив, высота которого задается такой, чтобы обеспечить максимальный охват интересующего объекта на одном скане;

2) расстановка вокруг сканера специальных марок, которые являются точками рабочего съемочного обоснования. Плоские марки обычно используются для ориентирования сканов относительно внешней системы координат, объемные марки – для взаимного ориентирования (подсоединения) сканов;

3) определение координат центров специальных марок с точек основной опорной сети. Для этих целей наиболее эффективным является использование электронных тахеометров и безотражательного режима измерений.

Контроль определения координат точек рабочего обоснования можно вы-полнить при помощи многократных измерений центров специальных марок или определением координат одних и тех же точек рабочего обоснования с различных пунктов основного съемочного обоснования (аналогичным образом, как и при оценке точности тахеометрической съемки);

4) сканирование местности и объектов вокруг точки стояния сканера.

Если сканер снабжен цифровой камерой, то выполняется также цифровая съемка;

5) идентификация и определение приближенных координат центров специальных марок с дальнейшей целью быстрого определения области их положения на скане. В зависимости от модели сканера эти операции выполняются либо по полученному скану, либо по цифровому снимку (если сканер оснащен цифровой камерой);

6) сканирование специальных марок с максимальным разрешением, что позволяет с предельно возможной точностью для данной модели сканера определять их координаты в системе координат скана;

7) перемещение сканера на следующую точку сканирования и повторение этапов 1–6.

Количество и расположение сканерных станций проектируются исходя из требований обеспечения необходимой точности создаваемой продукции, производительности и экономичности работ.

Выбор сканерных станций должен обеспечивать отображение на одном скане максимальной площади снимаемой территории. При создании рабочего съемочного обоснования сканерной съемки специальные марки следует располагать по схеме, показанной на рисунке 96.

Специальные марки рекомендуется располагать парами через  $90^\circ$  в горизонтальной плоскости. Как показал практический опыт, использование такой геометрии размещения и количества специальных марок позволяет сократить затраты времени на расстановку марок, подготовку планово-высотного обоснования сканерной съемки и непосредственно сканирование (рис. 96).

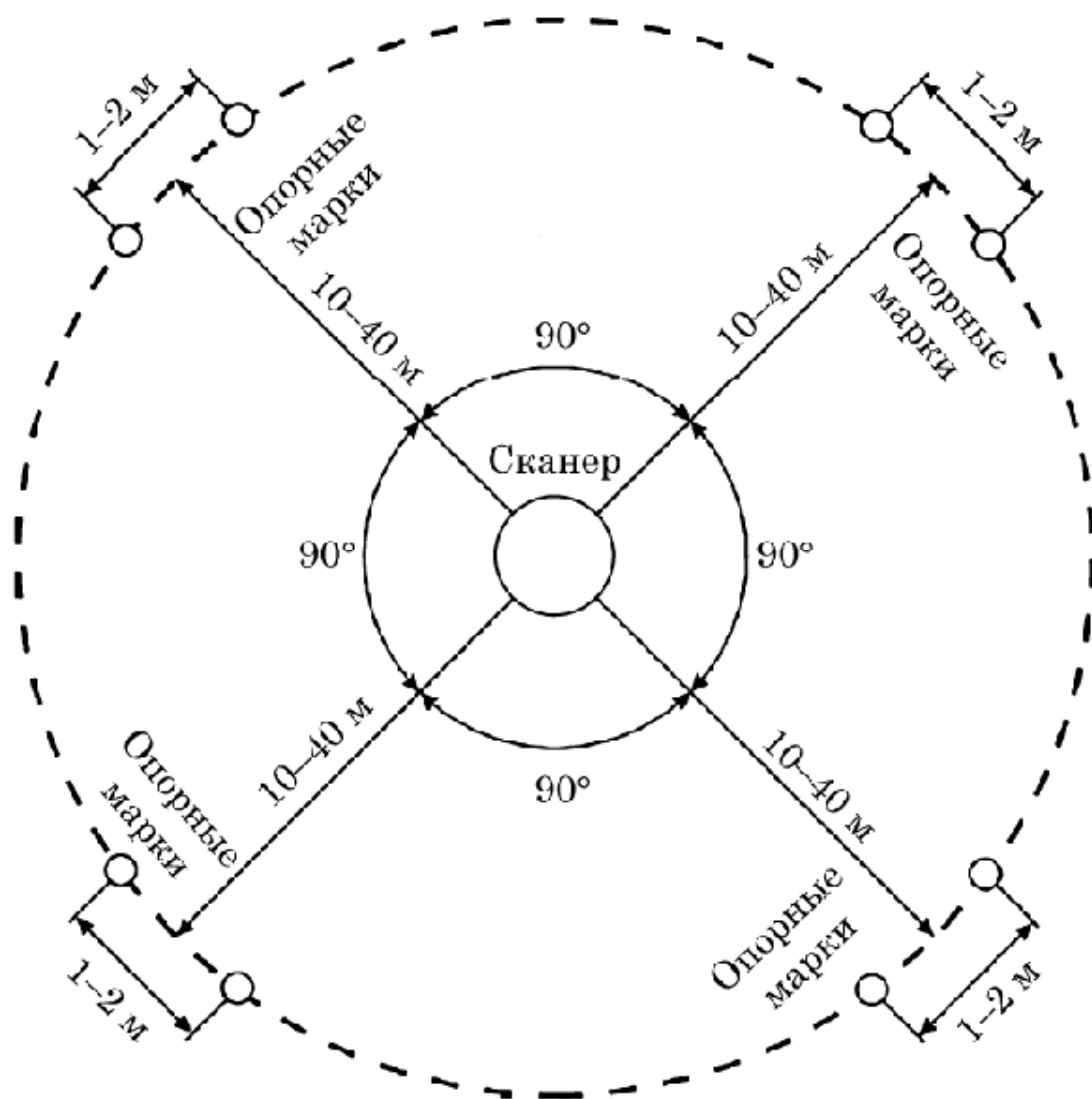


Рисунок 96 – Съема расположения марок

В случае, если наземный лазерный сканер снабжен устройствами центрирования и горизонтирования, необходимость создания рабочего съемочного обоснования сканерной съемки отпадает. При этом точки основного съемочного обоснования будут одновременно являться сканерными станциями и проектируются аналогичным образом, как и при тахеометрической съемке.

Отстояние сканерных станций друг от друга при съемке объектов с целью создания трехмерных моделей, как правило, составляет 20–30 м, а в некоторых случаях и меньше в зависимости от сложности объекта.

Угловое разрешение при наземной лазерной съемке с целью создания крупномасштабных планов задается одинаковым на каждой станции и определяется следующими факторами:

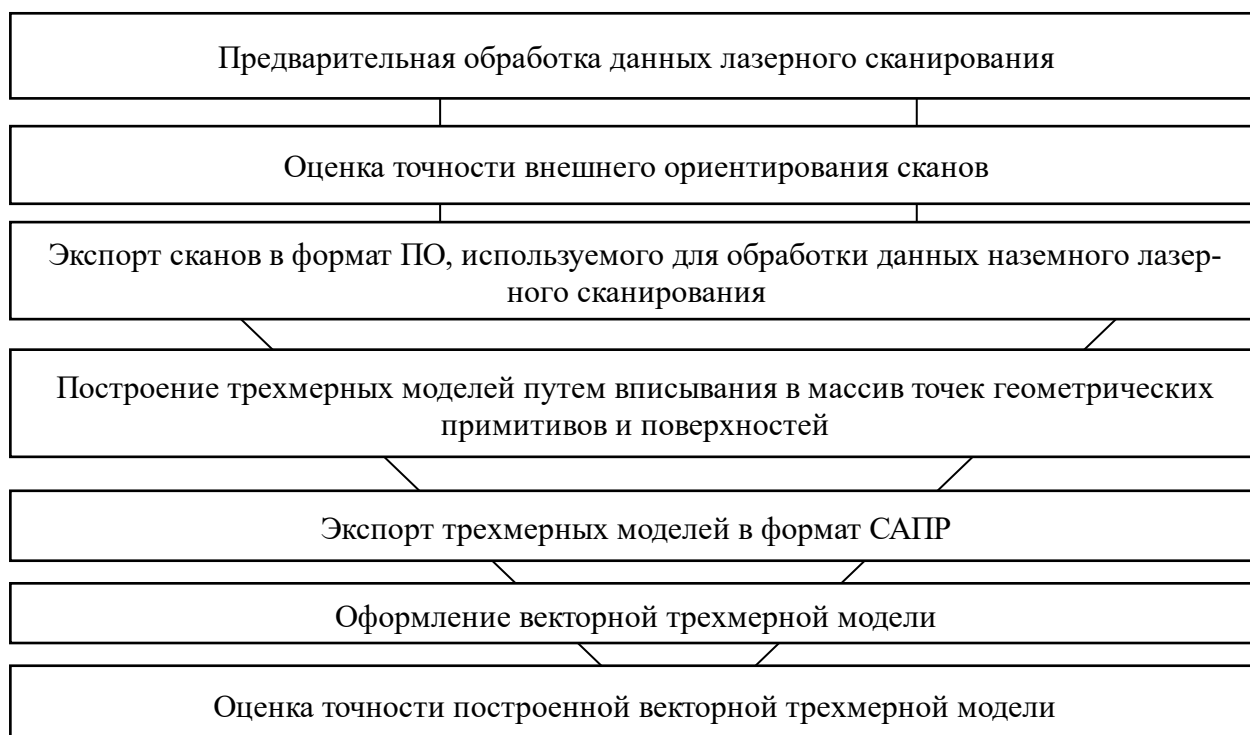
- техническими характеристиками сканера;

- сложностью объектов;
- детальностью окончательной продукции, которая должна удовлетворять заданным требованиям;
- производительностью (т.е. снимаемой площадью за рабочий день) и оперативностью (т.е. временем работы на одной станции) работ.

Стародубцев В. И. рекомендует придерживаться следующих параметров при сканировании для создания крупномасштабных планов:

– для инженерных сооружений сканерные станции следует располагать на расстоянии 50–60 м друг от друга. Если съемка выполняется путем проложения сканерного хода, то станции следует располагать на расстоянии примерно 30 м. Разрешение сканирования следует задавать  $0,1 \pm 0,02^\circ$  по горизонтали и вертикали;

– для открытой местности (без сооружений и коммуникаций) сканерные станции предпочтительнее устанавливать на расстоянии 150–200 м, если дальность действия сканера позволяет выполнять измерения на расстояния 200 м и более.



*Рисунок 97 – Технологическая съема построения трехмерной векторной модели по данным наземного лазерного сканирования*

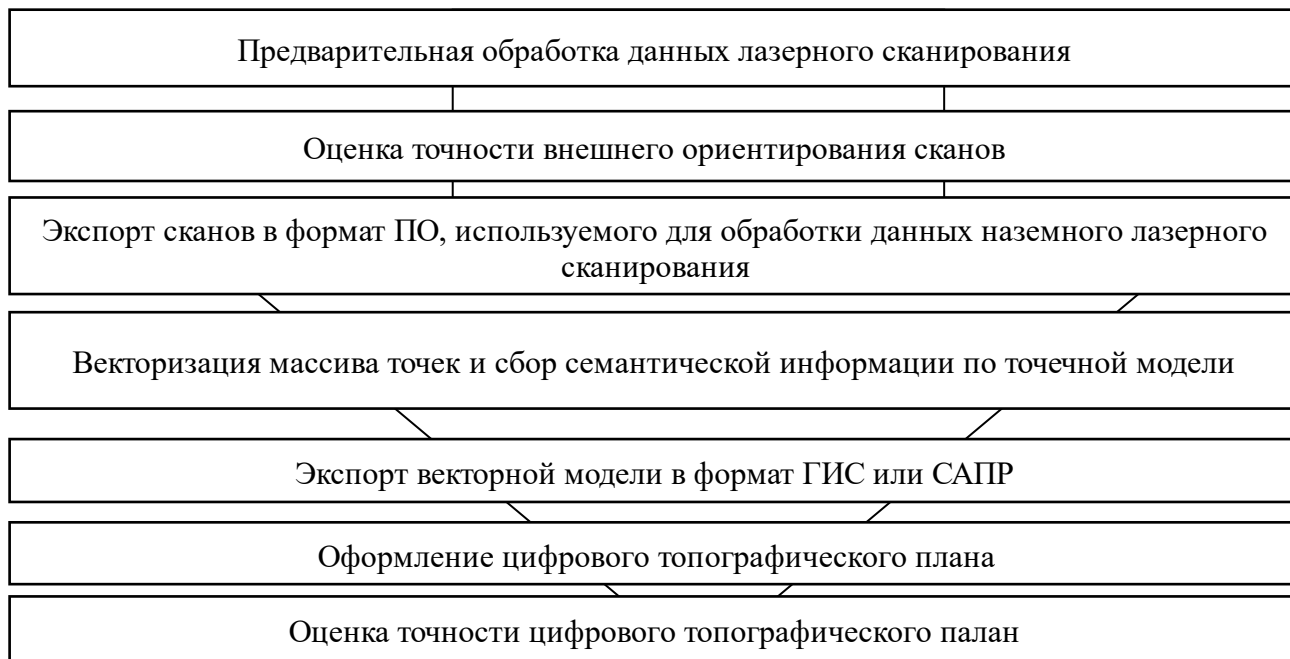
Разрешение при сканировании открытых территорий следует задавать  $0,08–0,09^\circ$  по горизонтали и вертикали. Если у сканера

реализован непрерывный режим сканирования, то разрешение сканирования по вертикали можно увеличить до  $0,06-0,07^\circ$ . При этом сканер надо устанавливать не ниже чем на 2 м от поверхности земли. Данные параметры сканирования рекомендуется задавать и при съемке с целью создания цифровой модели рельефа.

Камеральная обработка данных наземного лазерного сканирования с целью создания трехмерной векторной модели может выполняться в соответствии с технологией, представленной на рис. 97.

Управление наземным лазерным сканером и предварительная обработка результатов сканирования обычно осуществляются с использованием программного продукта фирмы-изготовителя сканера. Процесс редактирования трехмерной векторной модели местности осуществляется с целью обеспечения целостности получаемой трехмерной модели. Обычно редактирование выполняется в системах автоматизированного проектирования, например AutoCAD.

Для решения практических задач с использованием трехмерной модели местности она интегрируется или «связывается» с базой данных, в которой содержится различная семантическая информация. Для удобства работы с базой данных и моделью они разделяются по слоям.



*Рисунок 98 – Технологическая съема камеральных работ с целью создания цифровых топографических планов и чертежей по данным наземного лазерного сканирования*

Оценка точности построения трехмерной модели местности по данным наземного лазерного сканирования может выполняться

аналогично созданию крупномасштабных топографических планов, т. е. либо по результатам измерения рулеткой длин отрезков между четкими контурами, либо по координатам контрольных пикетов, которые могут быть определены электронным тахеометром или другим геодезическим прибором. При этом указанные точки не должны изменять свое пространственное положение.

С целью создания по данным наземного лазерного сканирования крупно-масштабных планов и чертежей камеральные работы выполняются с использованием технологической схемы, показанной на рисунке 98.

Отличие технологических схем заключается в разных подходах к обработке данных наземного лазерного сканирования. Рассмотрим эти процессы подробнее.

Векторизация точечной модели для создания цифровых топографических планов и чертежей выполняется в следующей последовательности:

а) рисовка сооружений и крупных объектов (на начальном этапе рекомендуется на плане отобразить крупные площадные объекты, такие как здания, сооружения и т.д., которые надежно дешифрируются по точечной модели без применения абрисов);

б) векторизация линейных объектов, например трубопроводов, кабельных каналов, ЛЭП и т.д. Для надежного дешифрирования таких объектов необходимо использовать абрисы, составленные на этапе проведения полевых работ, а также другие документы, например ранее созданные топографические планы на данную территорию, технологические схемы объектов и т.д.;

в) нанесение точечных объектов, таких как канализационные люки, колодцы связи, пожарные гидранты и др. Как правило, пространственное положение объектов, выступающих над землей менее чем на 1 см, рекомендуется определять геодезическими методами, например с помощью электронного тахеометра;

г) способ построения рельефа зависит от загруженности топографического плана. Если топографический план имеет большую плотность контуров, то рельеф отображается в виде точек с отметками, во всех остальных случаях – горизонталями и другими условными знаками.

Оформление цифрового топографического плана и создание базы данных. Для окончательного оформления топографического плана целесообразнее использовать программы САПР или ГИС.

Оценка точности создания топографического плана по данным наземного лазерного сканирования может осуществляться двумя способами:

- по средним квадратическим ошибкам координат характерных точек объектов, полученным по векторной модели и в полевых условиях одним из известных геодезических способов, например с помощью электронного тахеометра;
- по разностям длин линий, полученным в полевых условиях, и созданной векторной модели.

### **Контрольные вопросы**

1. Какая основная цель теодолитной съемки?
2. Какие инструменты используются при теодолитной съемке?
3. Какие требования предъявляются к длине сторон теодолитного хода?
4. Как вычисляется дирекционный угол последующей линии в теодолитном ходе?
5. Какие способы съемки ситуации применяются при теодолитной съемке?
6. Какой прибор используется для построения прямого угла при съемке способом перпендикуляров?
7. Какие преимущества имеет использование беспилотных авиационных систем (БАС) в аэрофотосъемке?
8. Какие типы оборудования могут быть установлены на БАС для аэрофотосъемки?
9. Какие преимущества предоставляет технология лазерного 3D-сканирования по сравнению с традиционными методами съемки?
10. Какие виды лазерного сканирования используются в геодезии?
11. Какие этапы включает процесс наземного лазерного сканирования?
12. Какие параметры рекомендуется задавать при сканировании для создания крупномасштабных планов?
13. Как оценивается точность построения трехмерной модели местности по данным лазерного сканирования?
14. Какие этапы включает векторизация точечной модели для создания цифровых топографических планов?
15. Какие программы используются для оформления цифрового топографического плана?

## 13 НИВЕЛИРНАЯ СЪЕМКА

План

13.1. Съёмки нивелирования земной поверхности

13.2 Обработка результатов нивелирования по квадратам

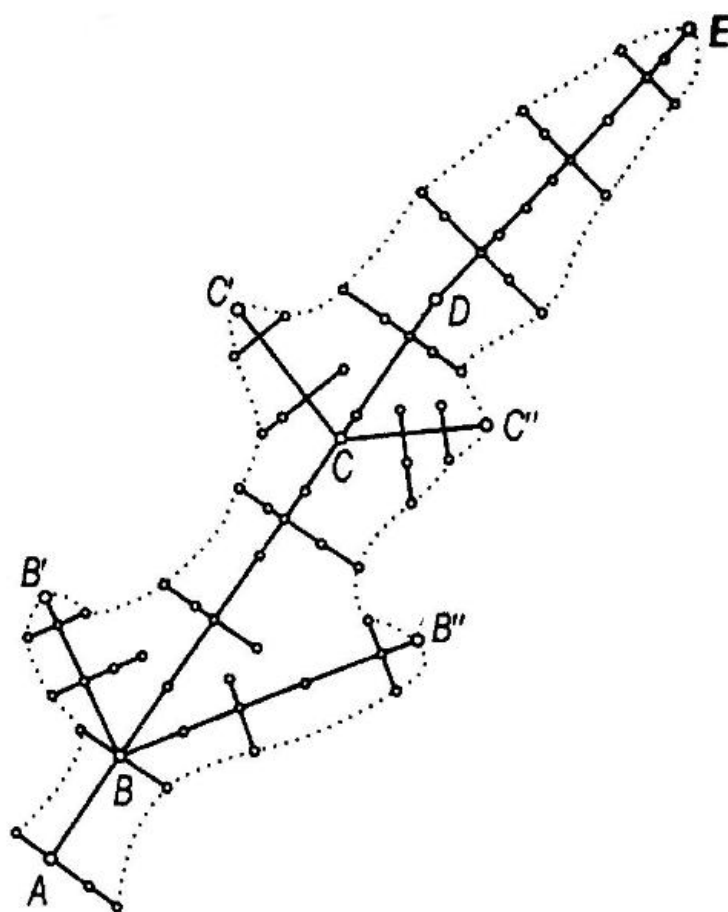
13.3 Вертикальная планировка

### 13.1 Съёмки нивелирования земной поверхности

Нивелирование поверхности производят для детального изображения рельефа местности на строительных площадках, промплощадках предприятий, для проектирования осушительных и оросительных систем, планировки земельных участков и т.п. Полученные результаты могут быть использованы для создания ЦММ.

В зависимости от характера рельефа, имеющейся ситуации местности, требуемой точности, а также площади нивелируемой поверхности применяются различные способы нивелирования: способ магистрального хода с поперечниками; способ параллельных линий; по квадратам и др.

Способ магистрального хода с поперечниками применяют в условиях пересеченной местности при изысканиях сооружений линейного типа (дорог, каналов, прокладке трубопроводов и т.п.). По характерным линиям рельефа, например линии водораздела, прокладывают основной магистральный нивелирный ход ABCDE (рис. 99) и разбивают пикетаж. При необходимости от основной магистрали разбивают дополнительные магистрали BB', CC' и т.д. Начальную и конечную точку магистрали привязывают к планово-высотной геодезической сети. Перпендикулярно к линиям магистрали разбивают поперечники с шагом и длиной, зависящими от характера местности. Одновременно нивелирование магистрали и поперечников проводят способом геометрического нивелирования аналогично нивелированию трасс. В результате обработки результатов измерений получают плановое и высотное положение точек магистрали и поперечников.



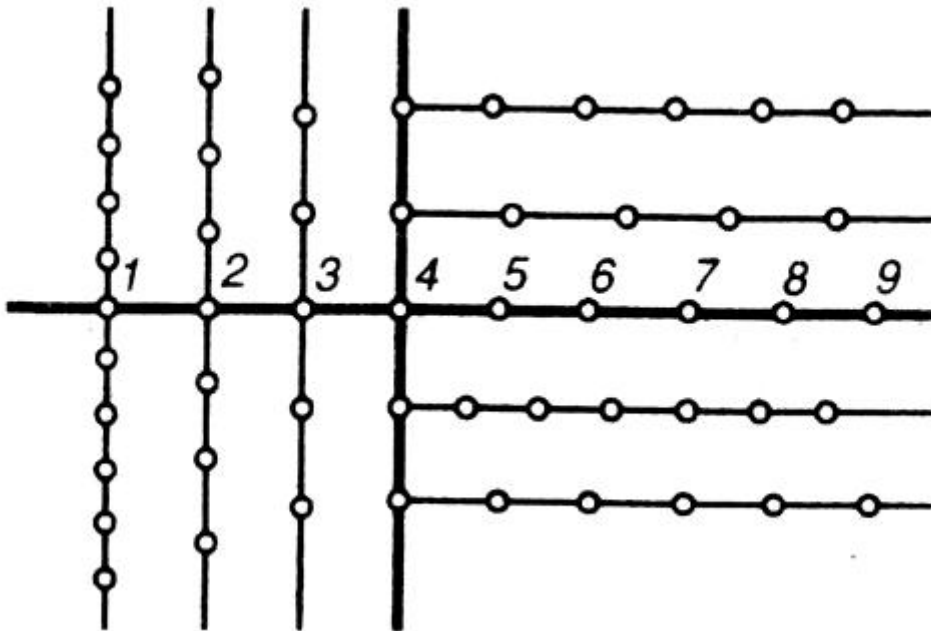
*Рисунок 99 – Схема нивелирования поверхности при использовании способа магистралей с поперечниками*

Способ параллельных линий используют в условиях равнинной или слабовсхолмленной местности при съемках строительных площадок. Посередине снимаемого участка обычно прокладывают основной теодолитно-нивелирный прямолинейный ход или два взаимно перпендикулярных хода (рис. 99), которые привязываются к пунктам планово-высотной геодезической сети. Эти линии являются планово-высотным основанием съемки.

Перпендикулярно к линиям основных ходов разбивают параллельные съемочные ходы, по которым в характерных точках закрепляют пикеты. Расстояния между съемочными ходами и между пикетами зависят от назначения и требуемой точности.

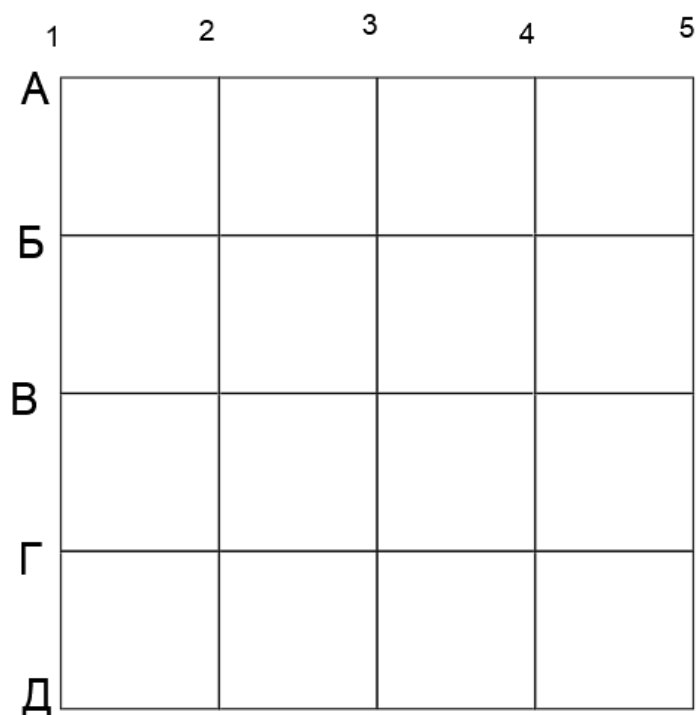
Точки основных ходов нивелируют в соответствии с IV классом нивелирования, а съемочные ходы – с технической точностью. При обработке результатов измерений сначала уравнивают и вычисляют отметки точек основных нивелирных ходов, а затем – точек съемочных ходов.

Способ нивелирования по квадратам применяют при топографической съемке открытых участков местности со слабо выраженным рельефом в крупных масштабах (1:500 – 1:5 000) с высотой сечения 0,1–0,5 м в целях составления проекта вертикальной планировки и подсчета объемов земляных работ.



*Рисунок 100 – Способ параллельных линий*

При разработке сетки квадратов сначала строят наружный полигон в виде квадрата или прямоугольника (рис. 100). Для этого вдоль границы снимаемого участка на местности закрепляют опорную линию АВ и на ней с помощью рулетки откладывают длины сторон квадратов (А–2, 2–3, ... 5–В). Затем в точках А и В последовательно устанавливают теодолит и восстанавливают перпендикуляры АС и ВD к линии АВ. Для контроля измеряют длину линии CD, которая не должна отличаться от длины линии АВ более чем на 1:2000 ее длины. Контролем является также равенство диагоналей AD и CB. На перпендикулярах и линии CD откладывают длины сторон квадратов. Размеры квадратов принимаются от 10 до 100 м в зависимости от характера рельефа, требуемой точности его изображения, сложности и назначения будущего сооружения. Вершины полигона ABCD и точки на его сторонах закрепляют грунтовыми реперами.



*Рисунок 101 – Нивелирование сетки по квадратам*

Разбивка квадратов внутри полигона выполняется по створным линиям 1–1, 2–2, ... 6–6 (рис. 101). Вершины квадратов закрепляют кольшками, на которых пишут их номер. Нумеруют линии в одном направлении заглавными буквами русского алфавита, а в перпендикулярном – арабскими цифрами.

При необходимости на сторонах квадратов в точках перегиба рельефа местности закрепляют плюсовые точки. При длинах сторон наружного полигона до 300 м разбивку квадратов удобно выполнять с помощью нерастяжимых тросов или шнуров, размеченных с шагом, равным длине квадрата.

Одновременно с разбивкой сетки квадратов производится съемка ситуации линейными промерами от сторон квадратов до характерных точек контуров и местных предметов. Результаты съемок заносят в абрис, на котором дополнительно показывают стрелками направления скатов.

### **13.2 Обработка результатов нивелирования по квадратам**

В рамках учебного задания предлагается произвести расчет высот сетки квадратов со стороной  $l=40$  м. На его примере рассмотрим как проводится нивелирование поверхности III класса.

Внутри сетки квадратов от точки Рп1 с известной отметкой ( $H_{Рп1} = 50,0$  м.) проложен замкнутый нивелирный ход. Отметка  $H_{Рп1}$  задается преподавателем. Ход проложен по часовой стрелке и точки внутри хода сняты точки как связующие, т.е. абсолютные отметки последующих точек определяются через превышения (рис. 102). Нивелирование проведено с трех станций, т.е. нивелир устанавливался на станции СТ I (между Рп1 и точкой Г1), СТ II (между точками Г1 и Д3), СТ III (между точками Д3 и Рп1).

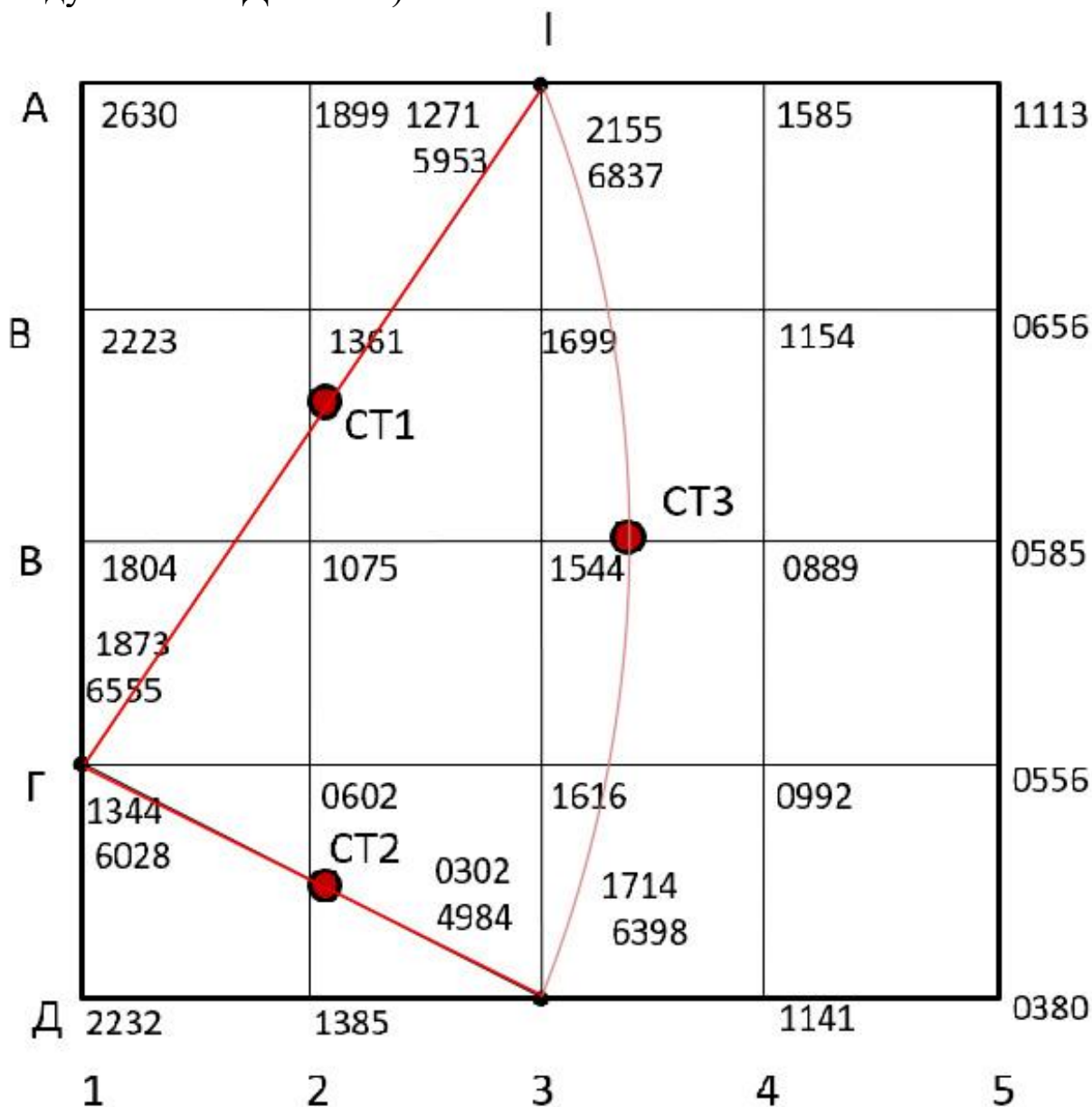


Рисунок 102 – Схема замкнутого нивелирного хода

Находим превышение между точками Рп1 и Г1:

$$h_1 = a_{\text{ч}} - b_{\text{ч}} = 1271 - 1873 = -0602$$

$$h_2 = a_{\text{кр}} - b_{\text{кр}} = 5953 - 6555 = -0602$$

$$h_{\text{ср.1}} = \frac{-0602 + (-0602)}{2} = -0602$$

Находим превышение между точками Г1 и Д3.

$$h_1 = a_{\text{ч}} - b_{\text{ч}} = 1344 - 0302 = 1042$$

$$h_2 = a_{\text{кр}} - b_{\text{кр}} = 6028 - 4984 = 1044$$

$$h_{\text{ср.2}} = \frac{1042 + 1044}{2} = 1043$$

Определяем превышение между точками Д3 и Рп1.

$$h_1 = a_{\text{ч}} - b_{\text{ч}} = 1714 - 2155 = -0441$$

$$h_2 = a_{\text{кр}} - b_{\text{кр}} = 6398 - 6837 = -0439$$

$$h_{\text{ср.3}} = \frac{(-0441) + (-0439)}{2} = -0440$$

Находим сумму средних превышений нивелирного хода.

$$\Sigma h = h_{\text{ср1}} + h_{\text{ср2}} + h_{\text{ср3}} = -0602 + 1043 + (-0440) = 1 \text{ мм.}$$

Эта величина является невязкой нивелирного хода. Чтобы определить правильность измерений, сравниваем полученную невязку с допустимой.

Допустимая невязка определяется по формуле:

$$fh_{\text{доп.}} = \pm 10\sqrt{n}, \quad (170)$$

где  $n$  – количество сторон нивелирного хода.

Тогда:

$$fh_{\text{доп.}} = \pm 10\sqrt{3} = \pm 17,3 \text{ мм}$$

Измерения считаются правильными, если полученная невязка, меньше допустимой. Полученная невязка разбрасывается равномерно на все превышения с обратным знаком. Но полученная невязка равна 1 мм, а нивелирование производится с точностью до 1 мм.

Поэтому добавляем невязку к одному из превышений например:

$$h_{\text{ст.3 испр.}} = -0440 - 0001 = -0441$$

Прибавив поправки к превышениям, получаем исправленные превышения.

Сумма исправленных превышений, которая должна быть равна нулю.

$$\Sigma h_{\text{исп}} = -0602 + 1043 - 0441 = 0$$

Находим абсолютные отметки точек А1 и Г3 по формуле:

$$H_{\text{посл}} = H_{\text{пред}} + h_{\text{исп}} \quad (171)$$

$$H_{\text{Г1}} = H_{\text{Рп1}} + h_{1 \text{ исп}} = 50,0 - 0,602 = 49,398 \text{ м.}$$

$$H_{\text{Д3}} = H_{\text{Г1}} + h_{2 \text{ исп}} = 49,398 + 1,043 = 50,441 \text{ м.}$$

$$H_{\text{Рп1}} = H_{\text{Д3}} + h_{3 \text{ исп}} = 50,441 - 0,441 = 50,0 \text{ м.}$$

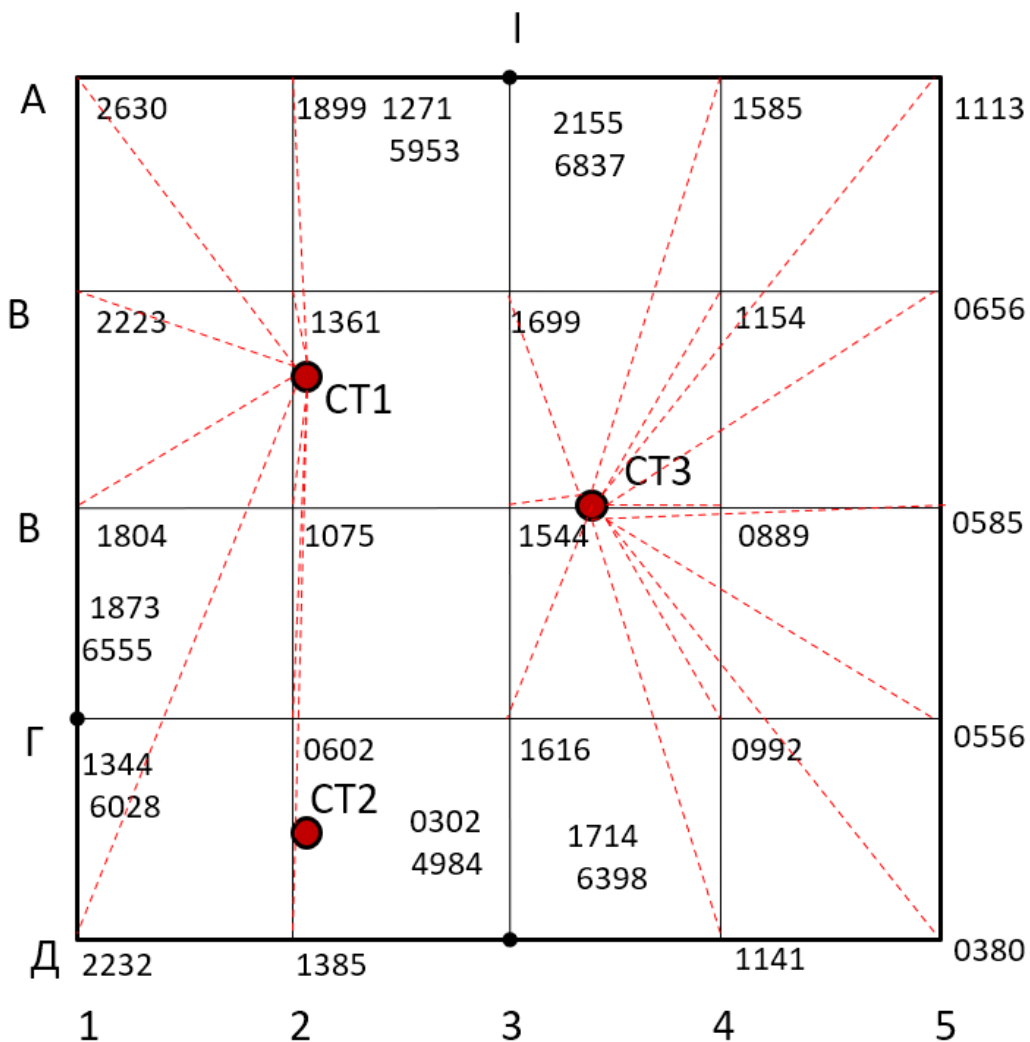


Рисунок 103 – Схема нивелирования промежуточных точек

Равенство исходной и конечной величины отметки  $H_{Пп1}$  свидетельствует о правильности проведенных расчетов.

Далее переходим к определению отметок промежуточных точек.

Все точки кроме Г1, Д3 и А1 вычисляются как промежуточные. Все остальные точки, расположенные на углах квадратов, нивелируемой площадки, сняты как промежуточные со станций №1 и №3 (рис. 103). После того как со СТ1, были получены отсчеты на связующие точки, нивелир наводился на промежуточные точки и брались отсчеты по черной стороне рейки. Аналогичным способом были получены остальные отсчеты со станции №1, а также со станции №3.

Пользуясь данными рис. 103 определяем высоту прибора (инструмента) для станции №1 и №3

Вычисляем горизонты приборов для этих станций.

$$ГП_{1СТ1} = H_{Пп1} + a = 50,0 + 1,271 = 51,271$$

$$\begin{aligned} \Gamma\Pi_{2CT1} &= H_{Г1} + b = 49,398 + 1,873 = 51,271 \\ \Gamma\Pi_{cp CT1} &= 51,271 \\ \Gamma\Pi_{1CT3} &= H_{ДЗ} + a = 50,441 + 1,714 = 52,155 \\ \Gamma\Pi_{2CT3} &= H_{Рп1} + b = 50,0 + 2,155 = 52,155 \\ \Gamma\Pi_{cp CT3} &= 52,155 \end{aligned}$$

Вычисляем абсолютные отметки всех точек площадки для СТ1, по формуле:

$$H_i = \Gamma\Pi_{cp} - c, \quad (172)$$

где  $c$  отсчет по рейкам на углах площадки.

Например:

$$H_{A1} = \Gamma\Pi_{cp CT1} - 2,630 = 51,271 - 2,630 = 48,641 \text{ м.}$$

Аналогичным образом вычисляем абсолютные отметки всех точек, снятых со станции 3. Данные выносим на сетку квадратов. Аналогичным образом вычисляем отметки промежуточных точек снятых со станции III. В результате расчетов получаем сетку квадратов с абсолютными отметками вершин каждого квадрата (рис. 104). Отметки округляем до сотых долей.

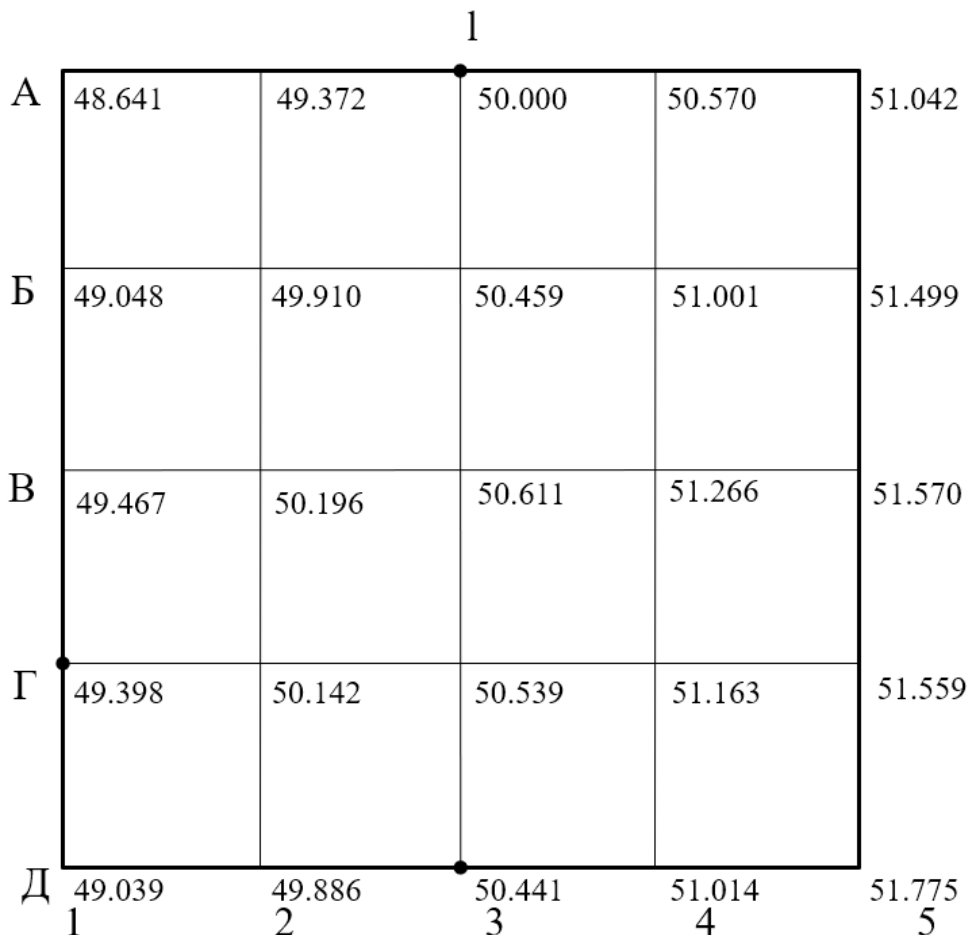


Рисунок 104 – Результаты расчета абсолютной высоты углов квадратов строительной площадки

### 13.3 Вертикальная планировка

Важное место в инженерной геодезии занимает *вертикальная планировка* – преобразование существующего рельефа местности в проектный, отвечающий требованиям строительства и благоустройства территории.

Составной частью вертикальной планировки является проектирование горизонтальной и наклонной плоскостей площадок. Выбор проектной поверхности определяется особенностями строительства, требованиями нормативных документов с учетом экономических показателей.

Наибольший экономический эффект получают тогда, когда соблюдается условие баланса земляных масс (равенство объемов выемки и насыпи) и минимума земляных работ. В этом случае при планировочных работах избыточный грунт не вывозят и не привозят недостающий, а перемещают его на планируемой площадке.

В процессе проектирования площадки определяют объем грунта (объем земляных работ), который должен быть вынут и насыпан, а также сметную стоимость его перемещения.

Проектирование осуществляется по топографическим планам масштабов 1:500–1:5000 или по результатам нивелирования участка местности по квадратам со сторонами 10–50 м, в зависимости от сложности рельефа. Определяются фактические отметки вершин квадратов по горизонталям или по результатам нивелирования.

При проектировании *горизонтальной* площадки (рис.69) определяют проектную (среднюю) отметку центра тяжести площадки  $H_0$  как среднее значение отметок вершин квадратов по формуле

$$H_0 = \frac{\sum H_1 + 2 \times \sum H_2 + 4 \times \sum H_4}{4n}, \quad (173)$$

где  $\sum H_1 + 2 \times \sum H_2 + 4 \times \sum H_4$  – сумма фактических отметок вершин, относящихся к одному, двум и четырем квадратам;

$n$  – число квадратов

В случае проектирования наклонной площадки, необходимо разбить сетку квадратов на равные части по количеству квадратов. В нашем случае, на левую и правую стороны, где границей между частями выступит линия 3 сетки. На рис. 105-106 показаны отметки, принадлежащие одному, двум и четырем углам квадратов.

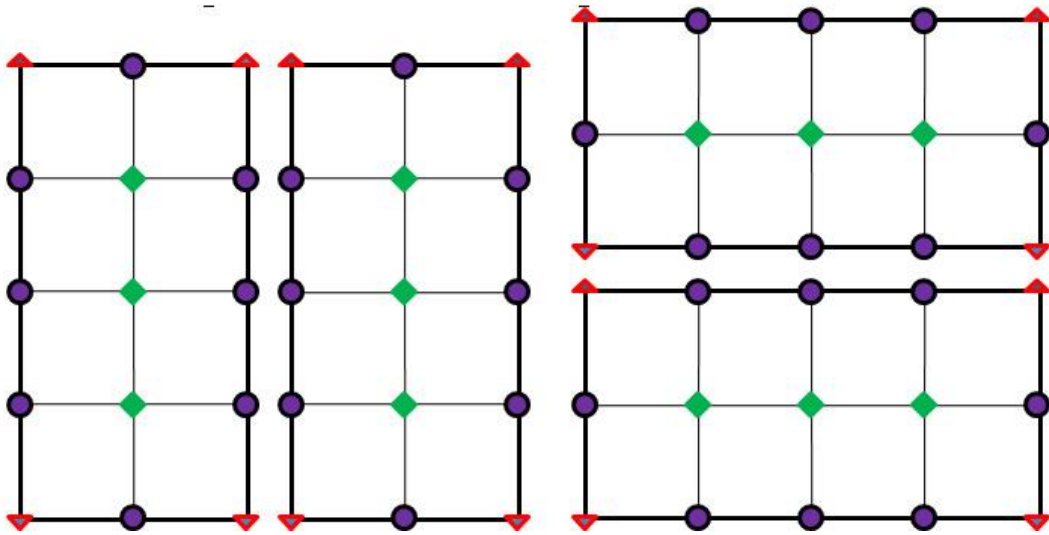


Рисунок 105 – Разбивка квадратов при проектировании наклонной площадки.

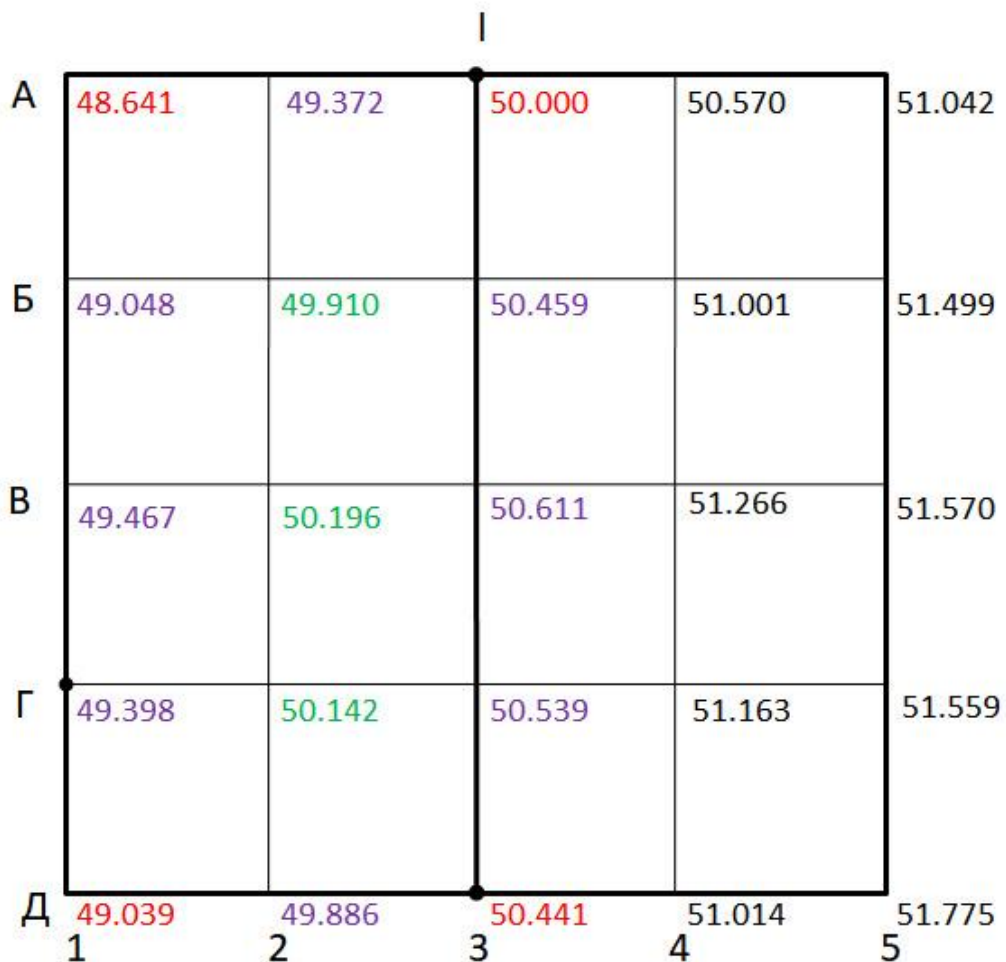


Рисунок 106 – Левая половина восьми квадратов площадки.

Цветом указаны высоты: красным – высоты, принадлежащие одному квадрату; фиолетовым – высоты, принадлежащие двум квадратам; зеленым – высоты, принадлежащие четырем квадратам.

Определяем проектную отметку восьми квадратов левой части площадки – центр тяжести (рис. 107):

$$\begin{aligned} \sum H_1^{B2np} &= 48,641 + 50,0 + 50,441 + 49,039 = 198,121 \\ 2 \times \sum H_2^{B2np} &= 2 \times (49,372 + 49,048 + 49,467 + 49,398 + 49,886 + \\ &\quad 50,539 + 50,611 + 50,459) = 2 \times 398,78 = 797,56 \\ 4 \times \sum H_4^{B2np} &= 4 \times (49,910 + 50,196 + 50,142) = 4 \times 150,248 = \\ &\quad 600,992 \end{aligned}$$

$$H_{B2}^{np} = \frac{\sum H_1^{B2np} + 2 \times \sum H_2^{B2np} + 4 \times \sum H_4^{B2np}}{4 \times n} = \frac{198,121 + 79,56 + 600,992}{4 \times 8} = 49,896$$

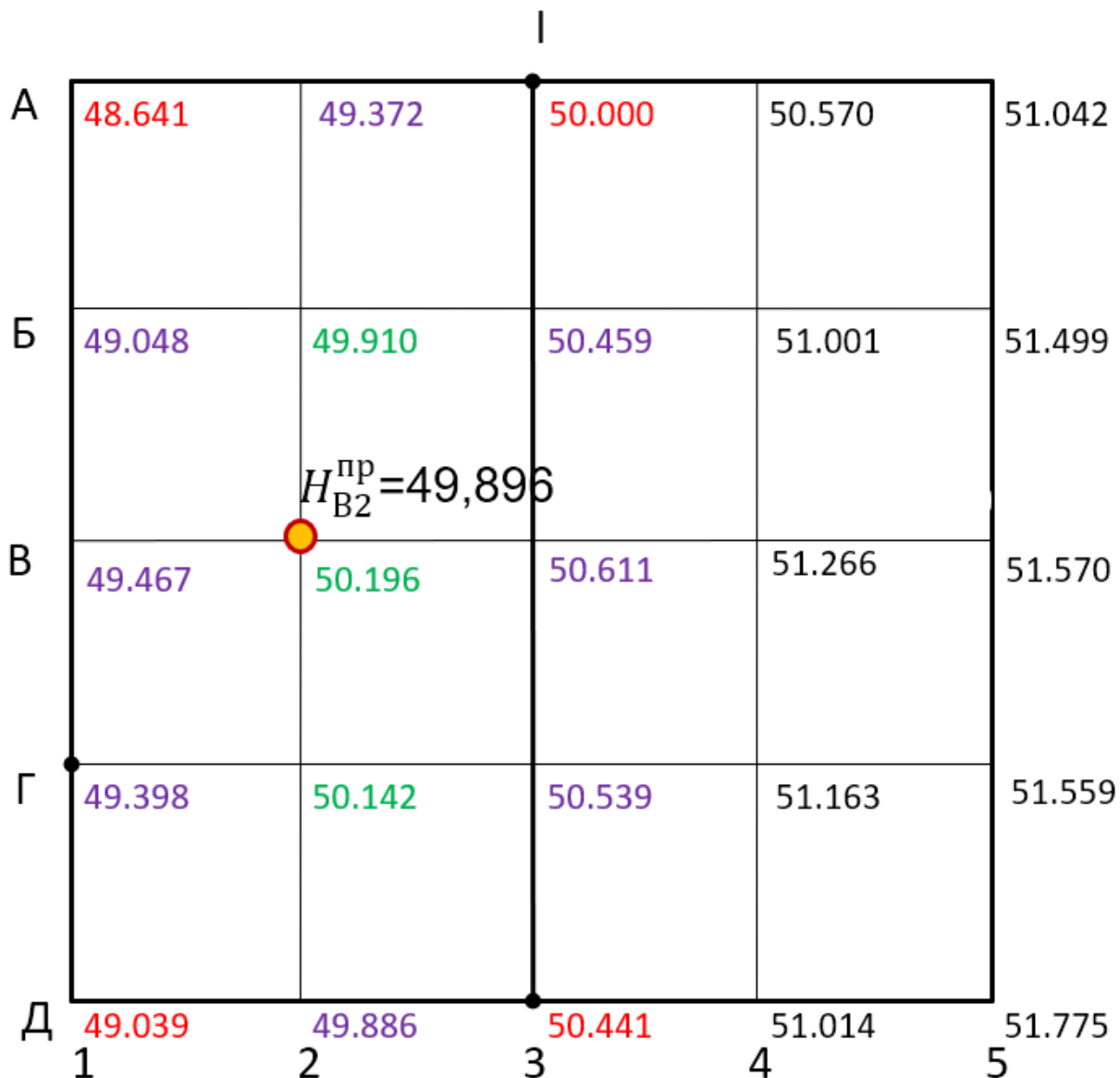


Рисунок 107 – Проектная отметка центра тяжести левой половины квадратов

Аналогичным образом определяем центр тяжести В4 (рис. 108):

$$H_{B4}^{пр} = \frac{203,258 + 815,642 + 613,56}{32} = 51,014$$

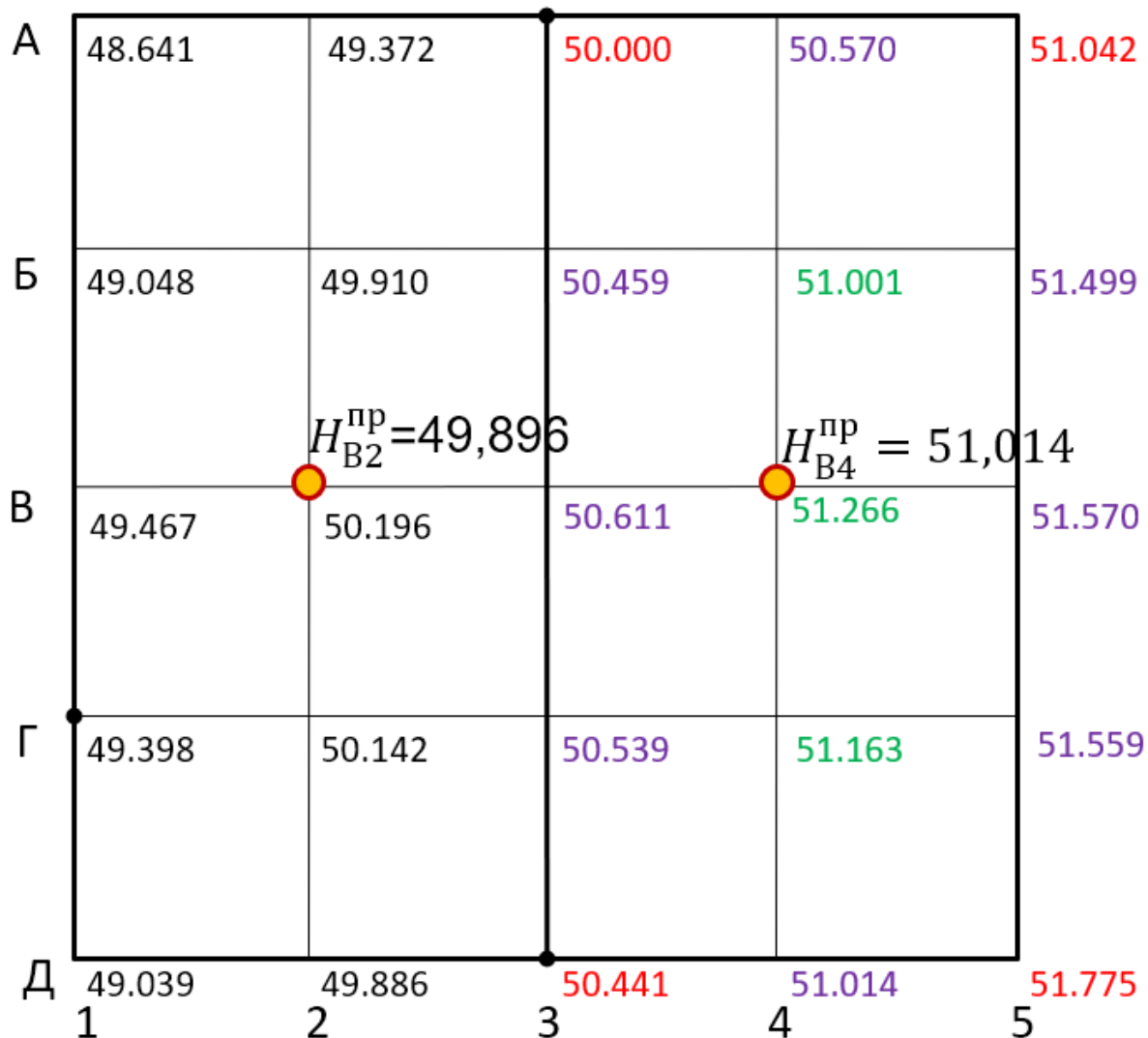


Рисунок 108 – Проектные отметки правой половины квадратов

Для определения центров тяжести БЗ и ГЗ разделим квадраты по линии В (рис. 109). Рассчитаем проектные отметки:

$$H_{B3}^{пр} = \frac{200,72 + 805,124 + 605,48}{32} = 50,354$$

$$H_{Г3}^{пр} = \frac{201,851 + 808,742 + 607,376}{32} = 50,562$$

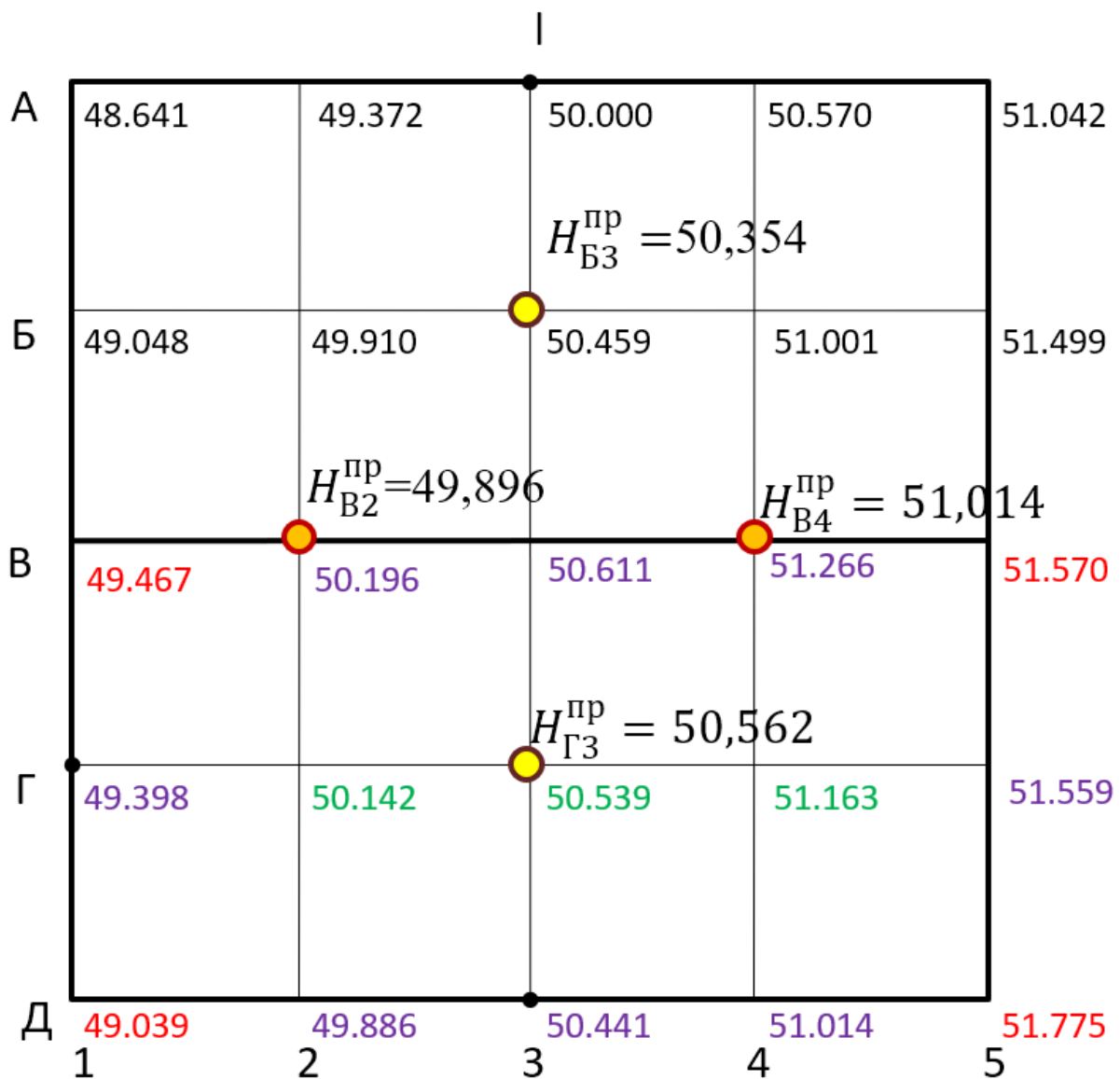


Рисунок 109 – Результаты расчетов проектных отметок верхней и нижней частей сетки квадратов (по линии В).

Определяем центр тяжести всей площадки  $H_0$  (рис. 110):

$$H_0 = \frac{H_{B2}^{пр} + H_{B4}^{пр} + H_{B3}^{пр} + H_{Г3}^{пр}}{n-1} \quad (174)$$

где  $n$  – число центров тяжести

$$H_0 = \frac{49,896 + 51,02 + 50,354 + 50,562}{5 - 1} = \frac{201,826}{4} = 50,456$$

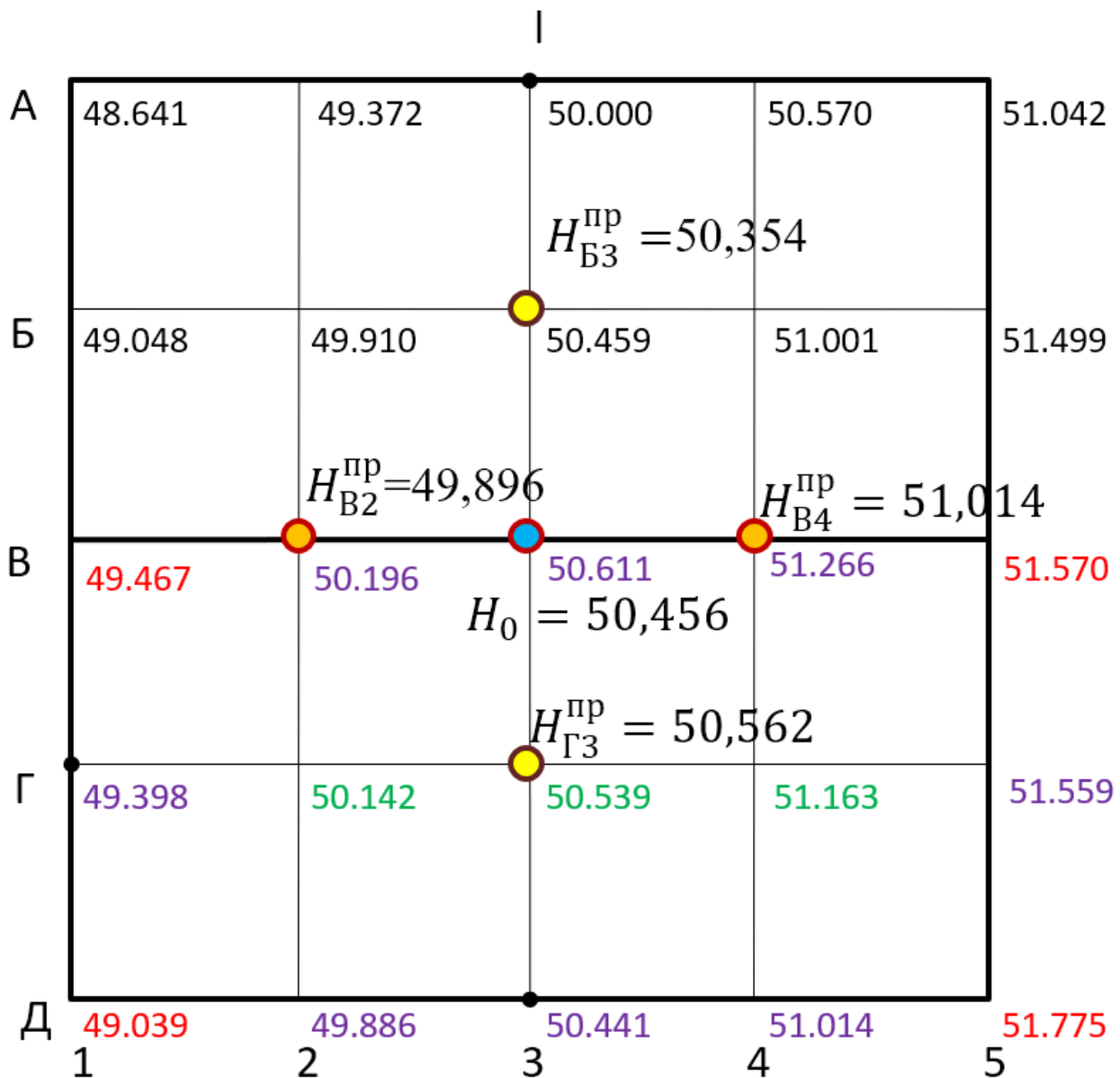


Рисунок 110 – Центры тяжести строительной площадки

Определяем уклоны по линиям Д-А и 5-1:

$$i_{5-1} = \frac{H_{B2}^{пр} - H_{B4}^{пр}}{2 * l} = \frac{49,896 - 51,014}{2 * 40} = -0,014$$

$$i_{Д-А} = \frac{H_{B3}^{пр} - H_{Г3}^{пр}}{2 * l} = \frac{50,354 - 50,562}{2 * 40} = -0,0026$$

Определяем проектные отметки всех вершин квадратов с учетом уклонов по формуле:

$$H_{посл.}^{пр} = H_{пред.}^{пр} + i * d \quad (175)$$

где  $H_{посл.}^{пр}$  – последующая проектная отметка;

$H_{пред.}^{пр}$  – предыдущая проектная отметка;

$i$  – уклон между точками (с учетом направления);

$d$  – длина стороны квадрата (40 метров по условию).

$$\begin{aligned}
 H_{B1}^{пр} &= H_{B2}^{пр} + i_{5-1} \times d = 49,896 + (-0,014) \times 40 = 49,336 \text{ м}; \\
 H_{A3}^{пр} &= H_{B2}^{пр} + i_{Д-А} \times d = 50,354 + (-0,0026) \times 40 = 50,250 \text{ м}; \\
 H_{A3}^{пр} &= H_{B2}^{пр} + i_{Д-А} \times d = 50,354 + (-0,0026) \times 40 = 50,250 \text{ м}; \\
 H_{B5}^{пр} &= H_{B4}^{пр} + i_{5-1} \times d = 51,014 + (-0,014) \times 40 = 51,574 \text{ м}; \\
 H_{Г5}^{пр} &= H_{B5}^{пр} + i_{Д-А} \times d = 51,574 + (0,0026) \times 40 = 51,678 \text{ м}; \\
 H_{Д5}^{пр} &= H_{Г5}^{пр} + i_{Д-А} \times d = 51,678 + (0,0026) \times 40 = 51,782 \text{ м}; \\
 H_{B5}^{пр} &= H_{B5}^{пр} + i_{Д-А} \times d = 51,574 + (-0,0026) \times 40 = 51,470 \text{ м}; \\
 H_{A5}^{пр} &= H_{B5}^{пр} + i_{Д-А} \times d = 51,470 + (-0,0026) \times 40 = 51,336 \text{ м}; \\
 H_{B4}^{пр} &= H_{B4}^{пр} + i_{Д-А} \times d = 51,014 + (-0,0026) \times 40 = 50,910 \text{ м}; \\
 H_{A4}^{пр} &= H_{B4}^{пр} + i_{Д-А} \times d = 50,910 + (-0,0026) \times 40 = 50,806 \text{ м}; \\
 H_{Д3}^{пр} &= H_{Г3}^{пр} + i_{Д-А} \times d = 50,562 + (0,0026) \times 40 = 50,666 \text{ м}; \\
 H_{B2}^{пр} &= H_{B2}^{пр} + i_{Д-А} \times d = 49,896 + (-0,0026) \times 40 = 49,792 \text{ м}; \\
 H_{A2}^{пр} &= H_{B2}^{пр} + i_{Д-А} \times d = 49,792 + (-0,0026) \times 40 = 49,688 \text{ м}; \\
 H_{Г2}^{пр} &= H_{B2}^{пр} + i_{Д-А} \times d = 49,896 + (0,0026) \times 40 = 50,000 \text{ м}; \\
 H_{Д2}^{пр} &= H_{Г2}^{пр} + i_{Д-А} \times d = 50,0 + (0,0026) \times 40 = 50,104 \text{ м}; \\
 H_{B1}^{пр} &= H_{B1}^{пр} + i_{Д-А} \times d = 49,336 + (-0,0026) \times 40 = 49,232 \text{ м}; \\
 H_{A1}^{пр} &= H_{B1}^{пр} + i_{Д-А} \times d = 49,232 + (-0,0026) \times 40 = 49,128 \text{ м}; \\
 H_{Г1}^{пр} &= H_{B1}^{пр} + i_{Д-А} \times d = 49,336 + (0,0026) \times 40 = 49,440 \text{ м}; \\
 H_{Д1}^{пр} &= H_{Г1}^{пр} + i_{Д-А} \times d = 49,440 + (0,0026) \times 40 = 49,554 \text{ м};
 \end{aligned}$$

Проектные отметки подписываются красным цветом (отсюда, их нередко называют *красными отметками*), над горизонтальной разделительной линией квадратов, над абсолютными отметками (рис. 111).

Рабочие отметки показывают какой вид работ необходимо выполнить в том, или ином квадрате, чтобы преобразовать естественный рельеф в проектный. Они рассчитываются как разность проектных и абсолютных высот по формуле:

$$h_{рО} = H_{пр.} - H_{абс} \quad (176)$$

Отрицательный знак рабочей отметки указывает на необходимость срезать грунт, а положительный – произвести отсыпку на указанную высоту рабочей отметки (рис. 112).

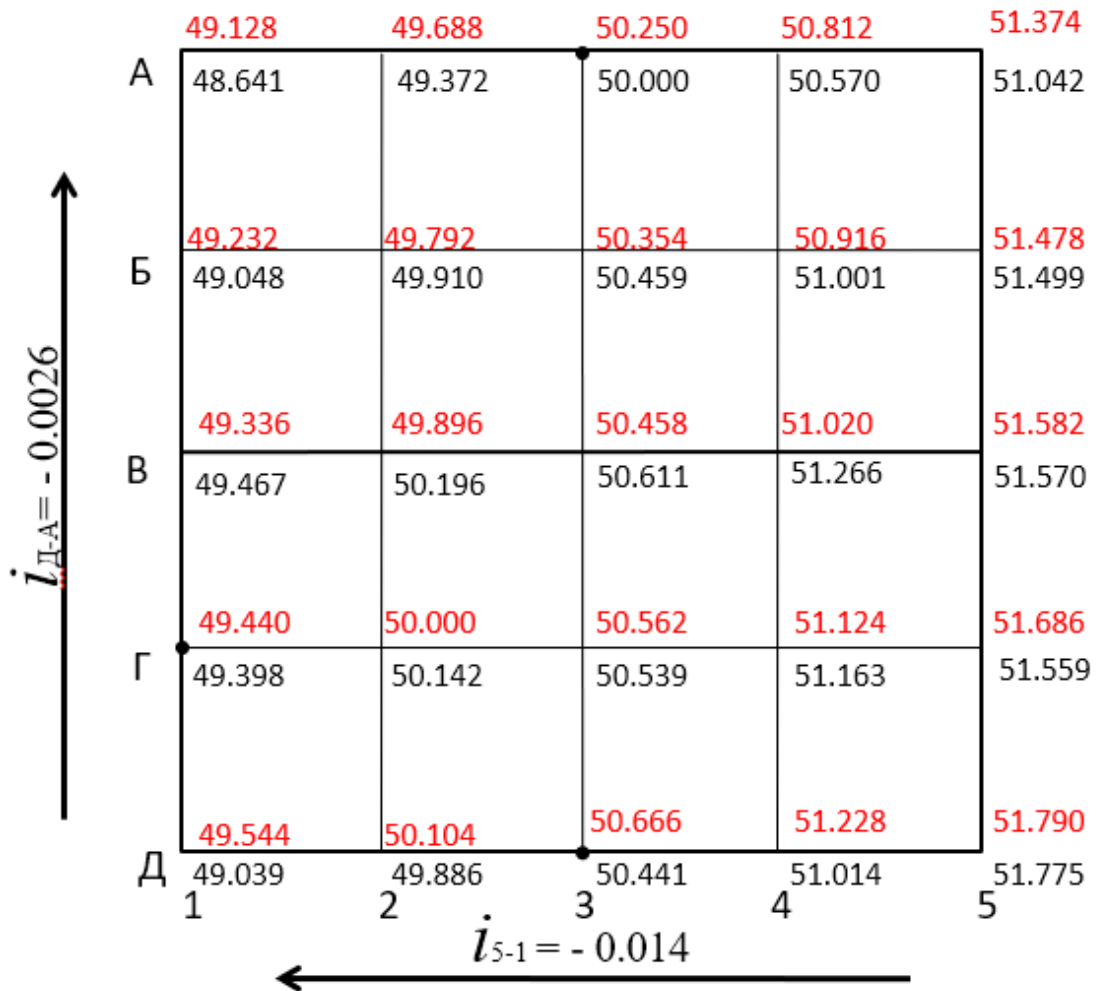


Рисунок 111 – Оформление подписи проектных отметок при проектировании наклонной площадки

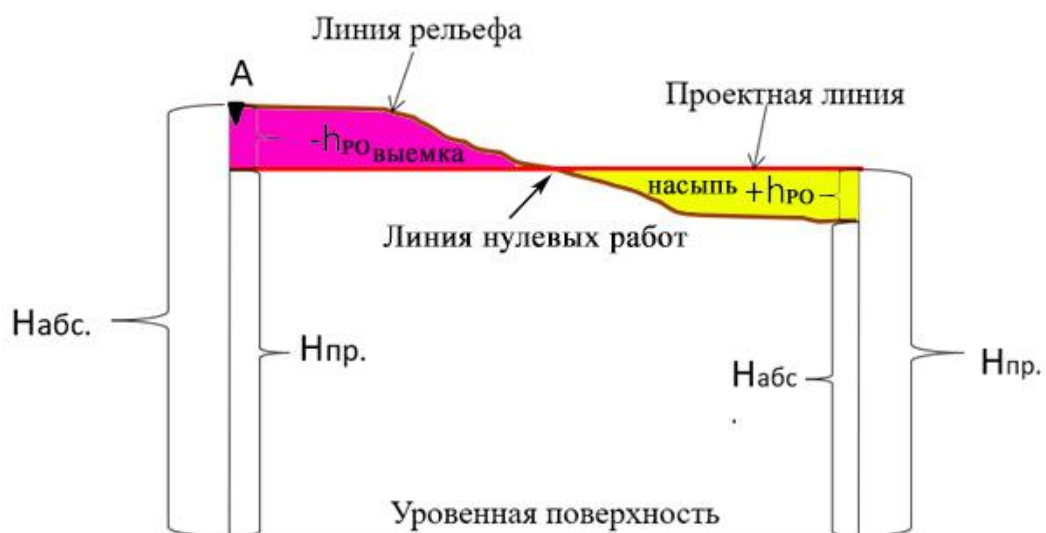


Рисунок 112 – Положение насыпи и выемки на проектируемой плоскости

$$\begin{aligned}
h_{A1}^{PO} &= H_{A1}^{пр.} - H_{A1}^{абс.} = 49,128 - 48,641 = 0,487 \text{ м}; \\
h_{B1}^{PO} &= H_{B1}^{пр.} - H_{B1}^{абс.} = 49,232 - 49,048 = 0,184 \text{ м}; \\
h_{B1}^{PO} &= H_{B1}^{пр.} - H_{B1}^{абс.} = 49,336 - 49,467 = -0,131 \text{ м}; \\
h_{Г1}^{PO} &= H_{Г1}^{пр.} - H_{Г1}^{абс.} = 49,44 - 49,398 = 0,042 \text{ м}; \\
h_{Д1}^{PO} &= H_{Д1}^{пр.} - H_{Д1}^{абс.} = 49,544 - 49,039 = 0,505 \text{ м}; \\
h_{A2}^{PO} &= H_{A2}^{пр.} - H_{A2}^{абс.} = 49,688 - 49,372 = 0,316 \text{ м}; \\
h_{B2}^{PO} &= H_{B2}^{пр.} - H_{B2}^{абс.} = 49,792 - 49,91 = -0,118 \text{ м}; \\
h_{B2}^{PO} &= H_{B2}^{пр.} - H_{B2}^{абс.} = 49,896 - 50,196 = -0,300 \text{ м}; \\
h_{Г2}^{PO} &= H_{Г2}^{пр.} - H_{Г2}^{абс.} = 50,0 - 50,142 = -0,142 \text{ м}; \\
h_{Д2}^{PO} &= H_{Д2}^{пр.} - H_{Д2}^{абс.} = 50,104 - 49,886 = 0,218 \text{ м}; \\
h_{A3}^{PO} &= H_{A3}^{пр.} - H_{A3}^{абс.} = 50,25 - 50,0 = 0,250 \text{ м}; \\
h_{B3}^{PO} &= H_{B3}^{пр.} - H_{B3}^{абс.} = 50,354 - 50,459 = -0,105 \text{ м}; \\
h_{B3}^{PO} &= H_{B3}^{пр.} - H_{B3}^{абс.} = 50,456 - 50,611 = -0,155 \text{ м}; \\
h_{Г3}^{PO} &= H_{Г3}^{пр.} - H_{Г3}^{абс.} = 50,562 - 50,539 = 0,023 \text{ м}; \\
h_{Д3}^{PO} &= H_{Д3}^{пр.} - H_{Д3}^{абс.} = 50,666 - 50,441 = 0,225 \text{ м}; \\
h_{A4}^{PO} &= H_{A4}^{пр.} - H_{A4}^{абс.} = 50,806 - 50,570 = 0,236 \text{ м}; \\
h_{B4}^{PO} &= H_{B4}^{пр.} - H_{B4}^{абс.} = 50,910 - 51,001 = -0,091 \text{ м}; \\
h_{B4}^{PO} &= H_{B4}^{пр.} - H_{B4}^{абс.} = 51,014 - 51,266 = -0,252 \text{ м}; \\
h_{Г4}^{PO} &= H_{Г4}^{пр.} - H_{Г4}^{абс.} = 51,118 - 51,163 = -0,045 \text{ м}; \\
h_{Д4}^{PO} &= H_{Д4}^{пр.} - H_{Д4}^{абс.} = 51,222 - 51,014 = 0,208 \text{ м}; \\
h_{A5}^{PO} &= H_{A5}^{пр.} - H_{A5}^{абс.} = 51,366 - 51,042 = 0,324 \text{ м}; \\
h_{B5}^{PO} &= H_{B5}^{пр.} - H_{B5}^{абс.} = 51,470 - 51,499 = -0,029 \text{ м}; \\
h_{B5}^{PO} &= H_{B5}^{пр.} - H_{B5}^{абс.} = 51,574 - 51,570 = 0,004 \text{ м}; \\
h_{Г5}^{PO} &= H_{Г5}^{пр.} - H_{Г5}^{абс.} = 51,678 - 51,559 = 0,119 \text{ м}; \\
h_{Д5}^{PO} &= H_{Д5}^{пр.} - H_{Д5}^{абс.} = 51,782 - 51,775 = 0,007 \text{ м};
\end{aligned}$$

Результаты расчеты рабочих отметок переносятся в проект вертикальной планировки. В большинстве требований строительных работ требуется округление расчетов до сантиметра, поэтому рабочие отметки округляются до сотых долей метра (рис. 113). Значения красных, черных и рабочих отметок указывают в вершинах геодезической сетки: черная отметка в нижнем правом углу каждой вершины (черным цветом), красная отметка в правом верхнем углу вершины (красным цветом), рабочая отметка в верхнем левом углу вершины.

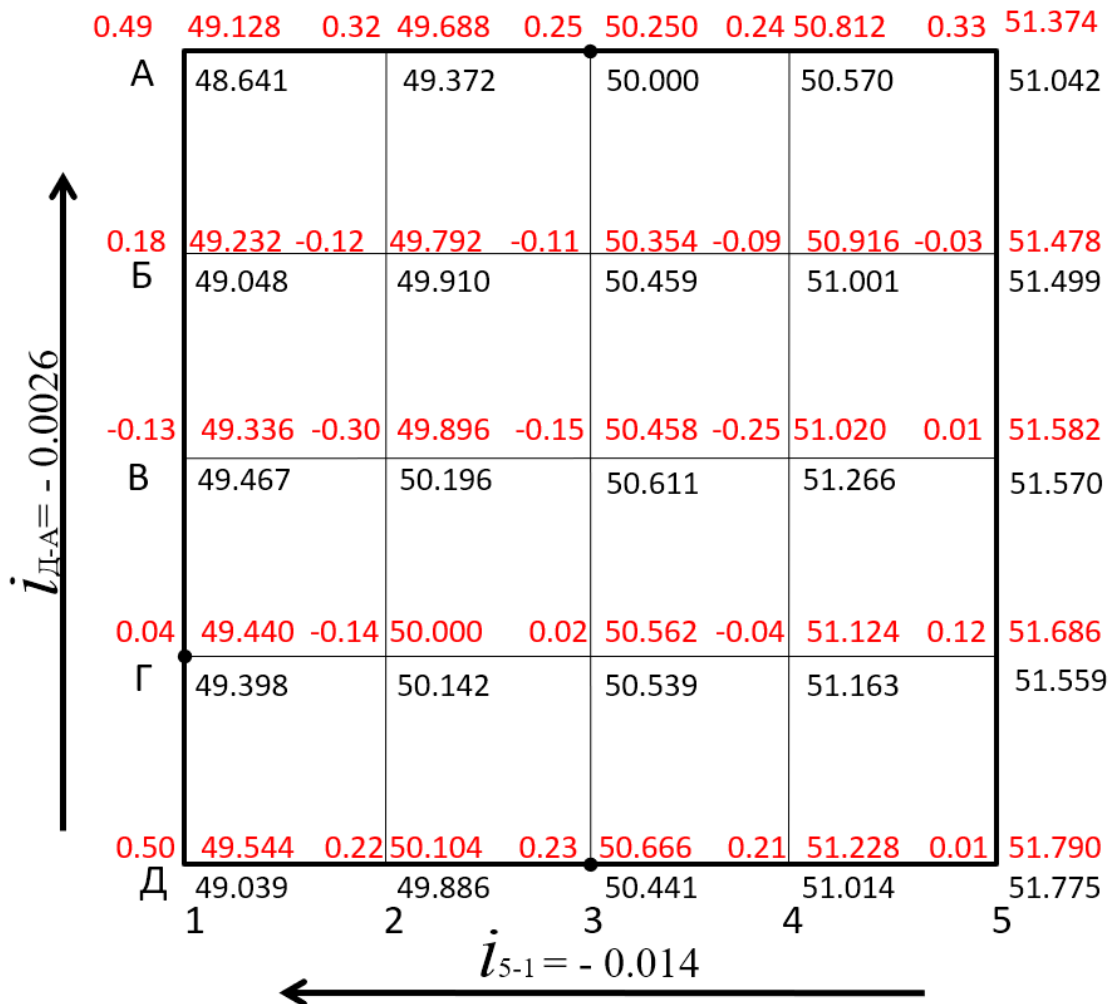


Рисунок 113 – Передача вычисленных рабочих, абсолютных и проектных отметок в проект вертикальной планировки.

На следующем этапе необходимо рассчитать *линию нулевых работ* – линия на местности, в пределах которой проектные и абсолютные отметки равны (рис. №), то есть место разграничения насыпи и выемки. Строится она по «нулевым точкам», располагаемым на отрезках прямых между точками (вершинами углов) с рабочими отметками разных знаков методами линейной интерполяции графически или аналитически.

*Аналитический способ определения рабочих отметок.* В этом случае, координаты точек с нулевыми рабочими отметками рассчитываются по формуле:

$$l_{1(2)} = \frac{d \times |h_{P01}|}{|h_{P01}| + |h_{P02}|} \quad (177)$$

где  $d$  – длина стороны квадрата;

$h_{p0,2}$  – рабочие отметки на сторонах квадрата, от которых ведется отсчет.

Например, определим положение линии нулевых работ на стороне B1–B1. Выбор стороны обусловлен противоположными знаками рабочих отметок  $h_{B1}^{p0} = 0,14$  м, а  $h_{B1}^{p0} = -0,13$ . Очевидно, что на сторонах с одинаковыми значениями знаков («плюс-плюс» или «минус-минус») линии нулевых работ нет. Тогда определяемся с движением от угла B1 к углу B1,

$$l_1 = \frac{d \times |h_{B1}^{p0}|}{|h_{B1}^{p0}| + |h_{B1}^{p0}|} = \frac{40 * |0,14|}{|0,14| + |-0,13|} = 20,74 \text{ м}$$

Следовательно, 20,27 м необходимо отмерить от угла B1 по стороне квадрата к углу B1. При переносе на чертеж необходимо перевести эти данные с учетом масштаба. В данном случае, масштаб составляет 1: 1000, или в 1 см 10 м, отмеряется расстояние 2 см. по стороне квадрата.

Так рассчитываются все стороны квадрата, имеющие противоположные знаки рабочих отметок, на линии нулевых работ ставятся засечки, по которым строиться и сама линия.

*2. Графический метод определения линии нулевых работ.* В этом случае устанавливают линию графической интерполяцией (рис. 114).

На геодезической сетке определяют граничные вершины, у которых рабочие отметки имеют разные знаки. От рассматриваемых граничных вершин отметок в масштабе отмеряют отрезки в масштабе рабочих отметок с заранее принятым положением относительно стороны квадрата (например, вверх откладывается положительное значение, а вниз отрицательное), где определяются точки нулевых работ. Пересечение линии квадрата с линией, соединяющей рабочие отметки разных знаков, является точкой с нулевой рабочей отметкой.

Соединив все точки с нулевыми значениями рабочих отметок, получают линию нулевых работ. Нумеруем квадраты слева направо, начиная с A1 (рис. 116). Желтым цветом закрашивается насыпь, розовым – выемка.

Объем земляных работ вычисляют отдельно для выемки и насыпи.

Объем грунта в четырехгранной призме определяют по формуле:

$$V = \frac{\sum |h_{p0}|}{n} \times S, \quad (178)$$

где  $\sum h_{p0}$  – сумма рабочих отметок;

n – количество сторон фигуры;

S – площадь квадрата.

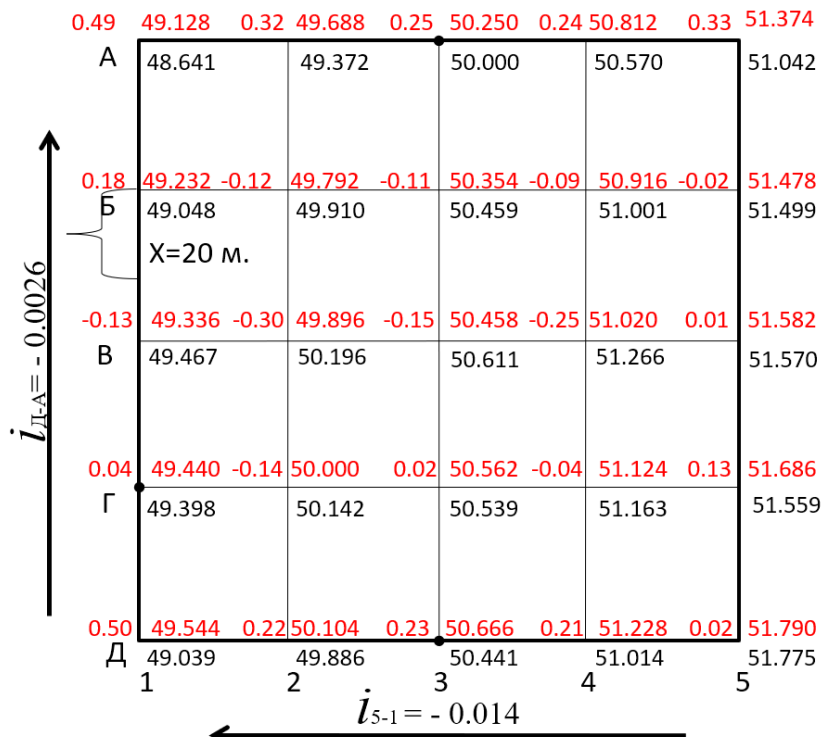


Рисунок 114 – Пример определения положения линии нулевых работ аналитическим способом

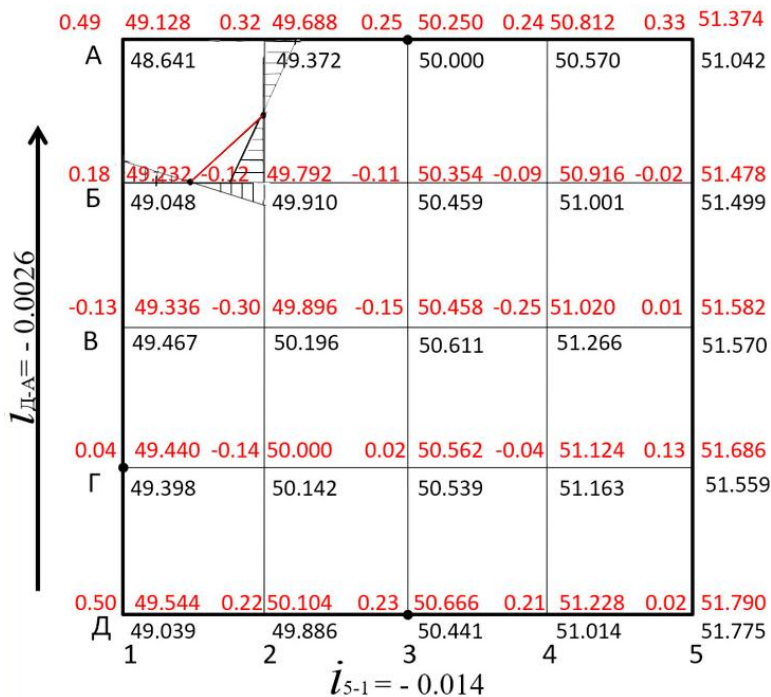


Рисунок 115 – Графический способ определения линии нулевых работ

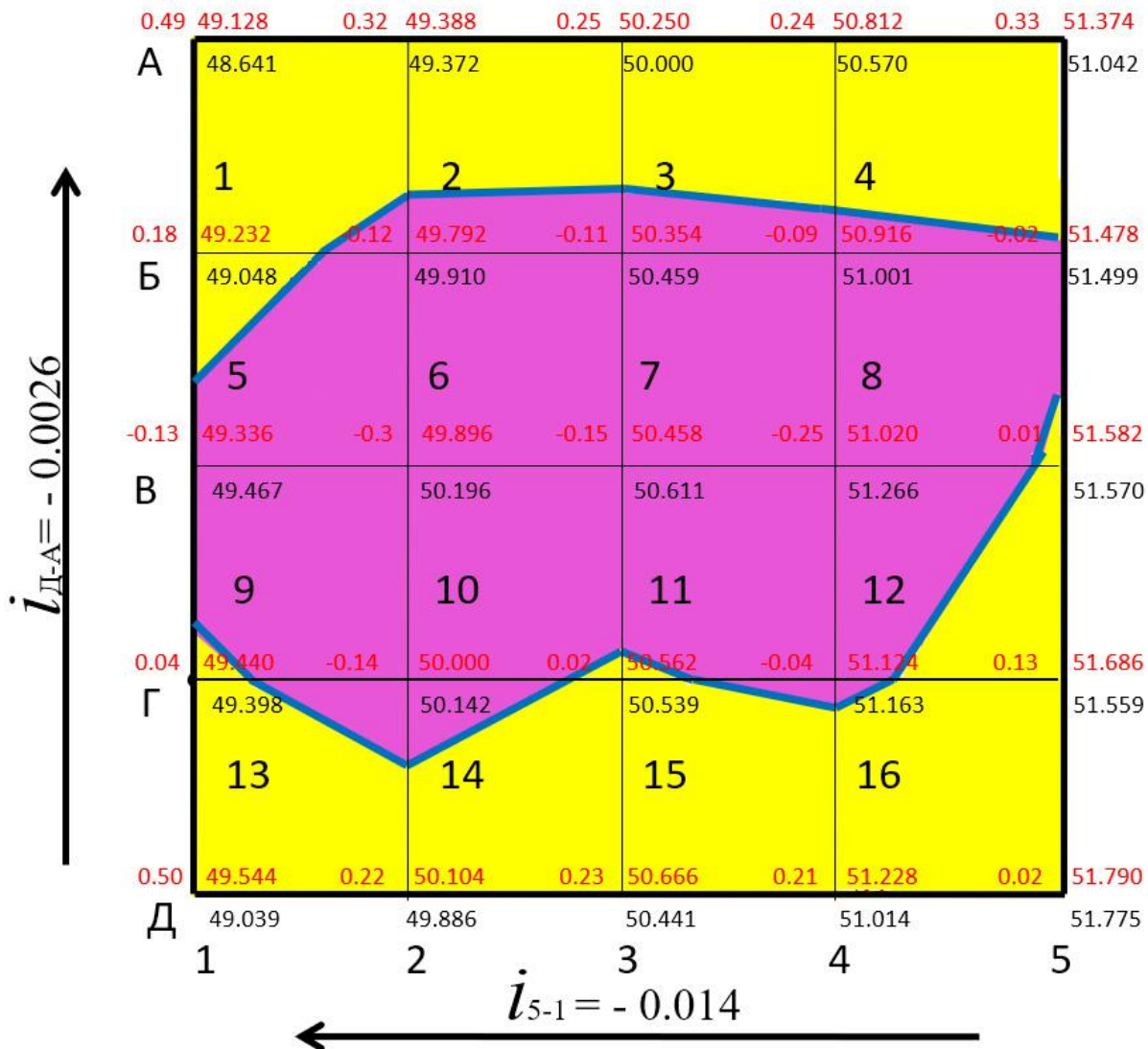


Рисунок 116 – Положение линии нулевых работ в проекте вертикальной планировки

Так, для примера рассмотрим определение объема выемки квадрата №6:

1. Определяем среднюю высоту фигуры:

$$\overline{h_{\square}^{PO}} = \frac{\sum h_{PO}}{4} = \frac{|-0,12| + |-0,11| + |-0,15| + |-0,3|}{4} = 0,17 \text{ м}$$

2. Вычисляет площадь квадрата:

$$S_{\square} = d^2 = 40^2 = 1600 \text{ м}^2$$

3. Рассчитываем объем выемки квадрата №6:

$$V = \frac{\sum h_{PO}}{4} \times S = 0,17 \times 1600 = 272 \text{ м}^3.$$

В случаях, когда в квадрате имеется и насыпь и выемка, необходимо оценить объем насыпи и выемки отдельно. Например, квадрат

№1 разбивается на треугольник выемки и пятиугольник насыпи. Определим среднюю высоту фигур:

$$\overline{h_{\Delta}^{PO}} = \frac{\sum h_{PO}}{3} = \frac{|0| + |0| + |-0,12|}{3} = 0,04 \text{ м}$$

Необходимо обратить внимание на то, что точки линии нулевых работ также считаются за «нуль» рабочих отметок треугольника.

Аналогичным образом рассчитывается средняя рабочая отметка для оставшегося пятиугольника насыпи:

$$\overline{h_{\square}^{PO}} = \frac{\sum h_{PO}}{5} = \frac{|0,18| + |0,49| + |0,32| + |0| + |0|}{5} = 0,2 \text{ м.}$$

Рассчитываем площадь фигуры, прибегая к результатам расчета расстояний до линии нулевых работ по соответствующим сторонам (в нашем случае Б1–Б2 и А2–Б2).

$$S_{\Delta} = \frac{a \times b}{2} = \frac{16 \times 10,67}{2} = 85,36 \text{ м}^2,$$

где  $a$ ,  $b$  – катеты прямоугольного треугольника.

Площадь пятиугольника можно рассчитать из площадей квадрата и треугольника:

$$S_{\square} = S_{\square} - S_{\Delta} = 1600 - 85,36 = 1514,64 \text{ м}^2.$$

Определяем высоту насыпи и выемки:

$$V_{\Delta} = \overline{h_{\Delta}^{PO}} \times S_{\Delta} = 0,04 \times 85,36 = 3,41 \text{ м}^3;$$

$$V_{\square} = \overline{h_{\square}^{PO}} \times S_{\square} = 0,2 \times 1514,64 = 302,93 \text{ м}^3.$$































Все полученные сведения вносятся к ведомость вычисления объемов земляных работ (табл. 17).

После подсчетов объемов для отдельных квадратов определяют общий объем насыпи  $V_H$  и выемки  $V_B$  с оценкой баланса земляных работ  $m$  по формуле:

$$m = \frac{\sum V_H - \sum V_B}{\sum V_H + \sum V_B} \times 100 \% \quad (179)$$

где  $\sum V_H$ ;  $\sum V_B$  – сумма объемов насыпи и выемки соответственно.

Таблица 17 – Ведомость вычисления объемов земляных работ

№ Квадрата	Вид фигуры		Площадь (м <sup>2</sup> )		Средние рабочие отметки (м)		Объем (м <sup>3</sup> )	
	Н	В	Н	В	Н	В	Н	В
1			1514.64	85.36	0.2	0.04	302.93	3.41
2								
3								
4								
5								
6	-							
7	-							
8								
9								
10								
11								
12								
13								
14								
15								
16								

Значение, баланса земляных работ не должно превышать 3%. Результаты расчетов вносятся внизу таблицы ведомости вычисления объемов земляных масс.

### Контрольные вопросы

1. Какие основные способы нивелирования поверхности используются в зависимости от характера рельефа и площади участка?
2. В каких условиях применяется способ магистрального хода с поперечниками?
3. Какой способ нивелирования используется при съемках строительных площадок на равнинной местности?
4. Какие параметры определяют размеры квадратов при нивелировании по квадратам?
5. Как определяется допустимая невязка в нивелирном ходе?

6. Как вычисляются абсолютные отметки точек при нивелировании по квадратам?
7. Что такое горизонт прибора (ГП) и как он вычисляется?
8. Как определяется проектная отметка центра тяжести площадки при вертикальной планировке?
9. Как рассчитываются рабочие отметки при вертикальной планировке?
10. Что такое линия нулевых работ и как она определяется?
11. Как вычисляется объем земляных работ для выемки и насыпи?
12. Как определяется баланс земляных работ и какое значение считается допустимым?
13. Какие методы используются для определения линии нулевых работ?
14. Как рассчитывается объем земляных работ для квадрата, где есть и насыпь, и выемка?
15. Какие данные указываются в вершинах геодезической сетки при оформлении проекта вертикальной планировки?

## 14 СОСТАВЛЕНИЕ ТОПОГРАФИЧЕСКОГО ПЛАНА УЧАСТКА МЕСТНОСТИ

План

14.1 Изображение рельефа местности горизонталями

14.2 Построение графика заложений.

14.3 Проложение линии с заданным уклоном.

14.4 Оформление топографического плана.

### 14.1 Изображение рельефа местности горизонталями

Существует два способа построения горизонталей графический и аналитический.

При графическом способе строится палетка, т. е. проводится ряд параллельных линий через 1 или 0.5 см. Производится оцифровка палетки. Для этого на сетке квадратов выбирается наименьшая отметка, такой отметкой в нашем варианте является отметка точки  $H_{A1} = 51.10$  м (рис. 117).

Оцифровку начинаем с числа, которое меньше, наименьшей отметки и нацело, делиться на 0.5 метра (высота сечения рельефа в данном задании). Таким числом является 51.00 м. Оцифровку производим через 0.5 м. На перпендикулярах, восстановленных из вершин квадратов, последовательно, откладываем значения отметок, по линии Г. Соединив полученные точки, получаем ломаную линию. Ее пересечение с линиями палетки, дает положение горизонталей на линиях палетки (рис. 117). Опустив перпендикуляры из точек пересечения на линию Г, определяем на ней положение горизонталей. Числовое значение горизонтали равно, числовому значению линии палетки, с которой опущен перпендикуляр. Аналогичным образом находим положение горизонталей на линиях В, Б, и А.

При более сложном рисунке рельефа, линии палетки строятся также параллельно линиям 1 или 5 и находится положение горизонталей на осях 1; 2; 3; 4; 5. В нашем варианте подобных построений не требуется. Соединяя точки с одинаковыми отметками, строим горизонтали. Горизонтالي наносятся коричневым цветом. Подписываем только целые четные горизонтали, верх цифры направлен в сторону увеличения рельефа. Можно рекомендовать студентам построить горизонтали на отдельном листе, а затем перенести их на план. Необходимо обратить внимание на порядок нумерации квадратов на абрисе и на схеме нивелирования.



Разделив  $h_1$  на  $i$ , получаем расстояние от т. А до горизонтали 53.5 в миллиметрах.

$$X_1 = \frac{h_1}{i} = \frac{0,18}{0,018} = 10 \text{ мм}$$

Откладываем полученное расстояние от точки А и получаем положение горизонтали на линии АВ. Аналогичным образом определяем положение горизонтали 54.5.

$$h_2 = H_B - 54.5 = 54.802 - 54.5 = 0.302$$

$$X_2 = \frac{h_2}{i} = \frac{0,302}{0,018} = 16,8 \text{ мм}$$

Отложив (16.8 мм.) от точки В, определяем положение горизонтали 54.5 на линии АВ.

Положение 54 горизонтали на линии АВ можно найти, разделив расстояние между горизонталями 53.5 и 54.5 пополам.

Если между точками проходит значительное количество горизонталей, то расстояние между ними можно определить, разделив высоту сечения рельефа (в нашем варианте 0.5 м) на  $i$ . Аналогичным образом определяем положение горизонталей на линиях ВD, АС и СD. Соединив, точки с одинаковыми отметками строим горизонтали (рис. 118).

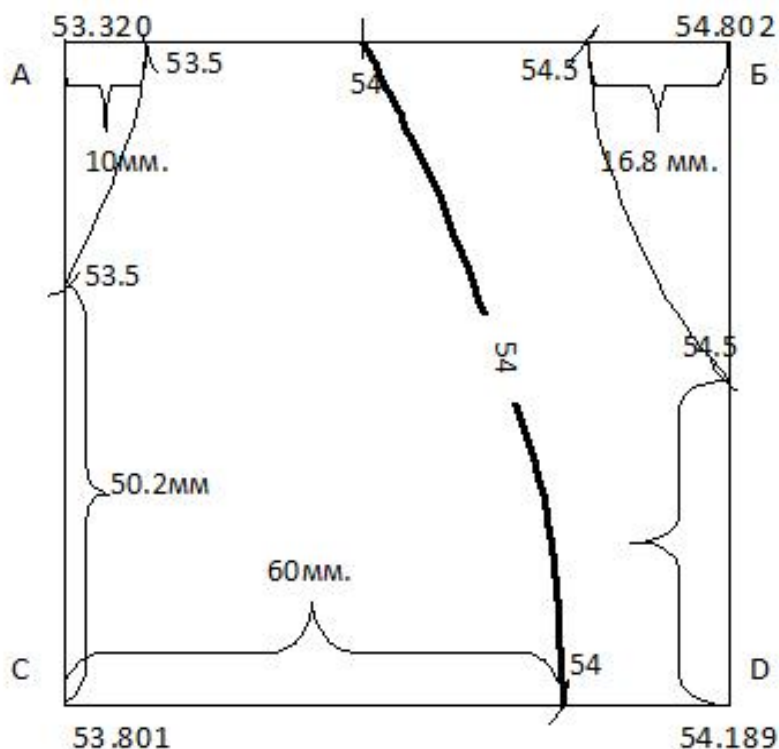


Рисунок 118 – Построение горизонталей аналитическим способом.

## 14.2 Построение графика заложения

На свободном месте плана (желательно в нижнем правом углу) строится график заложения для определения углов наклона или уклонов. Уклон определяется по формуле 180:

$$i = \tan \gamma = \frac{h}{d}, \quad (180)$$

где  $h$  – высота сечения (в нашем варианте  $h = 0.5$  м),

$d$  – расстояние между горизонталями на плане по которому определяется уклон.

Из предыдущей формулы можно вывести, что  $d = h/\text{tg}\gamma$ .  $h$  – величина постоянная равная 0.5 м., поэтому величина  $d$  будет зависеть только от изменения  $\text{tg} = i$ . Построение графика заложения производим в следующем порядке:

а. На горизонтальной оси графика откладываем 9-10 равных отрезков длиной 1 см. Из концов отрезков восстанавливаем перпендикуляры.

б. Под границами отрезков подписываем значения уклонов, начиная с 0.01.

в. Находим значения  $d$  для каждого уклона. Например:  $i = 0.01$ ,  $h=0.5$  м., тогда  $d = h / i = 0.5 / 0.01 = 50$  м.

г. В 1:500 масштабе откладываем величину  $d$  по перпендикулярам: 50 м. в 1:500 масштабе равно 10 см.

д. Вычисляем оставшиеся расстояния  $d$  и откладываем их в масштабе на графике.

Полученные точки соединяем плавной линией (рис. 119).

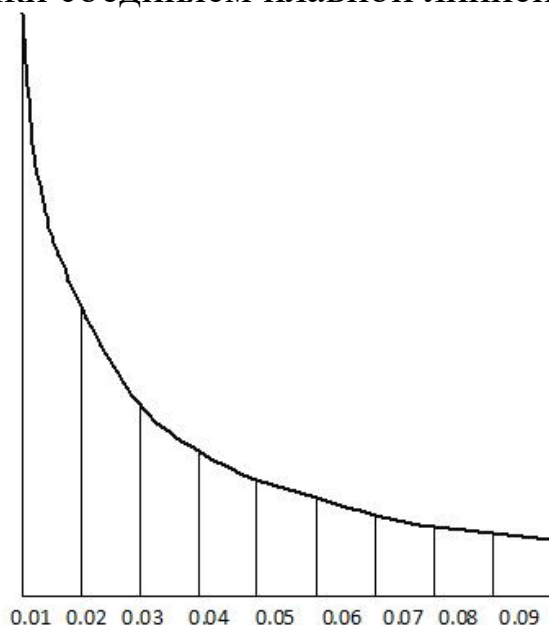


Рисунок 119 – График заложений для определения уклонов

График заложения может быть направлен в другую сторону, если поменять направление смены значений уклонов на обратное. Это связано с удобством его размещения на плане, так как свободное место для графика может быть, как в правом, так и в левом углу плана.

### 14.3 Проложение линии с заданным уклоном

Построение на плане линии заданного уклона. На плане масштабом 1:25 000 с высотой сечения рельефа  $h = 5$  м из точки А построить линию с уклоном  $i = 8,0 \%$ . Решение этой задачи сводится к определению горизонтального проложения(заложения) на плане  $d$ . Горизонтальное проложение на местности  $d$  определяют по формуле

$$d = \frac{h}{i} = \frac{5}{0.008} = 625 \text{ м.}$$

Горизонтальное проложение на плане масштаба 1:25 000 равно  
 $D = 625 \text{ м} \div 250 \text{ м} = 2,5 \text{ см.}$

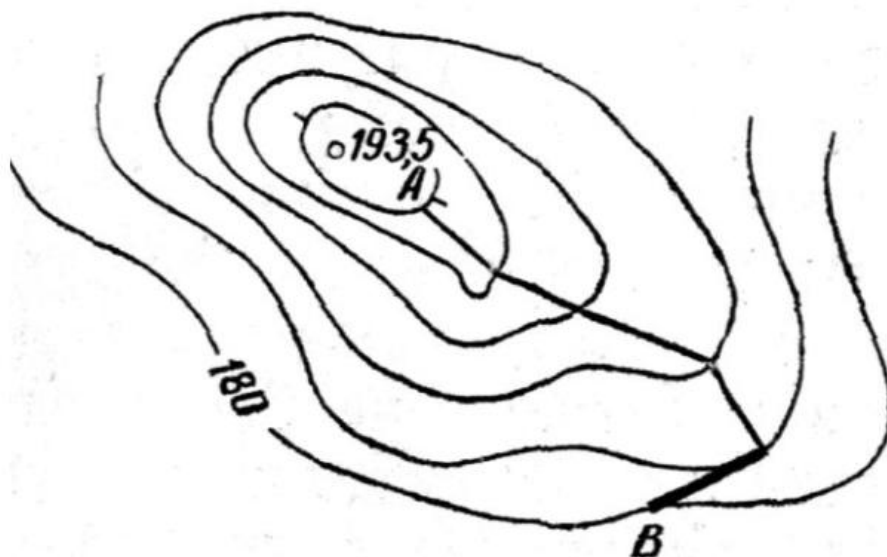


Рисунок 120 – Съема поиска линии заданного уклона

Раствором измерителя равным 2,5 см делаем засечки на смежных горизонталях в заданном направлении. Прямая, соединяющая точки А и В, и будет линия заданного уклона (рис. 120).

## 14.4 Оформление топографического плана

Окончательно оформляем план топографической съемки. Вокруг линии координатной сетки на расстоянии 1,4 см. проводим вторую линию толщиной 2 мм. Убираем все вспомогательные линии. Линии координатной сетки, заменяем на перекрестье, с размерами 1×1 см, выполненные зеленым цветом.

Убираем линии теодолитного хода, оставляя лишь его вершины. Сетку квадратов геометрического нивелирования заменяем точками, расположенными на вершинах квадратов с подписанными абсолютными отметками. Строим на плане горизонтали, которые показываем коричневым цветом. Все контуры и рельеф, изображаемые на плане, вычерчиваются цветной тушью. При этом необходимо выдержать очертания и размеры согласно условным знакам, приведенным для масштаба 1:500 (табл. 18).

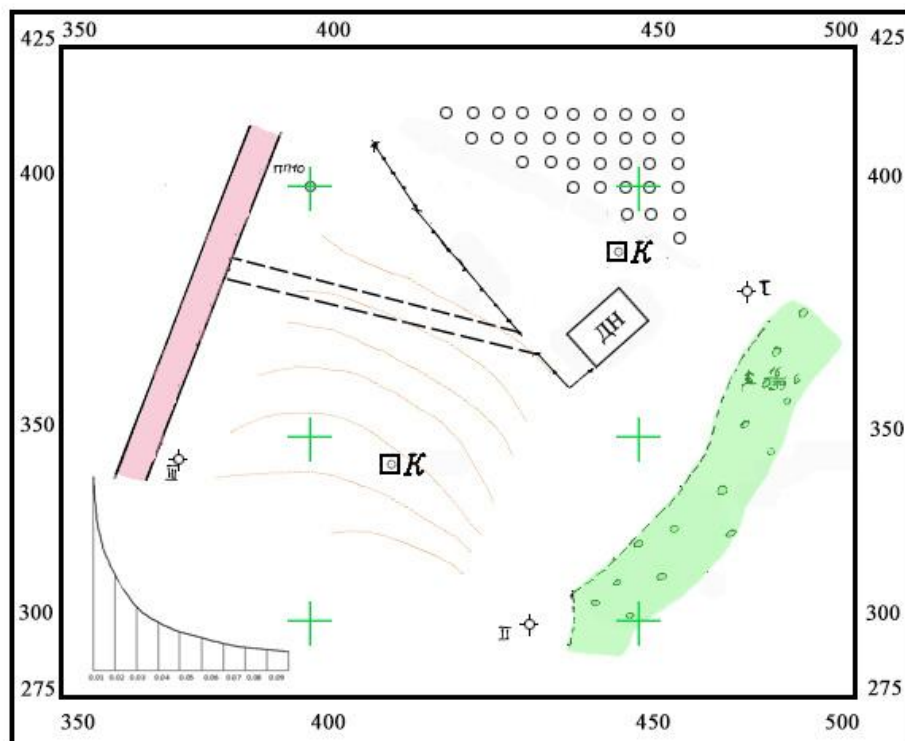


Рисунок 121 – Топографический план участка. Масштаб 1:500

Окончательно оформляем топографический план участка, вынося на него зарамочное оформление (рис. 121).

## Контрольные вопросы

1. Какие существуют способы построения горизонталей на топографическом плане?
2. В чём заключается графический способ построения горизонталей и как он выполняется?
3. Как осуществляется построение горизонталей аналитическим способом?
4. Что такое палетка и как она используется при построении горизонталей?
5. Как определяется положение горизонтали между двумя точками с известными отметками?
6. Для чего строится график заложений и как он используется на топографическом плане?
7. Как рассчитывается и строится график заложений по заданной высоте сечения рельефа?
8. Что такое заложение и как оно связано с крутизной ската?
9. Как на топографическом плане проложить линию с заданным уклоном?
10. Как определить горизонтальное проложение (заложение) по заданному уклону и высоте сечения?
11. Какие элементы входят в зарамочное оформление топографического плана?
12. Какие условные знаки и цвета используются при оформлении топографического плана?
13. Как правильно подписываются абсолютные и проектные («красные») отметки на плане?
14. Какие требования предъявляются к точности построения координатной сетки на топографическом плане?
15. Какие этапы включает в себя окончательное оформление топографического плана участка местности?

Таблица 18 – Требования к оформлению условных знаков на топографической карте

Изображения на планах	Названия.	Цвет изображения.	Размеры в мм.
	а. Точка плановой сети и ее номер. б. Вершина теодолитного хода и ее номер.	Черный.	
• 79.13	Абсолютная отметка точки	Черный	• d = 1
+	Пересечение координатных линий	Зеленый	⊕
	Дорога асфальтированная.	Край черный. Внутри отмывка розовым.	Ширина дороги показана в масштабе.
	Дорога грунтовая	Черный	Ширина дороги показана в масштабе.
	Здание каменное жилое	Черный	Размеры даны в масштабе.
	Постройка каменная нежилая.	Черный	Размеры даны в масштабе.
	выгон	Черный	
	Луг	Черный	
	Одинокое дерево	Черный	
	Границы контуров имеющих извилистые формы: Граница леса, граница луга.	Черный	
	Кустарник	Черный	
	Колодец	Черный	диаметр 1,2 мм
	Лес хвойный	Черный, фон зеленый	

## 15 ЗАДАЧИ, РЕШАЕМЫЕ НА ТОПОГРАФИЧЕСКИХ КАРТАХ И ПЛАНАХ

План

15.1 Определение высоты сечения рельефа.

15.2 Определение отметок горизонталей по отметкам точек и высоте сечения рельефа.

15.3 Измерение высоты точки и крутизны ската.

15.4 Построение продольного профиля рельефа.

15.5 Проведение водораздельной линии. Оконтуривание водосборного бассейна.

### 15.1 Определение высоты сечения рельефа

Расстояние по высоте между соседними горизонталями называют высотой сечения рельефа  $h_c$ , а горизонтальные расстояния между горизонталями, измеренные на плане или карте в масштабе, называют *заложениями*.

В зависимости от масштаба, характера рельефа и назначения карты высоту сечения принимают равной 0,2; 0,25; 0,5; 1; 2; 2,5; 5; 10; 20; 25; 50; 100; 200; 250 и 500 метров. Отметки горизонталей кратны высоте сечения рельефа для данного плана или карты. Для удобства чтения а горизонталях ставят *бергштрихи* (черточки), показывающие направление стока воды. Отметки горизонталей пишут в разрыве их так, чтобы основание цифр было обращено в сторону понижения местности. Каждую четвертую или пятую горизонталь утолщают. На карте высоту сечения рельефа подписывают под диаграммой линейного масштаба с записью: «Сплошные горизонтالي проведены через  $h$  метров».

Слово «сплошные» применяют потому, что на картах, кроме сплошных горизонталей, нанесены прерывистые *полу-и четвертьгоризонтали*.

Если на карте (плане) высота сечения не указана, то ее можно определить по отметкам горизонталей или по двум известным отметкам точек, лежащих на одном склоне. Определяют превышение между высотами горизонталей и делят ее на число промежутков между

горизонталями (полугоризонтالي не учитывают). Например, подписаны отметки двух горизонталей 150 и 170 м (рис. 122, а).

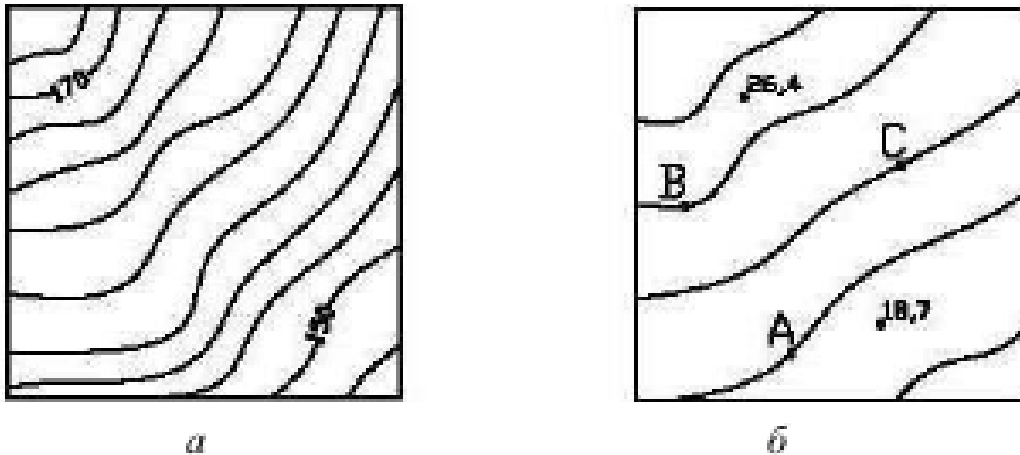


Рисунок 122 – Определение высоты сечения рельефа

Превышение между ними составляет 20 м, а число промежутков равно 8.

Определяем высоту сечения рельефа (20 м : 8), она оказалась равной 2,5 м. Во втором случае (рис. 122, б) превышение между точками А и В, лежащими на одном склоне, равно 26,4 м - 18,7 м = 7,7 м. Между этими точками имеются две высоты сечения рельефа и две «неполных» высоты сечения рельефа, принятых в сумме приблизительно за одну.

Таким образом, в превышении между этими точками заключено приблизительно три высоты сечения рельефа. Определяют «примерную» высоту сечения

$$\frac{7,7 \text{ м}}{\approx 3} = 2,57 \text{ м.}$$

Из стандартного ряда высот сечения рельефа выбирают ближайшую к «примерной». Очевидно, что высота сечения рельефа равна 2,5 м.

## 15.2 Определение отметок горизонталей по отметкам точек и высоте сечения рельефа

После определения высоты сечения рельефа определяют отметки горизонталей. Отметку горизонтали, проходящую через точку А, назначают таким образом (рис. 122, б). В сторону увеличения от числа 18,7 м подбирают ближайшее число, которое делится на  $h_c=2,5$  м без остатка. Очевидно, это число 20 м, значит отметка этой горизонтали равна 20 м.

Отметку горизонтали, на которой находится точка В, определяют аналогично: в сторону уменьшения от числа 26,4 м подбираем ближайшее число, которое делится на 2,5 м без остатка, это число 25. Значит, отметка горизонтали точки В равна 25 м.

Отметку горизонтали точки С определяем как  $H_A + h_c$  или  $H_B - h_c$ , т.е.  $H_C = 20 \text{ м} + 2,5 \text{ м} = 22,5 \text{ м}$  или  $H_C = 25 \text{ м} - 2,5 \text{ м} = 22,5 \text{ м}$ .

Так, отметку горизонтали точки С определили дважды; равенство отметки этой горизонтали, дважды определенной, подтверждает правильность выбора высоты сечения рельефа и определения отметок горизонталей.

### 15.3 Измерение высоты точки и крутизны ската.

Для определения высоты на кальку переносят заданную на карте точку, например С (рис. 123), и горизонтали, между которыми она располагается. Исходя из принятой для карты высоты сечения рельефа, направления ската и подписанных на карте высотных отметок, находят высоты горизонталей, ограничивающих точку. Измеряют кратчайшее расстояние  $d$  между смежными горизонталями, называемое заложением, и отрезок  $d'$  от точки до горизонтали с наименьшей высотной отметкой  $H_0$ . Искомую высоту  $H$  точки С вычисляют по формуле

$$H = H_0 + \frac{hd'}{d} \quad (181)$$

где  $h$  – принятая на карте высота сечения рельефа (5 м).

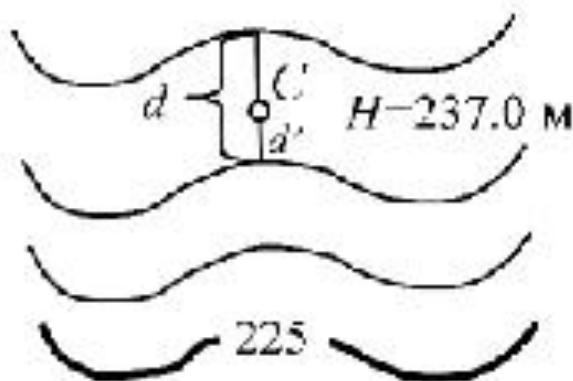


Рисунок 123 – Определение высоты точки на карте

Отношение  $d'/d$  разрешается оценивать и на глаз с точностью до 0,1 или с помощью линейки в мм или см (рис. №). Тогда высота будет определена с точностью до 0,5 м. На рисунках 25 и 26-в  $H_C = 237,0 \text{ м}$ .

Крутизна ската – это угол  $\nu$  в вертикальной плоскости, образуемый направлением ската в данной точке и его горизонтальной проекцией (рис. 124).

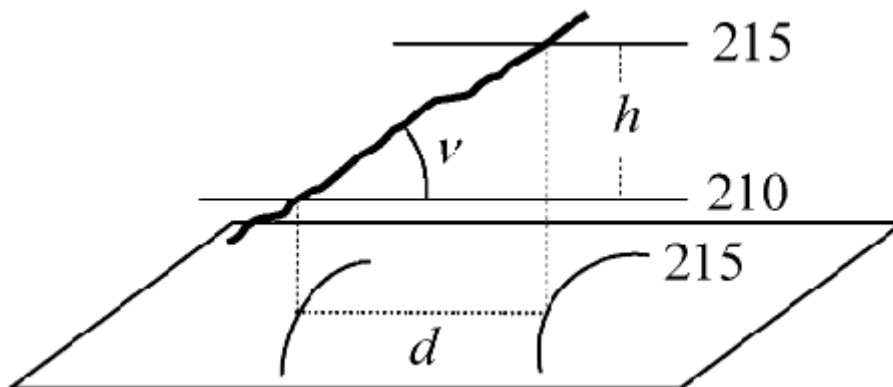


Рисунок 124 – Крутизна склона и заложение

Решить задачу с точность до  $0,1^\circ$  можно двумя способами.

1. Вычислить по формуле:

$$\nu = \arctg \frac{h}{d} \approx \frac{h}{d} \rho^\circ, \quad (182)$$

где  $\rho^\circ$  – число градусов в радиане,  $\rho^\circ = 57,3^\circ$ ;  $d$  – заложение, м.

Заложение  $d$  при этом измеряют с помощью измерителя по линейному масштабу на карте.

2. Определить крутизну ската по графику масштаба заложений (рис. 125), который приводится под южной рамкой карты справа.

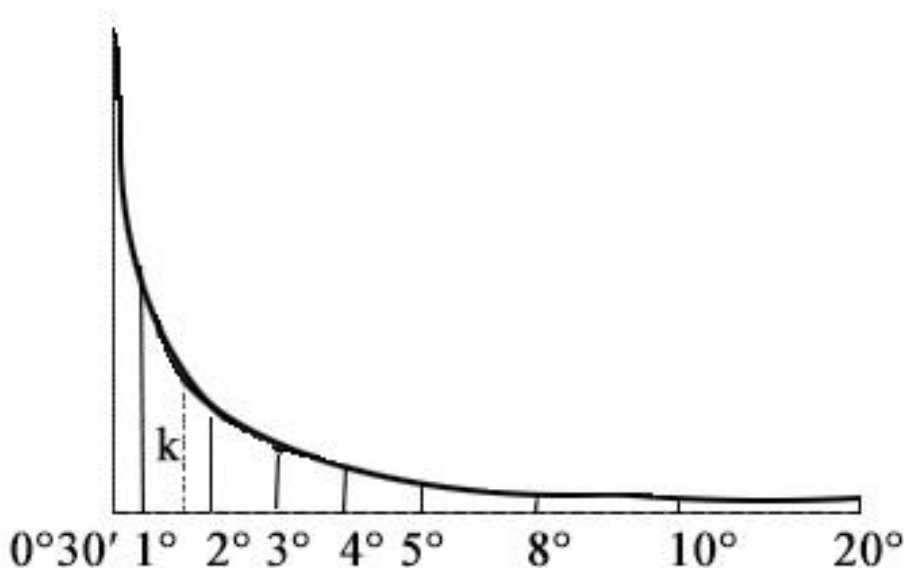


Рисунок 125 – Определение крутизны по графику заложений

Для этого раствор циркуля-измерителя устанавливают равным  $d$  и перемещением конца одной из иголок вдоль графика добиваются, чтобы конец второй иголки оказался на его горизонтальной линии. При перемещении линия, соединяющая концы иголок, должна располагаться вертикально. Точка К – это индекс для взятия отсчёта по шкале графика, что и выполняется с оценкой десятых долей градуса «на глаз». На рисунке  $125 v = 1,6^\circ$  из вычислений и  $v = 1,7^\circ$  по графику масштаба заложений. Различаться результаты могут не более чем на  $0,3^\circ$ .

#### 15.4 Построение продольного профиля рельефа

Продольный профиль по линии, заданной на топографической карте, строят в масштабах: горизонтальный – 1:25 000, вертикальный – 1:2 500. Вертикальный масштаб устанавливают в 10 раз крупнее горизонтального, чтобы профиль стал более выразительным (рис. №).

Для построения нужно перенести с задания точки и горизонтали, расположенные между ними, с учётом коэффициента К (о нем рассказано в начале учебного пособия). То есть изображение нужно растянуть (или сжать) для того, чтобы горизонтальный масштаб равнялся 1:25 000.

Слева следует построить шкалу высот, предварительно выбрав условный горизонт (УГ). Это число, кратное 25 м и выбранное таким образом, чтобы профиль оказался между линией условного горизонта и скопированными горизонталями. Для выбора указанного числа, полезно использовать максимальную и минимальную высоты горизонталей, пересекающих отрезок между крайними точками профиля. Линия условного горизонта проводится параллельно отрезку, соединяющему крайние точки.

Нужно также учитывать, что на шкале высот 1 см соответствует 25 м. На ней следует нанести деления через 2 мм (соответствуют 5 м). Положение точки на профиле будет пересечением горизонтального отрезка с высотой горизонтали и вертикального – проходящего через эту горизонталь. Полученные точки следует соединить линией, сглаживая её для подчеркивания формы рельефа.

Приложите бумагу к отрезку, вдоль которого будет строиться профиль. Отмечайте начало и конец отрезка, а также все горизонтали на бумаге засечками (рис. 126). В случае, если горизонтальный масштаб профиля совпадает с масштабом карты, перенесите засечки на горизонтальную ось профиля.

На вертикальной оси (рис. 126) отметьте положение начала и конца профиля, горизонталей и всей объектов, значимых для изображения (это реки, абсолютные высоты, ручьи и пр.). Далее плавной линией постройте профиль в соответствии с требованиями, описанными выше.

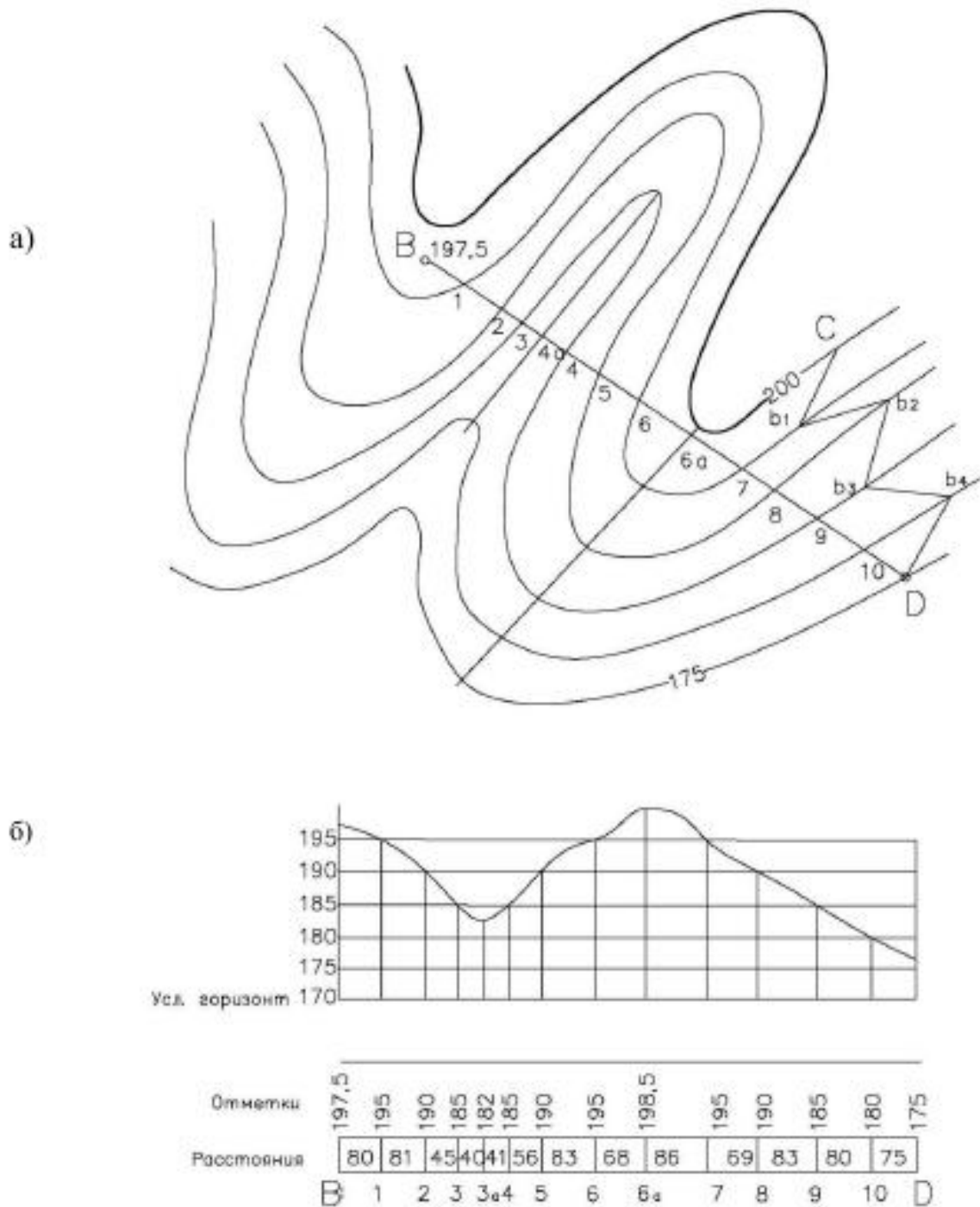


Рисунок 126 – Построение профиля местности

## 15.5 Проведение водораздельной линии. Оконтурирование водосборного бассейна

Водосборной площадью или бассейном называется площадь земной поверхности, с которой вода стекает к данному пункту водотока.

Границей бассейна водотока является водораздельная линия (водораздел). Эта линия проходит по самым высоким точкам рельефа местности, отделяя бассейн одного водотока от другого. Определение границ бассейнов необходимо для расчетов при строительстве плотин, мостов и других сооружений.

Для определения водосборной площади по карте с горизонталями надо на карте наметить границу площади водосбора.

Границу площади водосбора проводят от заданного пункта водотока перпендикулярно горизонталям, а затем по высоким точкам хребтов (водоразделам) и седловинам.

Пример. Требуется определить границы и площадь бассейна реки для строительства плотины по створу, намеченному на рис. 127.

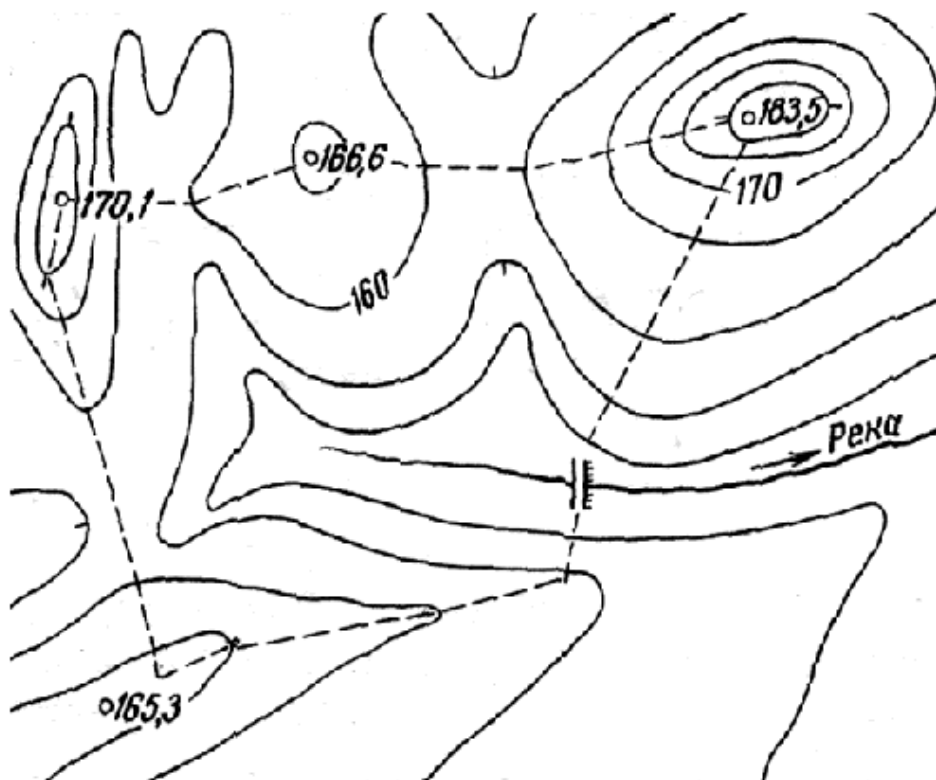


Рисунок 127 – Определение границ и площади бассейна водотока

От заданного пункта водотока проводят водораздельную линию. Она проходит по хребту на северо-восток, к высоте с отметкой 183,5 м,

затем поворачивает на запад, пересекает седловину, подходит к высоте с отметкой 166,6 м, пересекает следующую седловину и подходит к высоте с отметкой 170,1 м. Отсюда водораздельная линия поворачивает на юго-восток, пересекает седловину и подходит к высоте с отметкой 165,3 м. От этой высоты линия поворачивает на северо-восток и проходит по хребту. Замыкающая линия опускается к заданному пункту перпендикулярно горизонталям.

### **Контрольные вопросы**

1. Что такое высота сечения рельефа и как она обозначается на карте?
2. Как определить высоту сечения рельефа, если она не указана на карте?
3. Как определить отметку горизонтали, проходящей через точку, если известна высота сечения рельефа?
4. Как вычисляется высота точки, расположенной между двумя горизонталями?
5. Что такое крутизна ската и как она определяется?
6. Как построить продольный профиль рельефа по заданной линии на карте?
7. Что такое водораздельная линия и как она проводится на карте?
8. Как определить площадь водосборного бассейна по карте?
9. Какие масштабы используются для построения продольного профиля рельефа?
10. Как определить крутизну ската с помощью графика масштаба заложений?

## 16 ИЗМЕРЕНИЕ ПЛОЩАДЕЙ НА КАРТЕ

План:

- 16.1 Измерение площадей графическим способом.
- 16.2 Измерение площадей геометрическим способом.
- 16.3 Измерение площадей аналитическим способом.
- 16.4 Измерение площадей механическим способом.

### 16.1 Измерение площадей графическим способом

Площади участков на картах и планах измеряют палетками, *графическим, геометрическим, аналитическим и механическим способами*.

Измерение площадей, имеющих сложную конфигурацию, выполняют с помощью *палеток*.

Квадратная палетка представляет собой прозрачную пластину (из пластика, органического стекла или кальки) с награвированной или начерченной сеткой квадратов (рис. 128).

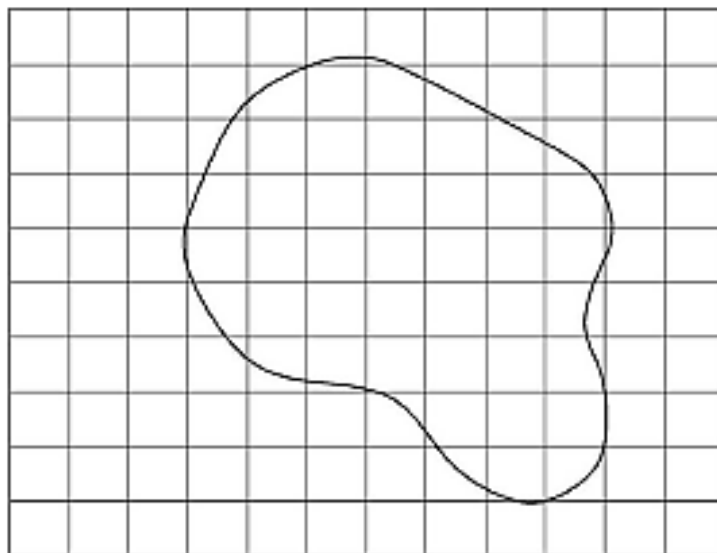


Рисунок 128 – Квадратная палетка

Палетку накладывают на измеряемый контур и подсчитывают количество квадратов и их частей, оказавшихся внутри контура. Доли неполных квадратов оценивают «на глаз», что несколько снижает точность определения площадей. Точность определения площадей палеткой составляет  $1/100$ . Очевидно, что для повышения точности измерений нужно иметь палетку с мелкими квадратами со стороной 2 – 5 мм.

Перед работой следует определить в масштабе карты площадь квадрата. Например, при масштабе 1:25000 и стороне квадрата палетки 2 мм площадь участка на местности равна 2500 м<sup>2</sup> или 0,25 га. В итоге число полных квадратов,  $s$ ,  $S$  и  $j$  частей квадратов на рис. 57 составило 33 шт. Площадь участка получилась равной  $33 \times 2500 \text{ м}^2 = 82500 \text{ м}^2 = 8,25 \text{ га}$ .

Недостатком способа является необходимость «на глаз» оценивать доли квадратов, пересекаемых контуром на части.

Параллельная палетка изготавливается на целлулоиде, плексигласе или восковке в виде параллельных линий на расстоянии  $h = 2, 4$  или 5 мм друг от друга (рис. 129).

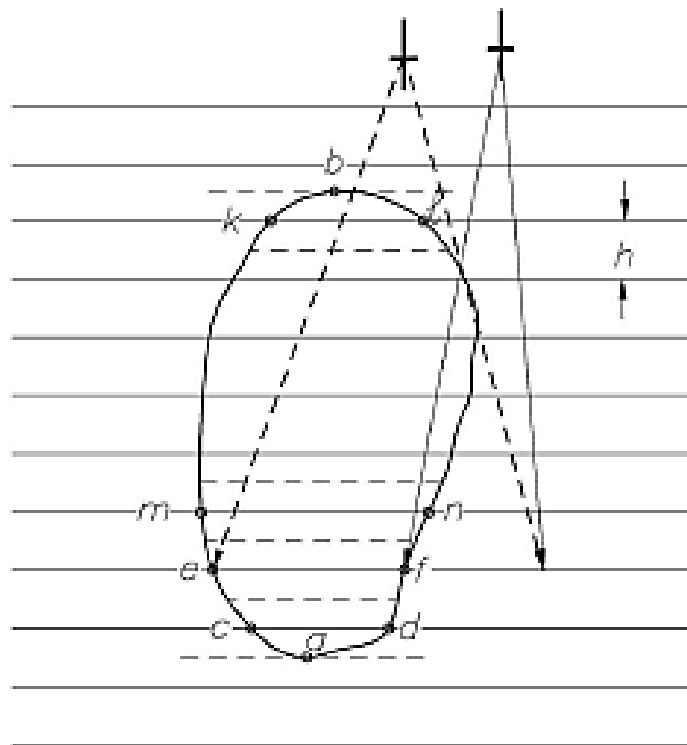


Рисунок 129 – Параллельная палетка

Для определения площади палетку накладывают на измеряемый участок так, чтобы крайние точки  $a$  и  $b$  контура разместились посередине между линиями палетки. Благодаря этому участок окажется разделенным параллельными линиями на фигуры, близкие к трапеции с одинаковыми расстояниями между линиями  $h$ .

Отрезки параллельных линий палетки внутри участка являются средними линиями трапеций, основания которых на рис. 129 показаны прерывистыми линиями.

Очевидно, что площадь всего участка будет равна сумме площадей отдельных трапеций:

$$S = h \times (cd + ef + mn + \dots + kl) \quad (183)$$

Сумма средних линий трапеций, стоящая в скобках приведенного выражения, определяется следующим образом. В раствор циркуля-измерителя берут отрезок  $cd$ . Сохраняя раствор циркуля, устанавливают левую ножку на точку  $f$ . Затем левую ножку циркуля-измерителя совмещают с точкой  $e$ , увеличивая раствор на среднюю линию трапеции  $ef$ . Далее действия повторяют в той же последовательности. Последней линией, набранной в раствор циркуля измерителя, является линия  $kl$ .

Длину всех средних линий, набранных в раствор циркуля-измерителя, определяют по масштабной линейке, которую умножают на величину  $h$  между параллельными линиями палетки, выраженную числом метров местности. Так, например на рис. №, при масштабе плана 1: 1000,  $h = 2$  мм и сумме средних линий, равной 126,5 м, площадь участка равна  $S = 2 \times 126,5 = 253 \text{ м}^2$ .

## 16.2 Измерение площадей геометрическим способом

При измерении площади участка, ограниченного прямыми линиями, его делят на простые геометрические фигуры и измеряют площадь каждой из них *геометрическим способом*.

Объект с криволинейным контуром можно разбить на геометрические фигуры, предварительно спрямив границы. Спряmlение производится с таким расчетом, чтобы площадь отрезанных участков и сумма добавленных взаимно компенсировали друг друга, как это показано на рис. 130.

Добавленные площади показаны штриховкой, а отрезанные – точками. Общая площадь равна сумме площадей отдельных участков. Очевидно, что результаты измерений будут в некоторой степени приближенными.

Формулы подсчета простых геометрических фигур приведены на рис. 131.

При определении площади участков на топографических чертежах все необходимые элементы следует измерять линейкой с учетом масштаба карты или плана.

Для контроля и повышения точности площади определяют дважды, при этом строят новые треугольники (новые основания и

высоты). Относительное расхождение двукратных измерений не должно превышать 1/200 площади.

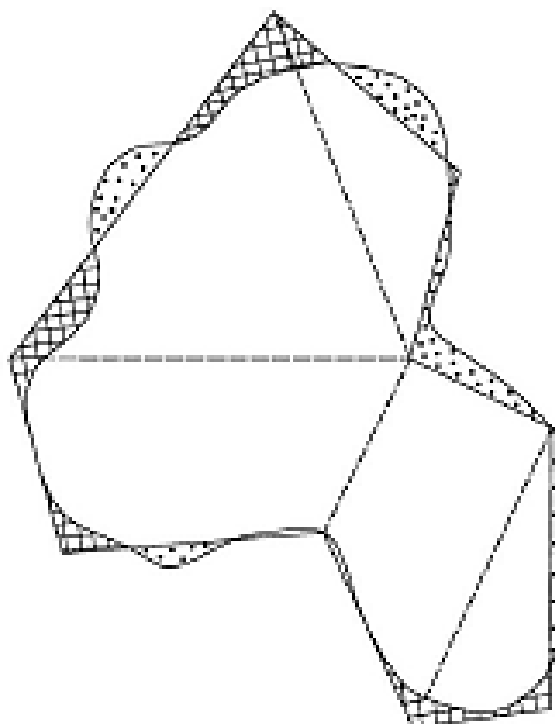


Рисунок 130 – Спрямление криволинейных границ и разбивка участка на геометрические фигуры

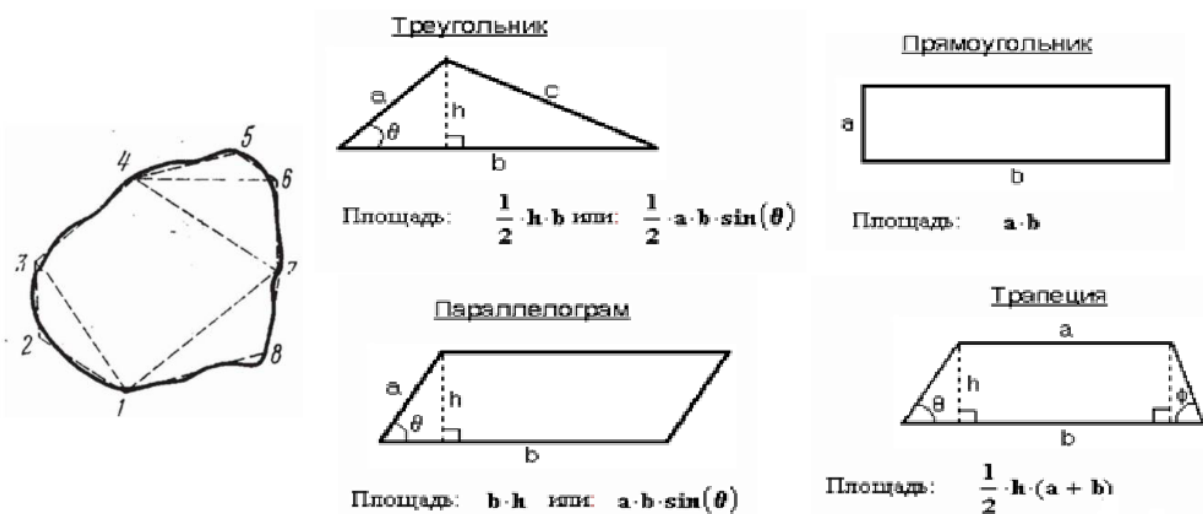


Рисунок 131 – Вычисление площади геометрическим способом

### 16.3 Измерение площадей аналитическим способом

Площадь участка, координаты вершин (рис. 132) которого определены в результате обработки ведомости координат теодолитного хода можно определить по формулам:

$$P = \frac{1}{2} \times \sum_{i=1}^n X_i(Y_{i+1} - Y_{i-1}); \quad (184)$$

$$P = \frac{1}{2} \times \sum_{i=1}^n Y_i(X_{i-1} - X_{i+1}). \quad (185)$$

Для удобства используют таблицу вычисления площади по координатам вершин полигона (табл. 19).

Для оценки точности полученного результата, необходимо воспользоваться данными табл. 20.

Поскольку участок соответствует землям сельскохозяйственного назначения до 100 га, то  $m_t=0,2$ , поэтому точность определения площади равна:

$$m_p = m_t \sqrt{P} = 0,2 \times \sqrt{83923} = 57,94 \text{ м}^2 \approx 60 \text{ м}^2. \quad (186)$$

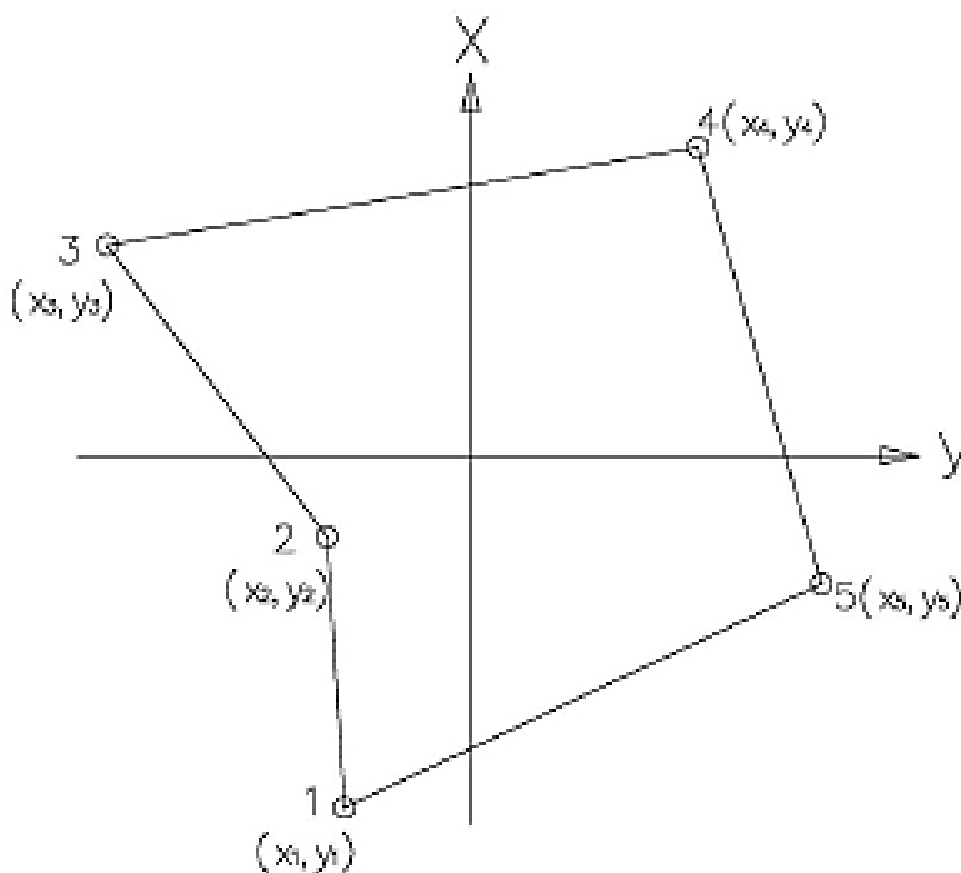


Рисунок 132 – Определение площади полигона по координатам его вершин

Таблица 19 – Вычисление площади по координатам точек полигона

№ вер- шины	Координаты, м		Приращения коорди- нат, м		Произведения, м <sup>2</sup>	
	X <sub>i</sub>	Y <sub>i</sub>	Y <sub>i+1</sub> – Y <sub>i-1</sub>	X <sub>i-1</sub> – X <sub>i+1</sub>	X <sub>i</sub> (Y <sub>i+1</sub> – Y <sub>i-1</sub> )	Y <sub>i</sub> (X <sub>i-1</sub> – X <sub>i+1</sub> )
1	-263,1	-270,4	-270,4	+6,5	71142	-481
2	-98,6	-101,2	-153,1	-310,7	15096	31443
3	+47,6	-227,1	+209,25	-237,1	9958	53845
4	+138,5	+108,0	+396,3	+139,7	54888	15088
5	-92,1	+169,2	-182,0	+401,6	16762	67951
Σ «+»			+605,5	-547,8	167848	167846
Σ «+»			-605,5	+547,8	S=83923 м <sup>2</sup> =8,39 га	
Σ			0,0	0,0		

Таблица 20 – Точностные характеристики межевания земель

Номер градации	Градация земель	Средняя квадратическая по- грешность положения ме- жевого знака (СКП), м
1.	Земли городов и другие земли в черте города	0,1
2.	Земли сельских населённых пунктов, пригород- ных зон, садовых товариществ	0,2
3.	Земли сельскохозяйственного назначения и особо охраняемых зон:	
	– при площади участка до 100 га	0,2
	– при площади участка более 100 га	0,5

#### 16.4 Измерение площадей механическим способом

Измерение площадей *механическим способом* проводится с использованием специальной аппаратуры – планиметров.

На учебных занятиях используется электронный планиметр полярного типа PLANIX 5 имеет полюсное плечо, с помощью которого осуществляется движение в пределах измеряемой площади, вычисляет площади в квадратных сантиметрах или квадратных дюймах. Измеренные значения отображаются на 8-символьном дисплее.

Комплект поставки

- планиметр.
- зарядное устройство.
- инструкция.
- футляр.

Планиметр имеет николь-кадмиевую батарею, рассчитанную на 15 ч. времени работы. Точность измерений составляет 0,2% измерений. Диаметр диапазона измерений – 35,6 см.

Схема планиметра «PLANIX 5» представлена на рис. 133. На лицевой стороне корпуса 1 планиметра расположены дисплей 2 и кнопки управления работой планиметра 3. Планиметр имеет два рычага: полюсный и обводной. Полюсный рычаг 4 может вращаться вокруг точки О, называемой *полюсом*. На конце полюсный рычаг имеет груз 5, который препятствует смещению полюса. На другом конце полюсного рычага имеется штифт 6 для шарнирного соединения с корпусом. Обводной рычаг 7 связан с измерительным механизмом, расположенным на обратной стороне корпуса. На конце обводного рычага находится стекло 8 с визирующей точкой.



Рисунок 133 – Устройство планиметра «PLANIX 5»:  
1 – лицевой корпус; 2 – дисплей; 3 – панель управления; 4 – полюсный рычаг; 5 – груз; 6 – штифт шарнирного соединения; 7 – измерительный механизм; 8 – лупа с визирующей точкой.

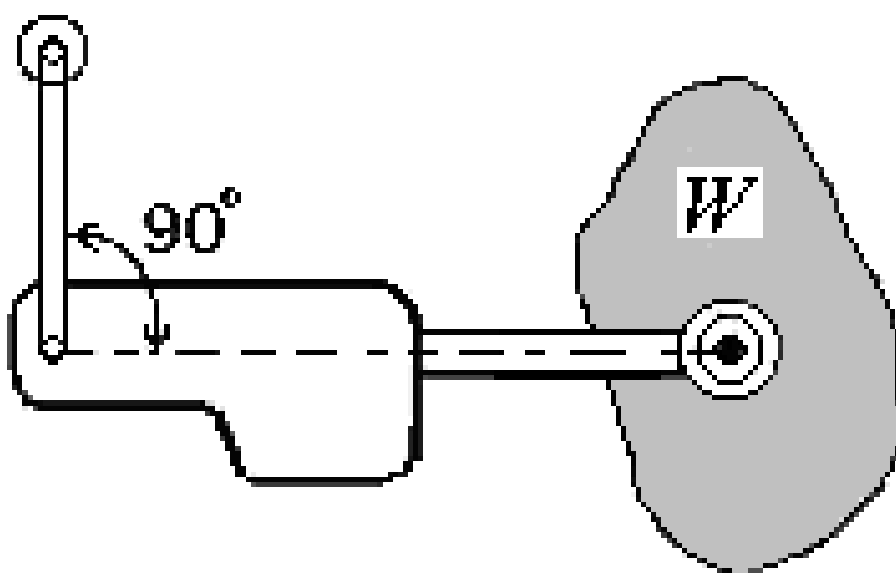


Рисунок 134 – Схема установки планиметра «PLANIX 5»

Для измерения площади фигуры с помощью планиметра «PLANIX 5» необходимо выполнить следующие операции:

1. Закрепить на горизонтальной чертежной доске лист с фигурой, площадь которой необходимо измерить.

2. Установить планиметр так, чтобы полюсный и обводной рычаги составляли между собой угол около  $90^\circ$ , а конец обводного рычага (визирующая точка на стекле) находился вблизи центра измеряемой площади (рис. 134).

3. Включить планиметр, нажав кнопку «ON/C» (на дисплее загорится число «0»).


4. Выбрать необходимые единицы измерения площади (в данном случае «см<sup>2</sup>»).


5. Выбрать исходную точку на внешнем контуре фигуры, совместить с ней визирующую точку стекла на обводном рычаге и нажать кнопку «START» (на дисплее должен гореть «0»).

6. Обвести визирующей точкой на стекле весь контур фигуры, площадь которой необходимо найти, по часовой стрелке до возвращения в исходную точку. Число на дисплее – площадь фигуры в выбранной системе измерения. Для сохранения результата нажать кнопку «HOLD», это предотвратит потерю измеренных данных при случайном сдвиге прибора.

7. Для получения более точных данных площадь фигуры можно измерить несколько раз (но не более 9), а затем усреднить

произведенные измерения. Для этого после обвода контура фигуры нажать кнопку «END», затем произвести второй обвод контура и вновь в конце нажать кнопку «END». После повторения этой процедуры требуемое количество раз нажать кнопку «AVER». Число на дисплее – искомое среднее значение площади фигуры. В большинстве случаев для геодезических измерений, необходимо провести два измерения площади, чтобы исключить «грубые» ошибки, среднее значение между которыми использовать как заключительное.

Для подсчета площади можно воспользоваться электронным курвиметром – Scalex Electronic Planwheel – SA2. Для этого используйте кнопку . После установления масштаба прокатите колесико курвиметра вдоль одной из сторон прямоугольника, который высветится в верхнем правом углу прибора. Катите колесо вдоль другой стороны прямоугольника.

Для подсчета объема фигуры после измерения площади, необходимо еще раз использовать кнопку . Появится рисунок куба в верхнем правом углу дисплея. Прокатите колесико на расстояние равное высоте фигуры. На экране появиться отсчет её объема.

### Контрольные вопросы

1. Какие способы используются для измерения площадей на картах и планах?
2. Как работает квадратная палетка для измерения площадей?
3. Каковы недостатки использования квадратной палетки?
4. Как работает параллельная палетка для измерения площадей?
5. Как измеряется площадь участка с криволинейным контуром геометрическим способом?
6. Как вычисляется площадь участка по координатам его вершин аналитическим способом?
7. Как оценивается точность определения площади аналитическим способом?
8. Какие устройства используются для измерения площадей механическим способом?
9. Как работает планиметр PLANIX 5 для измерения площади?
10. Как можно использовать электронный курвиметр для измерения площади и объема?

## 17 СПУТНИКОВЫЕ МЕТОДЫ В ГЕОДЕЗИИ

План

17.1 Спутниковые системы.

17.2 Глобальные спутниковые системы.

17.3 Принципы определения местоположения пунктов из спутниковых определений.

17.4 Проектирование ГНСС сети для планово-высотной привязки спутниковой технологии.

17.5 Устройство ETR GNSS M3.

17.6 Топографическая съемка с применением систем спутникового позиционирования.

### 17.1 Спутниковые системы

Появление искусственных спутников Земли (ИСЗ) внесло масштабные перемены в методы геодезии и позволило значительно повысить точность определения местоположения точек и объектов на поверхности Земли.

Идея использования космических аппаратов для навигации подвижных объектов начала развиваться после запуска в СССР в 1957 году первого ИСЗ.

К первому поколению спутниковых систем позиционирования до 70-х годов относят системы «Цикада» и «Transit».

В 1963 году начались работы по построению первой советской низкоорбитальной навигационной спутниковой системы «Цикада». В 1967 году на орбиту был выведен первый отечественный навигационный спутник «Космос-192». Для радионавигационных спутниковых систем первого поколения характерным является применение низкоорбитальных ИСЗ и использование для измерения навигационных параметров объекта сигнала одного, видимого в данный момент спутника.

В 1964 году в США была создана доплеровская спутниковая радионавигационная система первого поколения «Transit», предназначенная для навигационного обеспечения пуска с подводных лодок баллистических ракет. В 1967 году эта система была предоставлена для коммерческого использования, число ее гражданских потребителей быстро превысило число военных. Координаты потребителя рассчитывались на основе приема и выделения доплеровского сдвига частоты

передатчика одного из 6-7 космических аппаратов, который мог находиться в поле видимости в течении примерно 40 минут.

Эти системы обеспечивали точность получения координат 50-100 м и отличались малой оперативностью: для достижения высокой точности требовались несколько проходов ИСЗ в «Поле зрения» приемника, при этом перерывы между прохождениями спутников составляли полтора часа. Это послужило основанием для разработки систем второго поколения – глобальных спутниковых систем.

## 17.2 Глобальные спутниковые системы

В настоящее время в мире существуют три глобальные системы.

GPS (Global Positioning System) – глобальная система позиционирования (первоначально называлась Navstar) находится в ведении Минобороны США. Запуск спутников первого блока осуществлен в 1978 году, эксплуатируется с 1995 года. До недавнего времени система была открыта для гражданского пользования только в режиме пониженной точности, для режима высокой точности требовался санкционированный доступ. В 2000 году это ограничение снято, и сейчас GPS открыта для всех и в режиме высокой точности.

ГЛОНАСС – Глобальная навигационная спутниковая система, ее разработки начаты в СССР в 1970 г. В 1982 году выведены на орбиты ее первые спутники, в 1993 году система принята в эксплуатацию Минобороны РФ. В 1996 году система развернута полностью. Повышенная точность доступна военным, режим стандартной (пониженной) точности – гражданским пользователям. В 2011 году была модернизирована система наземного комплекса управления. Результатом программы модернизации стало увеличение точности навигационных определений системы ГЛОНАСС в 2 – 2,5 раза, что составляет порядка 2,8 м для гражданских потребителей.

В 1999 году Европейский парламент поддержал решение Европейского космического агентства о создании нового поколения спутниковой системы Galileo, которая будет включать 30 спутников (из них 3 резервных), расположенных на высоте 23200 км и вращаются в трех орбитальных плоскостях, наклоненных на  $56^\circ$  к плоскости экватора. Таким образом, с учетом спутников GPS и ГЛОНАСС в распоряжении пользователей будет 80 космических аппаратов, покрывающих весь земной шар.

Глобальные спутниковые системы (рис. 135) состоят из трех секторов (сегментов): космического сектора, наземного сектора управления и контроля и сектора пользователя.

Космический сектор – совокупность входящих с систему спутников (орбитальная группировка), вращающихся вокруг Земли на определенных орбитах.

Размеры и форма эллиптической орбиты определяются размером ее большой полуоси  $a$  и эксцентриситета  $e$ . В системе GPS большая полуось и эксцентриситет примерно равны 26560 км и 0,001 соответственно.

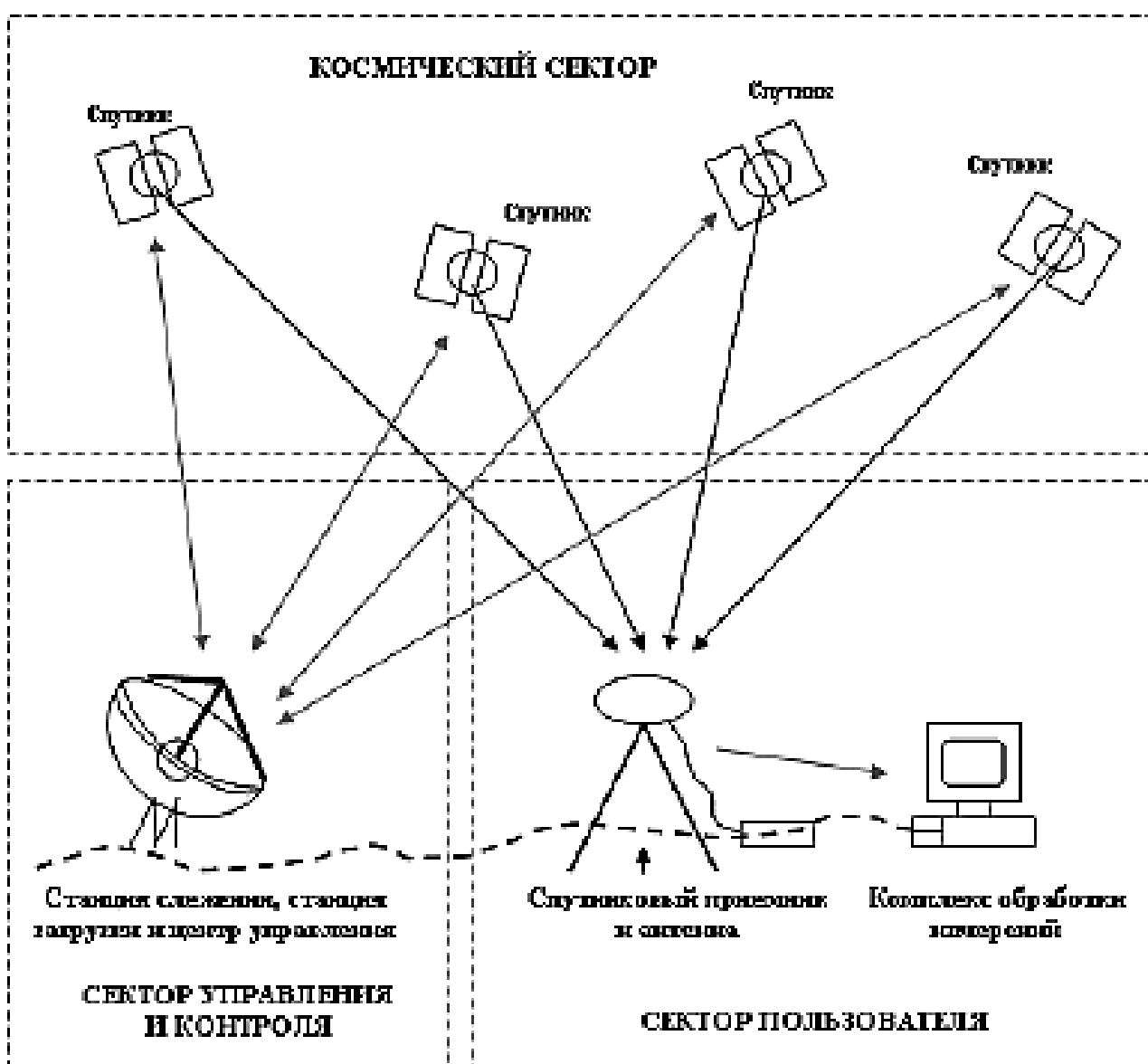


Рисунок 135 – Структура глобальной спутниковой системы

Положение плоскости орбиты относительно экваториальной плоскости (рис. 136) характеризуют: долгота восходящего узла  $\Omega$ ,

аргумент перигея  $\omega$  и угол  $i$  наклона плоскости орбиты к плоскости экватора. Для системы GPS:  $\omega = 80^\circ$ ,  $i = 55^\circ$ .

Положение ИСЗ на орбите описывает радиус-вектор  $\rho$ , который определяют по формуле:

$$\rho = \frac{P}{1 + e \cos v}, \quad (187)$$

где  $P = a \times (1 - e^2)$  – эксцентриситет орбиты;

$v$  – истинная аномалия (выражается в градусной мере).

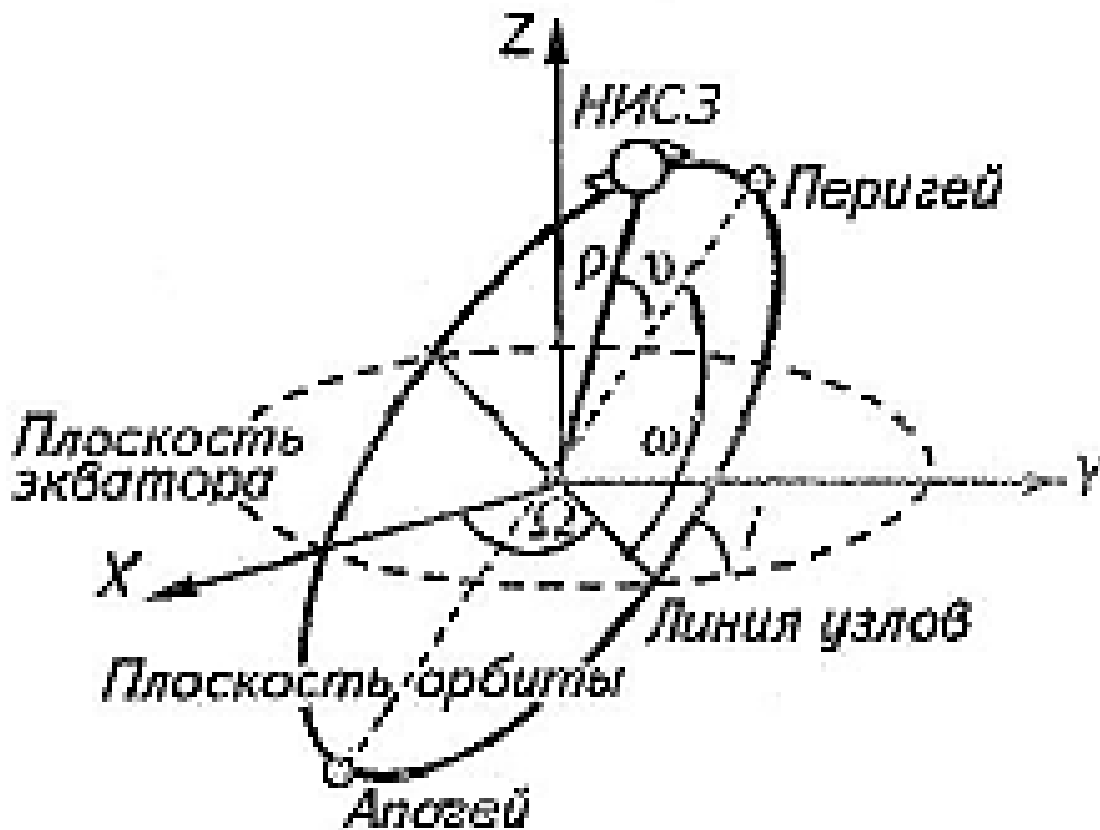


Рисунок 136 – Основные элементы орбиты ИСЗ

Составляющие радиуса-вектора (его пространственные инерциальные геоцентрические прямоугольные координаты  $X_c$ ,  $Y_c$ ,  $Z_c$ ) имеют следующий вид:

$$X_c = \rho \times (\cos \Omega \cos U - \cos \Omega \cos U \cos i); \quad (188)$$

$$Y_c = \rho \times (\sin \Omega \sin U - \sin \Omega \sin U \sin i); \quad (189)$$

$$Z_c = \rho \times \sin U \sin i. \quad (190)$$

где  $U = \omega + u$  – аргумент широты.

При невозмущенном движении ИСЗ названные параметры  $\Omega$ ,  $i$ ,  $\omega$ ,  $\rho$  и  $e$  постоянны и не меняются при движении спутника по орбите.



непрогнозируемые смещения ИСЗ и т.д.) на точность абсолютного положения определяемых пунктов не превышает для ГЛОНАСС – 9,2 м, и системы GPS – 1 м.

ИСЗ движется по орбите в некоторой шкале времени. В ГНСС используют следующее время: всемирное (гринвичское среднее солнечное); всемирное координированное; поясное; местное декретное и летнее.

*Всемирное время UT* содержит год, месяц, число, час, минуту и секунду. При этом первые три величины (год, месяц и число) отсчитывают по Григорианскому календарю, час, минуту и секунду – по местному среднему времени на гринвичском меридиане. Всемирное время измеряют часовым углом среднего Солнца относительно гринвичского меридиана, увеличенного на 12 часов. Всемирное координированное время UTC измеряют по атомным часам и передают по радиовещательным сетям, используют в повседневной жизни.

*Поясное время ZT* также содержит год, месяц и число. Часы, минуты и секунды в поясном времени соответствуют местному среднему времени основного (центрального) географического меридиана определенного часового пояса, значение которого вычисляют по формуле:

$$ZT = UTC + \Delta n \quad (191)$$

где  $\Delta n$  – номер часового пояса.

Поясное время введено в России с 1919 года. При этом поверхность Земли была разделена на 24 часовых пояса, центральные меридианы которых отличаются по долготе на  $15^\circ$  (1 час). Например, для Москвы  $\Delta n=2$ .

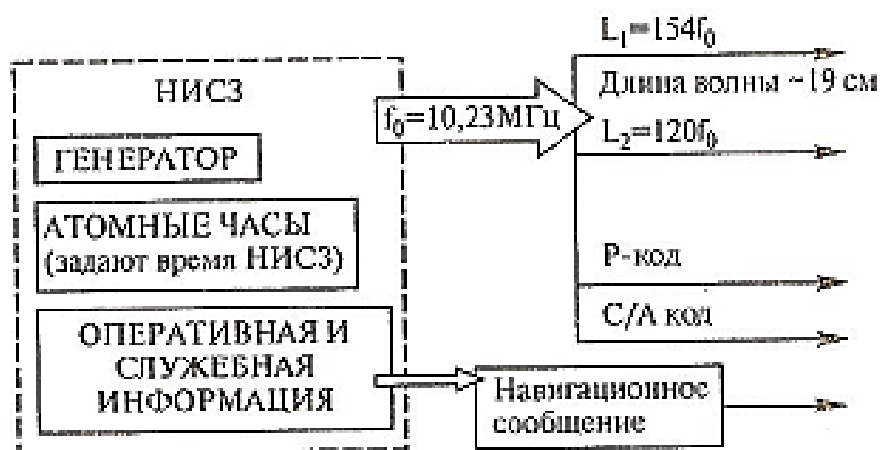
Местное декретное время отличается от поясного времени на декретную добавку  $\Delta t_{\text{декр}}$ , устанавливаемую для каждого региона законодательным порядком. В России в качестве местного декретного времени действует летнее время  $t_{\text{л}}$ , которое действует ежегодно с 2 часов ночи последнего воскресенья марта до 3 часов ночи последнего воскресенья сентября, когда вводят зимнее время

$$t_{\text{зим.}} = ZT + 1 \text{ час.} \quad (192)$$

В GPS используют шкалу времени, привязанную к шкале UTC. При этом в системе имеется свой недельный календарь, в котором номер недели отсчитывается с ночи с 5-е на 6-е января 1980 г. ГЛОНАСС привязана к шкале Государственного эталона частоты и времени России UTC (SU).

Принцип определения местоположения с помощью ГНСС предусматривает измерение расстояний (дальностей) между ИСЗ и фазовым

центром антенны приемника спутниковых сигналов, установленного



на определяемой точке местности. С целью реализации данного принципа каждый ИСЗ излучает радиосигналы, структура которых для системы GPS показана на рис. 138.

*Рисунок 138 – Структура радиосигнала системы GPS*

В радиолинии частотного диапазона  $L_1$  спутники системы GPS одновременно излучают кодовые последовательности стандартной (P-код) и высокой (C/A-код) точности. Также излучается несущий электромагнитный сигнал частотой  $L_2$ . При необходимости C/A-код может быть отключен. В системе GPS все спутники работают на одних и тех же частотах, но каждый имеет свой код.

В ГЛОНАСС каждый спутник работает на собственной частоте. Разделение сигналов частотное. Так же, как и в GPS, несущие сигналы обозначают как  $L_1$  и  $L_2$ , а P-коду соответствует ВТ-код (код высокой точности) и СТ-код (код стандартной точности).

Одновременно с измерительными сигналами с ИСЗ передается хранящаяся на нем, так называемая, оперативная и неоперативная информация, сформированная в виде кадра навигационного сообщения. Оперативная информация содержит: эфемериды ИСЗ (три пространственных прямоугольных координаты X, Y, Z, три составляющих скорости ИСЗ и три составляющих ускорения); метку времени; сдвиг шкалы времени ИСЗ относительно шкалы времени всей системы и другие сведения. Неоперативную информацию образуют альманахи системы, содержащий параметры орбит всех спутников системы и другие сведения. Полный кадр систем ГЛОНАСС и GPS передается в течении 10-12 минут.

Сектор пользователя (потребителя) включает в себя спутниковые приемники, число которых не ограничено, а также комплекс камеральной обработки измерений.

Обработку сигналов выполняют с целью выработки необходимой потребителям информации (пространственно-временных координат, направления и скорости, пространственной ориентации и т.д.). Упрощенная структурная схема приемника спутниковых сигналов показана на рис. №.

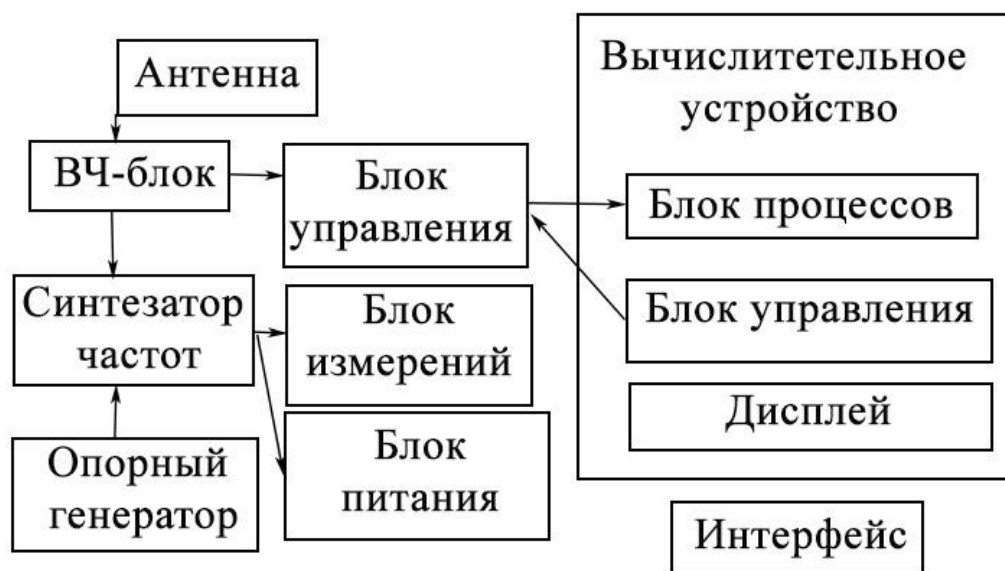


Рисунок 139 – Структурная схема приемника спутниковых сигналов

Приемное устройство выполняет функции супергетеродинного приемника, а также первичную обработку сигналов. Соответствующие сигналы поступают в блок поиска и измерения. После завершения поиска происходит захват сигнала, который поступает в вычислительный блок. По указаниям наблюдателя результаты соответствующей обработки, как правило, могут быть отражены на дисплее.

Выделяют три модификации приемников. Приемники первого класса предназначены для быстрых навигационных определений координат, такие приемники удобно использовать при рекогносцировке, выносе в натуру и съемке объектов с небольшой точностью. Приемники второго класса предназначены для определения положения движущихся объектов. Приемники третьего класса являются приемниками геодезического назначения, в них имеется многоканальный блок, осуществляющий слежение одновременно за сигналами нескольких ИСЗ (до 12 и более). Внутренняя память приемника до 100 Мб и более.

Приемники оснащены портами для интеграции с другой аппаратурой, в том числе ПЭВМ. Значительный практический интерес представляют собой совмещенные GPS/ГЛОНАСС приемники. В общем случае приемники геодезического назначения выполняют следующие функции:

- генерация местной шкалы времени (местных эталонных колебаний);
- поиск, усиление и разделение сигналов, принадлежащих различным ИСЗ;
- фильтрация сигналов;
- выделение из сигналов меток времени и псевдослучайных последовательностей;
- слежение за частотой, фазой, кодовыми сигналами, измерение псевдодалейности до каждого ИСЗ; прием установочных параметров и маркеров, фиксирующих внешние события;
- выполнение различных оперативных расчетов; выдача в форме индикации на дисплее контроллера соответствующей информации об установочных указаниях и параметрах, результаты измерений, например в форме геодезических координат, о наличии и состоянии участвующих в радиосеансе ИСЗ и др.;
- прием поправок в псевдодалейности от внешнего передающего устройства; передача результатов спутниковых наблюдений на другие радиоприемные устройства, в том числе телефон сотовой связи; хранение принятой информации.

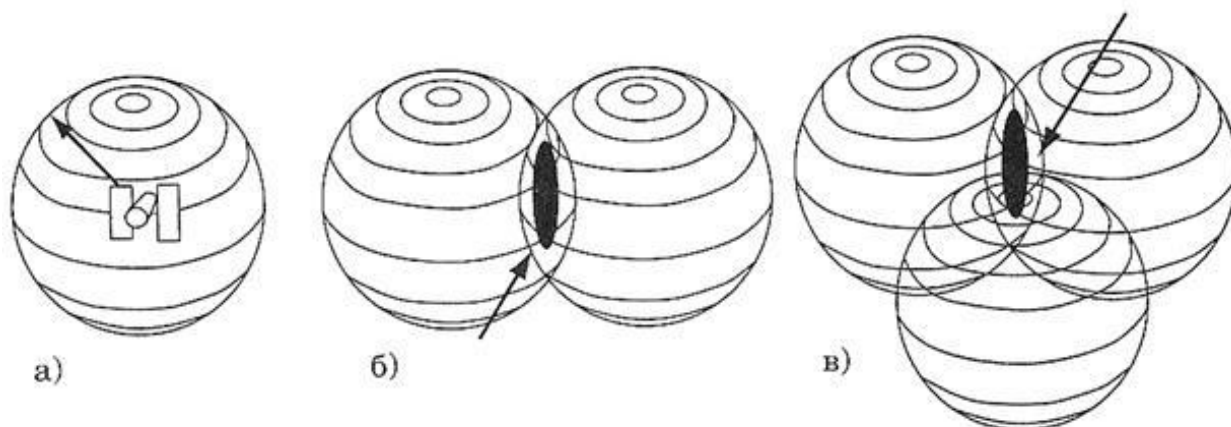
Конструктивно приемники, как правило, выделены в виде отдельных или совмещенных блоков, которые содержат антенное устройство, контроллер (мини-ЭВМ с клавиатурой) и аккумуляторы. Часто приемники имеют встроенный модем, с помощью которого в реальном времени можно передать или принять по каналам связи необходимую информацию. Выбор конкретного вида приемника для проведения земельно-кадастровых геодезических работ, прежде всего, зависит от необходимой точности определения положения объектов.

### **17.3 Принципы определения местоположения пунктов из спутниковых определений**

Для определения местоположения на земной поверхности измеряют расстояние между наземным пунктом и спутником и скорость изменения этого расстояния при прохождении спутника. Расстояния

рассчитывают исходя из времени, которое затрачивает электромагнитный сигнал на прохождение пути от спутника до приемника при условии, что скорость распространения сигнала известна. Скорость изменения расстояния от спутника до приемника определяется по частоте наблюдаемого доплеровского сдвига частоты - изменение частоты сигнала, поступающего со спутника. Вводятся поправки за атмосферную задержку сигнала и рефракцию. Основным принцип спутниковых определений – использование трилатерации, то есть. измерений расстояний до спутников, являющихся точками отсчета для вычисления координат на Земле.

Если измерять расстояние до одного спутника с известными координатами, местоположение определяемой точки должно быть на воображаемой сфере с центром на этом спутнике и радиусом  $R$ , равным измеряемому расстоянию  $S_1$  (рис. 140, а).



*Рисунок 140 – Определение местоположения точки:*

*а) по одному спутнику с известными координатами; б) по двум спутникам; в) по трем спутникам*

Когда одновременно измеряется расстояние  $S_2$  до второго спутника, то область поиска сократится, так как местоположение определяемой точки будет находится на линии пересечения двух сфер с радиусами  $S_1$  и  $S_2$ , т.е. на окружности (рис. 140, б).

В случае измерения расстояния  $S_3$  до третьего спутника, возможное местоположение определяется двумя точками пересечения окружности со сферой радиуса  $S_3$  (рис. 140, в). Для того чтобы определить истинное положение из этих двух точек можно измерить расстояние  $S_4$  до четвертого спутника. Различные методы наблюдений позволяют определять абсолютное и относительное положения объектов на земной поверхности. При определении

абсолютного положения используется не менее трех спутников. Чтобы компенсировать разницу в точности определения времени по часам, установленным на борту спутников и на наземной станции, обычно требуется четвертый спутник. Определение относительного положения пункта на земной поверхности требует одновременного наблюдения с четырех и более спутников с двух (или более) наземных станций. Для определения координат точек на земной поверхности в геоцентрической системе необходимо знать элементы орбит спутников в этой же системе, т.к. любые погрешности могут быть уменьшены путем осреднения наблюдаемых величин за несколько дней, недель или месяцев. Часть систематических погрешностей в расчетах элементов орбиты примерно в одинаковой степени вносит искажения при определении всех точек, и поэтому при определении их взаимного положения компенсируется. Вследствие этого относительные положения точек на земной поверхности обычно определяется с большой точностью. В зависимости от числа одновременно работающих принимающих станций и одновременно наблюдаемых спутников можно получать определенные различия между принимаемым и передаваемым сигналами; это позволяет исключить влияние неизвестных факторов. В спутниковых методах определения местоположения измерение расстояний до спутников осуществляется по измерениям времени прохождения радиосигнала от космического аппарата до приемника. При этом передающее устройство размещено на спутнике, а приемник – на определяемой точке. Радиосигнал проходит измеряемое расстояние  $S$  от спутника (передатчика) до приемника на время  $x$ . Время излучения и время приема данного сигнала точно определяют синхронизированными часами, расположенными на спутнике и на определяемой точки. При этом измеряемое расстояние определяют по формуле:

$$S = v \times t \quad (193)$$

Т.к. скорость  $v$  радиоволны составляет около 300 000 км/с, то для обеспечения геодезической точности измерений необходимо измерять время с точностью 10-10-10-12 с. Главной трудностью при измерении времени распространения радиосигнала является точное выделение момента времени, в который сигнал передан со спутника.

Для обеспечения высокой точности измерений синхронизируют опорные генераторы спутника и приемника. В светодальномерных и радиодальномерных измерений используются импульсные и фазовые методы измерения расстояний, а также их сочетания. Эти же методы

используются в спутниковых дальномерных измерениях. При этом широко используются кодированные сигналы.

*Пространственная линейная засечка.* Исходные данные при определении пространственных прямоугольных координат пункта по результатам спутниковых наблюдений: массив пространственных прямоугольных координат четырех навигационных ИСЗ; результаты синхронных одномоментных измерений дальностей между фазовым центром антенны приемника, установленного на пункте, и соответствующим ИСЗ.

Пусть на некоторый момент времени заданы пространственные прямоугольные координаты  $X_1, Y_1, Z_1$  первого ИСЗ (рис. 141). Для определения пространственных прямоугольных координат  $X_P, Y_P, Z_P$  пункта  $P$  измеряют расстояние  $R_1$  между определяемым пунктом и ИСЗ.

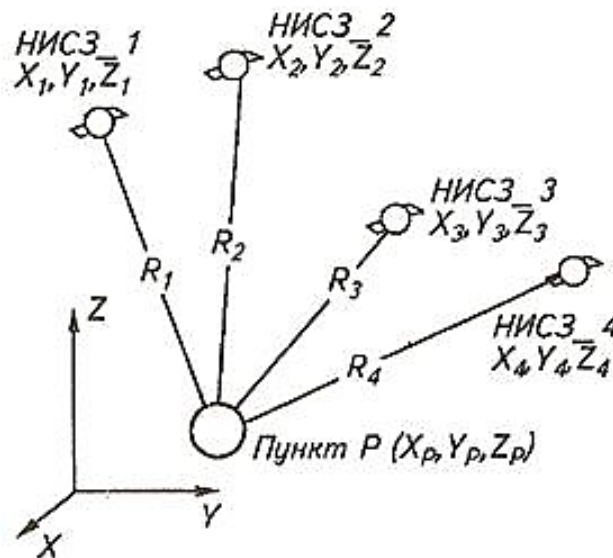


Рисунок 141 – Пространственная линейная засечка

Из рис. 141 видно, что

$$R_1^2 = \Delta X_{1-P}^2 + \Delta Y_{1-P}^2 + \Delta Z_{1-P}^2, \quad (194)$$

где:

$$\Delta X_{1-P} = X_P - X_{\text{ИСЗ}1}; \quad (195)$$

$$\Delta Y = Y - Y_{\text{ИСЗ}1}; \quad (196)$$

$$\Delta Z_{1-P} = Z_P - Z_{\text{ИСЗ}1}. \quad (197)$$

В уравнении (197) имеем три неизвестных параметра – пространственные прямоугольные координаты определяемого пункта:  $X_P, Y_P$  и  $Z_P$ . Допустим, что одновременно с расстоянием  $R_1$  измерены также расстояния  $R_2$  и  $R_3$  между определяемым пунктом и еще двумя ИСЗ с известными (заданными) координатами. По результатам этих

измерений по аналогии с уравнением (1), можно написать соответствующие выражения для расстояний  $R_2$  и  $R_3$ . Будем иметь систему уравнений, в которой число уравнений и число неизвестных равны между собой (три уравнения с тремя неизвестными):

$$R_{1-P} = \Delta X_{1-P}^2 + \Delta Y_{1-P}^2 + \Delta Z_{1-P}^2; \quad (198)$$

$$R_{1-P} = \Delta X_{2-P}^2 + \Delta Y_{2-P}^2 + \Delta Z_{2-P}^2; \quad (199)$$

$$R_{1-P} = \Delta X_{3-P}^2 + \Delta Y_{3-P}^2 + \Delta Z_{3-P}^2. \quad (200)$$

В этой системе уравнений три неизвестных – пространственные прямоугольные координаты определяемого пункта. Следовательно, решая данную систему, можно вычислить координаты  $X_P$ ,  $Y_P$  и  $Z_P$ , т.е. определить абсолютное положение пункта. Рассмотренное геометрическое построение называют *пространственной линейной засечкой (ПЛЗ)*.

*Псевдодальность.* На практике метод ПЛЗ реализуют при спутниковых наблюдениях, измеряя не расстояния до ИСЗ, а так называемой *псевдодальности*. Последние отличаются от принятого понятия дальность на некоторую неизвестную, но постоянную на данный момент спутниковых наблюдений  $\Delta D$ , обусловленную расхождением шкал времени ИСЗ и приемника. Следовательно, при измерении абсолютного положения число неизвестных будет не три, а четыре ( $X_P$ ,  $Y_P$ ,  $Z_P$  и  $\Delta D$ ). Отсюда следует, что для установления абсолютного положения пунктов на земной поверхности необходимо провести соответствующие наблюдения до четырех ИСЗ. Поясним более подробно понятие псевдодальность.

При радиотехнических измерениях расстояние характеризуется временем распространения сигнала от излучателя до приемника. В случае, когда излучатель и приемник находятся в разных точках пространства, измерение расстояния возможно только при строгой идентичности и синхронности шкал времени передатчика и приемника. Тогда время распространения сигнала от передатчика до приемника определяется как временной интервал между моментом излучения сигнала (временной метки), передаваемым передатчиком в составе соответствующей цифровой информации, и моментом его приема, отсчитываемым по шкале времени приемника.

В ГНСС указанные условия выполняются только в части, относящейся к навигационным спутникам, бортовые шкалы времени (БШВ) которые формируются бортовыми (атомными) эталонами частоты, синхронизированными с системной шкалой времени (СШВ),

вырабатываемой в системах контроля и управления ГНСС и связанными с национальными стандартами частоты.

Для синхронизации БШВ и СШВ в системах контроля и управления ГНСС предусмотрена соответствующая сверка БШВ и СШВ. При необходимости проводят соответствующую синхронизацию <ИС и СШВ с точностью до десятков наносекунд.

Шкала времени в приемниках (IDG) задается в момент включения приемника, вырабатывается с помощью соответствующего кварцевого опорного генератора и формируется автономно. Следовательно, шкала времени потребителя имеет случайное начальное расхождение с системной шкалой времени. Имеет место также последующий уход IDG в процессе измерений относительно бортовой шкалы времени спутника, а следовательно, и системной шкалы времени. При этом разность между приемом метки времени, отсчитанной по шкале времени потребителя, и моментом ее излучения по системной шкале времени дает совокупное значение времени распространения сигнала и расхождения шкалы времени приемника со шкалой системного времени на момент измерения (рис. 142).

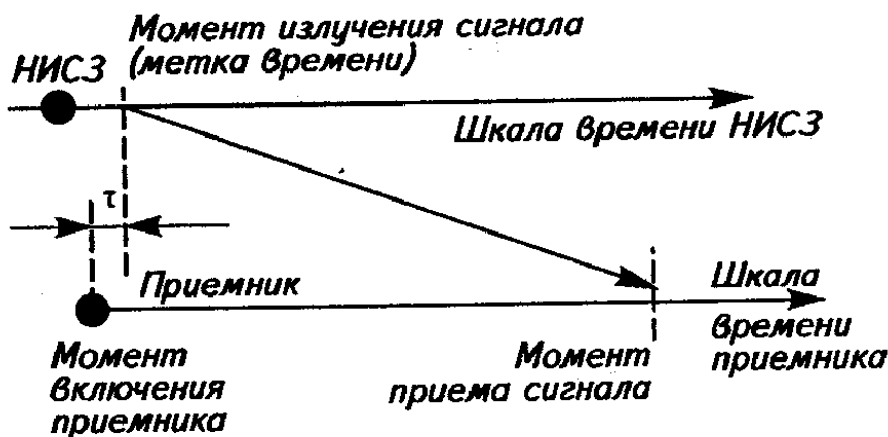


Рисунок 142 – Формирование псевдодальности

Таким образом псевдодальностью  $\rho_{ij}$  между  $j$ -м приемником и  $i$ -м ИСЗ называют величину:

$$\rho_{ij} = C \times \tau_{ij}, \quad (201)$$

где  $C$  – скорость распространения сигнала от ИСЗ до приемника;

$\tau_{ij}$  – временной интервал между моментом излучения сигнала, определяемый в системной шкале времени, и моментом его приема, отсчитанным в бортовой шкале времени приемника.

Псевдодальность  $\rho$  отличается от истинной дальности  $D$  на

$$\Delta D_{ij} = C \Delta \tau_{ij} \quad (202)$$

где  $r_{ij}$  – соответствующее расхождение шкал времени.

Если приемник работает на нескольких каналах, то есть принимает сигналы от нескольких ИСЗ одновременно, то составляющая псевдодальности  $\Delta D$ , определяемая расхождением временных шкал, будет одинаковой для всех каналов, а разность псевдодальностей, полученных в любой паре каналов приемника (от любой пары ИСЗ), – равна разности истинных дальностей от приемника до соответствующих ИСЗ на момент приема сигналов.

Точность определения положения с помощью ПЛЗ зависит как от точности измерения соответствующих расстояний, так и от геометрии засечки. Эта точность зависит от геометрического фактора (ГФ) – отношения стандартов погрешностей определения местоположения  $M_t$  и измерения расстояний (псевдодальностей)  $m_R$  между ИСЗ и определяемой точкой на земной поверхности, то есть

$$ГФ = \frac{M}{m_R} \quad (203)$$

Различают: ГФ, характеризующий суммарное влияние геометрии построения на точность определения планового положения пункта  $ГФ_H$ ; ГФ, характеризующий суммарное влияние геометрии построения на точность определения абсциссы пункта –  $ГФ_X$ ; аналогично –  $ГФ_Y$ ; и  $ГФ_V$  – по высоте.

Применительно к GPS понятию ГФ соответствует понятие ухудшение точности – DOP. При этом,  $ГФ_H$  соответствует HDOP, а  $ГФ_V$  – VDOP.

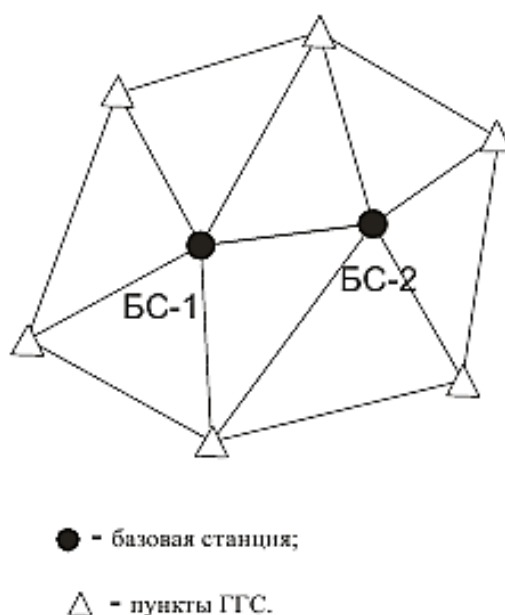
Геометрический фактор, определяющий точность пространственного положения пункта, называют *PDOP*.

## **17.4 Проектирование ГНСС сети для планово-высотной привязки спутниковой технологии**

Перед началом работы по планово-высотной привязке опознаков необходимо определить базовую станцию. Это точка (пункт), на которой устанавливается базовый приемник и относительно которой будут производиться в дальнейшем спутниковые определения планово-высотных опознаков. В качестве исходных пунктов, с которых будет определяться базовая станция, следует использовать пункты геодезической основы, находящиеся в пределах объекта как можно ближе к его границам или за его пределами. Рекомендуется использовать все пункты ГГС, но не менее 4 пунктов с известными плановыми координатами и

не менее 5 пунктов с известными высотами, для того, чтобы обеспечить приведение планово-высотного обоснования в систему координат и высот пунктов геодезической основы. При выборе исходных высотных пунктов необходимо следить, чтобы они не располагались вблизи одной линии.

Для определения базовой станции и планово-высотной привязки опознаков с использованием спутниковой технологии, при создании планов масштаба 1:5000 с сечением рельефа 2 м, следует применять метод построения сети, приведенный на рис. 143.



*Рисунок 143 – Съема определения базовой станции методом построения сети*

Места расположения опорных станций должны выбираться, исходя из их пригодности для наблюдений с помощью GPS. Хорошее месторасположение должно иметь следующие характеристики:

- под углами выше 15 градусов над горизонтом не должно быть никаких препятствий;
- должны отсутствовать отражающие поверхности, которые могли бы создавать многопутность;
- с точки зрения безопасности следует выбирать места установки в стороне от движущегося транспорта и от случайных прохожих не оставляя аппаратуру без присмотра;
- в окрестности не должны располагаться мощные радио- и телевизионные передатчики.

Следует отметить, что опорный приемник необязательно должен быть установлен на пункте с известными координатами. Значительно лучше организовывать временные опорные станции на пунктах, которые полностью отвечают перечисленным выше требованиям, чем пытаться производить установку опорного приемника в точке с известными координатами, не соответствующей условиям наблюдений с помощью GPS.

Для удобства работ базовые точки располагают на крышах зданий, в которых разместились бригады топографов. В этом случае в качестве базовых точек используют винты или трегеры с винтом, закрепленные на крыше, для установки антенны GPS приемника.

Чем точнее будет определена «база», тем качественнее будет выполнена планово-высотная привязка с использованием спутниковой технологии. Поэтому для определения «базы» выбирают статический метод спутниковых наблюдений. На всех пунктах геодезической основы, участвующих в определении «базы», сеанс спутниковых наблюдений длится не менее 60 минут. Время наблюдения, необходимое для Статических измерений зависит от многих факторов. Компания Trimble рекомендует при наблюдении пяти или более спутников соблюдать продолжительность сеанса не менее 45 минут, при наблюдении четырех спутников – не менее 60 минут.

Технология статических измерений обычно используется в проектах, требующих повышенной точности. Нами рекомендован этот метод ввиду того, что наблюдаемые пункты геодезической сети, отмеченные как исходные на картах 1:25000 масштаба, находятся в залесенной местности. Увеличивая время для наблюдения можно получить возможность выбора, при обработке измерений, наиболее лучших интервалов наблюдений с наименьшими помехами от стоящих вокруг деревьев.

Как и для всех GPS измерений статика требует использования как минимум двух приемников, при этом каждый приемник должен одновременно записывать измерения от четырех общих спутников.

Порядок работы на станции при этом следующий:

- разворачивают комплект спутниковой аппаратуры;
- центрируют штатив с трегером и адаптером над центром пункта;
- устанавливают на адаптер антенну;
- измеряют высоту от центра пункта до антенны, используя рулетку;
- соединяют кабелем антенну с приемником;

- включают приемник;
- после того как приемник установит связь со спутниками (не менее 4-х спутников), включают запись измерений в карту памяти приемника (режим регистрации данных);
- по окончании сеанса наблюдения выключают приемник;
- сворачивают комплект спутниковой аппаратуры.

Одновременно со спутниковыми измерениями подвижным приемником ведутся наблюдения базовым приемником, находящимся в одной из комнат здания, на крыше которого находится антенна базового приемника. Питание базового приемника осуществляют от сети. В случае отключения электроэнергии приемник автоматически переходит на питание от внутренних аккумуляторов.

По окончании спутниковых измерений выполняют вычислительную обработку данных наблюдений спутников. Вычислительная обработка производится по следующим этапам:

- предварительная обработка – разрешение неоднозначностей при фазовых измерениях до наблюдаемых спутников, получение координат определяемых точек в системе координат глобальной навигационной спутниковой системы и оценка точности;
- уравнивание геодезических построений и оценка точности.

В качестве программного обеспечения для производства вычислительной обработки используют программные пакеты, входящие в комплект GPS приемника.

Планово-высотная привязка опознаков заключается в опознавании на местности по аэрофотоснимкам четкого контура в строго заданном проекте районе и определении его координат и отметки с помощью GPS- аппаратуры.

После того, как четкий контур будет распознан и наколот с точностью 0,1 мм в масштабе создаваемого плана, на лицевой стороне снимка накол обводят окружностью диаметром 10 мм и рядом показывают номер точки (название пункта). В нашем случае для планов масштаба 1:5000 точность опознавания и накола составляет 0,5 м.

На обратной стороне аэрофотоснимка рисуется абрис расположения четкого контура, а накол обводят меньшей окружностью. Здесь же подписывают номер точки и дают краткое описание.

Далее распаковывают и устанавливают на точке GPS-аппаратуру. Все наблюдения на планово-высотных опознаках выполняют в режиме Быстрая статика с периодом наблюдения на каждом из опознаков 30 – 40 мин.

При всех видах съемочных работ действует правило организации перекрестного контроля с использованием независимых измерений. В зависимости от характера выполняемой работы и требований к точности измерений имеет смысл применить те же самые принципы к съемкам GPS.

Перекрестный контроль должен быть наиболее тщательно продуман применительно к режиму «Быстрая статика», характеризующемуся короткой продолжительностью наблюдений. Если время наблюдений непродолжительное или плохой геометрический фактор (GDOP), или наблюдаются очень интенсивные изменения ионосферы, то может случиться, что программное обеспечение, применяемое при «пост-обработке», будет разрешать неоднозначность, но результаты могут выходить за установленные допуски по точности.

В зависимости от требуемой точности потребитель должен подготовить способы контроля заново снимаемых точек. Это особенно важно, если продолжительность сеанса наблюдений сведена к минимуму, а рекомендации, касающиеся GDOP, игнорируются.

Для полного независимого контроля необходимо:

- встать на точку второй раз в другое окно наблюдения спутников. При этом гарантируется тот факт, что установка приемника, «созвездие» спутников и атмосферные условия будут различными;
- замкнуть траверсный ход базисной линией, соединяющей последнюю точку наблюдений со стартовой точкой;
- провести независимые измерения между точками в такой сети.

На рис. 144 приведена схема GPS – наблюдений планово-высотных опознаков.

Частичный контроль может быть произведен за счет использования двух опорных станций вместо одной. При этом для каждой точки получены два значения ее местонахождения, но каждое значение будет базироваться на использовании наблюдений, полученных одним и тем же мобильным приемником и при одной и той же его установке.

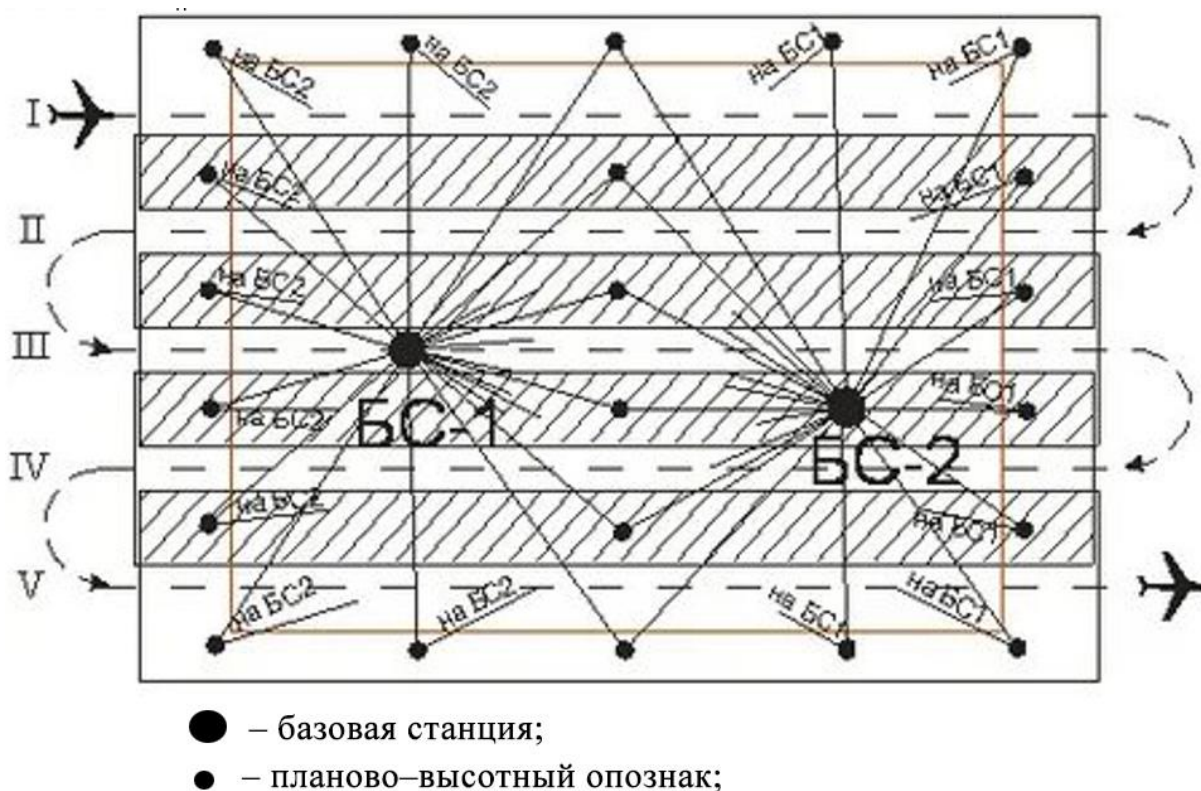


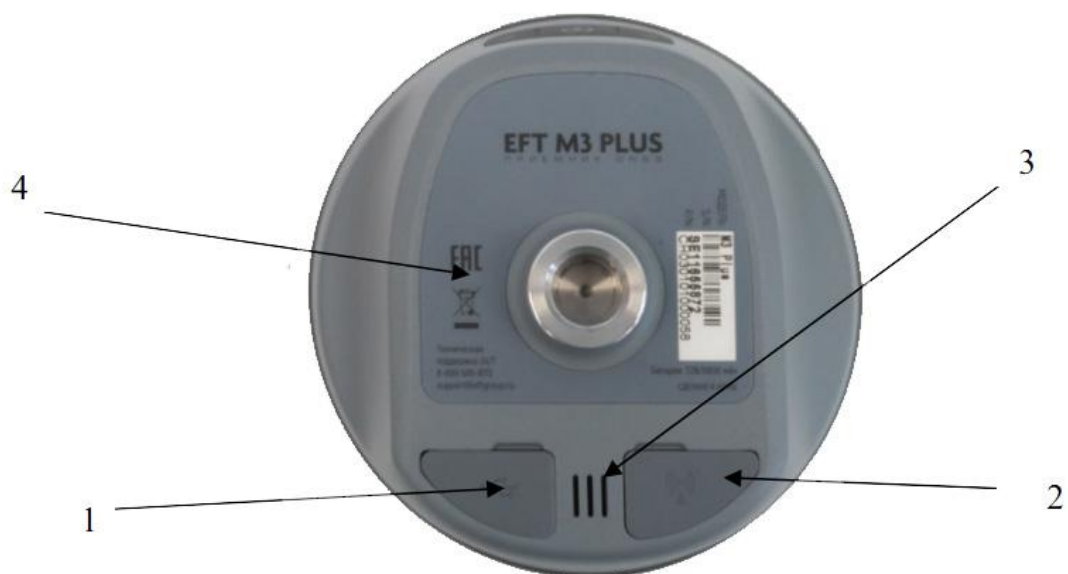
Рисунок 144 – Схема GPS – наблюдений планово-высотных опознаков

## 17.5 Устройство ETF GNSS M3

Аппаратура геодезическая спутниковая «EFT M3 GNSS» предназначена для определения координат и измерений длин базисов.

EEFT M3 – современный GNSS приемник с высокой производительностью. Он обеспечивает выполнение любого типа задач, где необходима точность позиционирования.

На боковой части корпуса приемника расположена панель управления, которая включает в себя три свето-индикатора: индикатор статуса спутников, индикатор питания, индикатор приема/передачи поправок и статуса записи данных, и одну функциональную клавишу (рис. 145). Также на другой боковой стороне корпуса расположен аккумуляторный отсек.



1. USB разъем и защитная заглушка;
2. антенный разъем для подключения радиоантенны и защитная заглушка;
3. динамик;
4. резьбовое крепление (5/8").

*Рисунок 146 – Нижняя часть корпуса EFT GNSS M3*

В нижней части корпуса приемника расположены интерфейсные порты: miniUSB и LEMO порт с пятиштырьковым разъемом, оба порта предназначены для подключения внешнего источника питания и ввода/вывода различной информации (рис. 146). На интерфейсных портах предусмотрены резиновые заглушки.

Принцип действия приемника основан на получении данных от спутников глобальных навигационных систем и их последующей обработке.

Технология приемки сигналов имеет тройную частотность GNSS, что обеспечивает высокий уровень выполнения и быстроты позиционирования, в том числе в условиях высокоэтажной стройки и густой населенности территории.

EFT M3 включает в себя систему IRTK, которая дает возможность использовать его в положении RTK. Можно проводить съемочные работы одновременно несколькими группами, взаимодействующими с единственной мобильной базой, не затрачиваясь на дополнительные модемы.

За счет системы RTK+, можно выполнять работу, не используя альтернативные методы и устройства, в любых суровых условиях. Данная система работает на основе РРК математического расчета первоначальных (сырых) показателей в режиме реального времени.

Интегрированный УКВ модем с широким диапазоном частот (410-470 МГц). Обеспечит легкое выполнение задачи в положении RTK, на территории с отсутствием моб. интернета. Прибор принимает и передает данные.

WiFi, Bluetooth и NFC обеспечивают качественное соединение с контроллерами. Прибор оснащен Веб интерфейсом, который обеспечивает настройку и запуск его удаленно.

В EFT M3 совмещены имеющиеся в данный момент современные технологии. Несмотря на это удалось все уместить в небольшом корпусе, вес которого составляет примерно 0,8 кг. В приборе имеется достаточно объемный аккумулятор 6800 мА ч. Также есть защита внешних воздействий (IP68) и критических температур от -45 до +65 Цельсия. Прибор может работать при самых суровых погодных условиях.

Основные характеристики:

- 866 универсальных каналов
- ГЛОНАСС: L1 C/A, L2 C/A;
- GPS: L1 C/A, L2E, L2C, L5;
- BEIDOU: B1, B2, B3, B1C, B2a;
- Galileo: E1, E5A, E5B;
- QZSS: L1 C/A, L1 SAIF, L1C, L2C, L5;
- прием перспективных сигналов систем по мере их развития;
- поддержка сервиса дифференциальной коррекции EFT xFix (опция);

- технологии работы через облачный сервис iRTK;
  - технологии постобработки данных в реальном времени RTK+;
  - поддержка тройной частоты созвездий GPS, BeiDou и Galileo, обеспечивающую самую быструю и надежную инициализацию;
  - технология отслеживания спутников с малым углом возвышения;
  - надежность инициализации > 99,9 %;
  - встроенный электронный уровень;
  - технология инерциальной коррекции наклона IMU.
- Параметры точности измерений представлены в таблице 21.

Таблица 21 – Точность измерений (СКО) EFT GNSS M3

	Статика	RTK	Дифференциальные кодовые измерения (DGNSS)	Автономные измерения
В плане	2,5 мм + 0,5 мм/км	5 мм + 0,5 мм/км	25 см + 1 мм/км	1 м
По высоте	5 мм + 0,5 мм/км	10 мм + 0,8 мм/км	50 см + 1 мм/км	1,5 м

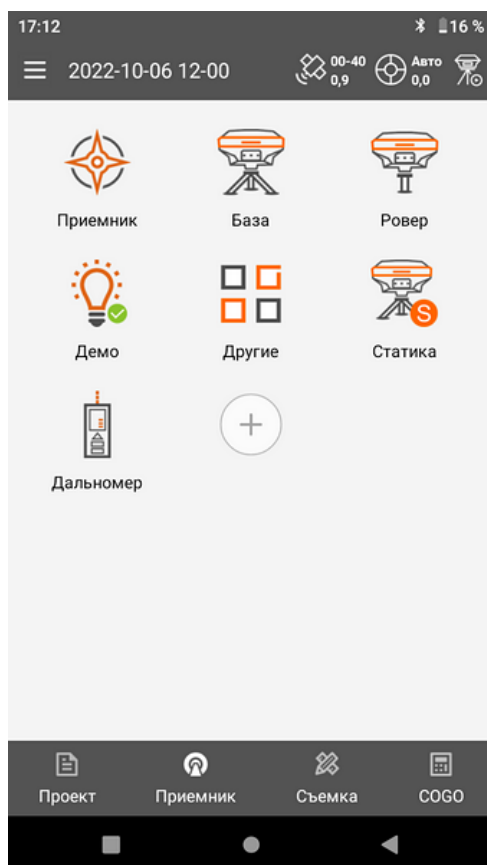
Контроллер EFT H3, работающий под управлением мобильной операционной системы Android, может управлять ГНСС-приемником при помощи полевого ПО EFT Field Survey или EFT Seismic (рис. 147).

ГНСС-приемник может быть соединен с контроллером EFT H3 по каналу Wi-Fi, Bluetooth. Приемник имеет функциональную возможность NFC. Она позволяет при использовании контроллера EFT H3 автоматически определять серийный номер, а также выключать приемник при использовании полевого ПО EFT Field Survey.

Для подключения ГНСС-приемника к базовым станциям необходимо установить связь между контроллером и EFT H3 через NFC-модуль. После установки соединения, необходимо перейти в меню во вкладку «Приемник», где расположены основные разделы работы с оборудованием: «Приемник», «База», «Ровер», «Демо», «Другие», «Статика» и «Дальномер».



*Рисунок 147 – Контроллер EFT M3*



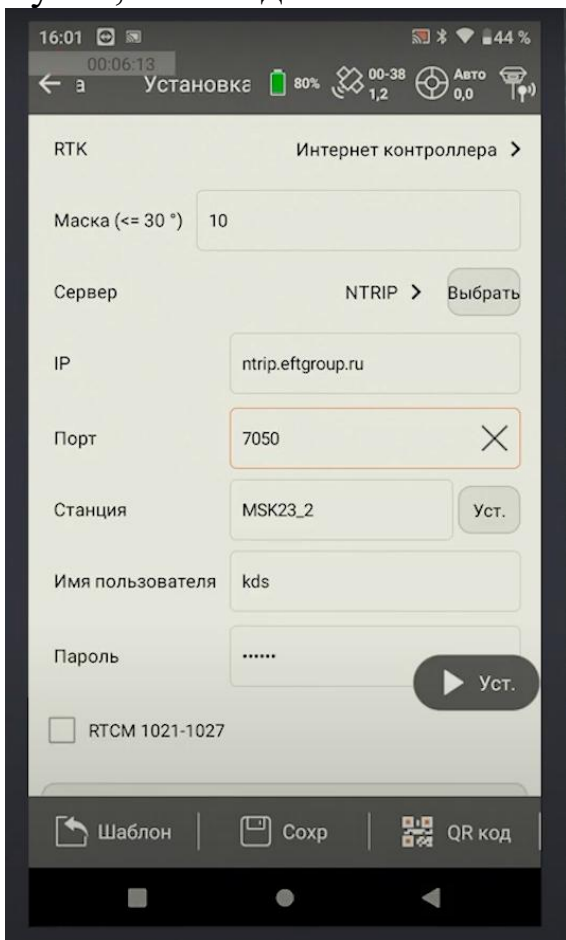
*Рисунок 148 – Основное меню вкладки «Приемник»*

Необходимо перейти во вкладку «Ровер» и выбрать тип подключения к постоянно действующим базовым станциям: «интернет контроллера» (альтернативой выступает «внутренний UHF»). Это позволит использовать интернет либо той сим-карты, что установлена на нем, либо по wi-fi сети через раздачу интернета с мобильного телефона.

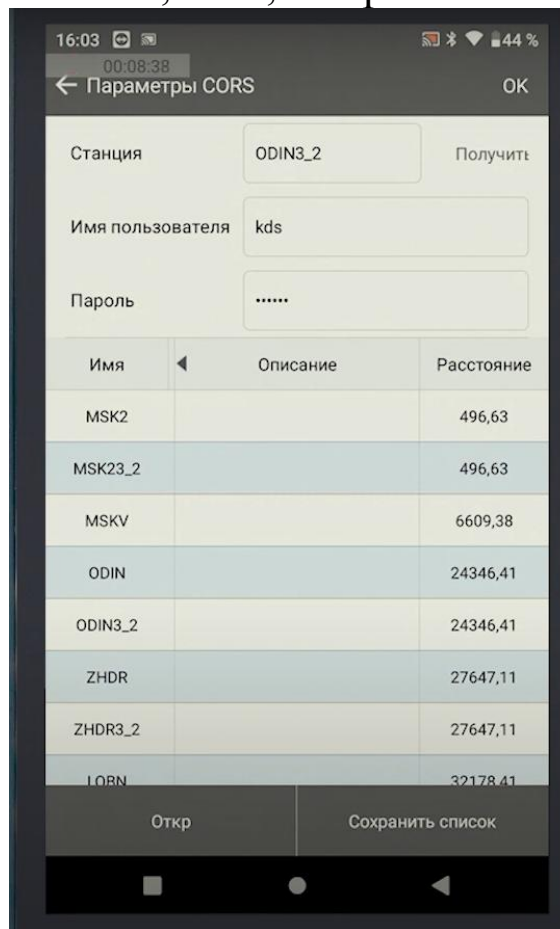
Устанавливаем остальные параметры:

- 1) маска возвышения –  $10^\circ$
- 2) сервер – NTRIP

Используя кнопку «Выбрать» можно воспользоваться предлагаемыми шаблонами для автоматического заполнения оставшихся параметров. Можно использовать любой из ряда предлагаемых. Например, шаблон «EFTM3». При использовании сторонних базовых станций шаблоны можно использовать для их внесения в программу. В этом случае, необходимо заполнить поля «Имя», «IP», «Порт».



а)



б)

Рисунок 149 – Заполненный модуль подключения к базовым станциям: а) общий вид; б) раздел «Станции»

Порт можно заменить на региональный. Для этого необходимо вписать «70» и добавить номер региона и номер станции. Так, Пензенская область имеет номер 58, поэтому можно вписать «7058\*\*\*». Через номер порта 2103 можно подключиться к ближайшей базовой станции.

Раздел «Станция» позволяет получить список доступных базовых станций, которые имеются на сервере по подписке. Индексы станций указывают на разные форматы поправок и их количество, которые будут приходить на ГНСС-приемник. Также указывается расстояние до станции. После выбора станции, необходимо проверить строку «Имя» и нажать кнопку «Ок».

Для сохранения настроек можно нажать кнопку «Сохранить», что позволит позже уже из шаблонов загрузить все параметры. Для подключения станции, необходимо нажать кнопку «Соединение». При этом автоматически сверяется пароль и имя пользователя.

## **17.6 Топографическая съемка с применением систем спутникового позиционирования**

Топографическая съемка с использованием геодезических спутниковых приемников выполняется в три этапа: подготовительные работы, создание геодезического съемочного обоснования, собственно съемка.

В ходе подготовительных работ выбирают места для закрепления точек съемочного обоснования с таким расчетом, чтобы не было помех от расположенных вблизи сооружений, крон высоких деревьев, источников мощного радиоизлучения. Все эти и другие факторы могут существенно снизить качество выполняемых спутниковых измерений. В целом источников погрешностей, которые надо учитывать и устранять для спутниковых определений, достаточно много:

- ошибки моделирования часов спутников и их эфемерид;
- ошибки моделирования ионосферной и тропосферной задержек;
- ошибки из-за многопутности, под которой понимается «почти одновременный» прием приемником прямого сигнала от спутника и отраженного от окружающих объектов местности;
- ошибки приемника (так называемые шумы приемника), которых не мало;

– ошибки математической обработки (слабая геометрия созвездия спутников, ошибки орбит и априорных координат начала базовой линии, ошибки математических моделей);

– ошибки наблюдателя (неточное измерение высоты антенны, ошибки центрирования, ошибки в показаниях метеоаппаратуры).

Из сказанного следует, что профессиональная подготовка оператора, работающего со спутниковой аппаратурой, должна быть очень высокой «Определение координат пунктов геодезического съёмочного обоснования в настоящее время чаще всего производится двумя методами: методом статических спутниковых наблюдений и дифференциальным методом. Первый метод является классическим. С него началось распространение спутниковых методов определения координат точек на земной поверхности с целью развития (сгущения) геодезических сетей. Он является наиболее надежным и точным методом и чаще всего применяется тогда, когда существующая сеть пунктов ГГС расположена далеко от участка топографической съёмки (в несколько десятков, а может быть, и в сотне километров). Для этого, работая по классической схеме, с целью достижения максимальной точности определения координат точек съёмочной сети используют 4 исходных пункта с известными координатами и высотами и минимум один нивелирный репер. Важна геометрия расположения исходных пунктов относительно участка местности, подлежащего топографической съёмке. Подлежащий съёмке участок должен располагаться внутри фигуры, образованной исходными пунктами. Соответственно и пункты съёмочного обоснования должны располагаться внутри этой фигуры. На исходных пунктах устанавливают базовые приемники на штативах, которые достаточно длительное время принимают сигналы от спутников, а на заложенных в грунт пунктах съёмочного обоснования устанавливают мобильный приемник – вежу с приемником и контроллером (ровер) или также приемник на штативе. При этом должно быть обеспечено условие синхронных измерений базовым и мобильным приемниками, то есть одновременный прием сигналов от одних и тех же спутников.

Длительность времени наблюдений выбирается в зависимости от длин базовых линий, количества одновременно наблюдаемых спутников, класса используемой спутниковой аппаратуры и условий наблюдений. С учетом всех перечисленных факторов время измерения каждой базовой линии может составлять от 15–20 мин до 1,5 ч. Работа с каждым приемником на станции включает: центрирование приемника

над пунктом с помощью нитяного или оптического отвеса, измерение высоты антенны с помощью секционной рейки, включение приемника и прием сигналов от спутников. При измерении в статическом режиме во время работы не требуется производить каких-либо действий. Приемник автоматически тестируется, отыскивает и захватывает все доступные спутники, производит GPS-измерения и заносит в память всю информацию. По истечении необходимого времени наблюдений мобильный приемник переносят на следующую определяемую точку. После окончания измерений производят обработку полученных результатов, которая включает вычисление длин базовых линий и координат пунктов обоснования в системе координат WGS-84, строгое уравнивание сети по методу наименьших квадратов, трансформирование уравненных координат в государственную или местную (условную) систему координат. Точность определения планового местоположения точек статическим способом достигает  $5-10 \text{ мм} + 1-2 \text{ мм/км}$ , высотного – в 2–3 раза ниже. Так, для расстояния в 10 км длина базовой линии будет определена с погрешностью примерно в 15 мм, а высота – 30 мм.

Поскольку для топографической съемки требования к точности измерений не такие высокие, то вполне может применяться упрощенный способ развития съемочной сети. Это так называемый режим измерений Stop/Go (Стой/Иди). Он дает точность порядка 2 см в плане и 5 см по высоте.

Как уже было сказано, вторым основным методом создания съемочной геодезической основы является дифференциальный метод. Он более оперативный и стал более распространенным, так как за несколько десятилетий в мире появилось много стационарных пунктов GPS и ГЛОНАСС, которые постоянно «поддерживают связь» с навигационными спутниками и по специальным средствам связи с мобильным приемником через радиомодем передает мобильному приемнику свои точные координаты и поправки к результатам измерений, чтобы установленный на новой, заложенной в районе топосъемки точке съемочной сети мобильный приемник мог точно определить свои координаты после постобработки на компьютере или даже в реальном времени (режим кинематики реального времени, или RTK). Если осуществляется постобработка, то, скорее всего, нет особой срочности в топографической съемке или предполагается, что с созданных точек съемочной сети сама топографическая съемка ситуации и рельефа будет осуществляться электронными тахеометрами и далее сгущаться,

съемочная сеть с закладкой в землю временных реперов также будет осуществляться тахеометрами (засечками, проложением тахеометрических ходов). Все методы определения координат спутниковыми методами детально будут рассмотрены на следующих разделах курса.

Собственно топографическая съемка местности выполняется посредством проведения кинематических спутниковых измерений, позволяющих получать координаты и высоты точек за короткие промежутки времени. Для этого базовый приемник на штативе устанавливается на пункте съемочного обоснования, а мобильный – поочередно на снимаемые точки, причем приемник вместе с источником питания располагаются в специальном рюкзаке, а приемная антенна и контроллер, с помощью которого осуществляется управление процессом съемки, крепятся на вехе (рис. 150).



*Рисунок 150 – Базовый (а) и мобильный (б) приемники*

Вначале выполняется инициализация – привязка мобильной станции к базовой, для чего измерения на первой точке проводят несколько дольше (20–30 с), чем на последующих точках. Установив веху с антенной на точку и задав в контроллере все необходимые параметры (высоту установки антенны на вехе, номер пикета, его признак, например угол забора, смотровой колодец и т.п.), начинают съемку, контролируя вертикальность вехи по пузырьку круглого уровня.

Время наблюдения на точке обычно не превышает 5–10 с, после чего измерения останавливают и, не выключая приемника, переходят на следующую точку.

В случае, если снимаемая точка располагается в непосредственной близости от строения, высоких деревьев, других объектов, закрывающих видимость на спутники, время измерений должно быть увеличено. Кроме того, измерения на такие точки можно повторить, вернувшись на них еще раз. Завершают съемку участка наблюдениями на первой точке либо на пункте с известными координатами. После завершения съемки производят обработку результатов так же, как и в случае статических измерений. Точность способа кинематических измерений составляет 2–3 см в плане и 6–8 см по высоте. Результаты измерений могут быть представлены как в цифровом виде, так и в графической форме. В случае необходимости выполнения топографической съемки в городских условиях также применяют спутниковые методы построения городских геодезических сетей, которые являются и по точности (табл. 22), и по времени наиболее эффективными, а также позволяют комплексно использовать тахеометрию и спутниковые методы.

Таблица 22 – Точность создания городских геодезических сетей спутниковым методом

Тип сети	Точность определения координат, см	Относительная ошибка определения линий, не грубее	Значения средних погрешностей взаимного положения пунктов, мм
Исходный пункт (ИП)	1-2	1:1 000 000	–
Каркасная сеть (КС)	1-2	1: 500 000	15
Спутниковая городская геодезическая сеть 1 класса (СГГС-1)	1-2	1:150 000	20
Спутниковая городская геодезическая сеть 2 класса (СГГС-2)	1-2	1:150 000	–

Создание спутниковой городской геодезической сети регламентируется следующими нормативными документами:

– Указом Президента Российской Федерации от 17.05.2007 № 638 «Об использовании глобальной навигационной спутниковой системы

ГЛОНАСС в интересах социально-экономического развития Российской Федерации»;

– Федеральным законом от 24.07.2007 № 221-ФЗ «О государственном кадастре недвижимости»;

– геодезическими и картографическими инструкциями, нормами;

– правилами ГКИНП (ОНТА) 01-271-03 «Руководство по созданию и реконструкции городских геодезических сетей с использованием спутниковых систем ГЛОНАСС и GPS».

Есть несколько очень важных организационных моментов, которые могут затруднить применение спутниковой геодезической аппаратуры в практике топографических съемок. С организационно-правовой точки зрения применяемая для съемки аппаратура должна иметь следующие документы:

– сертификат, дающий право на использование данной аппаратуры на территории государства;

– свидетельство о метрологической поверке, подтверждающее паспортные данные прибора на период полевых работ;

– разрешение Главного радиочастотного центра на использование радио-модемов;

– получение разрешений для работы на режимных или частных территориях и на работу радиостанций.

Современные методы применения спутниковой аппаратуры настолько быстро модернизируются, что теряется смысл их детального описания для инженеров-геодезистов, работающих в строительстве.

## **Контрольные вопросы**

1. Какие спутниковые системы первого поколения упоминаются в документе, и в чем их основные особенности?

2. Какие глобальные спутниковые системы существуют в настоящее время, и кто является их оператором?

3. Каковы основные характеристики орбит спутников в системе GPS и ГЛОНАСС?

4. Что такое псевдодальность, и как она используется в спутниковых навигационных системах?

5. Какие основные секторы (сегменты) входят в состав глобальных спутниковых систем?

6. Какие методы используются для определения местоположения с помощью спутниковых систем, и в чем их различия?

7. Какие факторы влияют на точность определения местоположения с использованием спутниковых систем?
8. Какие основные этапы включает в себя топографическая съемка с использованием спутниковых систем?
9. Какие ошибки могут возникать при спутниковых измерениях, и как их можно минимизировать?
10. Что такое геометрический фактор (ГФ), и как он влияет на точность определения местоположения?
11. Какие основные характеристики и функции имеет приемник ETR GNSS M3?
12. Какие методы используются для создания геодезического съемочного обоснования с помощью спутниковых систем?
13. Какие нормативные документы регулируют создание спутниковых городских геодезических сетей в России?
14. Какие требования предъявляются к местам установки опорных станций для спутниковых измерений?
15. Какие организационные моменты могут затруднить применение спутниковой геодезической аппаратуры в топографических съемках?

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Современная геодезия позволяет добиваться высокой эффективности работ в области землеустройства и кадастра, в повышении точности и доступности данных. Современные технологии спутникового зондирования позволяют определять координаты с высокой точностью, что критически важно в процессе межевания земель и создании кадастровых карт.

Геоинформационные технологии и технологии беспилотных авиационных систем позволяют добиться автоматизации процессов, что упрощает управление земельными ресурсами и мониторингом земель.

Современные геодезические приборы и технологии снижают затраты на производство землеустроительных и кадастровых работ, повышают качество мониторинга землепользования, планирования и проектирования.

Современные технологии продолжают внедрение инноваций в геодезию. Так, возможности GNSS-оборудования позволяют осуществлять экологический мониторинг и оптимизировать использование земель, минимизируя негативное воздействие на окружающую среду. Развитие программирования позволило в полуавтоматическом режиме печатать точные карты, что стало основой для упрощения процедур регистрации прав (от внедрения электронных кадастровых систем до использования блокчейна для регистрации прав на землю).

Учебное пособие разработано на основе требований рабочей программы по дисциплине «Геодезия», а также федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 21.03.02 «Землеустройство и кадастры» (уровень бакалавриат).

В соответствии с рабочей программой в учебном пособии подробно изложены основные сведения из общей геодезии и картографии, сведения из теории погрешностей измерений, базовые сведения о линейных и угловых измерениях, вертикальной и топографической съемок. Большое внимание уделено технологии геодезических работ, камеральной обработке полученных данных и техническим характеристикам инструментов геодезических съемок. В целях подготовки студентов для успешного освоения последующего материала и выработки навыков работы с картографическими произведениями разбираются теоретико-методологические основы решения задач по

топографическим картам. Особое внимание уделено современным методам топографической съемки: беспилотным авиационным системам, 3D-сканированию и с применением систем спутникового зондирования.

В учебном пособии представлены методики проведения конкретных геодезических работ, которые реализуются на практических занятиях по дисциплине «Геодезия» во ФГБОУ ВО «Пензенский государственный аграрный университет» в рамках подготовки студентов направлений подготовки 21.03.02 Землеустройство и кадастры.

Учебное пособие составлено с учетом актуальных требований к выпускникам в области землеустройства и кадастра, которые должны использовать компетенции в области геодезии для работы с технологиями дистанционного зондирования, геоинформационных систем, межевания, землеустроительного проектирования, создания картографических произведений в целях рационального и эффективного использования земли.

## ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ Р 51872-2002 Документация исполнительная геодезическая. Правила выполнения. Введ. 07.01.2002 – Мjcrdf, 2002.
2. Инструкция по топографической съемке в масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 и 1:500. – Москва: Недра, 1982. – 160 с.
3. Методические указания по построению государственных геодезических сетей с применением глобальных навигационных спутниковых систем. – Москва, 1997
4. Постановление Правительства Российской Федерации от 24.11.2016 № 1240 «Об установлении государственных систем координат, государственной системы высот и государственной гравиметрической системы».
5. СНиП 3.01.03–84. Геодезические работы в строительстве. М., 1985
6. СП 11-104-97. Инженерно-геодезические изыскания для строительства [Текст]. – Москва: ПНИИС, 1997.
7. О геодезии, картографии и пространственных данных и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации [Электронный ресурс]: фед. закон от 30.12.2015 N 431-ФЗ // Консультант Плюс: справ. Правовая система. – М., 2007–. Режим доступа :<http://www.consultant.ru/>. – 20.01.2025.
8. Условные знаки для топографических планов масштабов 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500. – Москва: ФГУП «Картгеоцентр», 2004. – 286 с.
9. Анопин, В.Н. Геодезия: учебно-методическое пособие / В. Н. Анопин. – Волгоград: ВолгГТУ, 2017. – 128 с.
10. Букин, С.Н. Геодезия : учебное пособие по направлению подготовки 21.03.02 "Землеустройство и кадастры": в 3 ч. / С.Н. Букин, Е.П. Тюкленкова, Е.С. Денисова. Том Ч. 1. – Пенза : Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, 2022. – 192 с.
11. Вервейко, А.П. Землеустройство с основами геодезии: учебник для вузов. – Москва: Недра, 1988 – 260 с.
12. Голубев, В.В. Геодезия. Теория математической обработки геодезических измерений: Учебник для вузов / В.В. Голубев. – Москва: Московский государственный университет геодезии и картографии, 2016. – 422 с.

13. Дужников, А.П. Геодезия с основами землеустройства. / А.П. Дужников, Н.В. Корягина, О.А. Ткачук. – Пенза: РИО ПГСХА, 2010 – 76 с.
14. Дужников, А.П. Геодезия: Программа учебной практики для студентов, обучающихся по направлению подготовки 250100 – Лесное дело, профиль «Лесное хозяйство», квалификация – бакалавр / А.П. Дужников, А.В. Лянденбургская. – Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2012. – 37 с.
15. Журкин, И.Г. Геоинформационные системы: учебное пособие для студентов высших учебных заведений / И.Г. Журкин, С.В. Шайтура. – Москва: КУДИЦ-Пресс, 2009. – 272 с.
16. Инженерная геодезия: учебник / В.В. Симонян, А.В. Лабузов, С.В. Шендяпина [и др.]. – Москва: МИСИ – МГСУ, 2023. – ISBN 978-5-7264-3219-9. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/369800> (дата обращения: 13.02.2025)
17. Инженерная геодезия: Учебник для студентов вузов / Е.Б. Ключин, М.И. Климов, Д.Ш. Михелев, В.Д. Фельдман ; под редакцией Д.Ш. Михелева. – 4-е издание, исправленное. – Москва: Издательство Академия, 2004. – 479 с.
18. Купреева, Е.Н. Геодезия: учебное пособие / Е.Н. Купреева, Е.А. Курячая. – Омск: Омский ГАУ, 2018. – 118 с.
19. Лысов, Г.Ф. Поверки и исследования теодолитов и нивелиров в полевых условиях – Москва: Недра, 1978, 96 с.
20. Мареев, А.В. Спутниковые системы и технологии позиционирования: практикум: учебное пособие / А.В. Мареев, Е.Г. Гиенко. – Новосибирск: СГУГиТ, 2023. – 58 с.
21. Поклад, Г.Г. Геодезия: учебное пособие для вузов / Г.Г. Поклад, С.П. Гриднев. - Москва: Академический Проект, 2017. - 592 с.
22. Соловьев, А.Н. Прикладная геодезия: учебное пособие / А. Н. Соловьев. – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2021. – 80 с.
23. Стародубцев, В.И. Инженерная геодезия: учебник для СПО / В.И. Стародубцев. – 2-е изд., стер. – Санкт-Петербург: Лань, 2024. – 260 с.
24. Тихонов, Н.Н. Геодезия: Учебное пособие для студентов, обучающихся по направлению подготовки 35.03.03 – Агрохимия и агропочвоведение (квалификация – бакалавр) / Н.Н. Тихонов, А.П. Дужников. – Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2014. – 122 с.

25. Хаметов, Т.И. Инженерная геодезия: учебное пособие по направлению подготовки 08.05.01 "Строительство уникальных зданий и сооружений" / Т.И. Хаметов. – Пенза: Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, 2023. – 280 с.

26. Шоломицкий, А.А. Инженерные геодезические и маркшейдерские работы: теория и практика / А.А. Шоломицкий, С.Г. Могильный, Н.С. Косарев. – Санкт-Петербург: Лань, 2023. – 312 с.

27. Щербаков, В.В. Глобальные навигационные спутниковые системы: учебно-методическое пособие / В.В. Щербаков. – Новосибирск: СГУПС, 2022. – 44 с.

Учебное издание

**Солодков Николай Николаевич**

**ГЕОДЕЗИЯ**  
**ЧАСТЬ I «ОСНОВЫ ГЕОДЕЗИИ»**

Учебное пособие

Компьютерная верстка Н.Н. Солодкова  
Корректор Л. Н. Каменская

Дата подписания к использованию 14.05.2025 Уч. Изд. л. 9.82  
№ 11 в реестре электронных ресурсов ПГАУ.  
Объем издания 7,8 Мб

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Пензенский государственный аграрный университет» 440014, г. Пенза, ул. Ботаническая, 30, [www.pgau.ru](http://www.pgau.ru)