

**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

ФГБОУ ВО Пензенский ГАУ

Кафедра общего земледелия и землеустройства

Н. Н. Солодков

ГЕОДЕЗИЯ

**Учебное пособие для студентов агрономического факультета,
обучающихся по направлениям подготовки**

35.03.01 Лесное дело

35.03.03 Агрохимия и агропочвоведение

35.03.04 Агрономия

(квалификация – бакалавр)

Пенза 2026

УДК 528(075)
ББК 26.12(я7)
С60

Рецензент – кандидат с.-х. наук, доцент кафедры «Селекция, семеноводство и биология растений» ФГБОУ ВО Пензенский ГАУ Н.В. Корягина.

Издается по решению методической комиссии агрономического факультета ФГБОУ ВО Пензенский ГАУ от 5 марта 2026 года, протокол № 5.

Солодков Н. Н.

Геодезия: учебное пособие / Н.Н. Солодков; Пензенский государственный аграрный университет. – Пенза: ПГАУ, 2026. – Текст электронный 1 CD (7,3).

Учебное пособие выполнено в соответствии с рабочей программой учебной дисциплины «Геодезия» для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки 35.03.01 Лесное дело направленность Лесное хозяйство, 35.03.03 Агрохимия и агропочвоведение направленность Агроэкология, 35.03.04 Агрономия направленность Агробизнес / Селекция и семеноводство сельскохозяйственных культур (бакалавриат). В учебном пособии представлены основы геодезических знаний в области высшей и прикладной геодезии. Подробно рассмотрены устройство, работа и поверки геодезических приборов, а также современные методы и способы геодезических съемок. Учебное пособие содержит основные сведения о геодезических измерениях, сведения из теории погрешностей измерений, способах нивелирования поверхности, а также изображения рельефа, обработки результатов теодолитной и тахеометрической съемок и построении топографического плана.

УДК 528(075)
ББК 26.12(я7)

© Солодков Н. Н., 2026
© ФГБОУ ВО Пензенский ГАУ, 2026

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1 ГЕОДЕЗИЯ КАК НАУКА.....	7
1.1 Предмет и задачи геодезии	7
1.2 Разделы геодезии.....	8
1.3 Методы и технологии в геодезии	9
1.4 Связь геодезии с другими науками	11
2 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ГЕОДЕЗИИ.....	14
2.1 Форма Земли и положение точек на её поверхности	14
2.2 Карта и её масштаб.....	22
2.3 Ориентирование линий.....	26
2.4 Прямая и обратная геодезическая задачи	30
3 ГЕНЕРАЛИЗАЦИЯ И УСЛОВНЫЕ ЗНАКИ КАРТЫ.	35
3.1 Понятие топографического плана и карты.....	35
3.2 Элементы карты	37
3.3 Генерализация.....	38
3. 4 Условные знаки, виды, таблица условных знаков.....	39
4 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ ПОГРЕШНОСТЕЙ.....	42
ИЗМЕРЕНИЙ.....	42
4.1 Погрешности измерений и их характеристики	42
4.2 Оценка точности результатов	44
4.3 Источники погрешностей и их устранение	46
5 ИЗМЕРЕНИЕ ДЛИНЫ ЛИНИЙ.....	50
5.1 Измерение длин линий мерными приборами	50
5.2 Измерение длины линий дальномерами	56
6 ВЕРТИКАЛЬНАЯ СЪЕМКА	59
6.1 Рельеф и его изображение на карте.....	59
6.2 Нивелиры, нивелирные рейки и их устройство	65
6.3 Поверки и юстировки нивелиров	76
6.4 Способы нивелирования и вычисление отметок	83
6.5 Нивелирные рейки и штативы	88
7 УГЛОВЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ.....	95
7.1 Теодолиты и тахеометры.....	95
7.2 Измерения горизонтальных и вертикальных углов	103
7.3 Поверки и юстировки теодолита ЗТ5КП	107
7.4 Измерение углов на местности	112
7.5 Устройство электронного тахеометра SOKKIA SET530R ...	116

7.6 Тригонометрическое нивелирование	124
8 ТОПОГРАФИЧЕСКАЯ СЪЕМКА.....	128
8.1 Обработка результатов теодолитной съемки	128
8.2 Обработка результатов тахеометрической съемки	138
8.3 Построение топографического плана	141
9 СОСТАВЛЕНИЕ ТОПОГРАФИЧЕСКОГО ПЛАНА УЧАСТКА МЕСТНОСТИ	149
9.1 Изображение рельефа местности горизонталями.....	149
9.2 Построение графика заложения.....	152
9.3 Оформление топографического плана.....	153
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	158
ЛИТЕРАТУРА	161

ВВЕДЕНИЕ

Основу геодезических знаний составляют достижения математики, физики и астрономии, которые на протяжении веков обеспечивали развитие методов измерения пространства и определения положения объектов на земной поверхности. В недалёком прошлом геодезию справедливо называли «практической геометрией», подчёркивая её прикладную направленность и тесную связь с решением хозяйственных, инженерных и землеустроительных задач. Математика всегда служила геодезии мощным аналитическим аппаратом, позволяющим не только обрабатывать результаты измерений, но и строить сложные пространственные модели местности. Астрономия исторически обеспечивала исходные данные для построения геодезических сетей, а физика – теоретическую основу создания точных измерительных приборов. Однако в условиях стремительного научно-технического прогресса XXI века геодезия превратилась в многогранную, динамично развивающуюся науку, находящуюся на стыке классических дисциплин и современных цифровых технологий.

Развитие космических технологий, глобальных навигационных спутниковых систем, аэрофотосъёмки с беспилотных платформ, лазерного сканирования и геоинформационного моделирования кардинально изменило как содержание, так и методы геодезической деятельности. Сегодня геодезия выступает не только как средство создания карт и планов, но и как ключевой элемент цифровой инфраструктуры, обеспечивающей пространственную координацию всех видов деятельности, связанных с землёй. Накопление больших объёмов геопространственных данных, их автоматизированная обработка и визуализация требуют от специалистов нового поколения владения не только традиционными полевыми методами, но и современными программными средствами, способными интегрировать разнородную информацию в единую цифровую модель территории.

Особую актуальность геодезические компетенции приобретают в аграрном секторе и лесном хозяйстве. Современные технологии точного земледелия, основанного на дифференцированном подходе к обработке полей, невозможны без детального знания рельефа, микрорельефа, водосборных площадей и других пространственных характеристик участка. Аналогично, в лесном деле эффективное планирование рубок, восстановления лесов, противопожарных мероприятий и учёта

лесных ресурсов напрямую зависит от качества топографо-геодезической информации. Именно поэтому формирование у студентов чёткого представления о средствах и методах геодезических работ становится неотъемлемой частью их профессиональной подготовки.

Целью настоящей дисциплины является вооружение будущих агрономов и лесоводов теоретическими знаниями и практическими навыками, необходимыми для выполнения топографо-геодезических изысканий, составления и корректировки топографических планов, решения инженерных задач при землеустройстве, мелиорации, проектировании дорог и других объектов инфраструктуры.

Важнейшими задачами курса являются:

- формирование у студентов понимания необходимости геодезического обеспечения всех этапов землепользования; освоение базовых геодезических понятий и терминологии;
- приобретение навыков работы с современными геодезическими приборами – от оптических нивелиров и теодолитов до электронных тахеометров и спутниковых приёмников;
- освоение методов математической обработки измерений и построения топографических планов.

Учебное пособие разработано в соответствии с требованиями Федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования (ФГОС ВО) по направлениям подготовки 35.03.01 Лесное дело, 35.03.04 Агрономия, 35.03.03 Агрохимия и агропочвоведение и рабочими программами ФГБОУ ВО «Пензенский государственный аграрный университет». Оно охватывает как классические разделы геодезии – устройство и поверки приборов, методы линейных и угловых измерений, нивелирование, теодолитную и тахеометрическую съёмку, так и современные аспекты, связанные с использованием цифровых технологий и геоинформационных систем. Материал изложен последовательно, с акцентом на прикладную значимость каждого раздела для будущей профессиональной деятельности выпускника.

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

Геодезия представляет собой одну из фундаментальных дисциплин, находящихся на стыке точных и прикладных наук, и занимает особое место в системе знаний о Земле и пространственной организации окружающей среды. Её историческое развитие тесно связано с практическими потребностями человечества в измерении, делении и рациональном использовании земельных ресурсов. Уже в глубокой древности, в цивилизациях Древнего Египта, Месопотамии и Китая, геодезические методы применялись для установления границ земельных наделов, проектирования ирригационных систем, а также для возведения монументальных сооружений, требующих высокой точности в пространственном расположении элементов. Слово «геодезия» происходит от греческих корней *ge* – «земля» и *dazomai* – «делю», что буквально означает «землеразделение», что отражает первоначальное назначение этой дисциплины. Однако с течением времени, по мере развития научного знания и технологий, предмет и задачи геодезии значительно расширились, превратив её из утилитарной практики в сложную, многогранную науку, интегрирующую достижения математики, физики, астрономии, информатики и радиоэлектроники.

В современном понимании геодезия – это наука, изучающая фигуру, размеры и гравитационное поле Земли, а также разрабатывающая методы определения координат точек земной поверхности и их изменений во времени. Согласно Федеральному закону Российской Федерации № 431-ФЗ от 30 декабря 2015 года «О геодезии, картографии и пространственных данных», геодезия определяется как область отношений, направленная на установление параметров Земли как физического тела и создание единой пространственной основы для решения широкого круга государственных, хозяйственных, оборонных и научных задач. Объектом исследования геодезии является окружающее

пространство, включающее не только поверхность Земли, но и околоземное космическое пространство, а также искусственные и естественные объекты, расположенные в этом пространстве. Предметом же геодезии выступает геометрия этого пространства, то есть его количественные и качественные характеристики, такие как форма, размеры, взаимное положение объектов и их динамика. Основными методами геодезии являются измерение и моделирование, которые реализуются с помощью специализированных приборов и программных средств, обеспечивающих высокую точность и достоверность получаемых результатов.

Центральной задачей геодезии является геометризация и координатизация пространства. Под геометризацией понимается представление реальных объектов и явлений в виде совокупности точек, линий, поверхностей и тел, описываемых в графической, аналитической, цифровой или вещественной формах. Координатизация, в свою очередь, предполагает введение строгой системы координат, позволяющей однозначно определять положение любого объекта в пространстве. Эта задача решается как на глобальном уровне – при определении параметров земного эллипсоида и построении мировых геодезических систем, так и на локальном – при выполнении инженерно-геодезических работ на строительных площадках или при землеустройстве. Важнейшими долгосрочными задачами геодезии являются: определение фигуры и размеров Земли, а также характеристик её гравитационного поля; создание и поддержание единой государственной геодезической сети, распространяющейся на всю территорию страны и являющейся основой для всех видов картографических и кадастровых работ; изучение современных движений земной коры, включая горизонтальные и вертикальные смещения блоков литосферы, вызванные тектоническими процессами; а также обеспечение высокоточной пространственной информации для нужд обороны, науки, экономики и экологического мониторинга.

1.2 Разделы геодезии

Развитие геодезии как науки привело к её внутренней дифференциации на ряд взаимосвязанных, но относительно самостоятельных разделов.

Высшая геодезия занимается изучением фигуры и внешнего гравитационного поля Земли, а также разработкой теоретических основ построения геодезических сетей на больших территориях..

Топография сосредоточена на методах съёмки местности и составлении планов и карт, отображающих как ситуацию (искусственные и естественные объекты), так и рельеф.

Картография, хотя и тесно связана с топографией, выступает как отдельная наука, изучающая общие принципы создания, преобразования и использования картографических произведений.

Фотограмметрия и дистанционное зондирование Земли позволяют получать информацию о поверхности планеты по снимкам, сделанным с самолётов, беспилотников или космических аппаратов, что особенно актуально для труднодоступных регионов.

Инженерная геодезия обеспечивает все этапы жизненного цикла инженерных сооружений – от изысканий и проектирования до строительства и эксплуатации.

Маркшейдерия, или горная геодезия, решает специфические задачи, связанные с проведением работ под землёй, в шахтах и карьерах.

Морская геодезия изучает рельеф дна морей, озёр и рек, а космическая геодезия использует данные спутниковых наблюдений для решения фундаментальных и прикладных задач, включая межпланетные исследования.

Несмотря на условное разграничение, эти дисциплины постоянно взаимодействуют, обогащая друг друга методами и технологиями.

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. 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:

- 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

Геодезия находится в постоянном взаимодействии с рядом других наук, что обусловлено комплексным характером изучаемых ею объектов. Она тесно связана с так называемыми «геонауками» – геологией, геофизикой, гидрологией, океанографией, метеорологией и климатологией, каждая из которых исследует определённые аспекты строения и функционирования Земли.

Если геология изучает состав и структуру земной коры, а гидрология – водные ресурсы, то геодезия предоставляет этим наукам точную пространственную основу, позволяющую локализовать и анализировать наблюдаемые явления. Не менее важна связь геодезии с фундаментальными науками.

Математика обеспечивает геодезию мощным аппаратом анализа и обработки измерений, включая теорию погрешностей, методы уравнивания и математическую статистику.

Физика лежит в основе принципов действия большинства геодезических приборов, будь то оптико-механические устройства или лазерные сканеры.

Астрономия исторически играла ключевую роль в определении исходных геодезических данных – координат начальных пунктов и азимутов направлений.

В последние десятилетия решающее влияние на развитие геодезии оказали информатика и микроэлектроника, которые привели к появлению цифровых тахеометров, спутниковых навигационных систем,

геоинформационных технологий и автоматизированных комплексов обработки данных.

Эти достижения позволили перейти от ручных, трудоёмких методов к полностью цифровым технологиям, обеспечивающим высокую производительность и надёжность результатов.

Перспективы развития геодезии связаны с дальнейшей интеграцией с космическими технологиями, искусственным интеллектом и облачными вычислениями. Возрастает роль геодезии в решении глобальных проблем – мониторинга климатических изменений, управления природными ресурсами, обеспечения безопасности населения в сейсмоопасных регионах.

В контексте аграрного производства и лесного хозяйства, что особенно актуально для студентов Пензенского государственного аграрного университета, геодезические знания и компетенции становятся необходимым условием для внедрения технологий точного земледелия, эффективного землеустройства, учёта лесных ресурсов и планирования мероприятий по охране окружающей среды.

Таким образом, геодезия, сохраняя свою фундаментальную роль как наука о пространстве, одновременно превращается в ключевой инструмент устойчивого развития и рационального природопользования в XXI веке.

Контрольные вопросы

1. Каково происхождение термина «геодезия» и что он означал в древности?
2. Как определяется геодезия в современном понимании и согласно федеральному законодательству РФ?
3. Что является объектом и предметом исследования геодезии?
4. Какие основные задачи решает геодезия как наука?
5. В чём заключается суть процессов геометризации и координатизации пространства?
6. Перечислите основные разделы геодезии и кратко охарактеризуйте каждый из них.
7. Какова роль высшей геодезии в системе геодезических наук?
8. Чем отличается топография от картографии, и как они взаимосвязаны?

9. Какие методы геодезических измерений выделяют в зависимости от измеряемых величин?
10. Какие приборы используются при линейных, угловых и высотных измерениях?
11. Какие факторы влияют на точность геодезических измерений?
12. В чём разница между равноточными и неравноточными измерениями?
13. С какими науками тесно связана геодезия и какова природа этих связей?
14. Какую роль играют математика, физика и астрономия в развитии геодезии?
15. Какие современные технологии оказывают наибольшее влияние на развитие геодезии в XXI веке?

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

Геодезия как наука о пространственной структуре Земли и методах её измерения базируется на строгих геометрических, физических и математических принципах. В основе всех геодезических построений лежит представление о форме Земли, которое определяет выбор математической модели для отображения реальных объектов на плоскости или в цифровом пространстве. Физическая поверхность Земли, включающая материки, океанические впадины, горные массивы и равнины, представляет собой чрезвычайно сложную и нерегулярную фигуру, не поддающуюся описанию с помощью элементарных геометрических форм. Тем не менее, для решения практических задач геодезии необходимо использовать упрощённые, но достаточно точные модели, которые позволяют выполнять расчёты, строить карты и планы, а также осуществлять пространственное позиционирование объектов с требуемой точностью.

Наиболее близкой к реальной форме Земли является фигура, называемая *геоидом* (рис. 1). Геоид представляет собой *уровенную поверхность*, совпадающую со средним уровнем Мирового океана в состоянии полного покоя и мысленно продолженную под континентами таким образом, чтобы в каждой точке направление силы тяжести было перпендикулярно этой поверхности. Таким образом, геоид отражает истинную форму Земли с учётом всех гравитационных аномалий, вызванных неравномерным распределением масс в земной коре и мантии. Однако, несмотря на свою физическую обоснованность, геоид не может быть выражен аналитически, поскольку его форма слишком сложна и не подчиняется простым математическим законам. Это делает невозможным использование геоида в качестве основы для геодезических вычислений и построений.

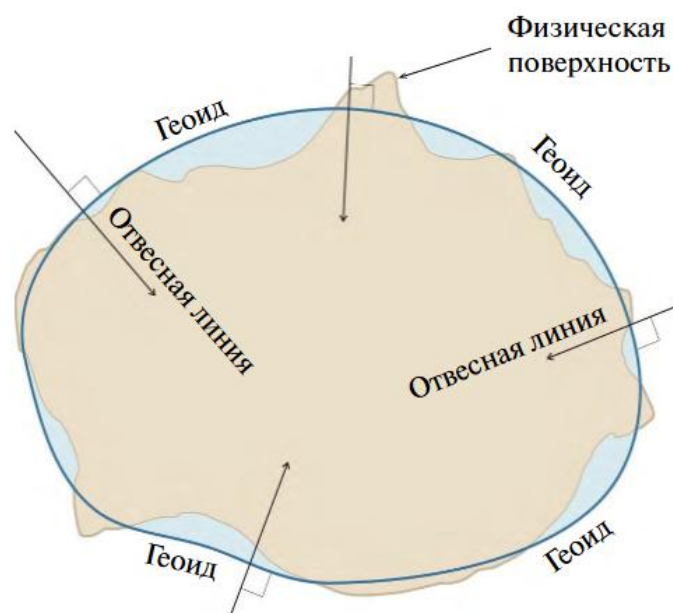


Рисунок 1 – Геоид

В связи с этим в геодезии принято использовать более простую, но геометрически правильную фигуру – *эллипсоид вращения*, который наиболее близко аппроксимирует геоид (рис. 2).

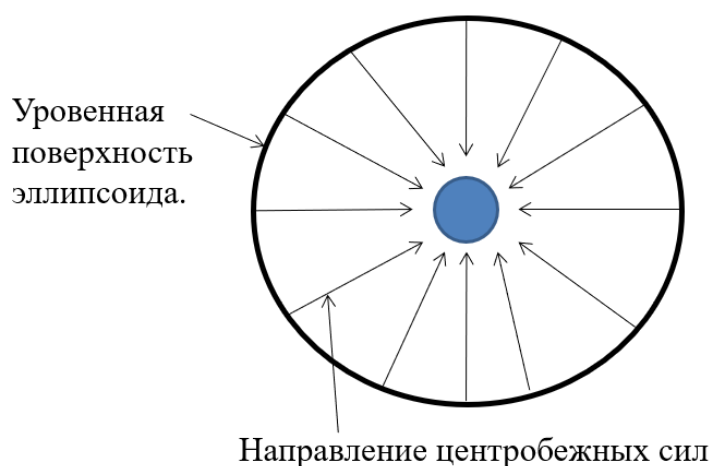


Рисунок 2 – Эллипсоид вращения

Эллипсоид образуется вращением эллипса вокруг его малой оси и характеризуется двумя параметрами: большой полуосью a (экваториальным радиусом) и малой полуосью b (полярным радиусом). Разность между этими полуосями определяет степень сжатия Земли у полюсов, вызванную центробежной силой, возникающей при её вращении. Коэффициент сжатия α вычисляется по формуле:

$$\alpha = \frac{a - b}{a} \quad (1)$$

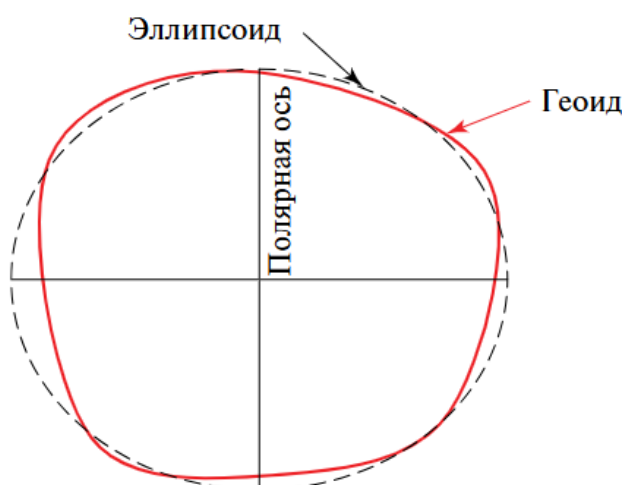


Рисунок 3 – Схема соотношения поверхности эллипсоида и геоида.

Эллипсоид, ориентированный в геоиде называется *референц эллипсоид*. 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 Российской Федерации до недавнего времени в качестве официальной фигуры Земли использовался *эллипсоид Красовского*, полученный в 1940 году советскими учёными Ф.Н. Красовским и А.А. Изотовым на основе астрономо-геодезических и гравиметрических данных. Параметры этого эллипсоида следующие: большая полуось $a = 6\,378\,245$ м, малая полуось $b = 6\,356\,863$ м, коэффициент сжатия $\alpha = 1/298,3$. Эллипсоид Красовского был ориентирован в теле Земли

таким образом, чтобы наилучшим образом соответствовать геоиду на территории СССР, что обеспечивало минимальные отклонения между геоидом и эллипсоидом в пределах страны.

Однако с развитием спутниковых технологий и глобальных навигационных систем стало очевидным, что для решения задач международного масштаба необходима единая, глобально согласованная модель Земли. В результате были разработаны так называемые *общеземные эллипсоиды*, такие как WGS-84 (World Geodetic System 1984) и GRS-80 (Geodetic Reference System 1980), которые используются в системах GPS, ГЛОНАСС и других глобальных навигационных системах. Эти эллипсоиды определяются на основе данных спутниковых наблюдений и обеспечивают наилучшее приближение к геоиду в глобальном масштабе. Например, параметры эллипсоида WGS-84: $a = 6\,378\,137$, $\alpha = 1/298,257223563$. Переход на общеземные системы координат, такие как ПЗ-90.11 в России или ITRF (International Terrestrial Reference Frame) на международном уровне, позволяет обеспечивать совместимость геопространственных данных, получаемых различными пользователями и в разных регионах мира.

Для практических целей, особенно при выполнении крупномасштабных съёмок на небольших территориях, форма Земли может быть приближена ещё проще – *сферой* со средним радиусом около 6 371 км. Такое упрощение допустимо, когда влияние кривизны Земли на результаты измерений не превышает допустимых погрешностей. Например, при площади участка до 20×20 км² искажения, вызванные заменой эллипсоида плоскостью, могут быть пренебрежены, и местность рассматривается как плоская. Это лежит в основе понятия *топографического плана*, который представляет собой уменьшенное и подобное изображение небольшого участка земной поверхности без учёта кривизны Земли.

Положение любой точки на поверхности Земли определяется с помощью *систем координат*, которые могут быть глобальными, региональными или локальными. Наиболее распространённой в геодезии является *геодезическая система координат*, в которой положение точки задаётся тремя величинами: геодезической широтой B , геодезической долготой L и геодезической высотой H .

Геодезическая широта – это угол между нормалью к поверхности эллипсоида, проведённой через данную точку, и плоскостью экватора.

Она отсчитывается от экватора к северу (северная широта) или к югу (южная широта) и изменяется от 0° до 90° .

Геодезическая долгота – это двугранный угол между плоскостью начального (Гринвичского) меридиана и плоскостью меридиана данной точки. Долгота бывает восточной (от 0° до 180°) и западной (от 0° до 180°).

Геодезическая высота – это расстояние от точки до поверхности эллипсоида по нормали.

Геодезическим меридианом называется сечение эллипсоида плоскостью проходящей через точку на его поверхности и малую полярную ось (рис. 4).

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

Положение точки на эллипсоиде задается пересечением параллели и меридиана (рис. 4). Меридиан задается геодезической долготой (L), а параллель геодезической широтой (B).

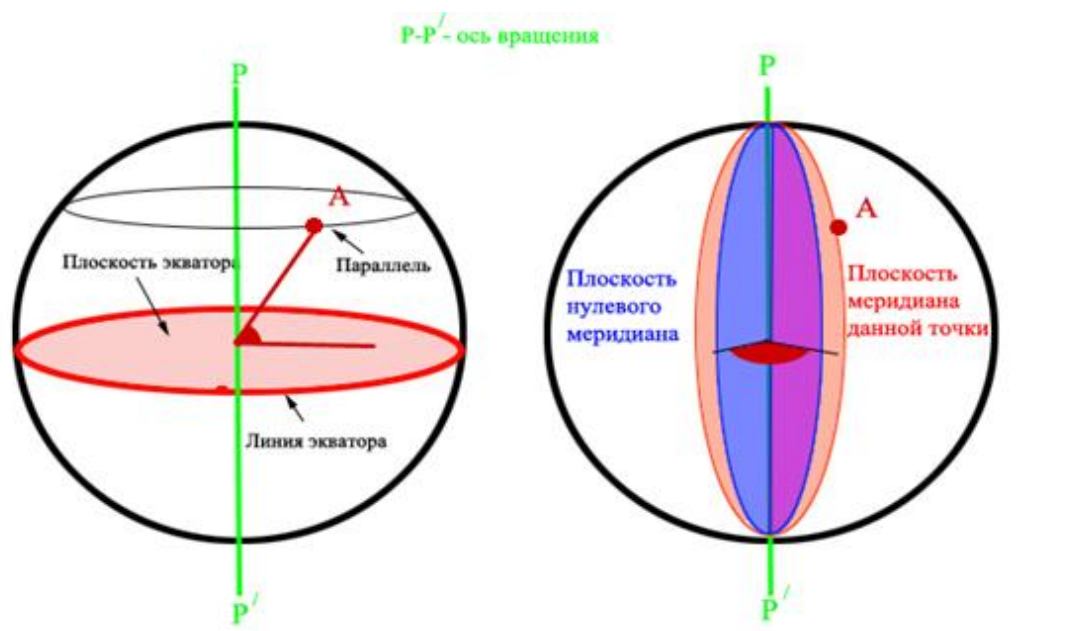


Рисунок 4 – Геодезическая широта (слева) и долгота (справа)

За начальную отсчетную поверхность принимается уровень моря. Относительно ее и принимают высоты точек поверхности земли, называемые *абсолютными* (рис. 5). Таким образом, точка М в геодезической системе имеет координаты B_M ; L_M ; H_M .

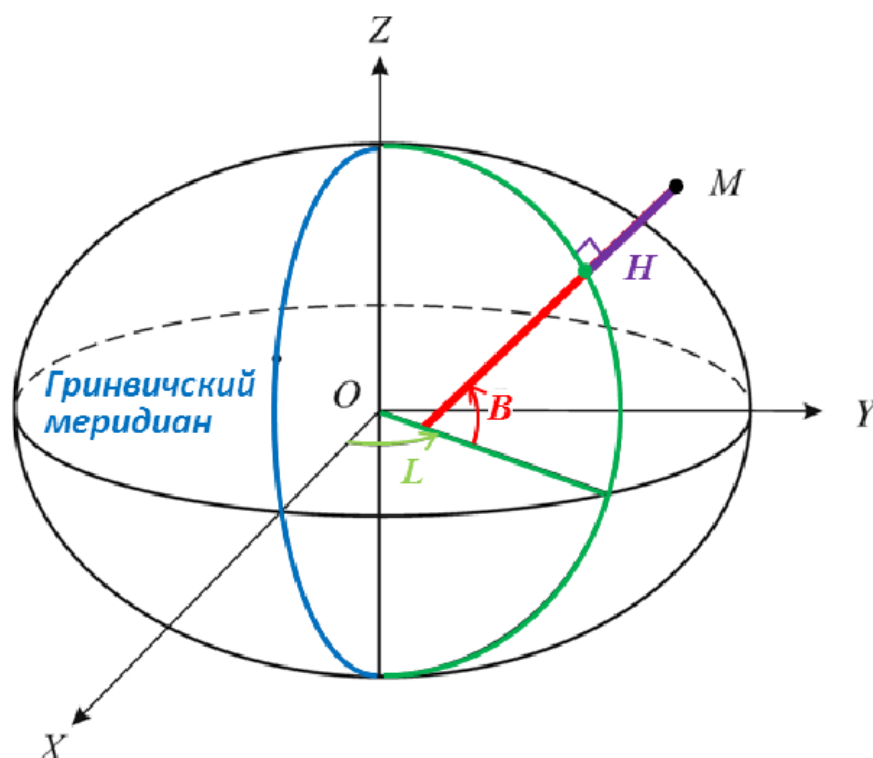


Рисунок 5 – Геодезическая геоцентрическая система координат

Важно отличать геодезическую высоту от *ортогональной высоты* (или *абсолютной отметки*), которая отсчитывается от уровенной поверхности (геоида) по направлению отвесной линии. Разность между геодезической и ортогональной высотами называется *высотой геоида* и может достигать нескольких десятков метров в зависимости от региона.

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 удобства решения инженерных и картографических задач на ограниченных территориях используется *плоская прямоугольная система координат*, наиболее известной из которых является *проекция Гаусса-Крюгера*. Эта проекция является равноугольной (конформной), то есть сохраняет углы и формы бесконечно малых фигур, что особенно важно для геодезических построений. В проекции Гаусса-Крюгера земной эллипсоид разбивается на шестиградусные (или трёхградусные) зоны, каждая из которых проецируется на плоскость отдельно (рис. 6). Осевой меридиан каждой зоны изображается на плоскости

прямой линией без искажений, а экватор – перпендикулярной ему прямой.

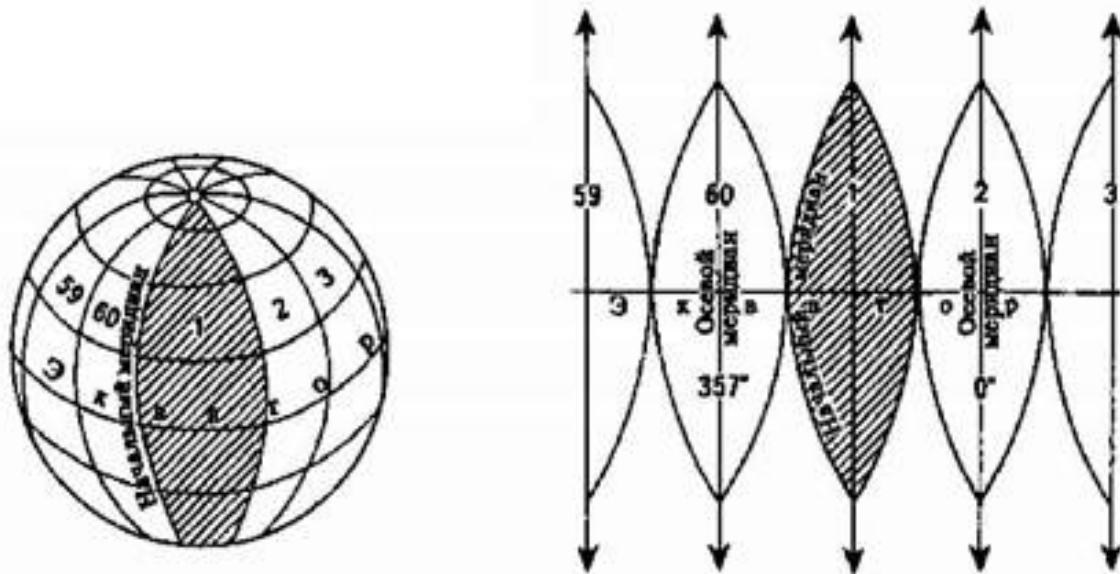


Рисунок 6 – Координатная плоскость проекции Гаусса-Крюгера

За начало координат в каждой зоне принимается пересечение осевого меридиана с экватором. Абсцисса x отсчитывается от экватора к северу (положительные значения) и к югу (отрицательные), а ордината y – от осевого меридиана к востоку и западу. Чтобы избежать отрицательных значений ординат, к ним прибавляют 500 000 м, а также указывают номер зоны слева от значения ординаты. Таким образом, любая точка на территории России может быть однозначно определена своими плоскими координатами x и y , что значительно упрощает вычисления при решении геодезических задач.

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:

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

Помимо планового положения, для полного описания точки необходимо знать её *высотное положение*, то есть её высоту над принятой уровенной поверхностью. В России действует *Балтийская система высот*, в которой за нуль высот принят уровень Кронштадтского

футштока – специального репера, расположенного в городе Кронштадт на берегу Финского залива. Этот уровень соответствует среднему уровню Балтийского моря и служит исходной поверхностью для отсчёта абсолютных высот всех точек на территории страны. Абсолютные высоты используются при составлении топографических карт, проектировании дорог, каналов, плотин и других инженерных сооружений, где важно знать взаимное положение объектов относительно единой высотной основы. В то же время, при выполнении локальных работ, например, при планировке участка или строительстве небольшого здания, может использоваться *условная система высот*, в которой за нуль принимается произвольно выбранная точка. В этом случае все высоты являются относительными и не связаны с государственной высотной системой.

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*.

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

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



Рисунок 7 – Абсолютные и условные высоты:

H_A – абсолютная высота; H_B – условная высота

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.

Топографическим планом называется уменьшенное и подробное изображение на плоскости участка земной поверхности, на котором изображаются ситуация и рельеф.

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 20×20 км², 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).

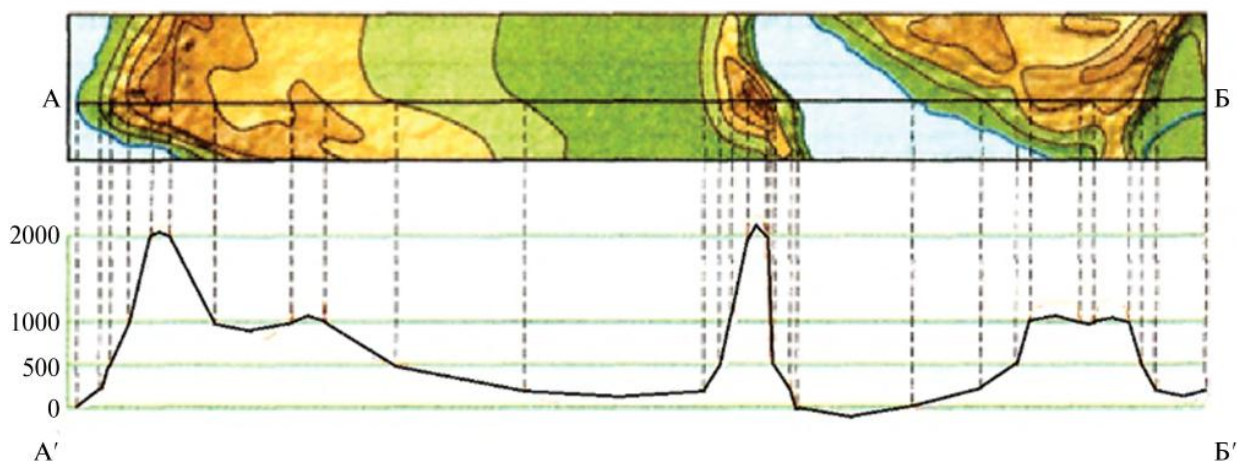


Рисунок 8 – Профиль местности

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

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:

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

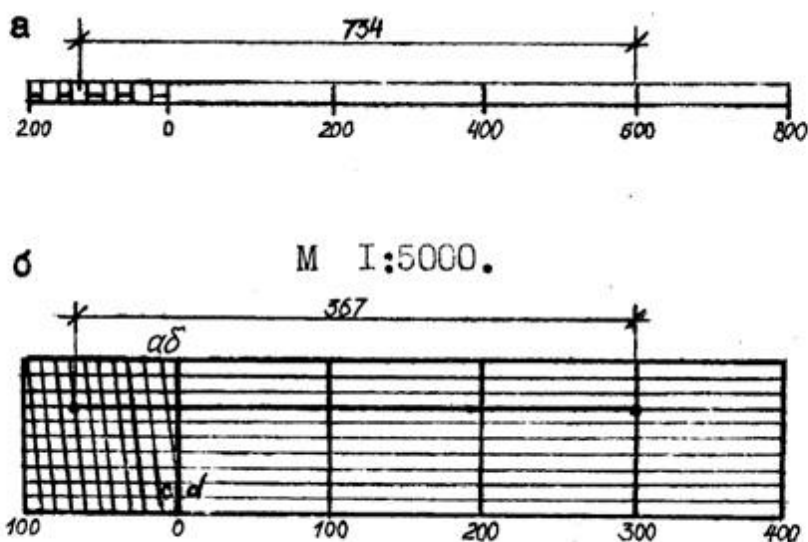


Рисунок 9 – Графические масштабы: а – линейный; б – поперечный

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 τ 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

Важнейшей операцией в геодезии является ориентирование линий, то есть определение их направления относительно некоторого исходного направления. В качестве такого направления обычно принимают меридиан – линию сечения земной поверхности плоскостью, проходящей через данную точку и ось вращения Земли. 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. Соответственно, различают три основных угла ориентирования: *истинный азимут A* , *магнитный азимут A_m* и *дирекционный угол α* (рис. 10). Дополнительными углами ориентирования являются *румбы r* .

Истинный азимут – это горизонтальный угол, отсчитываемый от северного направления истинного меридиана по ходу часовой стрелки до заданного направления.

Магнитный азимут отсчитывается от северного направления магнитного меридиана, определяемого с помощью магнитной стрелки компаса.

Разность между истинным и магнитным азимутами называется *склонением магнитной стрелки* и зависит от места и времени.

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 δ – склонение магнитной стрелки;

γ – сближение меридианов.

При этом западные δ и γ берутся со знаком минус, а восточные – со знаком плюс.

Дирекционный угол – это горизонтальный угол, отсчитываемый от северного направления осевого меридиана (или линии, параллельной ему) по ходу часовой стрелки до заданного направления. Он широко используется при работе с топографическими планами и картами, поскольку не зависит от магнитных аномалий и легко определяется по координатной сетке. Дирекционные углы могут иметь значения от 0 до 360°.

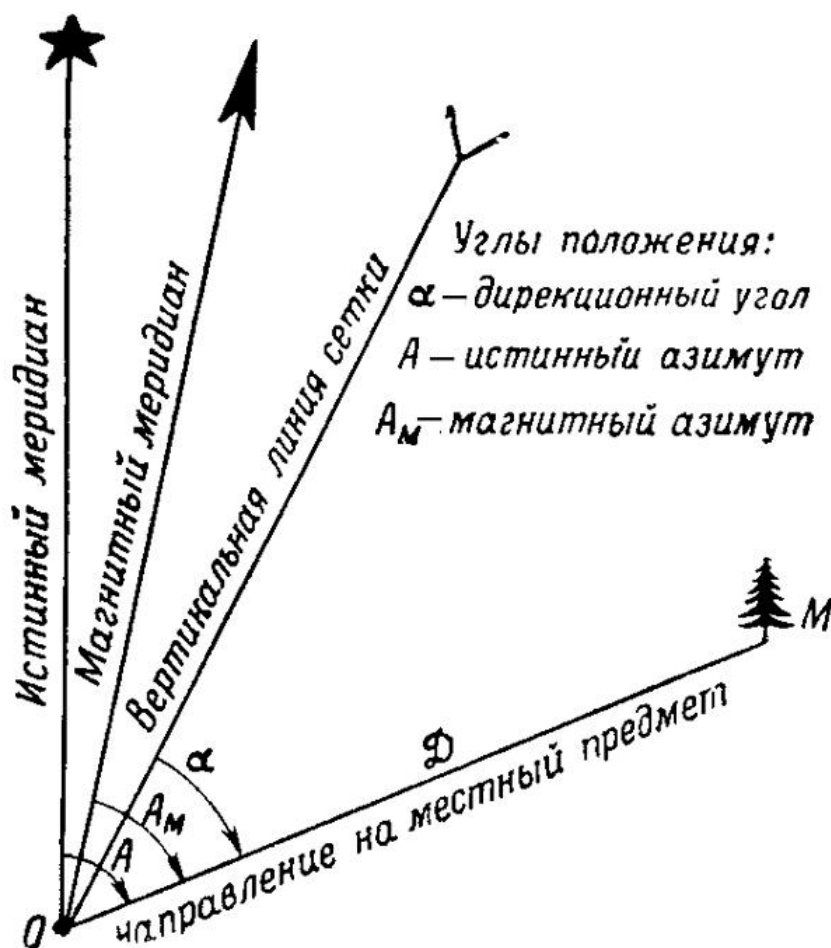


Рисунок 10 – Углы ориентирования и зависимость между ними

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°.

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.

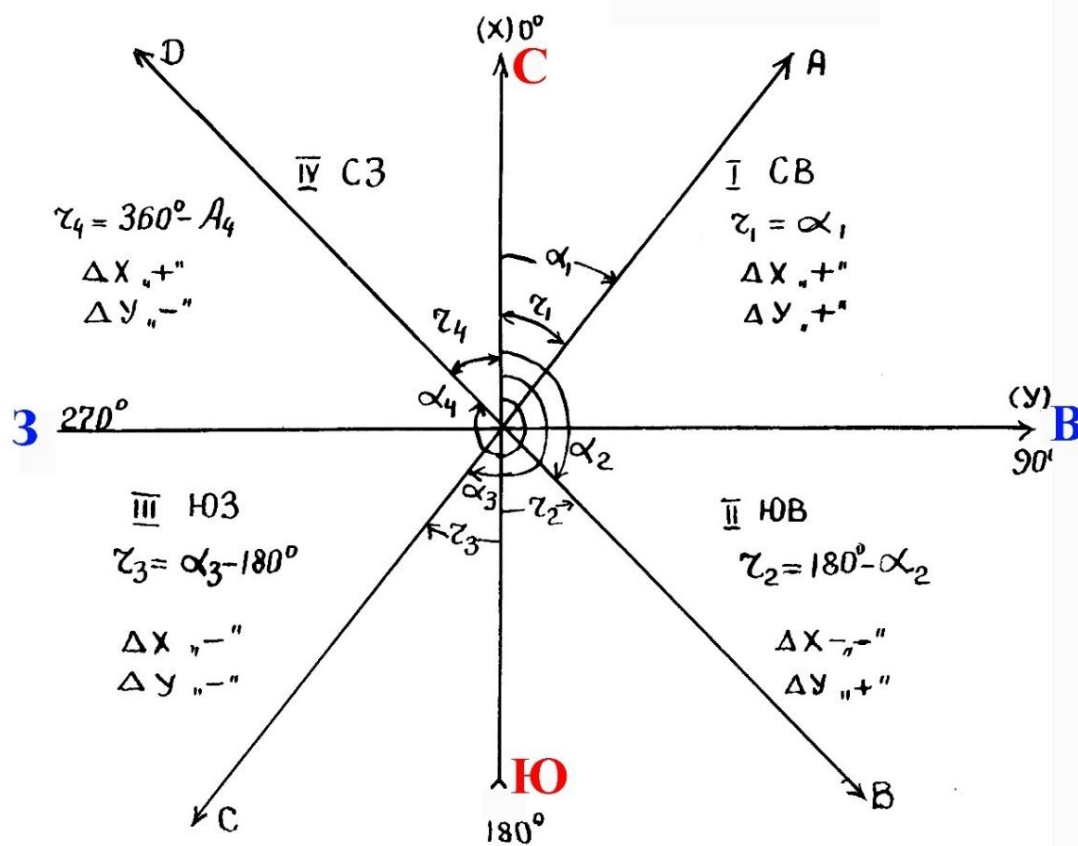


Рисунок 11 – Схема зависимости между дирекционными углами и румбами

Зависимость между прямыми и обратными дирекционными углами показана на рис. 11. Она определяется по формуле:

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

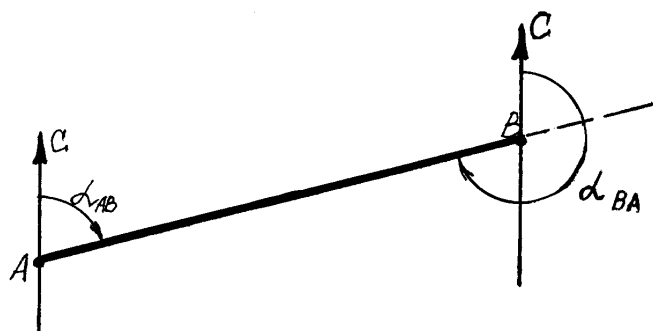


Рисунок 12 – Схема зависимости между прямыми и обратными дирекционными углами

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

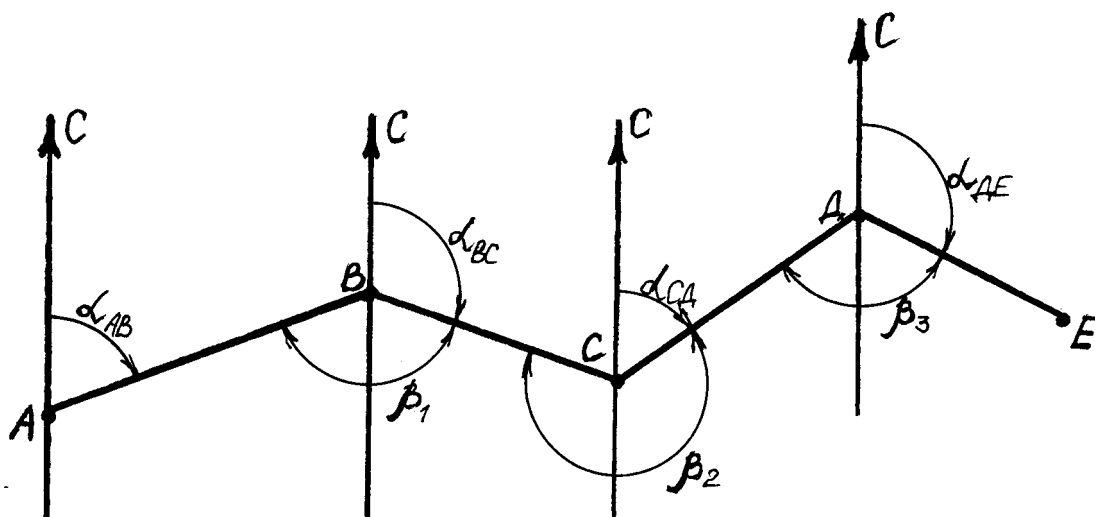


Рисунок 13 – Схема зависимости между дирекционными и внутренними углами в полигоне

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;

β – внутренний угол при следующей вершине.

2.4 Прямая и обратная геодезическая задачи

Центральное место в геодезических вычислениях занимают *прямая и обратная геодезические задачи*. Прямая геодезическая задача заключается в определении координат второй точки по известным координатам первой точки, дирекционному углу и горизонтальному проложению линии между ними. Эта задача решается путём вычисления приращений координат Δx и Δy .

Приведем ход типового решения прямой геодезической задачи. Даны координаты первой точки (X_1 и Y_1), горизонтальное расстояние от первой до второй точки d_{1-2} и дирекционный угол α_{1-2} линии 1-2 (рис. 14). Требуется определить координаты точки 2 (X_2 и Y_2).

Из треугольника 1-2-2' (рис.14) находим приращения координат ΔX и ΔY .

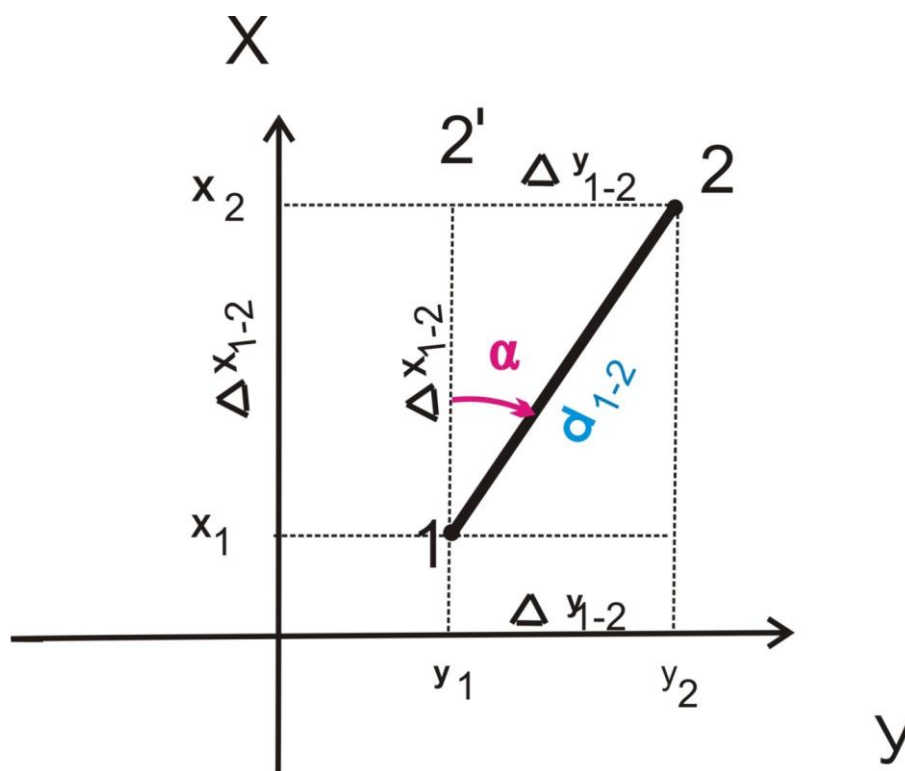


Рисунок 14 – Графическое решение прямой геодезической задачи

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:

$$\begin{aligned}\Delta X_{1-2} &= d_{1-2} \cdot \cos \alpha_{1-2} = 604,0 \text{ м} \times \cos 82^\circ 30' = 78,84 \text{ м.} \\ \Delta Y_{1-2} &= d_{1-2} \cdot \sin \alpha_{1-2} = 604,0 \text{ м} \times \sin 82^\circ 30' = 598,83 \text{ м.}\end{aligned}$$

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:

$$\begin{aligned}X_2 &= X_1 + \Delta X_{1-2} = 886 + 78,84 = 964,84 \text{ м} \\ Y_2 &= Y_1 + \Delta Y_{1-2} = 222 + 598,83 = 820,83 \text{ м}\end{aligned}$$

Обратная геодезическая задача состоит в определении дирекционного угла и горизонтального проложения по известным координатам двух точек.

Также рассмотрим типовое решение обратной геодезической задачи. 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 (α_{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:

$$\begin{aligned}\Delta X_{1-2} &= X_2 - X_1 = 964,84 - 886 = 78,84 \text{ м.} \\ \Delta Y_{1-2} &= Y_2 - Y_1 = 820,83 - 222 = 598,83 \text{ м.}\end{aligned}$$

Определяем тангенс дирекционного угла:

$\operatorname{tg} \alpha_{1-2} = \Delta Y_{1-2} / \Delta X_{1-2} = 598,83 / 78,84 = 7,5955$, 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.

Эти задачи лежат в основе всех геодезических вычислений: от обработки теодолитных и тахеометрических съёмок до решения задач инженерной геодезии и навигации.

Таким образом, общие сведения из геодезии образуют фундамент, на котором строятся все последующие разделы дисциплины. Понимание формы Земли, систем координат, масштабов, ориентирования линий и основных геодезических задач позволяет студентам агрономических и лесохозяйственных специальностей не только правильно

интерпретировать топографические материалы, но и самостоятельно выполнять геодезические измерения, необходимые для землеустройства, лесоустройства, проектирования мелиоративных систем, организации сельскохозяйственного производства и решения множества других практических задач, связанных с рациональным использованием земельных и лесных ресурсов. Современные технологии точного земледелия, лазерного нивелирования, спутникового позиционирования и геоинформационного моделирования всё более прочно входят в практику аграрного сектора, делая геодезические знания не просто вспомогательной, а одной из ключевых компетенций будущего специалиста.

Контрольные вопросы

1. Форма земли и её размеры?
2. Суть метода проекции в геодезии
3. Как определяется положение точки в прямоугольной системе координат
4. Что значит ориентировать линию на местности?
5. Что называется румбом линии?
6. Что называется дирекционным углом линии?
7. Какая зависимость между азимутами и румбами?
8. Зависимость между прямым и обратным азимутом
9. Связь между дирекционными и внутренними углами полигона?
10. Как определить внутренний угол, если известны дирекционные углы его сторон?
11. Определите геодезические координаты точки M , если её широта $B=54^{\circ}23'12''$ северная, долгота $L = 45^{\circ}17'30''$ восточная, а геодезическая высота над поверхностью эллипсоида Красовского составляет $H = 128,5$ м. Укажите, к какой системе координат относятся данные величины, и объясните разницу между геодезической и ортогональной (абсолютной) высотой.
12. На топографической карте масштаба 1:10 000 измерено расстояние между двумя точками: $d_{\text{карта}} = 8,6$ см. Определите соответствующее горизонтальное проложение на местности. Также вычислите точность масштаба данной карты и укажите, какое минимальное расстояние на местности можно изобразить на этом плане без потери читаемости.

13. Известны координаты двух точек на местности: $X_1 = 425,60$ м, $Y_1 = 612,30$ м; $X_2 = 489,20$ м, $Y_2 = 578,10$ м. Решите обратную геодезическую задачу: определите дирекционный угол α_{1-2} и длину линии d_{1-2} . Укажите четверть, в которой находится данное направление, и переведите дирекционный угол в румб.

14. Определите номер зоны проекции Гаусса-Крюгера и долготу её осевого меридиана для пункта с географической долготой $L = 62^\circ 48'$ в. д. (по системе Пулково/эллипсоид Красовского). Укажите, какая плоская прямоугольная система координат используется в Российской Федерации для топографических карт и почему применяется разбиение территории на зоны.

3 ГЕНЕРАЛИЗАЦИЯ И УСЛОВНЫЕ ЗНАКИ КАРТЫ.

План

3.1 Понятие топографического плана и карты

3.1 Элементы карты

3.2 Генерализация

3.3 Условные знаки, виды, таблица условных знаков

3.1 Понятие топографического плана и карты

Топографический план или карта представляет собой не просто уменьшенное изображение местности, а сложный продукт научной обработки пространственной информации, в котором реализованы принципы систематизации, обобщения и стандартизации. В основе любого картографического произведения лежит идея передачи реального мира через условные, но строго регламентированные символы, которые позволяют пользователю быстро и точно интерпретировать содержание карты. Одним из ключевых процессов, обеспечивающих функциональность и читаемость карты, является *картографическая генерализация*, а одним из её главных инструментов – *условные знаки*. Понимание этих понятий необходимо не только для чтения карт, но и для их составления, особенно в контексте сельскохозяйственного и лесохозяйственного планирования, где точность и ясность пространственных данных напрямую влияют на эффективность управления земельными ресурсами.

Под *топографическим планом* понимается уменьшенное, подобное и ортогональное изображение небольшого участка земной поверхности, выполненное в крупном масштабе (обычно от 1:500 до 1:5000) и содержащее информацию как о ситуации (искусственных и естественных объектах), так и о рельефе. Ортогональность проекции означает, что все точки местности проецируются на горизонтальную плоскость по отвесным линиям, перпендикулярным уровенной поверхности. Благодаря этому на плане сохраняется подобие фигур, а углы и пропорции между объектами соответствуют их реальному взаимному расположению. Такой подход допустим при изображении участков площадью до 20×20 км², поскольку в пределах этой территории влияние кривизны Земли на геометрические параметры оказывается

пренебрежимо малым – менее 0,1 мм на плане, что соответствует порогу разрешающей способности человеческого глаза.

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 A, B, C, D, E, F (рис. 15) проектируют отвесными линиями на уровенную (горизонтальную) поверхность и получают горизонтальную проекцию соответствующих точек физической земной поверхности a, b, c, d, e, f.

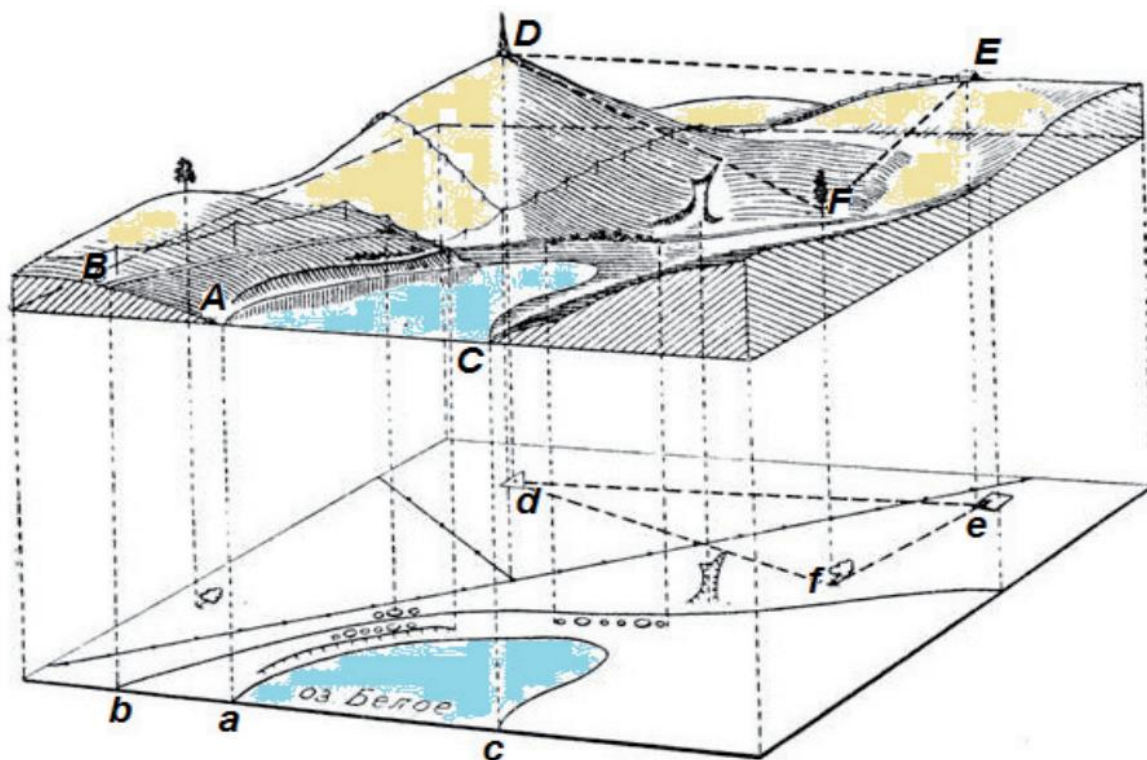


Рисунок 15 – Перенос на карту объектов реальной действительности в ортогональной проекции

В отличие от плана, *топографическая карта* предназначена для изображения значительных территорий – от регионального до глобального уровня – и строится с учётом кривизны Земли. Для этого используется математическая основа, включающая принятую модель фигуры Земли (эллипсоид) и картографическую проекцию, которая определяет закон перехода от геодезических координат к плоским. В Российской Федерации топографические карты создаются в равноугольной поперечно-цилиндрической проекции Гаусса-Крюгера, в которой

сохраняются углы и формы бесконечно малых объектов, что критически важно для геодезических и инженерных расчётов. Однако при этом неизбежно возникают искажения длин, особенно по мере удаления от осевого меридиана зоны. Эти искажения учитываются при выполнении точных работ, а для крупномасштабных съёмок часто используются частные системы координат с локальным осевым меридианом.

Как план, так и карта являются неотъемлемыми элементами пространственной инфраструктуры, особенно в аграрном секторе. Они служат основой для землеустройства, проектирования мелиоративных систем, организации полевых севооборотов, учёта лесных массивов и планирования лесовосстановительных мероприятий. Современные цифровые аналоги – цифровые топографические модели и электронные карты – лишь расширяют возможности использования этих материалов, интегрируя их в геоинформационные системы (ГИС) и платформы точного земледелия.

3.2 Элементы карты

Любая карта состоит из трёх взаимосвязанных компонентов: *математической основы, картографического изображения и вспомогательного оформления*. Математическая основа включает масштаб, проекцию, координатную сетку и систему высот, которые обеспечивают точное позиционирование объектов и возможность количественных измерений. Картографическое изображение – это совокупность условных знаков, подписей и цветовых решений, передающих качественные и количественные характеристики объектов местности. Наконец, вспомогательное оформление (легенда, зарамочные элементы, графики уклонов, схемы примыкания и т.п.) облегчает чтение и интерпретацию карты.

Особое значение имеет *компоновка карты* – рациональное размещение всех её элементов в пределах листа. Хорошо скомпонованная карта обеспечивает баланс между информационной насыщенностью и визуальной читаемостью. Для студента-агронома или лесоведа особенно важно уметь быстро находить на карте нужные объекты: границы угодий, лесные массивы, водные источники, дороги и рельефные формы, поскольку именно эти данные лежат в основе большинства проектных и управленческих решений.

3.3 Генерализация

Картографическая генерализация – это целенаправленный процесс отбора, упрощения и обобщения содержания карты, осуществляемый в соответствии с её назначением, масштабом и тематикой. Суть генерализации заключается не в потере информации, а в её рациональной трансформации: на карте должны быть представлены только те объекты и детали, которые необходимы для решения конкретных задач, при этом второстепенные элементы либо опускаются, либо объединяются в более общие категории.

Степень генерализации напрямую зависит от масштаба. Например, на карте масштаба 1:10 000 могут быть показаны отдельные строения, мелкие водоёмы и просеки в лесу, тогда как на карте 1:100 000 населённые пункты изображаются уже как единые пятна, а леса – сплошными массивами без внутренней дифференциации. В условиях агролесного производства это означает, что при работе с мелкомасштабными картами невозможно точно определить границы отдельных полей или видовой состав лесных насаждений, что требует обращения к более крупномасштабным материалам или полевым данным.

Генерализация также затрагивает форму и размеры объектов. Линейные объекты, такие как дороги или ручьи, могут быть сглажены для устранения мелких извилин, не влияющих на общее направление. Площадные объекты, например, луга или пашни, могут быть упрощены по контуру, но при этом сохраняется их общая конфигурация и взаимное положение относительно других объектов. Особенно важна генерализация при изображении рельефа: на мелкомасштабных картах горизонтали проводятся с бóльшим сечением, что позволяет передать только основные формы рельефа, опуская мелкие неровности.

Таким образом, генерализация – это не техническая необходимость, а методологический принцип, обеспечивающий соответствие карты её функциональному назначению. Для специалиста в области агрономии или лесного хозяйства понимание логики генерализации позволяет правильно оценивать достоверность и детализацию картографической информации и принимать обоснованные решения на её основе.

3. 4 Условные знаки, виды, таблица условных знаков

Условные знаки – это стандартизированные графические символы, с помощью которых на картах и планах изображаются объекты и явления действительности. Они разрабатываются централизованно и регламентируются официальными документами – таблицами условных знаков, обязательными для всех организаций, выполняющих картографические работы. Это обеспечивает единообразие и взаимозаменяемость карт, создаваемых в разных регионах и в разное время.

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

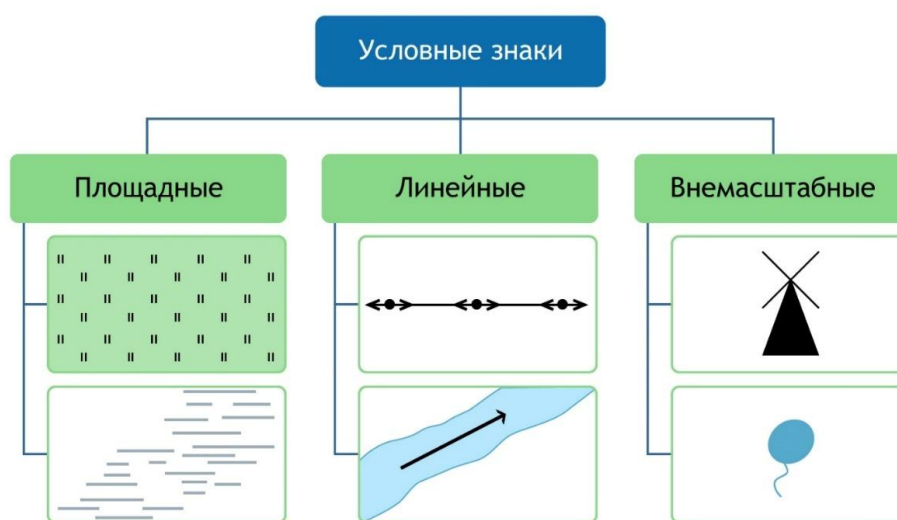


Рисунок 16 – Основные вид условных знаков

Условные знаки классифицируются по нескольким признакам, но наиболее важным является их *масштабность*. *Масштабные (контурные) знаки* применяются для объектов, размеры которых выражаются в масштабе карты: поля, леса, озёра, здания. Контуры таких объектов вычерчиваются точно по их границам, а внутри контура может быть помещена пояснительная надпись или фоновая окраска, указывающая на тип объекта (например, зелёный фон для леса, синий – для водоёмов). *Линейные знаки* используются для объектов, протяжённость которых выражается в масштабе, но ширина – преувеличивается: дороги, реки, линии электропередачи, границы. Несмотря на преувеличение ширины, положение оси линейного объекта всегда точно соответствует его реальному местоположению. *Внемасштабные знаки* применяются для объектов, которые по своим размерам не могут быть изображены в масштабе, но имеют важное значение: геодезические

пункты, отдельно стоящие деревья, колодцы, мельницы. Такие знаки центрируются на точке местоположения объекта, и их форма подсказывает характер объекта.

Особую роль играют *пояснительные знаки* – подписи, цифровые обозначения и специальные символы, дополняющие основные условные знаки. Например, подпись «сосна» внутри контура леса указывает на преобладающую породу, цифра «15 м» рядом с деревом – на его высоту, а стрелки на склоне – на направление стока воды. Цветовое оформление также несёт смысловую нагрузку: чёрный цвет используется для ситуации (населённые пункты, дороги), синий – для гидрографии, коричневый – для рельефа, зелёный – для растительности.

Для студентов агрономии и лесного хозяйства знание условных знаков особенно актуально, поскольку многие задачи – от определения пригодности земель под ту или иную культуру до оценки состояния лесных экосистем – требуют детального анализа картографических материалов. Умение быстро и точно интерпретировать условные знаки позволяет извлекать из карты максимум полезной информации и использовать её в практических целях: при составлении агротехнических карт, проведении лесоустроительных работ, проектировании противоэрозионных мероприятий и т.д.

В заключение следует подчеркнуть, что генерализация и условные знаки – это не просто технические элементы картографического языка, а мощные инструменты познания пространства. Они позволяют свести сложное многообразие реального мира к упорядоченной, легко воспринимаемой и функционально значимой форме, что делает карту незаменимым средством в руках современного специалиста по землепользованию и природопользованию.

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 съёмку 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 такое топографический план и чем он отличается от топографической карты?
2. Почему при составлении планов участков площадью до 20×20 км² можно пренебречь кривизной Земли?
3. Какие три основных компонента входят в состав любой карты?
4. Что понимается под математической основой карты?
5. В чём заключается сущность картографической генерализации?
6. От каких факторов зависит степень генерализации на карте?
7. Как изменяется изображение объектов при переходе от крупномасштабной к мелкомасштабной карте?
8. Какие цели преследует генерализация при изображении рельефа?
9. Что такое условные знаки и какова их роль в картографии?
10. На какие основные виды подразделяются условные знаки по масштабности?
11. Чем отличаются масштабные, линейные и внемасштабные условные знаки?

4 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ ПОГРЕШНОСТЕЙ ИЗМЕРЕНИЙ

План:

4.1 Погрешности измерений и их характеристики

4.2 Оценка точности результатов

4.3 Источники погрешностей и их устранение

4.1 Погрешности измерений и их характеристики

Любое геодезическое измерение, каким бы тщательным и высокоточным оно ни было, неизбежно сопровождается отклонением полученного результата от истинного значения измеряемой величины. Это отклонение называется погрешностью измерения и определяется как разность между измеренным значением l и истинным значением x :

$$\Delta = l - X \quad (16)$$

Поскольку истинное значение в большинстве практических случаев неизвестно, погрешности оцениваются косвенно, на основе статистических и вероятностных методов. В зависимости от характера возникновения и проявления погрешности подразделяются на три основные категории: *грубые, систематические и случайные*.

Грубые погрешности, или промахи, возникают вследствие невнимательности исполнителя, ошибок в записях, неправильного обращения с приборами или сбоев в работе оборудования. Такие погрешности недопустимы и должны быть выявлены и исключены до окончательной обработки результатов. Для этого применяются повторные измерения, контрольные вычисления, а также использование различных методик и приборов для получения независимых результатов. Грубые ошибки легко обнаруживаются при анализе расхождений между измерениями и при проверке условий геометрического замыкания (например, в полигонах или нивелирных ходах).

Систематические погрешности обусловлены постоянным или закономерно изменяющимся влиянием одного или нескольких факторов. Они проявляются одинаково при каждом измерении и имеют определённый знак и величину, либо изменяются по известному закону. Примерами могут служить укорочение мерной ленты,

непараллельность визирной оси и оси цилиндрического уровня в нивелире, рефракция световых лучей в атмосфере или влияние температуры на длину металлических мер. Систематические погрешности могут быть существенно уменьшены или полностью устранены путём введения соответствующих поправок, выполнения специальных поверок и юстировок приборов, а также применения методик, компенсирующих их влияние. Например, при геометрическом нивелировании установка нивелира посередине между рейками позволяет исключить влияние остаточной непараллельности осей прибора, так как погрешность входит в отсчёты с одинаковым знаком и взаимно компенсируется при вычислении превышения.

Случайные погрешности являются неизбежным спутником любого измерительного процесса. Они возникают под воздействием множества мелких, непредсказуемых факторов, таких как несовершенство органов чувств наблюдателя, микроколебания прибора, нестабильность внешних условий (ветер, температурные флуктуации, вибрации), ограниченная точность отсчётных устройств и другие. В отличие от систематических, случайные погрешности не подчиняются детерминированному закону и проявляются хаотично: одни из них положительны, другие – отрицательны, одни больше, другие – меньше. Однако при достаточно большом числе измерений они подчиняются строгим статистическим закономерностям, что позволяет количественно оценить их влияние и повысить достоверность окончательного результата.

Случайные погрешности обладают рядом фундаментальных свойств. Во-первых, малые по абсолютной величине погрешности встречаются чаще, чем большие. Во-вторых, положительные и отрицательные погрешности одной и той же величины встречаются примерно одинаково часто. В-третьих, среднее арифметическое из случайных погрешностей стремится к нулю при неограниченном увеличении числа измерений. Эти свойства лежат в основе классической теории ошибок и позволяют использовать среднее арифметическое из ряда измерений в качестве наилучшей оценки истинного значения – так называемого *вероятнейшего значения*.

Если проведено n измерений одной и той же величины, давших результаты $l_1, l_2, \dots, l_n$, то вероятнейшее значение L определяется по формуле:

$$L = \frac{l_1 + l_2 + l_3 + \dots + l_n}{n} \quad (17)$$

Отклонение каждого измерения от вероятнейшего значения называется вероятнейшей погрешностью (или поправкой) и обозначается $v_i = L - l_i$. Эти поправки используются для оценки точности измерений и уравнивания результатов.

4.2 Оценка точности результатов

Для количественной характеристики качества геодезических измерений используется понятие *точности*, которая оценивается с помощью специальных критериев. Основным из них является *средняя квадратическая ошибка*, предложенная К.Ф. Гауссом. Если известны истинные погрешности $\Delta_1, \Delta_2, \dots, \Delta_n$, то среднеквадратическая ошибка одного измерения вычисляется по формуле:

$$m = \sqrt{\frac{\Delta_1^2 + \Delta_2^2 + \Delta_3^2 + \dots + \Delta_n^2}{n}} = \sqrt{\frac{\sum \Delta_i^2}{n}}, \quad (18)$$

где n – число измерений;

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

На практике истинные значения, как правило, неизвестны, поэтому вместо истинных погрешностей используют вероятнейшие погрешности Δ_n^2 . В этом случае средняя квадратическая ошибка определяется по формуле Бесселя:

$$m = \sqrt{\frac{\sum v_i^2}{n - 1}}. \quad (19)$$

Средняя квадратическая ошибка обладает важным свойством: около 68,3 % всех погрешностей по модулю меньше m , 95,5 % – меньше $2m$, и 99,7 % – меньше $3m$. На этом основании вводится понятие *предельной погрешности*, принимаемой равной трём средним квадратическим ошибкам:

$$\Delta_{\text{пред.}} = 3 \times m. \quad (20)$$

Измерения, содержащие погрешности, превышающие предельную, считаются недостоверными и подлежат исключению.

Для оценки точности линейных измерений, где абсолютная погрешность сама по себе малоинформативна, используется *относительная погрешность*, представляющая собой отношение абсолютной погрешности к измеренной величине. Она выражается в виде дроби с единицей в числителе:

$$\frac{1}{T} = \frac{|m|}{D}, \quad (21)$$

где D – длина измеренной линии.

Например, относительная погрешность 1:2000 означает, что на каждые 2000 единиц длины допускается ошибка в 1 единицу.

Измерения считаются *равноточными*, если они выполнены одним и тем же исполнителем, одними и теми же приборами, одним и тем же методом и в одинаковых внешних условиях. В противном случае измерения являются *неравноточными*. При обработке неравноточных измерений каждому результату присваивается *вес* p , характеризующий его надёжность. Вес обратно пропорционален квадрату средней квадратической ошибки:

$$p = \frac{c}{m^2}, \quad (22)$$

где c – произвольное число.

Наиболее надёжным считается измерение с наименьшей средней квадратической ошибкой, которому обычно присваивается вес, равный единице.

Окончательное значение измеряемой величины при неравноточных измерениях определяется как среднее весовое:

$$L_0 = \frac{P_1 L_1 + P_2 L_2 + \dots + P_n L_n}{P_1 + P_2 + \dots + P_n} = \frac{\sum (P_i l_i)}{\sum P_i}, \quad (23)$$

Средняя квадратическая ошибка единицы веса вычисляется по формуле:

$$\mu = \sqrt{\frac{\sum p v^2}{n - 1}}, \quad (24)$$

а оценка точности самого среднего весового значения – по формуле:

$$M_0 = \frac{\mu}{\sqrt{\sum p_i}} \quad (25)$$

Эти формулы позволяют не только получить наилучшую оценку измеряемой величины, но и количественно охарактеризовать её надёжность.

4.3 Источники погрешностей и их устранение

Понимание источников погрешностей и методов их минимизации является ключевым элементом профессиональной подготовки геодезиста. Рассмотрим основные источники ошибок при двух наиболее распространённых видах работ – измерении длин линий и геометрическом нивелировании.

При измерении расстояний мерной лентой или рулеткой основными источниками погрешностей являются:

- отклонение конца ленты от створа линии (до 15 см допускается при глазомерной укладке);
- неточность силы натяжения (допускается отклонение до 1,5 кг от силы, использованной при компарировании);
- ошибка в определении остатка линии (до 1 см); неточность компарирования самой ленты (до 3 мм);
- погрешность за наклон линии, зависящая от точности измерения угла наклона и превышения;
- температурное расширение (допускается разность температур до 8 °С); провес ленты при измерении над землёй;
- состояние поверхности, по которой укладывается лента (вязкая, рыхлая почва может вызывать дополнительные деформации).

При геометрическом нивелировании наиболее значимыми источниками ошибок являются:

– остаточная непараллельность визирной оси и оси цилиндрического уровня, которая устраняется соблюдением равенства плеч (расстояний от нивелира до задней и передней реек);

– оседание штатива и реек, особенно на мягком или заболоченном грунте, что требует использования специальных приспособлений – «башмаков», «костылей» или деревянных кольев;

– атмосферная рефракция и конвекционные потоки воздуха, которые искажают траекторию визирного луча и особенно заметны в дневные часы (поэтому рекомендуется выполнять нивелирование утром или вечером);

– неточность градуировки реек, выявляемая при компарировании и устраняемая введением поправок;

– наклон рейки, который приводит к завышению отсчёта.

Погрешность от наклона рейки на угол ε может быть оценена по формуле:

$$a = a' \times \cos \varepsilon, \quad (26)$$

где ε – угол между наклонно и вертикально установленными рейками.

По размеру угла ε можно принять

$$\cos \varepsilon = 1 - \frac{\varepsilon^2}{2\rho^2}, \quad (27)$$

где $\rho = 3438'$.

При этих условиях

$$\Delta_n = \frac{a' \varepsilon^2}{2\rho^2} \quad (28)$$

Например, если $a = 3$ м и $\varepsilon = 15'$, погрешность $\Delta_n = 0,03$ мм, что недопустимо при высокоточных работах.

Таким образом, теория погрешностей измерений предоставляет геодезисту не просто инструмент для оценки качества работ, но и методологическую основу для планирования измерительного процесса, выбора оптимальных методик и средств, а также для принятия обоснованных решений при обработке и интерпретации результатов.

Владение этими знаниями позволяет будущему специалисту в области агрономии и лесного хозяйства обеспечивать необходимую точность при выполнении землеустроительных, мелиоративных и лесоустроительных работ, где даже небольшие ошибки могут привести к значительным экономическим и экологическим последствиям.

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. При выполнении учебной геодезической практики бригада студентов проводила измерение длины линии на ровной местности с помощью 20-метровой землемерной ленты. Измерения выполнялись в прямом и обратном направлениях. В результате были получены следующие значения:
 - прямое измерение: 186,42 м;
 - обратное измерение: 186,58 м.

Студенты предположили, что расхождение вызвано неточным натяжением ленты и небольшими колебаниями температуры воздуха (разность составила около 7 °С). Однако один из участников бригады утверждал, что такое расхождение может быть обусловлено случайной

погрешностью, а не систематической. Обоснуйте, какого характера погрешности преобладают в данном случае, и определите, допустимо ли полученное расхождение при средних условиях местности.

13. При многократном измерении длины линии мерной лентой получены следующие результаты (в метрах): 124,36; 124,41; 124,38; 124,35; 124,40. Определите:

- а) вероятнейшее значение длины линии;
- б) среднюю квадратическую ошибку одного измерения по формуле Бесселя;
- в) предельную погрешность;
- г) относительную погрешность измерения.

14. При нивелировании хода III класса длина двойного хода составила 1,6 км. Сумма превышений по чёрной и красной сторонам реек дала невязку $f_h = +28$. Допустимая невязка для нивелирования III класса рассчитывается по формуле $f_{\text{доп}} = 10 \cdot L$, где L – длина хода в километрах. Определите:

- а) допустимую невязку;
- б) оцените, можно ли считать результаты измерений удовлетворительными.

5 ИЗМЕРЕНИЕ ДЛИНЫ ЛИНИЙ

План

5.1 Измерение длин линий мерными приборами

5.2 Измерение длины линий дальномерами

5.1 Измерение длин линий мерными приборами

В инженерной геодезии определение расстояний между точками местности является одной из фундаментальных операций, лежащих в основе как построения планово-высотного обоснования, так и выполнения съёмочных и разбивочных работ. В зависимости от требуемой точности и условий производства измерений применяются различные методы и средства, которые условно подразделяются на механические и физико-оптические. Механические методы основаны на непосредственном контакте с поверхностью земли и использовании линейных мер, тогда как физико-оптические реализуются с помощью электронных или оптических дальномеров.

К числу механических мерных приборов относятся металлические рулетки, землемерные ленты и базисные проволоки. Наиболее распространёнными в учебной и полевой практике являются *землемерные ленты* (рис. 17), выпускаемые в двух основных модификациях: *штриховые* (типа ЛЗ-20 и ЛЗ-50) и *шкаловые* (типа ЛЗШ-20 и ЛЗШ-50).

Штриховая лента представляет собой стальную полосу длиной 20 или 50 м, на концах которой нанесены штрихи, определяющие её номинальную длину. Между штрихами располагаются метровые пластины с номерами, полуметровые заклёпки и дециметровые отверстия, что позволяет быстро ориентироваться при отсчётах.

Для удобства транспортировки и хранения лента наматывается на железное кольцо и фиксируется винтом. В комплект также входят 6 или 11 шпилек, надеваемых на проволочное кольцо и служащих для фиксации концов ленты при последовательной укладке в створе измеряемой линии.

Для более точных измерений применяются *шкаловые ленты*, имеющие на концах миллиметровые шкалы, а также *инварные проволоки*, характеризующиеся крайне низким коэффициентом линейного расширения. В строительной практике широко используются стальные и тесьмяные рулетки, помещённые в закрытый корпус, однако их точность значительно ниже, чем у землемерных лент.

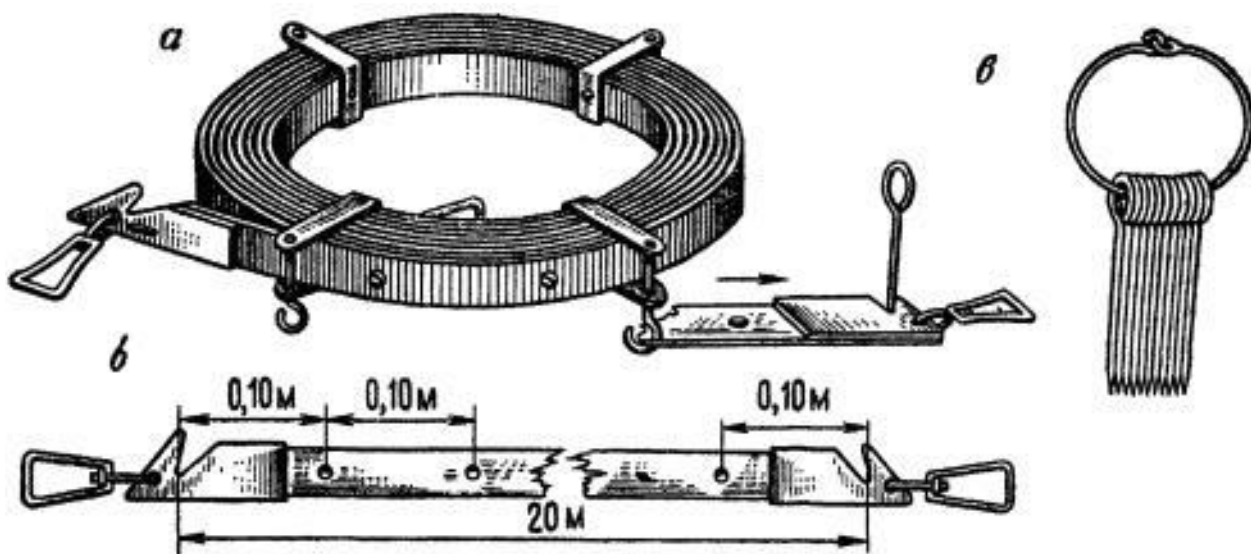


Рисунок 17 – Схемы землемерных лент: а – вид при хранении; б – штриховая; в – комплект шпилек

Перед началом измерений любой мерный прибор подлежит обязательной поверке, целью которой является установление его фактической длины путём сравнения с эталоном. Эта процедура называется *компарированием* и выполняется либо на лабораторных, либо на полевых компараторах. Лабораторный компаратор представляет собой жёсткую конструкцию, установленную на бетонных столбах или специальных полках, снабжённую на концах металлическими шкалами длиной 150 мм с миллиметровыми делениями. Компарируемая лента укладывается на компаратор и натягивается силой 10 кг, после чего берутся отсчёты по шкалам. Процедура повторяется несколько раз с небольшим сдвигом ленты, и за окончательную длину принимается среднее значение.

При полевом компарировании используется базис – специально измеренный участок длиной около 120 м, который предварительно определяется с высокой точностью. Рабочая лента укладывается на базис не менее четырёх раз в прямом и обратном направлениях, и на основе полученных данных вычисляется поправка за компарирование Δl_k по формуле:

$$\Delta l_k = D_e - D_0, \quad (29)$$

где D_e – длина компаратора,

D_0 – результат измерения базиса рабочей лентой, приведённый к температуре $t_0 = +20^\circ\text{C}$:

$$D_0 = D_i - \alpha(t_k - 20^0) \times D_i \quad (30)$$

Здесь $\alpha = 12,5 \times 10^{-6}$ – коэффициент линейного расширения стали, t_k – температура воздуха при компарировании.

По результатам компарирования составляется *уравнение мерного прибора*:

$$l = l_0 + \Delta l_k + \alpha l_0(t - t_0), \quad (31)$$

где l_0 – номинальная длина ленты,

Δl_k – поправка за компарирование,

t – температура измерения.

Процесс измерения линии заключается в последовательной укладке ленты в створе с фиксацией концов шпильками. Если в комплекте $K+1$ шпилек, то длина линии вычисляется по формуле:

$$D = N \times l_0 + n \times l_0 + r, \quad (32)$$

где N – число передач шпилек у заднего мерщика,

n – число шпилек у него же,

r – остаток, измеряемый рулеткой.

Таблица 1 – Допускаемые расхождения ΔD 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 контроля измерения повторяются в обратном направлении, и расхождение ΔD не должно превышать допусковых значений, приведённых в табл. 1.

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

$$\frac{\Delta D}{D} = \frac{0,09}{100} \approx \frac{1}{1100}; \quad \frac{0,23}{500} \approx \frac{1}{2200}; \quad \frac{0,39}{1000} \approx \frac{1}{2600} \quad (33)$$

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

Поправка δD_k за компарирование. Если поправка за компарирование мерного прибора длиной l_0 равна δl_k , то поправку за компарирование в длину линии D вычисляют по формуле:

$$\delta D_k = \delta l_k \frac{D}{l_0} \quad (34)$$

Поправка δD_t за температуру мерного прибора. Если температура t , при которой производят измерения, отличается от температуры t_0 компарирования на 8° и более, то в измеряемую длину линии вводят поправку

$$\delta D_t = \alpha(t - t_0)D \quad (35)$$

В некоторых случаях для вычисления поправки используют уравнение мерного прибора со значением его линейного удлинения при измерении температуры на 1°C . В этом случае поправку вычисляют по формуле:

$$\delta D_t = \frac{\alpha_{\text{мп}}}{l_0} (t - t_0)D \quad (36)$$

Поправка δD_v за наклон линии. Она позволяет от наклонного расстояния D прийти к горизонтальному проложению. Если линия местности AB (рис.18) 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:

$$d = D \cos v \quad (37)$$

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

Если угол v не превышает 10° , то поправку вычисляют по формуле:

$$\delta D_v = -0,5D (\sin v)^2, \quad (38)$$

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

$$\delta D_g = -2D \left(\sin \frac{v}{2}\right)^2 \quad (39)$$

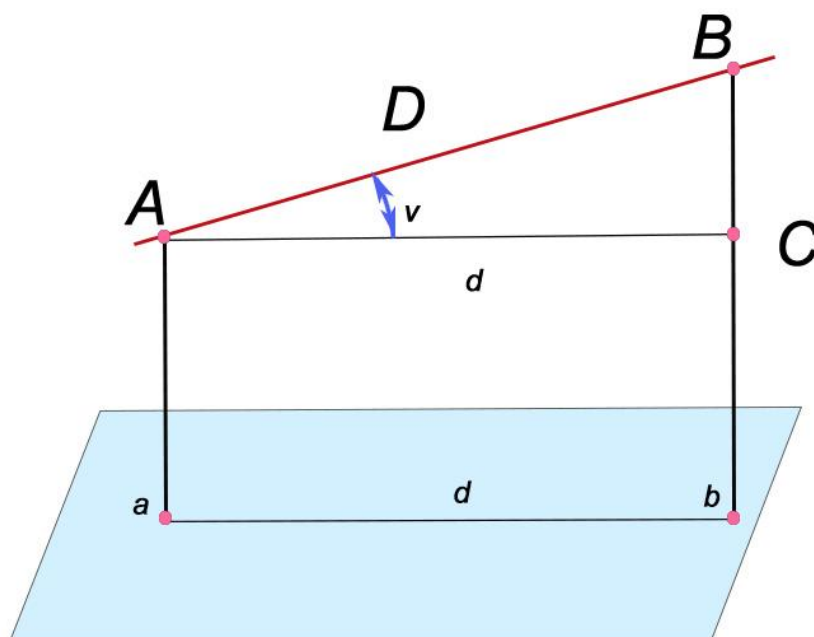


Рисунок 18 – Схема определения горизонтальных проложений

По данным формулам составлена таблица поправок за наклон (табл. 2), в которой приведены величины δD_v для небольших углов наклона v .

Таблица 2 – Значение поправок за наклон местности

Угол наклона	Расстояния, м									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Поправки δD_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	267	305	343	381
5°30′	46	92	138	184	230	276	322	368	414	460

Рассмотрим пример. Пусть измеренная длина $D = 125,70$ м, угол наклона $v = 4^\circ 30'$. По таблице находим: для 100 м – 308 мм, для 20 м – 62 мм, для 5 м – 15 мм, для 0,7 м – 2 мм. Суммарная поправка $\Delta D = 387 \approx 0,39$ м. Горизонтальное проложение:

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

После определения поправок за компарирование мерного прибора δD_k , за температуру δD_t и за наклон δD_v вычисляют горизонтальное проложение линии по формуле:

$$d = D + \delta D_k + \delta D_t + \delta D_v \quad (40)$$

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 $v = 4^\circ 30'$.

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 за наклон

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

Окончательная длина линии с учетом поправок

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

5.2 Измерение длины линий дальномерами

Для повышения производительности и снижения трудоёмкости измерений широко применяются нитяные дальномеры, встроенные в зрительные трубы теодолитов и нивелиров. Принцип действия основан на подсчёте числа делений рейки n , укладываемых между двумя дальномерными штрихами сетки нитей. Для определения расстояний в зрительных трубах теодолитов и нивелиров имеются штрихи kk' и ll' (рис. 19).

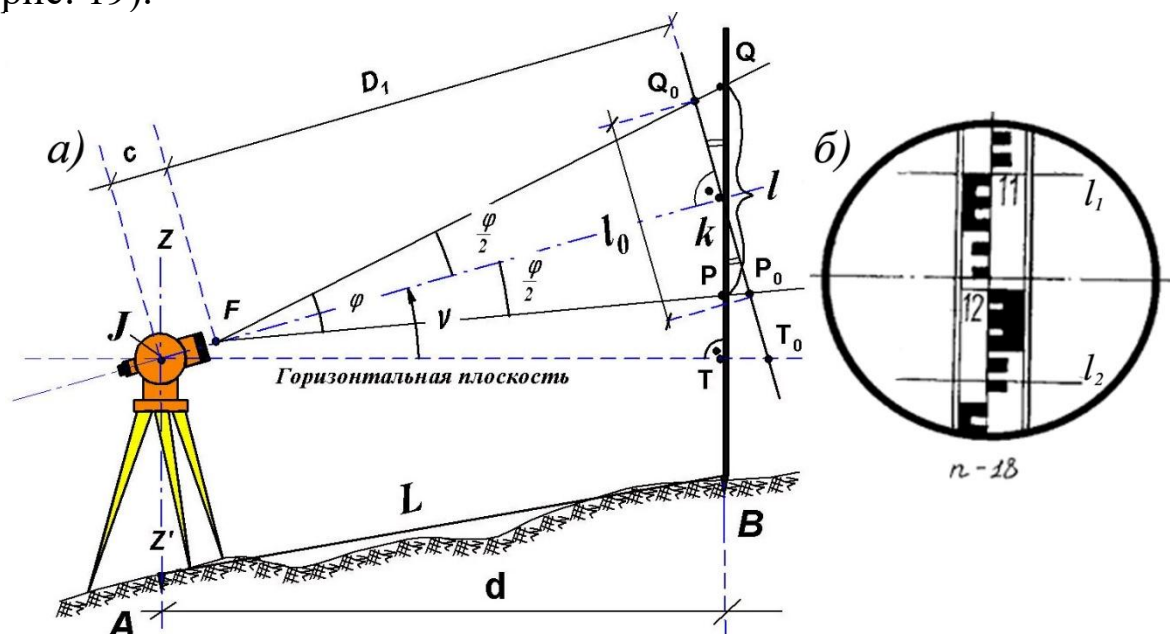


Рисунок 19 – Схема определения расстояний нитяным дальномером: а – схема измерений; б – поле зрения трубы l_1

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:

$$D = kn + c, \quad (41)$$

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:

$$D = 100 \times n \quad (42)$$

При измерении наклонных линий горизонтальное проложение вычисляют по формуле:

$$d = (kn + c) \times (\cos v)^2, \quad (43)$$

где v – угол наклона визирной оси зрительной трубы.

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.

Таким образом, выбор метода измерения длины линий определяется требованиями к точности, характером местности и наличием оборудования. Механические методы обеспечивают высокую надёжность и независимость от внешних условий, но требуют значительных трудозатрат. Дальномерные методы повышают скорость работ, но уступают в точности. Современная практика всё чаще сочетает оба подхода, используя механические измерения для создания обоснования и дальномерные – для съёмки подробностей.

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?
 7. Напишите формулу для вычисления горизонтального проложения линии, измеренной нитяным дальномером.
 8. При измерении линии длиной 286,24 м использовалась 20-метровая землемерная лента. Результаты измерения в прямом направлении: 1 передача шпилек, 4 шпильки у заднего мерщика, остаток – 6,28 м; в обратном – остаток 6,20 м. Температура воздуха при измерении составила +25 °С, тогда как температура компарирования ленты была +15 °С. Уравнение ленты, полученное при компарировании: $l = 20,000 + 0,0024 + 12,5 \cdot 10^{-6} \cdot (t - 15) \cdot 20$. Угол наклона линии – 4°30'.
- Требуется вычислить среднюю длину линии до введения поправок, определить поправки за компарирование, температуру и наклон, найти окончательное горизонтальное проложение линии.

6 ВЕРТИКАЛЬНАЯ СЪЕМКА

План

- 6.1 Рельеф и его изображение на карте
- 6.2 Нивелиры, нивелирные рейки и их устройство
- 6.3 Поверки и юстировки нивелиров
- 6.4 Способы нивелирования и вычисление отметок
- 6.5 Нивелирные рейки

6.1 Рельеф и его изображение на карте

Рельеф представляет собой совокупность неровностей земной поверхности, обусловленных геологическими, эрозионными, тектоническими и антропогенными процессами. Он является одной из ключевых характеристик ландшафта, определяющей не только внешний облик местности, но и её функциональные свойства – водосбор, дренаж, экспозицию склонов, доступность для сельскохозяйственного освоения или лесовосстановления. В геодезии и картографии рельеф рассматривается как трёхмерная пространственная модель, которую необходимо адекватно передать на плоскости топографического плана или карты. Для этого используется *метод горизонталей* – наиболее точный и наглядный способ изображения формы и высотного положения земной поверхности.

Горизонталью называют линию на карте или плане, соединяющую точки с одинаковыми абсолютными или условными высотами. Представление о горизонтали можно получить, если вообразить, что местность затоплена водой до определённого уровня: береговая линия, образовавшаяся при этом, и будет являться горизонталью (рис. 20).

Таким образом, каждая горизонталь является следом пересечения физической поверхности Земли с воображаемой уровенной поверхностью, параллельной основной уровенной поверхности – геоиду. Совокупность таких линий, проведённых через равные интервалы высот, позволяет воссоздать рельеф в виде модели, где чётко прослеживаются как общие формы, так и детали микрорельефа.

Основные формы рельефа, встречающиеся в природе, могут быть классифицированы на несколько типов. К ним относятся возвышенности и понижения, вытянутые формы и переходные элементы.

Возвышенность, имеющая относительную высоту менее 200 м, обычно называется *холмом*, тогда как более значительные поднятия – свыше 500 м – именуются *горами*. Наивысшая точка такой формы называется *вершиной*, нижняя граница, где склон переходит в окружающую равнину, – *подошвой* или *подножьем*, а боковые поверхности – *скатами* или *склонами*. Для указания направления понижения ската на картах применяются специальные короткие штрихи – *бергштрихи* (или *скатштрихи*), которые всегда направлены в сторону уклона и располагаются преимущественно по водоразделам или вдоль линий наибольшего ската (см. рис. 20).

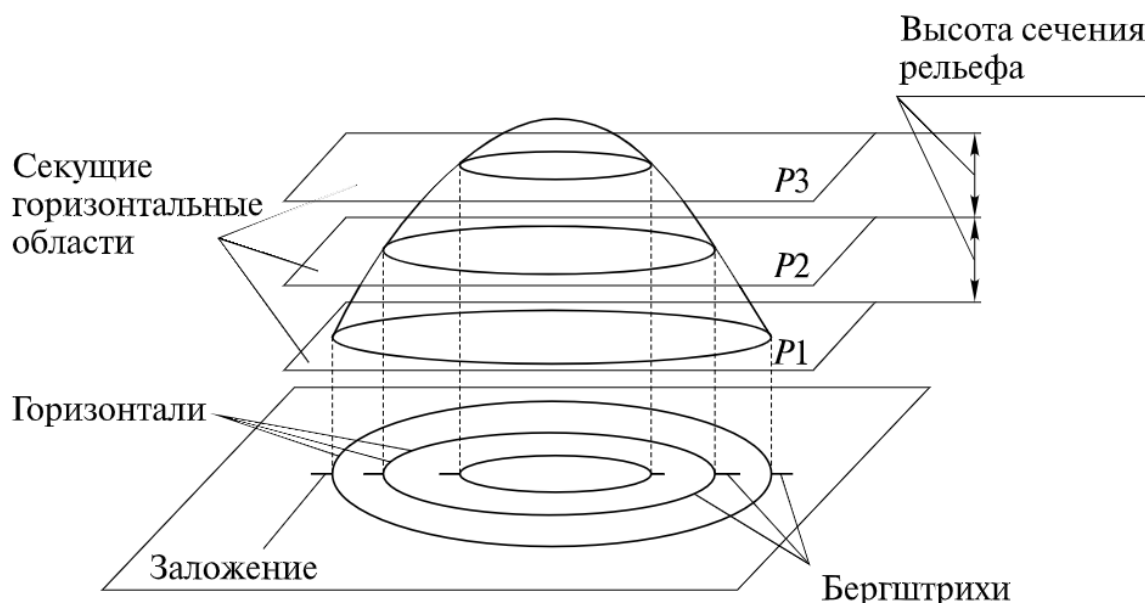


Рисунок 20 – Изображение рельефа горизонталями на плоскости

Противоположной формой рельефа является *котловина* или *впадина* – замкнутое углубление, ограниченное со всех сторон склонами. Наиболее низкая часть такой формы называется *дном*, а линия, по которой впадина соединяется с окружающей местностью, – *бровкой*.

В естественных условиях такие формы часто образуются в результате карстовых процессов, выдувания или эрозионной деятельности. Вытянутые формы рельефа представлены хребтами и лощинами. Хребет – это удлинённое возвышение с двумя противоположно направленными скатами; линия, разделяющая эти скаты и проходящая по наивысшим точкам, называется *водоразделом*. Лощина, напротив, представляет собой вытянутое понижение, по которому осуществляется сток поверхностных вод; линия, соединяющая самые низкие точки лощины, называется *тальвегом* или *водосливом*. Между двумя

соседними возвышенностями может находиться седловина – относительно низкое место, наиболее удобное для перехода или прокладки дороги; её самая низкая точка именуется перевалом.

Для количественной характеристики рельефа используются два основных параметра: высота сечения рельефа и заложение. Высота сечения – это разность высот между двумя смежными горизонталями; она выбирается в зависимости от масштаба карты, характера рельефа и целей использования картографического материала. В Российской Федерации нормативы по выбору высоты сечения регламентированы Приказом Минэкономразвития России от 6 июня 2017 г. № 271. В учебной и производственной практике часто используется формула для определения так называемого «нормального» сечения:

$$h_c = 0,2 \times M \text{ (мм)}, \quad (44)$$

где M – знаменатель масштаба карты.

Например, для карты масштаба 1:25 000 получаем $h_c = 0,2 \cdot 25\,000 = 5\,000$ мм, то есть 5 м. Эта величина применяется для равнинных, пересечённых и предгорных территорий. На плоскоравнинных участках, где рельеф слабо выражен, высота сечения уменьшается до 2,5 м, чтобы обеспечить достаточную детализацию; в горных районах, напротив, увеличивается до 10 м или более, чтобы избежать чрезмерного загущения горизонталей. На топографических картах значение высоты сечения всегда указывается в легенде, например: «Сплошные горизонталы проведены через ... метров».

Горизонталы, соответствующие выбранному шагу сечения, называются *основными* и изображаются сплошными линиями. Каждая пятая горизонталь утолщается и подписывается в разрыве цифрой, указывающей её абсолютную высоту; при этом верх цифры всегда ориентирован в сторону повышения рельефа (рис. 21). В случаях, когда рельеф особенно пологий и основные горизонталы расположены слишком далеко друг от друга, для улучшения читаемости карты проводятся дополнительные (полу)горизонталы с шагом, равным половине основной высоты сечения; они изображаются пунктирными линиями. При необходимости более точного отображения локальных форм рельефа – например, вершины холма или дна котловины – могут использоваться вспомогательные горизонталы с произвольным шагом (часто

1/3 или 2/3 основного сечения), которые также выполняются пунктиром, но с отличающимся интервалом штрихов.

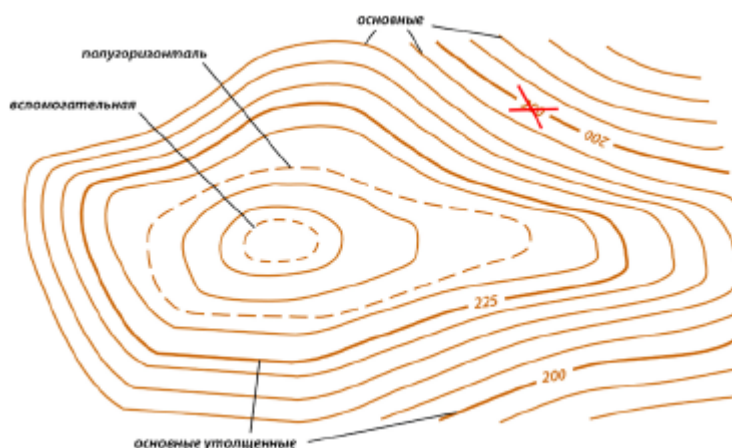


Рисунок 21 – Изображение горизонталей на топографической карте

Одним из важнейших свойств горизонталей является их способность передавать не только форму, но и крутизну склона. Это достигается за счёт изменения расстояния между соседними горизонталями на плане, которое называется заложением. Чем меньше заложение, тем круче склон; наоборот, большое заложение свидетельствует о пологом рельефе. Количественной мерой крутизны служит угол наклона ν – угол между линией ската и горизонтальной плоскостью (рис. 22).

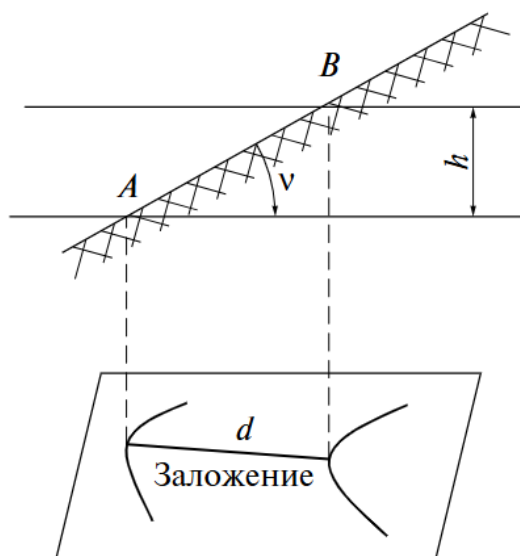


Рисунок 22 – Определение крутизны ската

В практических расчётах чаще используется безразмерная величина – уклон i , определяемая как отношение превышения h между двумя точками к горизонтальному проложению d между ними:

$$i = \frac{h}{d} = \tan v, \quad (45)$$

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

d – горизонтальное проложение, м.

Уклон выражается в процентах (%) или промилле (‰); например, уклон 0,12 соответствует 12 % или 120 ‰. Графически уклон определяется с помощью специального вспомогательного элемента карты – графика заложений (рис. 23), который строится на основе зависимости $d = \frac{h}{\tan v}$. Пользуясь этим графиком, пользователь может быстро оценить крутизну любого участка местности, измерив циркулем-измерителем заложение между двумя горизонталями и перенеся его на график.

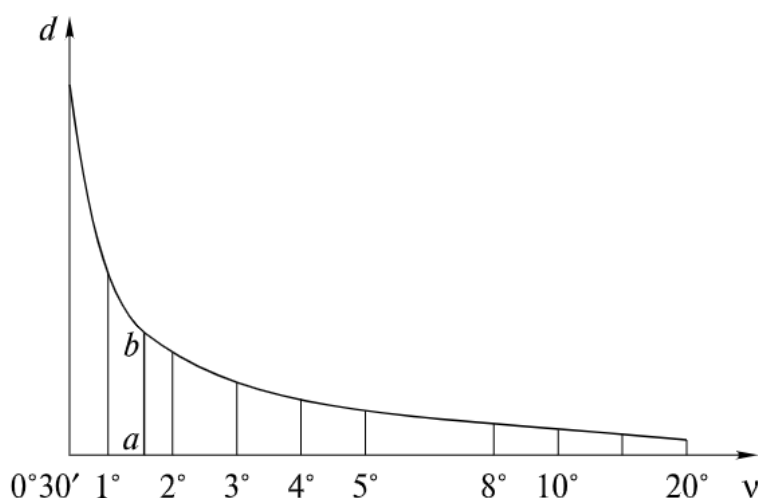


Рисунок 23 – График заложений (линия a-b – соответствует горизонтальному проложению линии d рис. 18)

Форма склона также легко определяется по характеру изменения заложений: постоянное заложение указывает на прямой (равномерный) склон, уменьшение заложений к подошве – на выпуклый, а увеличение – на вогнутый (рис. 24).



Рисунок 24 – Основные формы рельефа и формы склонов

Эти особенности имеют первостепенное значение при проектировании противоэрозионных мероприятий, организации поливных систем или выборе тактики лесовосстановления. Кроме того, по конфигурации горизонталей можно точно выявлять водосборные площади – участки местности, с которых вода стекает в определённый водоток. Границы водосборной площади проходят по водоразделам и определяются путём проведения линий наибольшего ската от заданной точки до ближайшего водораздела (рис. 25). Это особенно важно при проектировании дорог, мостов, плотин и других инженерных сооружений, где необходимо учитывать режим поверхностного стока.

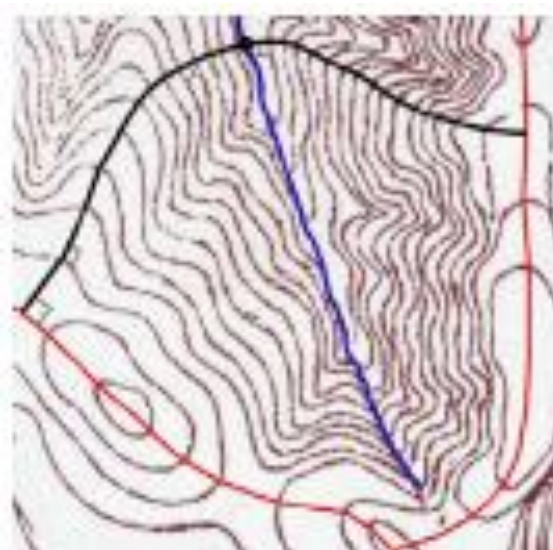


Рисунок 25 – Линии границ водораздела (красным), тальвега (синим) и подножье склона (черным).

Таким образом, изображение рельефа горизонталями представляет собой не просто технический приём, а мощный аналитический инструмент, позволяющий не только визуализировать форму земной поверхности, но и выполнять количественные расчёты, связанные с уклонами, объёмами земляных работ, водным балансом и другими параметрами, критически важными для агрономии и лесного хозяйства. Владение методикой чтения и интерпретации горизонталей является обязательной компетенцией современного специалиста, работающего с земельными ресурсами, поскольку именно на основе этих данных принимаются решения о рациональном использовании территории, планировании агротехнических мероприятий и обеспечении экологической устойчивости ландшафтов.

6.2 Нивелиры, нивелирные рейки и их устройство

Геодезические измерения, направленные на определение разности высот между точками земной поверхности, называются нивелированием. Этот вид работ лежит в основе создания высотного обоснования для топографических съёмок, инженерных изысканий, проектирования мелиоративных систем, планировки полей и лесных массивов, а также контроля за деформациями земной поверхности и сооружений. В зависимости от требуемой точности и целей проведения различают нивелирование I, II, III, IV классов и техническое нивелирование. При решении задач в агрономии и лесном хозяйстве наиболее часто применяется техническое нивелирование, а также нивелирование III–IV классов, среднеквадратические погрешности которых составляют соответственно 10 мм, 20 мм и 50 мм на 1 км двойного хода. Точность нивелирования напрямую зависит от конструкции и качества используемых приборов – в первую очередь, нивелиров и нивелирных реек.

Согласно ГОСТу, нивелиры классифицируются по точности на три основных типа: высокоточные (Н-05), точные (Н-3) и технические (Н-10). Нивелир Н-05 предназначен для выполнения работ I и II классов и оснащён оптическим микрометром, обеспечивающим погрешность не более 0,5 мм на 1 км хода. Нивелир Н-3 используется при нивелировании III и IV классов, а также в инженерно-геодезических изысканиях; его погрешность не превышает 3 мм на 1 км. Нивелир Н-10 применяется при техническом нивелировании, обосновании топографических съёмок и в строительстве, обеспечивая точность до 10 мм

на 1 км хода. Кроме того, современные нивелиры могут быть оснащены горизонтальными кругами для измерения углов, что указывается в их обозначении добавлением буквы «Л» (например, Н-3Л, 2Н-10КЛ).

По способу приведения визирной оси в горизонтальное положение нивелиры подразделяются на два принципиально разных типа: с уровнем при зрительной трубе и с компенсатором. У нивелиров первого типа (Н-05, Н-3, Н-10) зрительная труба жёстко связана с цилиндрическим уровнем, и горизонтирование осуществляется вручную с помощью элевационного винта до совмещения концов пузырька уровня, изображение которого передаётся в поле зрения трубы (рис. 26).

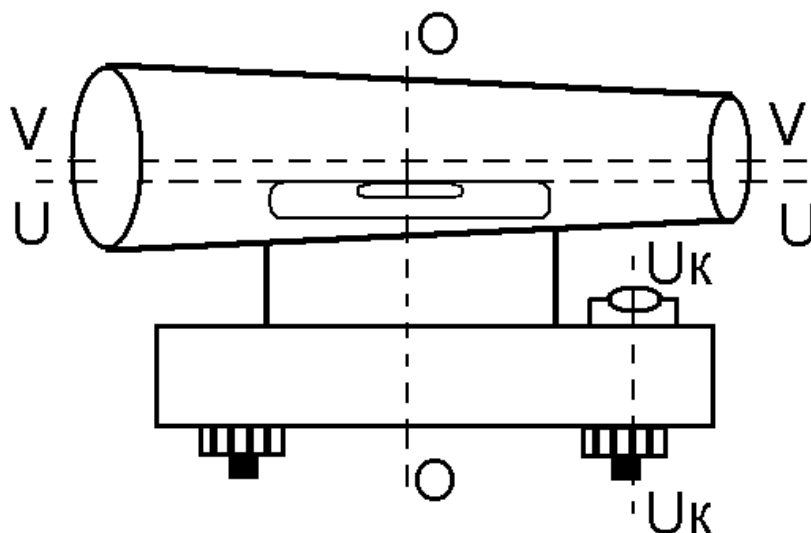


Рисунок 26 – Принципиальная съема осей нивелира:

U_к-U_к – ось круглого уровня;

U-U – ось цилиндрического уровня;

V-V – визирная ось;

O-O – ось вращения

Главным геометрическим условием таких приборов является параллельность визирной оси V–V и оси цилиндрического уровня U–U. У нивелиров с компенсатором (Н-05К, Н-3К, Н-10К) после предварительного горизонтирования по круглому уровню автоматически включается маятниковый оптико-механический компенсатор, который удерживает визирную ось в горизонтальном положении в пределах рабочего диапазона (обычно $\pm 8'$ – $20'$). Это значительно повышает производительность труда и снижает влияние человеческого фактора, особенно на неустойчивых грунтах.

Одним из наиболее распространённых в учебной и полевой практике является точный нивелир Н-3. Он состоит из верхней подвижной части, включающей зрительную трубу с 30,5-кратным увеличением и контактным цилиндрическим уровнем с ценой деления 15", и нижней неподвижной подставки с тремя подъёмными винтами. Изображение концов пузырька уровня передаётся в поле зрения трубы, что позволяет одновременно наблюдать за рейкой и контролировать горизонтальность визирной оси. Фокусировка трубы осуществляется кремальерой, а наведение – сначала грубо по мушке, затем точно с помощью наводящего винта. Современная модификация 2Н-3Л дополнительно оснащена лимбом для измерения горизонтальных углов с точностью до 0,1°.

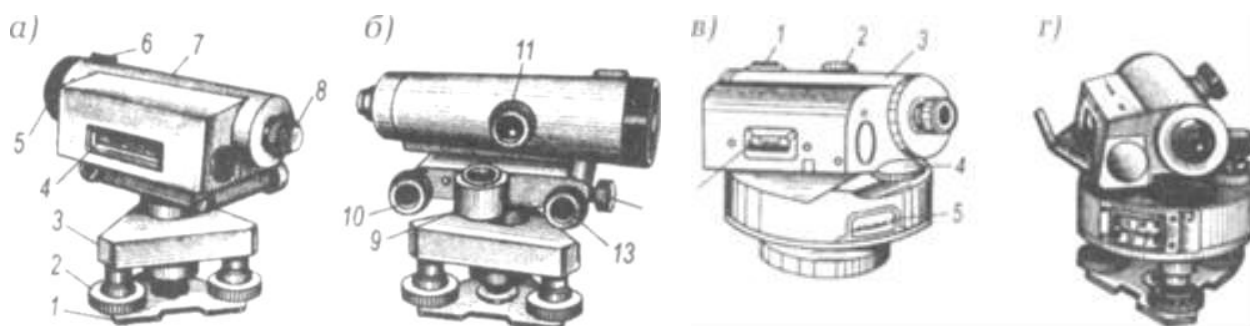


*Рисунок 27 – Нивелиры с уровнем при зрительной трубе:
точный нивелир Н-3: а – вид слева; б – вид справа;
технические нивелиры; в – Н-10Л; г – 2Н-10Л*

Технический нивелир Н-10Л отличается меньшим увеличением ($\times 23$) и более грубым цилиндрическим уровнем (цена деления 45"), но обладает компактностью, малой массой (1,0 кг) и наличием горизонтального круга, что делает его удобным для прикладных задач в агрономии и лесном хозяйстве. Его модификация 2Н-10Л имеет трегер вместо шаровой пяты, что упрощает установку на штатив. Ещё более совершенной конструкцией обладает нивелир 3Н-5Л, обеспечивающий точность до 5 мм на 1 км хода благодаря оптимальному расположению органов управления и улучшенной оптике.

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

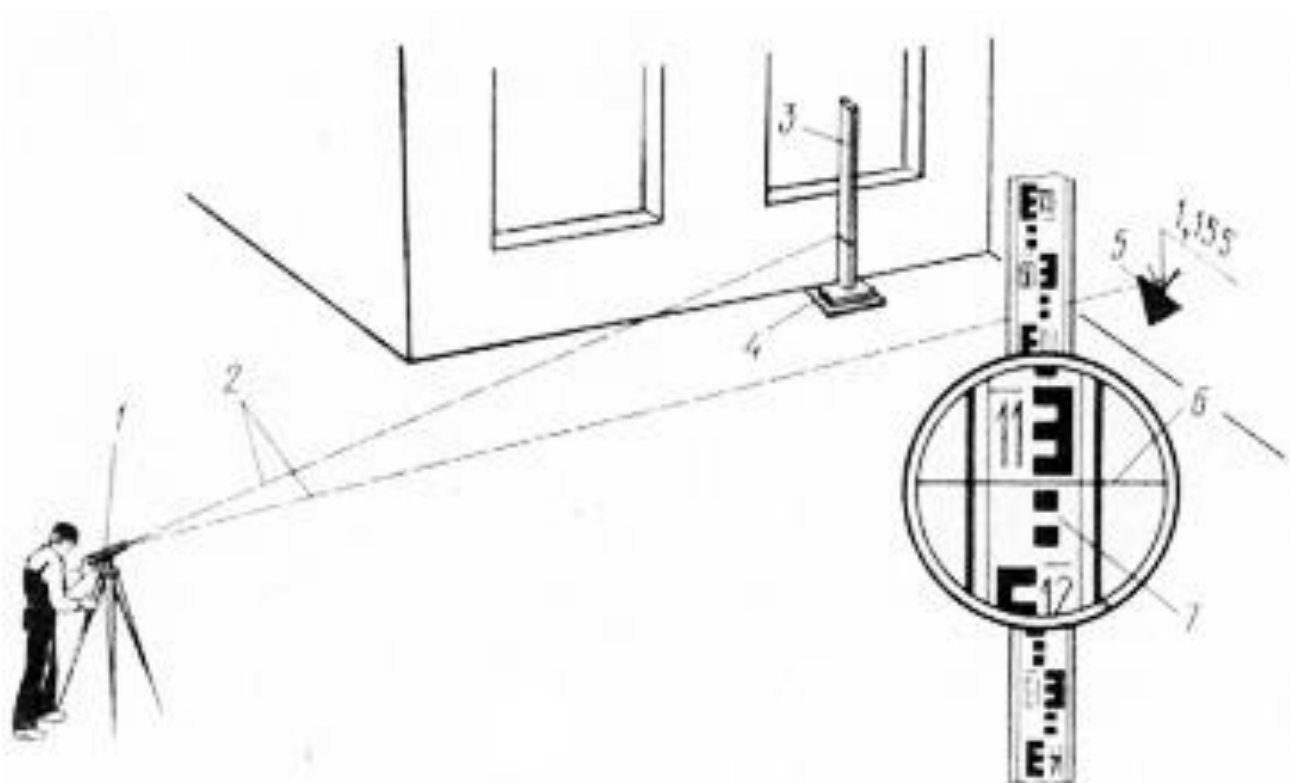


Рисунок 28 – Процесс нивелирования поверхности:

- 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*

В последние годы широкое распространение получили нивелиры с компенсатором, такие как японский SOKKIA C410 (рис. 29). Этот прибор предназначен для технического нивелирования, обоснования топографических съёмок и инженерных изысканий. Его принцип действия основан на автоматической установке визирной оси в горизонтальное положение с помощью маятникового компенсатора с магнитным демпфером.

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.

Основными частями нивелира являются зрительная труба с компенсатором (рис. 29), 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 3.

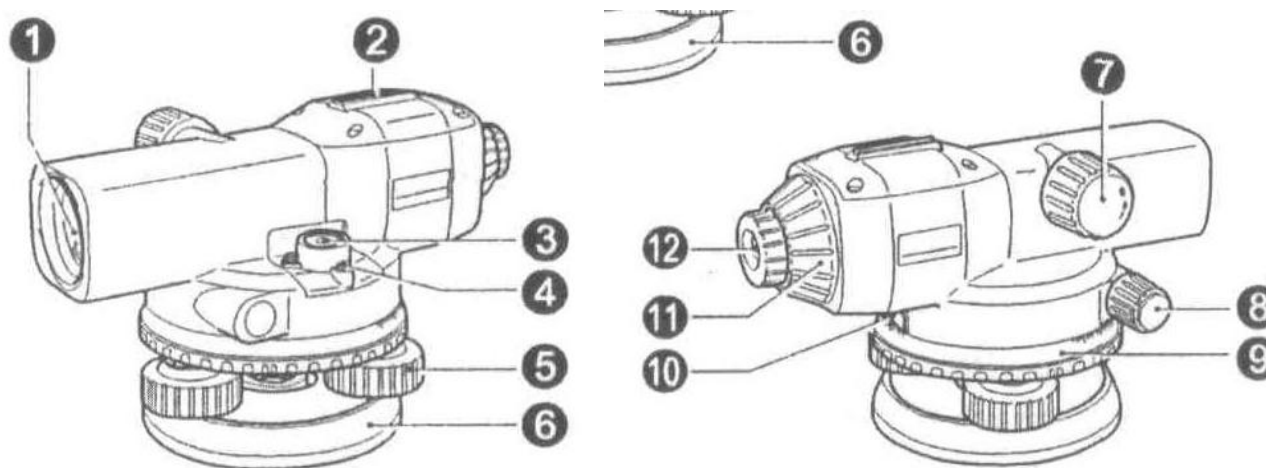


Рисунок 29 – Устройство нивелира SOKKIA C410:

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

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.

Таблица 3 – 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, Д х Ш х В, не более:	
Нивелира	(190х 115 х 122) мм
Футляра	(280х 195 х200) мм
Масса нивелира (в футляре), не более:	2,1 кг

Одним из распространенных в геодезических измерениях является нивелир Trimble DiNi 12. Прибор выделяется высокой точностью, удобством эксплуатации, надежность 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.

4.

Таблица 4 – 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 °С ... +50 °С
Источник питания / зарядное устройство	Аккумулятор NiMH: 6В, 1.1Ач
Время работы без подзарядки	1 час
Время зарядки аккумулятора	1 час



Рисунок 30 – Устройство электронного нивелира Trimble Dini 12

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. 30) ПЗС-матрица (прибор с зарядовой связью); она размещается в плоскости изображений, создаваемых зрительной трубой.

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 BAR-кодом) и 1,0 мм – при использовании складных алюминиевых штрих-кодовых реек (табл. 4). При визуальных измерениях по складным рейкам с метрической оцифровкой точность измерений снижается до 1,5 мм на 1 км хода.

Прибор позволяет также выполнять измерения направлений с помощью горизонтального лимба с ценой деления 1° , что позволяет брать отсчеты по отсчетному индексу до $0,1^\circ$. Предварительную установку прибора выполняют подъемными винтами трегера 9 (см. рис. 30) 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 1Мб 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.

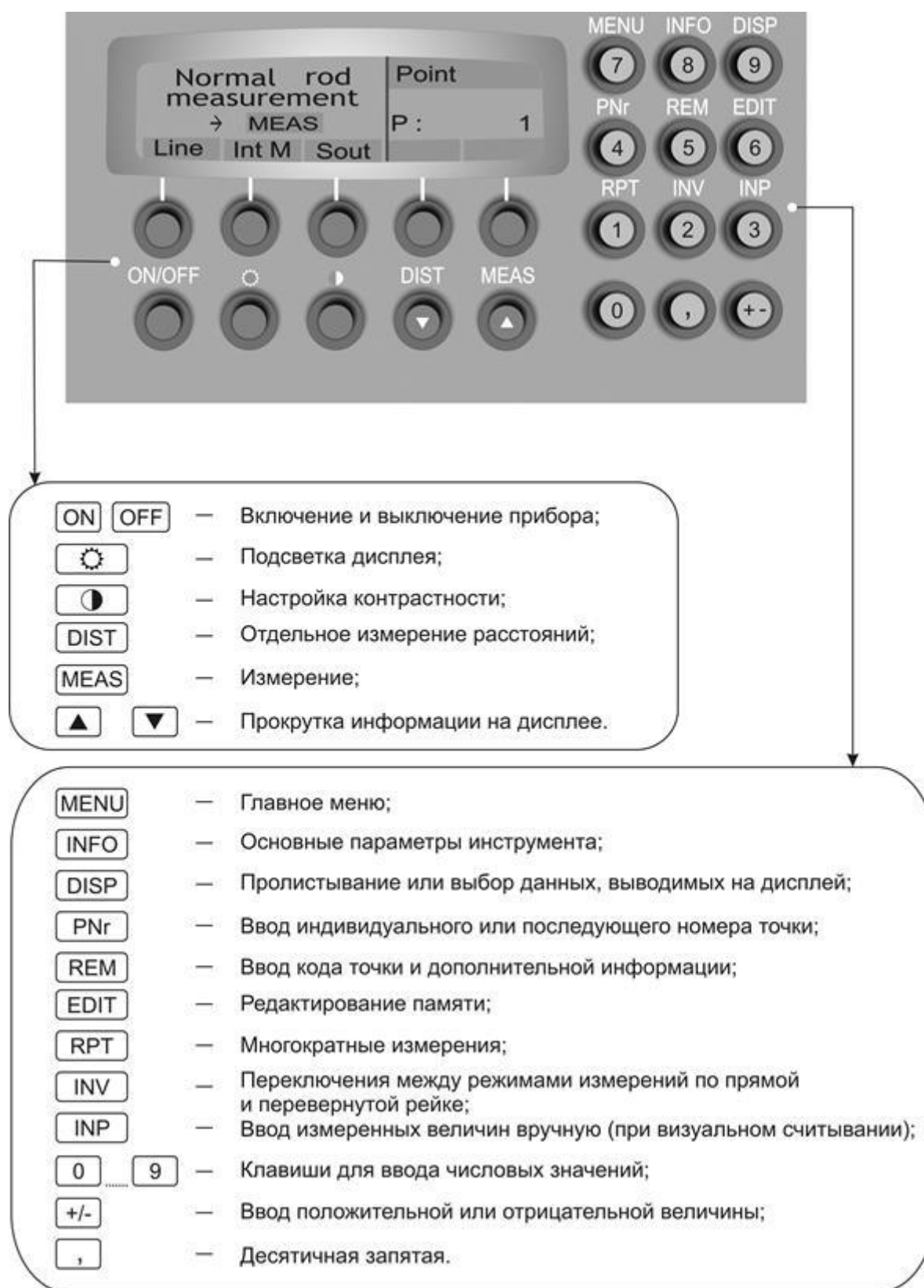


Рисунок 31 – Клавиатура и дисплей панели управления DiNi 12

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. 31).

Питание прибора осуществляется от аккумуляторной батареи, располагаемой в специальном отсеке 6 (см. рис. 26). 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. 30) 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 «!!Comp!!». 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.

6.3 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 пузырьки круглого уровня приводятся 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.

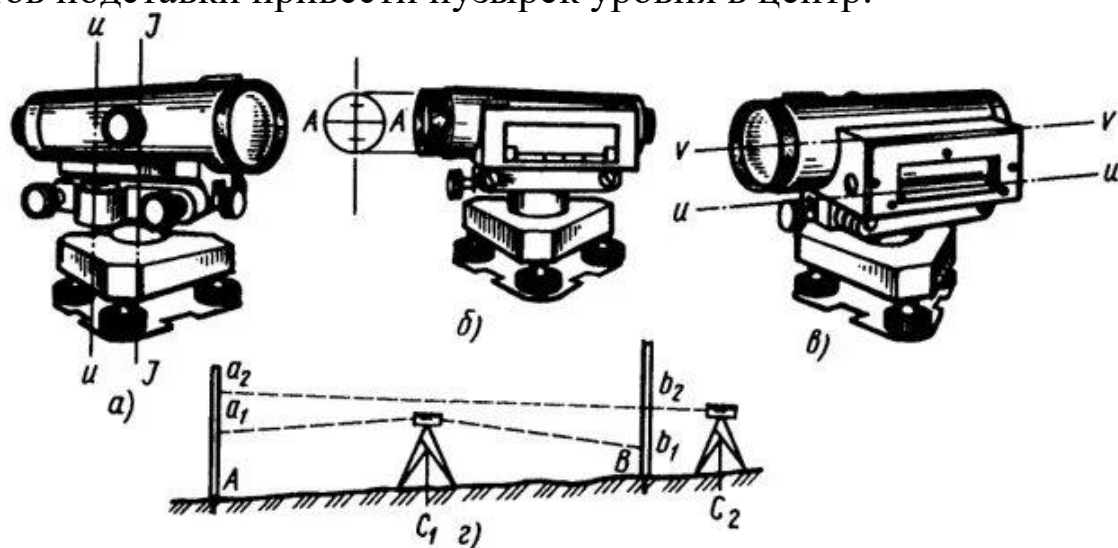


Рисунок 32 – Геометрические условия проверок нивелира НЗ:

- 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)

Нивелир должен удовлетворять следующим геометрическим условиям:

I. 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° . 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° . 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!

II. Поверка 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 отсчет) – компенсатор работает. Если отсчет 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 отсчет. Затем перевести изображение рейки в правый край поля зрения, взять отсчет 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 отсчет 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. 33, 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 завинчивают все винты.

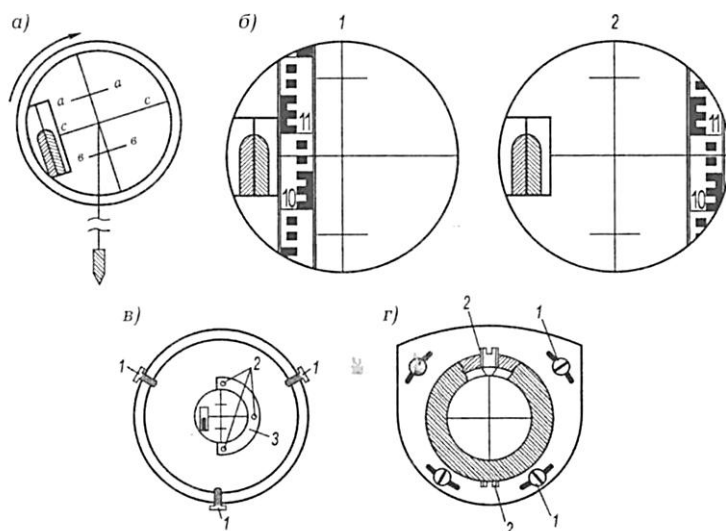


Рисунок 33 – Схема проверки сетки нитей нивелира

У нивелиров с компенсатором (Н-ЗК, 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. 33, г); сетку поворачивают, горизонтируя среднюю нить. Затем винты вновь закрепляют и повторяют поверку.

V. Визирная линия нивелира должна быть горизонтальной

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

1. Нивелирование из середины (рис. 28, 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. 33, г), вычисляется превышение между точками А и В:

$$h = a_1 - b_1 \quad (46)$$

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 (≈ 2 м). Берутся отсчеты 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 (59), а также и x (60)

$$b_2' = a_2 - h \quad (47)$$

$$x = b_2 - b_2' \quad (48)$$

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. Поверку 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 совпадала с точкой А (рис. 32). 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:

$$h = (a_1 - x) - i_1. \quad (49)$$

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. 30) с точностью до 1 мм. Вычисляется превышение:

$$h = i_2 - (a_2 - x). \quad (50)$$

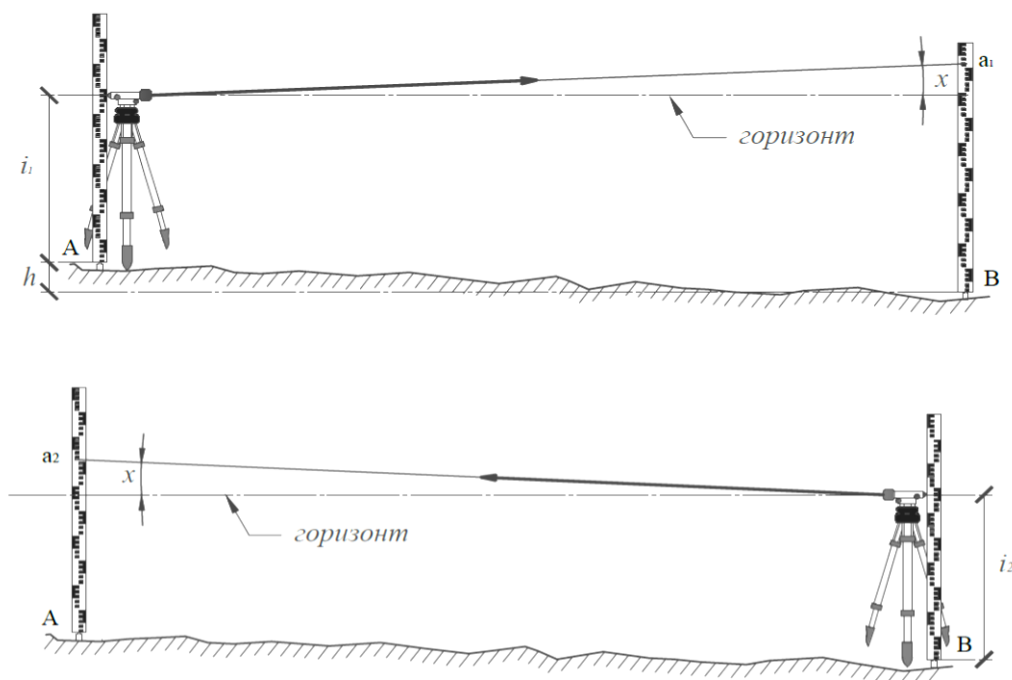


Рисунок 34 – Схема двойного нивелирования проверки главного геометрического условия нивелира

Приравняем выражения (51) и (52) и преобразуем равенство

$$(a_1 - x) - i_1 = i_2 - (a_2 - x), \quad (51)$$

$$a_1 - x - i_1 = i_2 - a_2 + x \quad (52)$$

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 поверка повторяется. Здесь (винтами сетки) – относится к нивелиру с цилиндрическим уровнем при зрительной трубе.

Отметим, при выполнении поверки 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.

Поверка 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 « x ».

Цифровой (электронный) нивелир перед началом измерений также необходимо поверить и, если надо, отъюстировать. Поверки следует начать с круглого уровня. Они выполняются аналогично поверкам для оптических нивелиров. Затем надо поверить положение креста сетки нитей: сначала – вертикальность нити, далее – положение горизонтальной нити. Вертикальность поверяется 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.

6.4 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 вычисляют по превышениям или горизонту инструмента.

Превышением называется разность высот двух точек: оно равно разности отсчетов по задней (З) и передней (П) рейкам (рис. 19).

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.

При определении превышений между точками А и В устанавливают нивелир примерно посередине (рис. 35) и приводят прибор в рабочее положение.

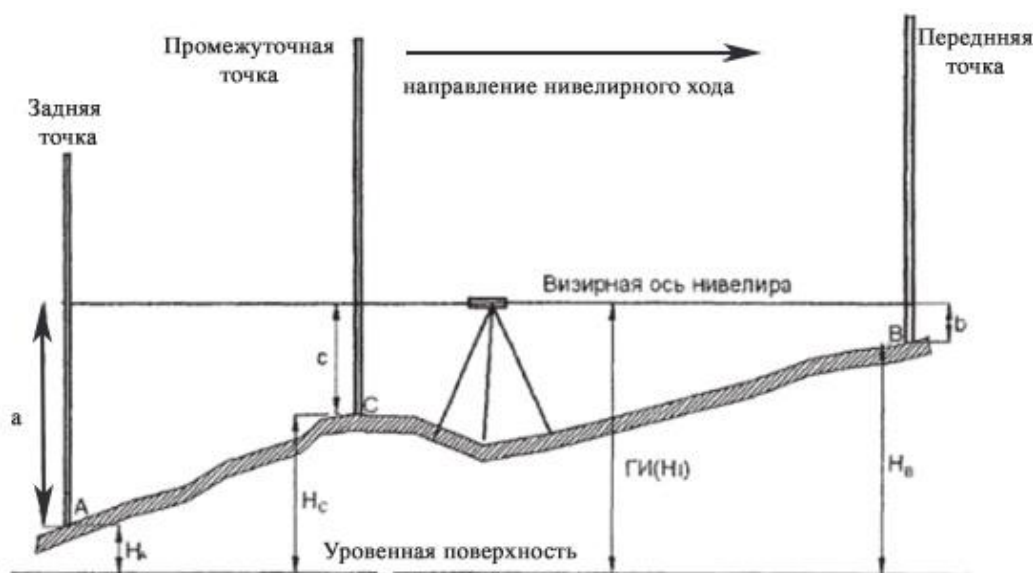


Рисунок 35 – Схема работы с нивелиром на станции (способ нивелирование из середины)

Отсчеты по рейкам на связующих точках А и В при нивелировании из середины берут (после установки цилиндрического уровня в

нуль-пункт) в таком порядке: по черной стороне задней рейки $З_ч = 1321$; по черной стороне передней рейки $П_ч = 1733$; по красной стороне передней рейки $П_к = 6416$; по красной стороне задней рейки $З_к = 6003$. После взятия отсчетов вычисляют превышения между связующими точками по черной и красной сторонам реек:

$$h_ч = З_ч - П_ч; \quad (53)$$

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

$$h_к = З_к - П_к; \quad (54)$$

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

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

$$h_{\text{ср.}} = \frac{h_1 + h_2}{2} \quad (55)$$

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

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

Результаты работы с нивелиром на станции записывают в журнал технического нивелирования (табл. 5).

Таблица 5 – Журнал технического нивелирования

Номер станции	Номер точки	Результаты по рейкам, мм			Превышения, мм		Горизонт при-бора (инстру-мента), мм	Отметка высоты, м
		задние	передние	промежуточные	вычисленные	средние		
I	А	1321			-0412	-0410	121,621	120,30
		6008			-0408		121,623	
		4687					121,622	
	В		1733					119,89
			6416					
			4683					
	С			1910				119,712

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

$$H_{\Pi} = H_3 \pm h_{\text{ср}} \quad (56)$$

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

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

$$\text{ГП}_1 = H_3 \pm 3_{\text{ч}}, \quad (57)$$

$$\text{ГП}_2 = H_{\Pi} \pm 3_{\text{п}} \quad (58)$$

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

$$\text{ГП}_{\text{ср}} = \frac{\text{ГП}_1 + \text{ГП}_2}{2} \quad (59)$$

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

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

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

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

$$H_{\text{пр}} = \text{ГП}_{\text{ср}} - 3_{\text{пр}} \quad (60)$$

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

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

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

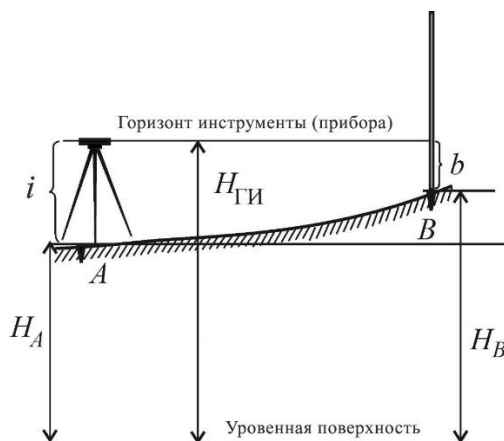


Рисунок 36 – Схема нивелирования поверхности способом вперед

Измеряется высота прибора i (рис. 36). Рейка устанавливается над точкой, отметку которой необходимо определить.

Нивелир наводится на рейку и берется отсчет b .

Превышение h находится по формуле:

$$h = i - b. \quad (61)$$

Абсолютная отметка точки В находится по формуле:

$$H_B = H_{\text{пн}(A)} \pm h \quad (62)$$

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

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

Известна абсолютная отметка точки А – H_A (рис. 35). Нивелир приводится в рабочее положение и наводится на заднюю рейку. Берется отсчет ($a_{\text{ч}}$) по черной стороне рейки, этот отсчет называется «взгляд назад». Поворачиваем рейку и берем отсчет по красной стороне, получаем отсчет ($a_{\text{кр}}$). Переводим нивелир на рейку, установленную на точке В и берем отсчеты по черной ($b_{\text{ч}}$) и красной ($b_{\text{кр}}$) сторонам рейки. Эти отсчеты называются «взгляд вперед».

Как видно из рисунка 35, превышение между точками А и В равно: $h = a - b$, т.е. «взгляд назад» минус «взгляд вперед». Для предотвращения ошибок, вычисляем среднее превышение, между разницей отсчетов по черным и красным сторонам реек. Разница между двумя значениями h , не должна превышать 5 мм:

$$h_1 = a_{\text{ч}} - b_{\text{ч}}, \quad (63)$$

$$h_2 = a_{\text{кр}} - b_{\text{кр}}, \quad (64)$$

$$h_{\text{ср}} = \frac{h_1 + h_2}{2} \quad (65)$$

Отметка точки В равна:

$$H_B = H_A \pm h_{\text{ср}}. \quad (66)$$

6.5 Нивелирные рейки и штативы

Нивелирные рейки представляют собой специализированные измерительные приспособления, предназначенные для определения превышений между точками земной поверхности при выполнении геометрического нивелирования. В совокупности с нивелиром они образуют единый измерительный комплекс, в котором рейка служит масштабным эталоном, а нивелир – устройством для фиксации положения визирного луча относительно этого эталона. От точности изготовления, стабильности конструкции и правильности эксплуатации реек напрямую зависит качество всей нивелирной работы, поскольку именно по рейке снимается отсчёт, являющийся исходной величиной для вычисления превышения. В зависимости от класса точности выполняемых работ применяются различные типы реек, отличающиеся материалом, конструкцией, длиной и характером делений.

Для нивелирования I и II классов, требующего максимальной точности, используются трёхметровые *цельные штриховые инварные рейки*. Инвар – сплав железа с никелем (36 % Ni), обладающий чрезвычайно низким коэффициентом линейного расширения (порядка $0,9 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}$), что практически исключает влияние температурных колебаний на длину рейки.

На лицевой стороне таких реек нанесена штриховая шкала с делениями через 0,5 см, а на оборотной – через 1 см, причём нули шкал смещены на постоянную величину, называемую «*пяткой*». Эта особенность позволяет выполнять контрольные измерения на станции, сравнивая превышения, полученные по обеим сторонам рейки.

Для нивелирования III и IV классов применяются деревянные или алюминиевые рейки с сантиметровыми делениями, имеющими так называемую «*шашечную*» разметку: чёрные и красные квадраты, чередующиеся через каждый сантиметр. Такая маркировка значительно облегчает чтение отсчётов, особенно в условиях слабой освещённости или при большом удалении рейки от прибора. В техническом нивелировании, широко используемом в агрономии и лесном хозяйстве, наиболее распространены телескопические алюминиевые рейки длиной 3, 4 или 5 м, состоящие из двух или трёх выдвижных секций,

фиксирующихся замками. Их удобство заключается в компактности при транспортировке и возможности адаптации длины под конкретные условия местности, однако их точность несколько ниже, чем у цельных реек, из-за возможного люфта в соединениях и коробления секций.

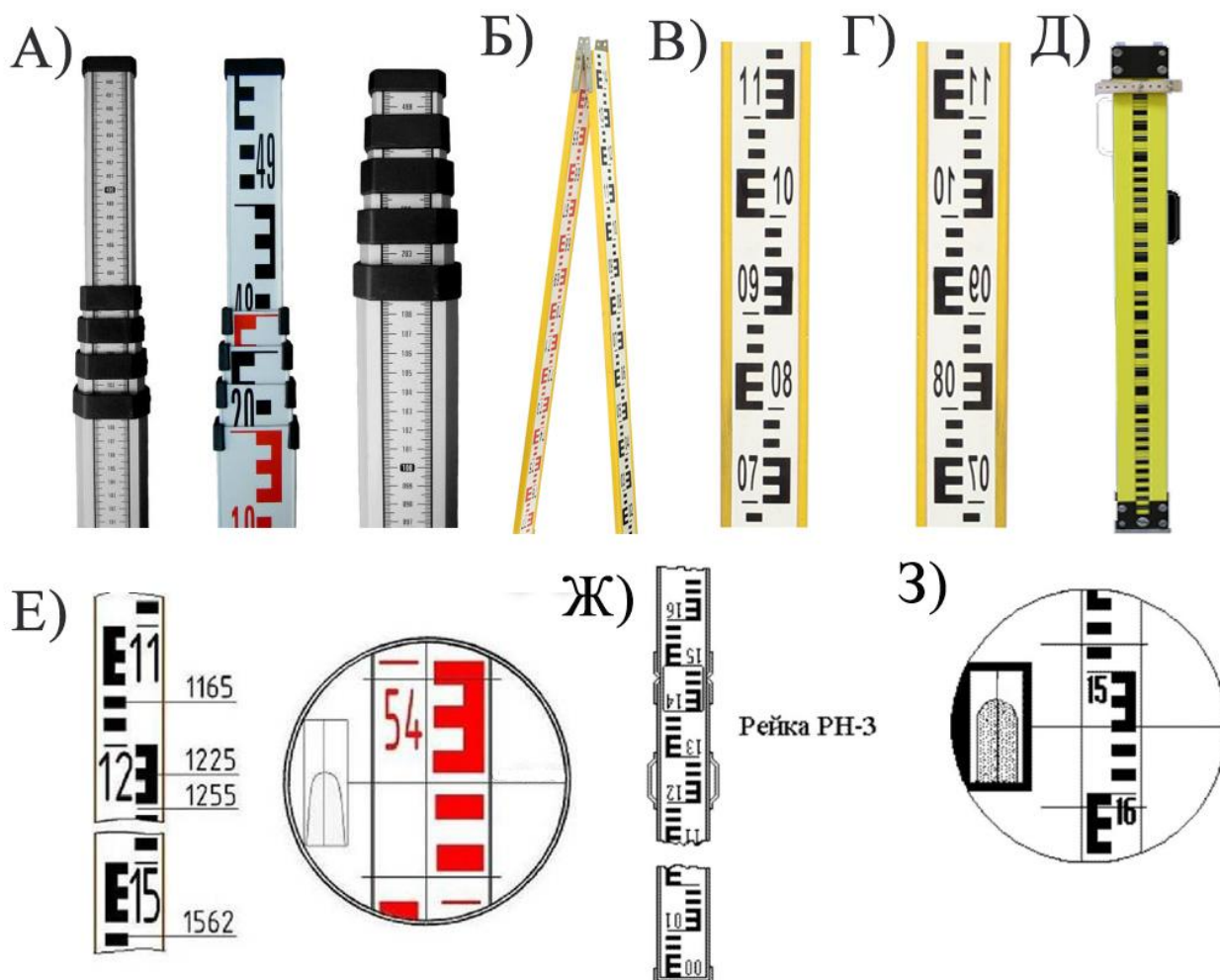


Рисунок 37 – Основные типы реек и снятие по ним отчетов:

- а) рейка нивелирная телескопическая SIL, 5 м;
- 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 РН-3 с обратным изображением;
- з) снятие отсчетов по рейке РН-3

Современным этапом развития нивелирных реек стало появление специальных кодовых реек для цифровых (электронных) нивелиров, таких как Trimble DiNi 12. Эти рейки изготавливаются из композитных материалов – углепластика или фибerglassа, – которые сочетают высокую прочность, малый вес и минимальную деформацию под действием внешних факторов. Одна сторона такой рейки содержит метрическую шкалу для визуального отсчёта, а другая – уникальный штрих-код, представляющий собой последовательность чёрных и белых полос переменной ширины, несущую информацию о высоте каждой точки шкалы. При работе с цифровым нивелиром ПЗС-матрица прибора считывает этот код, и встроенный процессор автоматически определяет отсчёт с точностью до долей миллиметра, полностью исключая субъективный фактор оператора. Примеры различных типов реек, включая телескопическую SIL, складную деревянную и кодовую, представлены на рис. 37.

Перед началом полевых работ каждая нивелирная рейка подлежит обязательному исследованию, целью которого является выявление и количественная оценка возможных погрешностей, способных повлиять на результаты измерений. Одним из ключевых параметров, подлежащих контролю, является степень коробления плоскости рейки, то есть отклонение её рабочей поверхности от идеальной прямолинейности. Для этого вдоль ребра рейки, проходящего через пятку и верхнюю кромку, натягивается тонкая капроновая нить, и с помощью линейки с миллиметровыми делениями измеряются стрелки прогиба в нескольких сечениях. Допустимые величины коробления строго регламентированы: для нивелирования II класса – не более 2 мм, III класса – 4 мм, IV класса – 7 мм, а для технического нивелирования – до 10 мм. Превышение этих значений делает рейку непригодной для использования в соответствующем классе работ.

Особое внимание уделяется проверке правильности установки круглого уровня на рейке, который предназначен для обеспечения её вертикального положения при измерениях. Эта проверка может быть выполнена двумя способами: с использованием нитяного отвеса или с помощью вертикальной нити сетки теодолита. В первом случае рейка устанавливается так, чтобы её ребро было параллельно нити отвеса в двух взаимно перпендикулярных плоскостях; при этом пузырёк уровня должен находиться в нуль-пункте. Во втором случае рейка центрируется над точкой, и с расстояния 15–20 м визируют на неё теодолитом,

совмещая вертикальную нить сетки с ребром рейки. Если при повороте рейки вокруг своей оси нить остаётся совмещённой с ребром, а пузырёк уровня не смещается, условие считается выполненным. В противном случае производится юстировка уровня с помощью его исправительных винтов.

Не менее важной является проверка перпендикулярности пятки рейки её продольной оси. *Пятка* – это нижняя опорная часть рейки, которой она устанавливается на точку или на специальный башмак. Любое отклонение от перпендикулярности приводит к систематической погрешности в отсчётах, зависящей от угла наклона рейки. Для контроля этого условия рейку устанавливают на полусферическую головку костыля или башмака и берут отсчёты, слегка покачивая рейку вперёд-назад и влево-вправо. Минимальный отсчёт, соответствующий моменту, когда рейка занимает строго вертикальное положение, и является истинным. При наличии подпятника эта проверка может не проводиться, так как подпятник автоматически компенсирует небольшие отклонения.

Одним из основных контролей на станции при нивелировании является проверка так называемой «пятки» рейки – разности высот нулей чёрной и красной сторон. Для её определения рейку устанавливают на костыль с полусферической головкой на расстоянии около 20 м от нивелира и берут отсчёты по обеим сторонам. Разность между отсчётами по красной и чёрной сторонам и есть значение пятки. Эту операцию повторяют 10–12 раз, перемещая рейку по высоте, и за окончательное значение принимают среднее арифметическое. При работе с парой реек также определяют «разность пяток», которая должна быть известна и учтена при вычислениях. Для высокоточных работ, таких как компарирование инварных реек, используется специальная *жневская линейка* в помещении с постоянной температурой, что позволяет определить среднюю длину метра и ввести соответствующие поправки в результаты измерений.

Штативы, хотя и не являются измерительными приборами в строгом смысле слова, играют критически важную роль в обеспечении устойчивости и точности геодезических измерений. Штатив для геодезических инструментов представляет собой треногу, предназначенную для надёжного закрепления нивелира, теодолита или тахеометра над заданной точкой и предварительного приведения его в рабочее положение. Современные штативы, такие как Leica CTP101, имеют

типовую конструкцию, включающую металлическую головку с площадкой для установки прибора и три составные ножки, шарнирно соединённые с головкой (рис. 38).

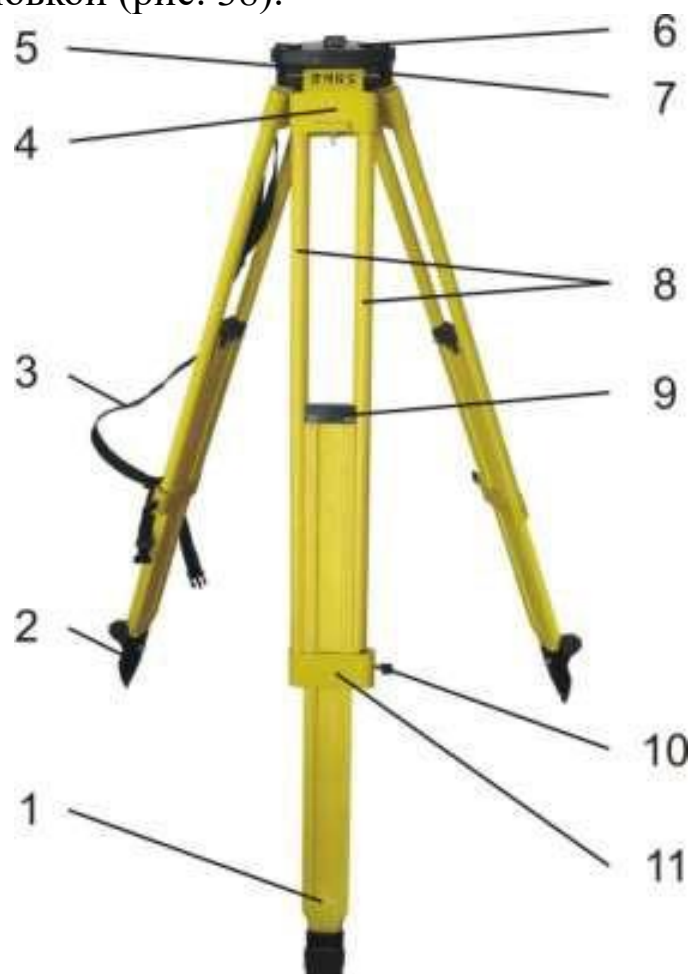


Рисунок 38 – Геодезический штатив Leica CTP101:

- 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 часть ножек обычно выполнена из прочной древесины или композитного материала, а нижняя – из металла, что обеспечивает жёсткость и долговечность. На концах ножек устанавливаются

металлические наконечники с упорами для ног, позволяющими надёжно вдавливать штатив в грунт даже на склонах или мягкой почве.

Головка штатива снабжена станovým винтом с резьбой, соответствующей стандарту ISO 263-73 или ГОСТ Р 11897-94, и крючком для подвески нитяного отвеса, что облегчает центрирование прибора над точкой. Качество штатива напрямую влияет на стабильность прибора: люфт в соединениях, недостаточная жёсткость ножек или износ зажимных механизмов могут привести к микросмещениям прибора во время измерений, особенно в ветреную погоду или на неустойчивом грунте. Поэтому перед началом работ необходимо тщательно проверить состояние штатива: убедиться в отсутствии люфта в головке и наконечниках, исправности зажимных винтов и надёжности фиксации ножек.

Таким образом, нивелирные рейки и штативы, будучи вспомогательными элементами геодезического комплекса, оказывают решающее влияние на точность и надёжность результатов нивелирования. Владение методикой их исследования, проверки и правильной эксплуатации является неотъемлемой частью профессиональной подготовки будущего агронома или лесоведа, поскольку именно от качества этих, казалось бы, простых приспособлений зависит достоверность всех последующих расчётов, связанных с моделированием рельефа, проектированием мелиоративных систем, организацией поливных полей или планированием лесовосстановительных мероприятий.

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?

13. В чём заключается принцип работы нивелира с компенсатором, и какие преимущества он даёт по сравнению с нивелиром, оснащённым цилиндрическим уровнем?

14. Какие виды нивелирных реек применяются при выполнении работ различной точности, и какие поверки необходимо выполнить перед началом нивелирования?

7 УГЛОВЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ

План

7.1 Теодолиты и тахеометры

7.2 Принципы измерения углов

7.3 Поверки и юстировки теодолита 3Т5КП

7.4 Устройство электронного тахеометра SOKKIA SET 530R

7.1 Теодолиты и тахеометры

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

Горизонтальным называют угол ABC (рис. 39) 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.

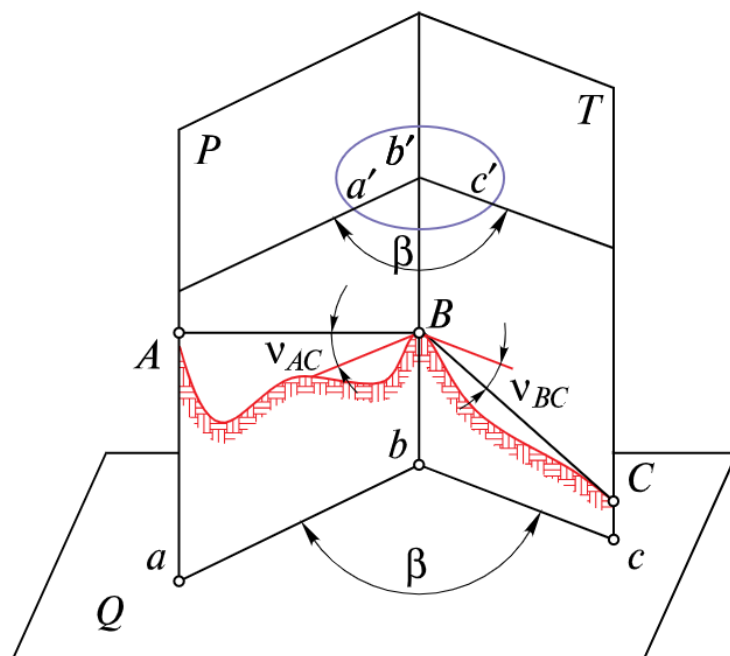


Рисунок 39 – Принцип измерения горизонтальных и вертикальных углов

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

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.

А)



Б)



Рисунок 40 – Устройство теодолита 3Т5КП

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.

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.

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.

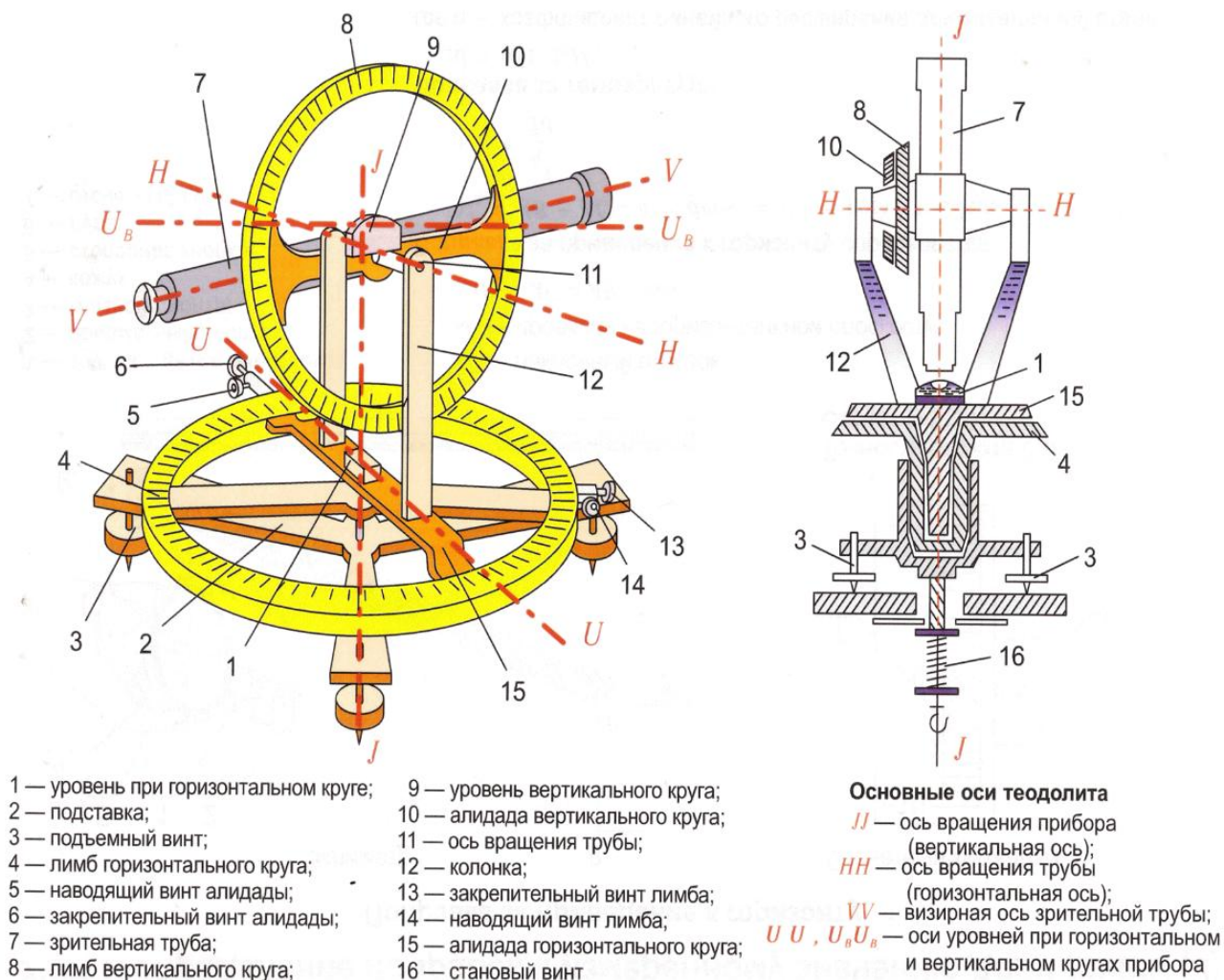


Рисунок 41 – Схема устройства теодолита и его геометрических осей

Теодолит ЗТ5КП (рис. 40) — 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 3Т5КП сконструирован по модульному принципу (рис. 41-42). 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.

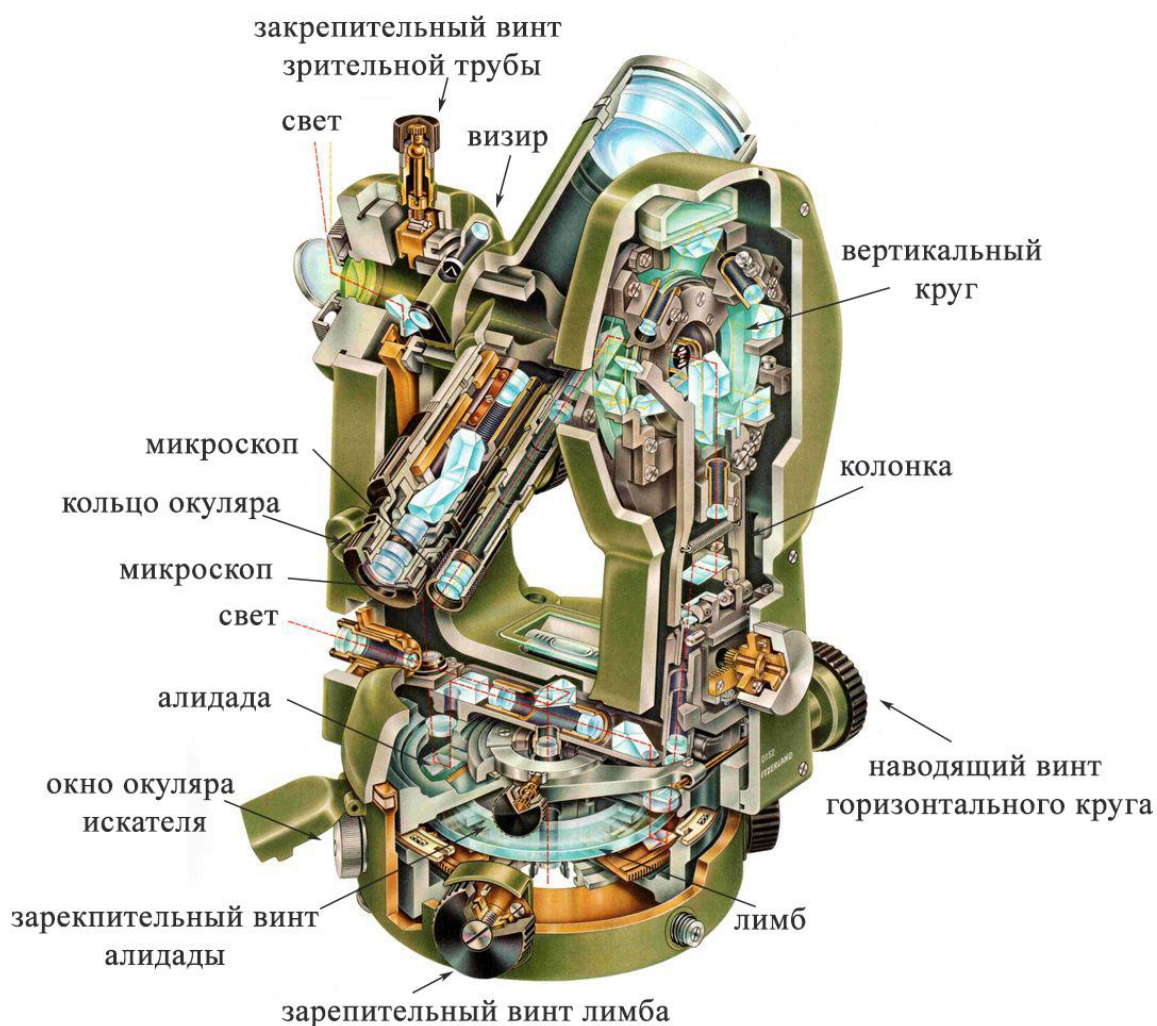


Рисунок 42 – Принципиальная схема оптического устройства теодолита 2Т30П

Горизонтальный круг теодолита предназначен для измерения горизонтальных углов и состоит из лимба и алидады (рис. 42). Лимб представляет собой стеклянное кольцо, на скошенном крае которого нанесены равные деления с помощью автоматической делительной машины.

Цена деления лимба (величина дуги между двумя соседними штрихами) определяется по оцифровке градусных (реже градовых)

штрихов. Оцифровка лимбов производится по часовой стрелке от 0 до 360 градусов.

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. 41). 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 острие 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 навести 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.

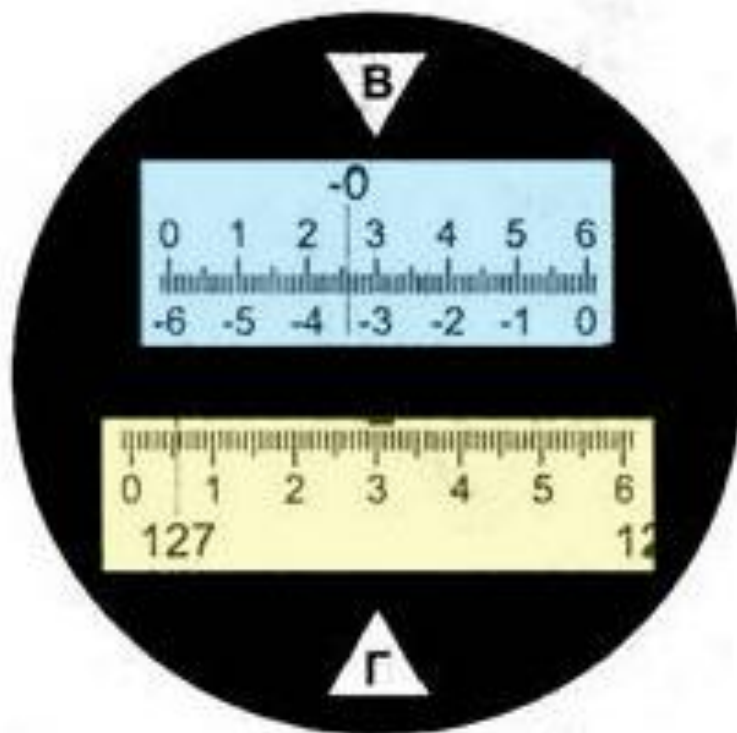


Рисунок 43 – Поле зрения микроскопа теодолита 3Т5КП

Горизонтальный и вертикальный круги разделены и оцифрованы через 1° . Изображения штрихов и цифр проецируются на плоскость отсчетных шкал микроскопа. Изображение вертикального круга оттенено голубым фоном, горизонтального – желтым. Поворотом и наклоном зеркала 5 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. 43.

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. 43 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.

7.2 Измерения горизонтальных и вертикальных углов

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 β (рис. 44). После завершения полуприема трубу теодолита переводят через зенит, переставляют лимб примерно на 90° и выполняют измерения при втором положении вертикального круга КП.

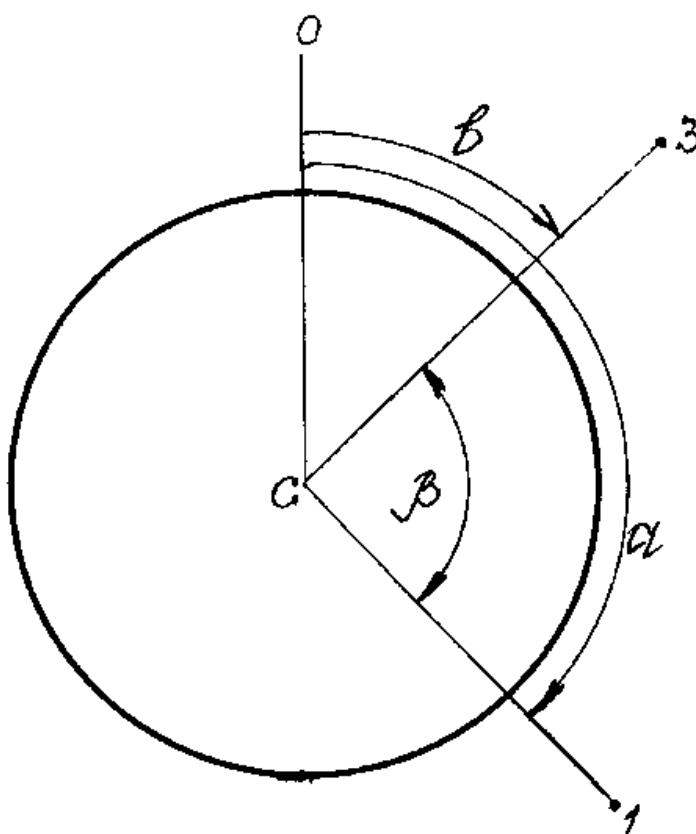


Рисунок 44 – Схема измерения горизонтального угла способом приемов

Результаты измерений записывают в журнал (табл. 6).

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 6 – 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
III	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:

$$\nu = \frac{\text{КЛ} - \text{КП} - 180^\circ}{2}, \quad (67)$$

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:

$$МО = \frac{(КЛ + КП + 180^\circ)}{2} \quad (68)$$

На рис. 40 показана схема измерения угла наклона ν .

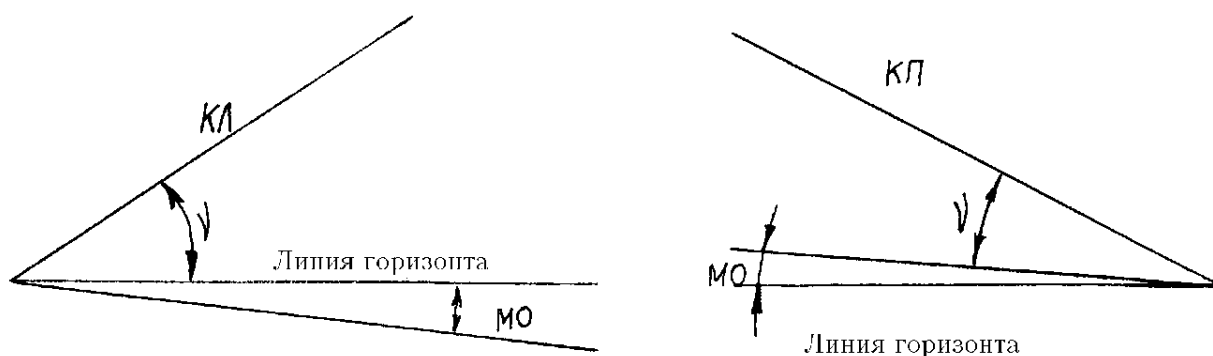


Рисунок 45 – Схема измерения угла наклона

Угол наклона можно вычислить по формулам:

$$\nu = МО - КП - 180^\circ, \quad (69)$$

$$\nu = КЛ - МО, \quad (70)$$

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° , прибавляют 360° .

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

Результаты измерений записывают в журнал (табл. 7).

Таблица 7 – Журнал измерений вертикальных углов теодолитом

Номер станции	Наблюдаемые точки	Положение вертикального круга	Отсчеты по вертикальному кругу	Место нуля	Угол наклона ν
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.

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

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

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

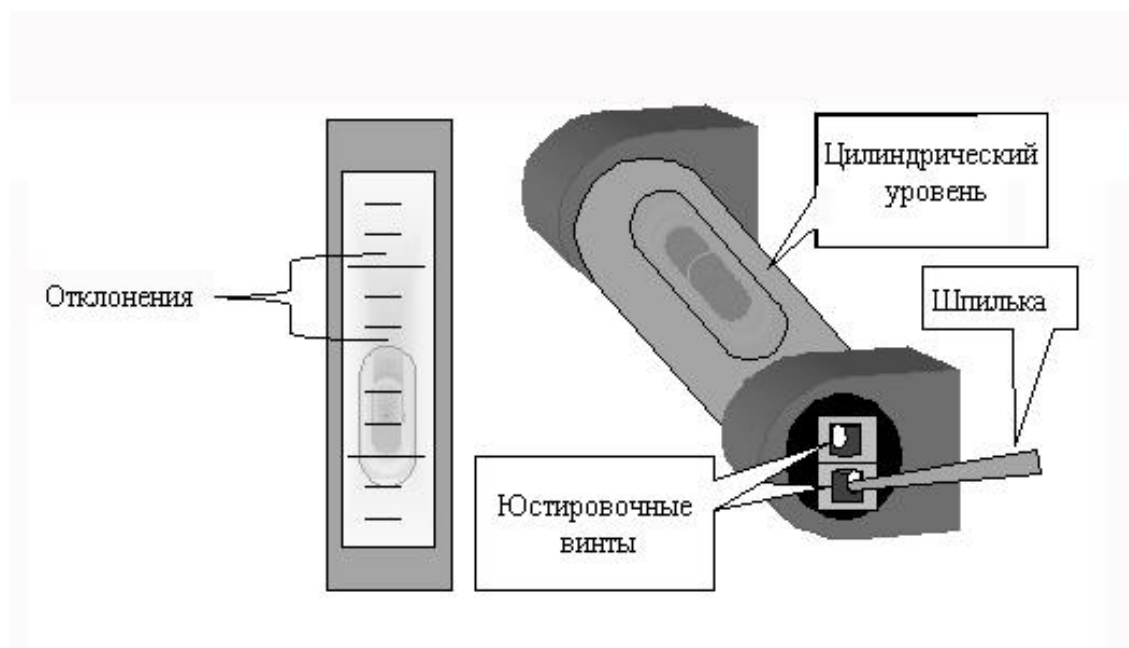


Рисунок 46 – Схема юстировки цилиндрического уровня при алидаде.

Если, после поворота на 180° , 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. 46).

Затем поверку повторяют до тех пор, пока пузырек, при повороте на 180° , 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° . Закрепляем винт лимба, открепляем винт алидады. И наведя теодолит на ту же точку, берем отсчеты КЛ2 и КП2.

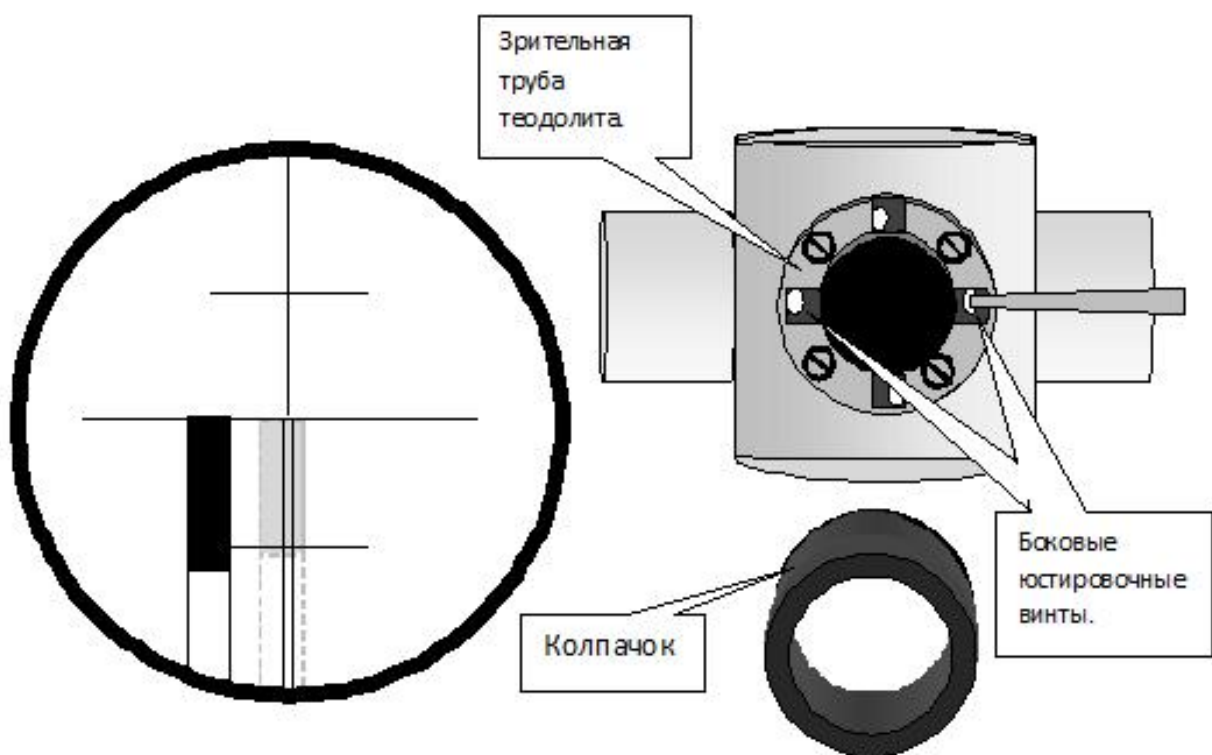


Рисунок 47 – Схема исправления коллимационной погрешности.

Вычисляем значение коллимационной погрешности по формуле:

$$C_1 = 0.25 [(КЛ1 - КП1 \pm 180^\circ) + (КЛ2 - КП2 \pm 180^\circ)] \quad (71)$$

Для контроля повторяют определения, визируя трубу на вторую точку и вычисляют среднее арифметическое значение $C_0 = \frac{C_1 + C_2}{2}$.

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. Перекрестье нитей сойдет с верхней части вешки. Открываем колпачок зрительной трубы и боковыми юстировочными винтами совмещаем перекрестие нитей с верхушкой вешки (рис. 42). 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 A , 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 B . Переводим трубу через зенит, наводим ее на точку A' и при $КП$ опускаем ее в точку B' . Если точки B и B' совпадают, то условие поверки считается выполненным. Если точки B и B' 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. 43).

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

Место нуля вертикального круга (M_0) определить визированием на удаленную цель при двух положениях теодолита и вычислить до целого числа секунд по формуле:

$$M_0 = 0,5 (Л - П), \quad (72)$$

где Л, П – 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 (Л или П), вращением винта 4 (рис. 48 и рис. 49), закрытого пробкой, установить отсчет, равный $(Л - M_0)$ или $(П + M_0)$. Исправить место нуля можно перемещением гаек балансировки маятника.

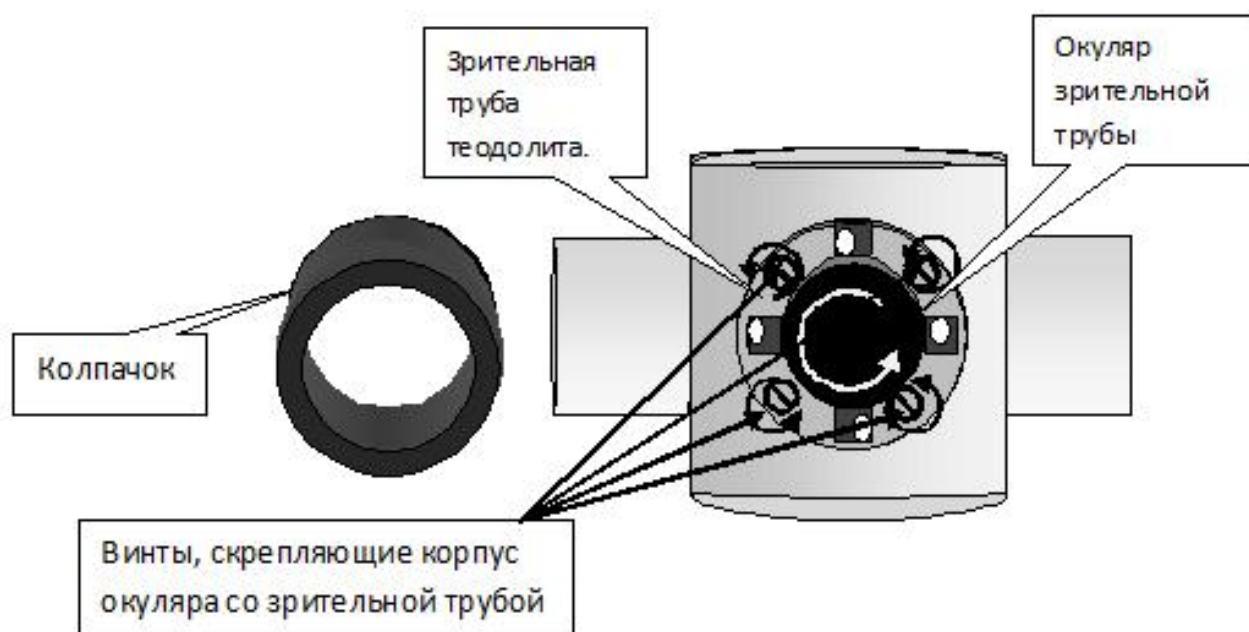


Рисунок 48 – Схема исправления вертикальности сетки нитей

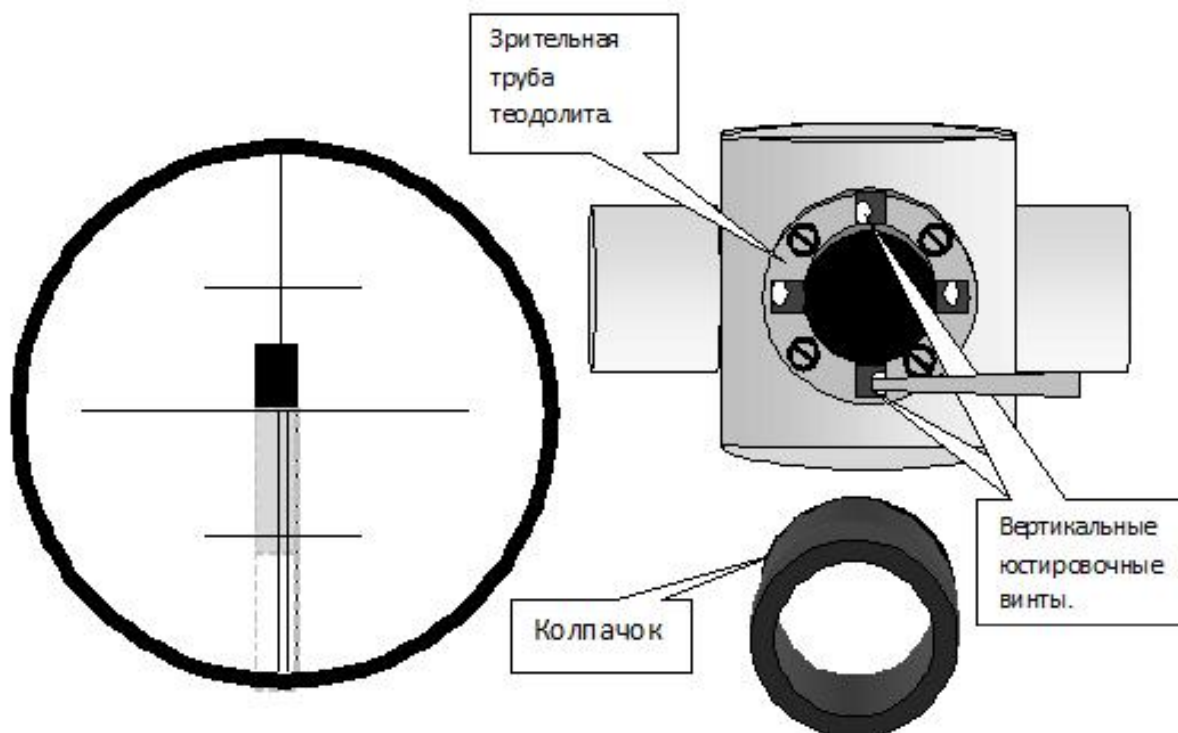


Рисунок 49 – Исправление места нуля вертикального круга

7.4 Измерение углов на местности

Измерение горизонтального угла теодолитом может быть выполнено различными способами:

- 1) способом приемов;
- 2) способом повторений;
- 3) 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 β равен разности двух направлений, а подписи делений лимба возрастают по ходу часовой стрелки, то из правого направления вычитают левое, то есть

$$\beta_1 = \text{КЛ1} - \text{КЛ2} \quad (73)$$

Если полученный отсчет на правую точку меньше отсчета на левую точку, то к его значению прибавляем 360° .

Измерение угла при одном положении вертикального круга называется полуприемом.

III. Для контроля и ослабления погрешности измеряем угол β_2 при круге право (рис. 50). 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.

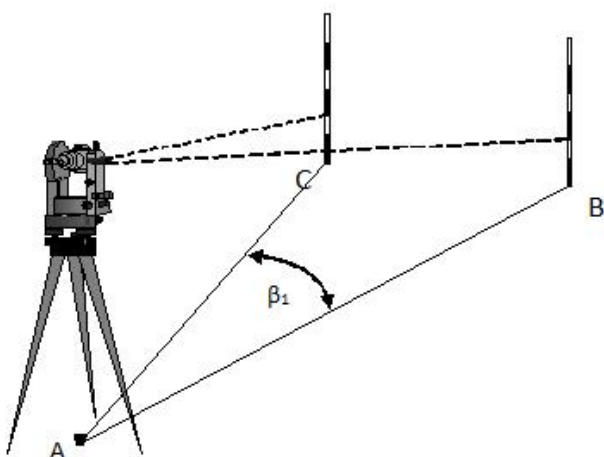
Угол β_2 определяется по формуле:

$$\beta_2 = \text{КП1} - \text{КП2} \quad (74)$$

Допустимая разница двух полуприемов не должна превышать $1'$:

$$(\beta_1 - \beta_2) \leq 1' \quad (75)$$

А)



Б)

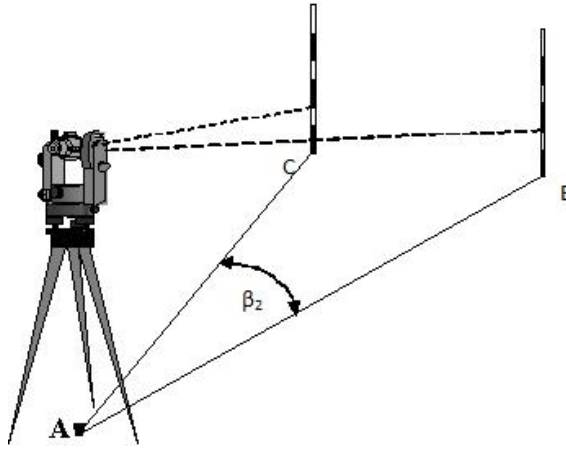


Рисунок 50 – Схема измерения горизонтального угла при круге левом (А) и круге правом (Б)

V. Значение горизонтального угла вычисляется как среднее из двух полуприемов:

$$\beta_{\text{ср}} = \frac{\beta_1 + \beta_2}{2} \quad (76)$$

Измерение горизонтального угла при двух положениях вертикального круга называется полным приемом.

Вертикальным углом является угол наклона γ , составленный визирной осью зрительной трубы, наведенной на определяемую точку, с горизонтальной плоскостью.

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. 51).

II. Зрительная труба теодолита поворачивается на 180° и наводится на определяемую точку при круге «право». Получаем отсчет КП.

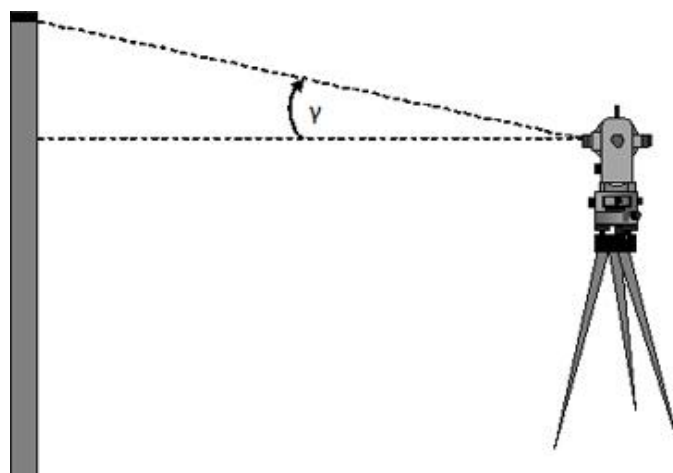


Рисунок 51 – Схема измерения вертикального угла

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. 52). 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.

Место нуля вертикального круга вычисляем по формуле 88:

$$M_0 = \frac{КЛ + КП}{2} \quad (77)$$

В идеальном варианте место нуля равно нулю. Колебания места нуля не должно превышать двойной точности теодолита. Для теодолита 3Т5КП 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.

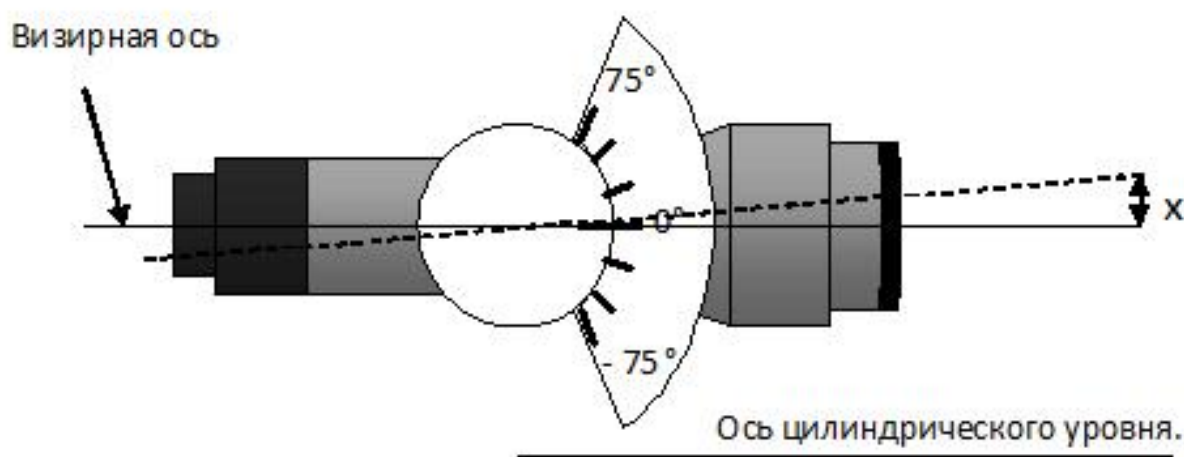


Рисунок 52 – Соотношение визирной оси теодолита и оси цилиндрического уровня

V. Угол γ для теодолита вычисляется по формуле:

$$\gamma = \frac{\text{КЛ} - \text{КП}}{2} \quad (78)$$

Для контроля значения угла γ вычисляем по формулам:

$$\gamma = \text{КЛ} - M_0, \quad (79)$$

$$\gamma = M_0 - \text{КП} \quad (80)$$

Сходимость значений вертикального угла γ , полученных по трем формулам, свидетельствует о правильности выполненных вычислений.

7.5 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 так же 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.

Таблица 8 – 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 °С до +50 °С
Время работы от одного аккумулятора, часов	5
Время заряда одного аккумулятора	2
Вес, кг	5,3

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 эл. тахеометры, изготавливаемые фирмами Японии. Они устойчивы в работе, имеют свыше 30 функций, точные и высокоточные. В таблице 8 приведены технические характеристики приборов фирмы Sokkia. Приборы имеют безотражательный режим измерений.

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.).

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.

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.

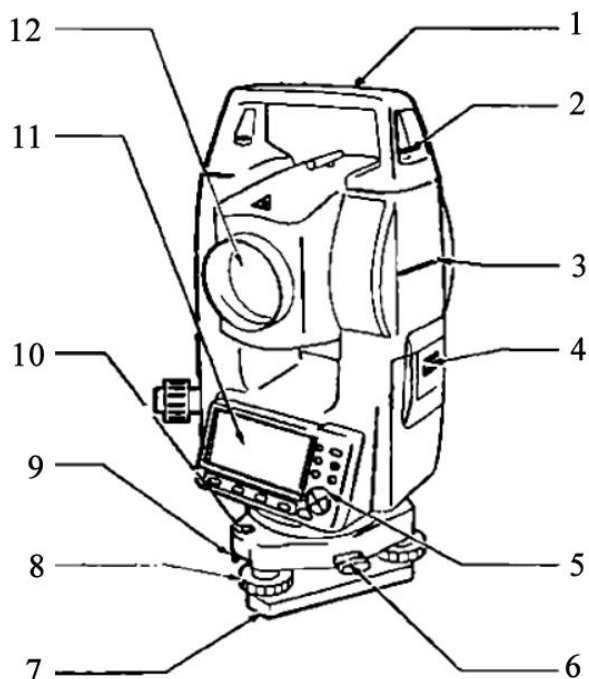
Sokkia SET 530R оснащен цифровым дальномером Red-Tech класса 3R, позволяющим измерять расстояния без использования отражателя, что особенно удобно при работе с труднодоступными объектами (табл. 8).

Как и в случае с оптическим теодолитом 3T5KP, Sokkia SET 530R имеет зрительную трубу с сеткой нитей (рис. 53). 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 поправит изображение влево и вправо в горизонтальной плоскости.

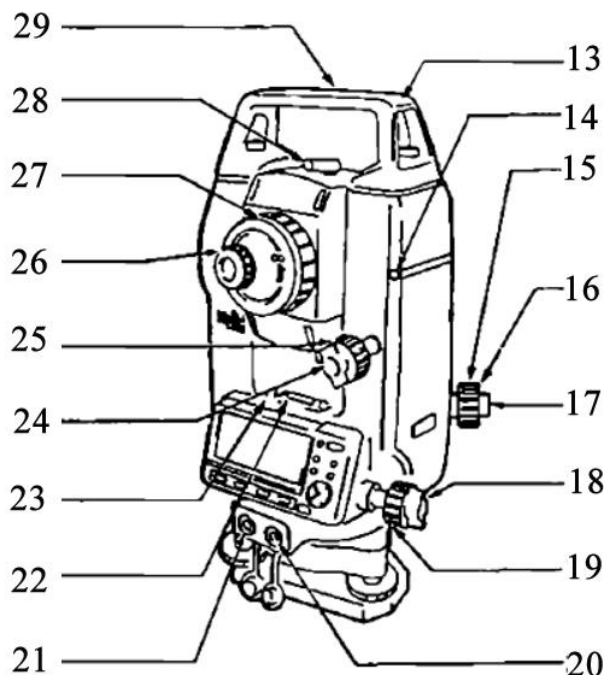
Вертикальный закрепительный винт позволяет зафиксировать положение зрительной трубы в вертикальной плоскости (верх-низ), а вертикальный винт точной наводки уточнит положение изображения.

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 вода/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 – видеоискатель
- 29 – метка центра инструмента

Рисунок 53 – Устройство тахеометра Sokkia SET 530R

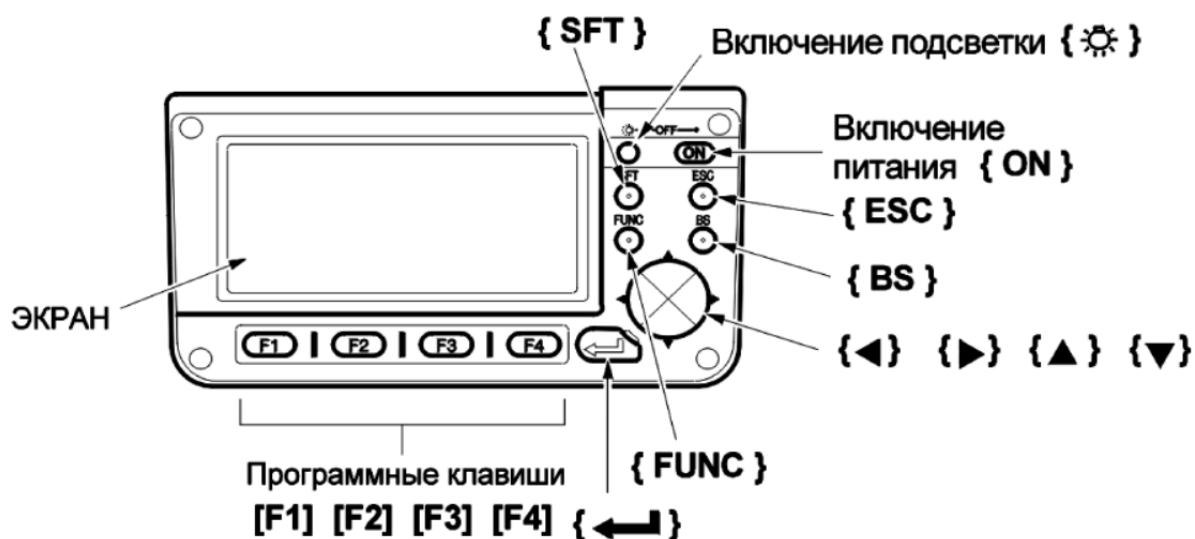


Рисунок 54 – Внешний вид рабочей панели Sokkia SET 530R

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.

Основные операции тахеометра расположены на рабочей панели (рис. 54). 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. 55, 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. 55, Б). На рисунке 55, Б номерами указаны следующие символы:

1 – расстояние:

S – наклонное расстояние;

D – горизонтальное проложение;

h – превышение.

2 – отсчет по вертикальному кругу:

Z – зенитное расстояние;

ВУ – угол наклона (от горизонта 0°...360°/ от горизонта ±90°)

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.

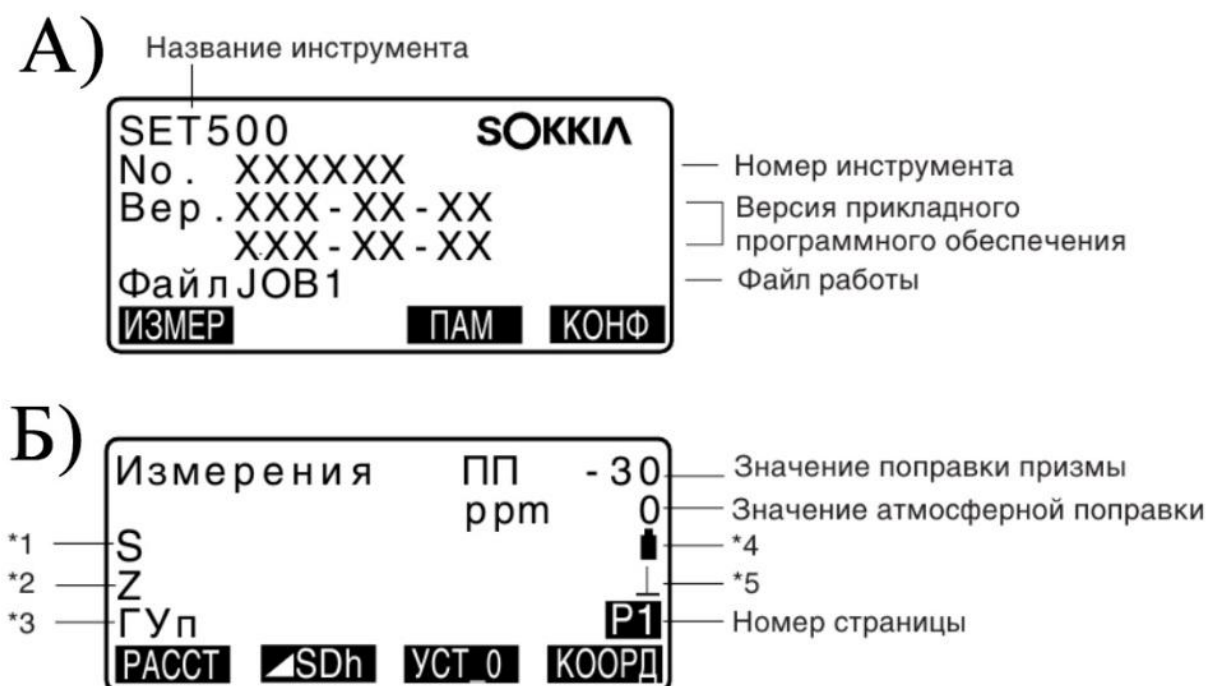


Рисунок 55 – Отображаемые символы на дисплее тахеометра:
А) экран статуса; Б) экран режима измерений

Подготовка тахеометра к работе осуществляется следующим образом (рис. 56):

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.

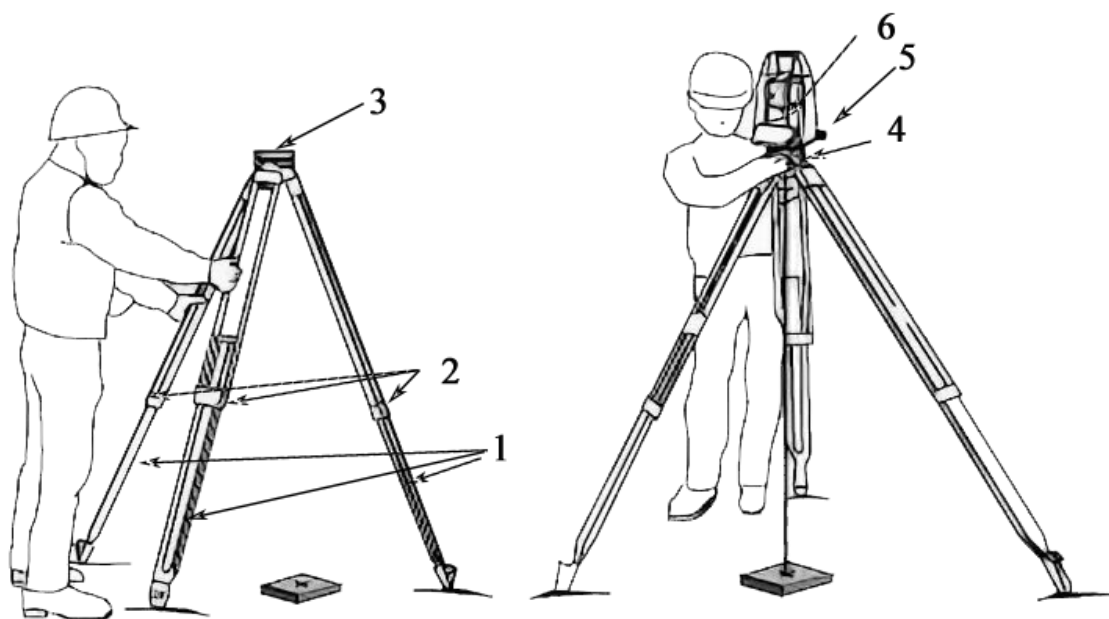


Рисунок 56 – Установка тахеометра в рабочее положение

I. Установка прибора.

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.

Чтобы отфокусировать изображение репера, следует вращать диоптрийное кольцо окуляра оптического центрира.

III. Горизонтирование точное центрирование в следующей последовательности:



Рисунок 57 – Горизонтирование теодолита

а) Грубое центрирование (рис. 57, А). Привести пузырек круглого уровня (б) в нуль-пункт, регулируя ножки штатива (рис. 51, 1).

б) Точное горизонтирование (рис. 57, Б). Установить продольный уровень параллельно двум подъемным винтам трегера. Вывести пузырек уровня в нуль-пункт, поворачивая два подъемных винта трегера а и б одновременно в противоположных направлениях. Повернуть прибор на 90° 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. 57, 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 фокусирующее 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.

7.6 Тригонометрическое нивелирование

Тригонометрическое нивелирование производится с целью создания высотной основы топографических съемок, а также для решения различных инженерных задач. На рис. 58 показана 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 ν . Горизонтальное положение AB равно d . Измеряют высоту инструмента i . Из рис. 58 видно, что

$$h + l = h' + i. \quad (81)$$

Отсюда превышение

$$h = h' + i - l. \quad (82)$$

Поскольку $h' = \frac{1}{2} D \sin 2\nu = d \operatorname{tg} \nu$, то искомая величина превышения

$$h = d \tan \nu + i - l, \quad (83)$$

где d – горизонтальное проложение, м;

ν – угол наклона;

i – высота инструмента, м;

l – высота визирования, м;

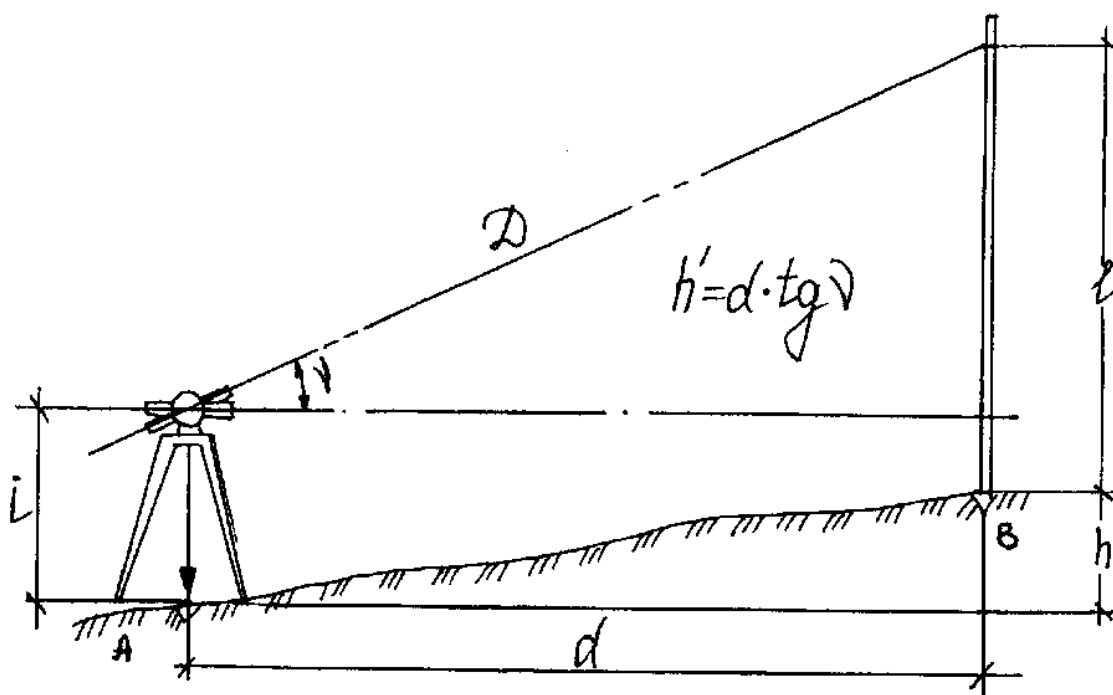


Рисунок 58 Схема тригонометрического нивелирования

Горизонтальное проложение d с учетом неперпендикулярности рейки к визирному лучу в момент отсчета вычисляется по формуле

$$d = D \cos^2 v, \quad (84)$$

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. 59).

$$D = cn + c_1, \quad (85)$$

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.

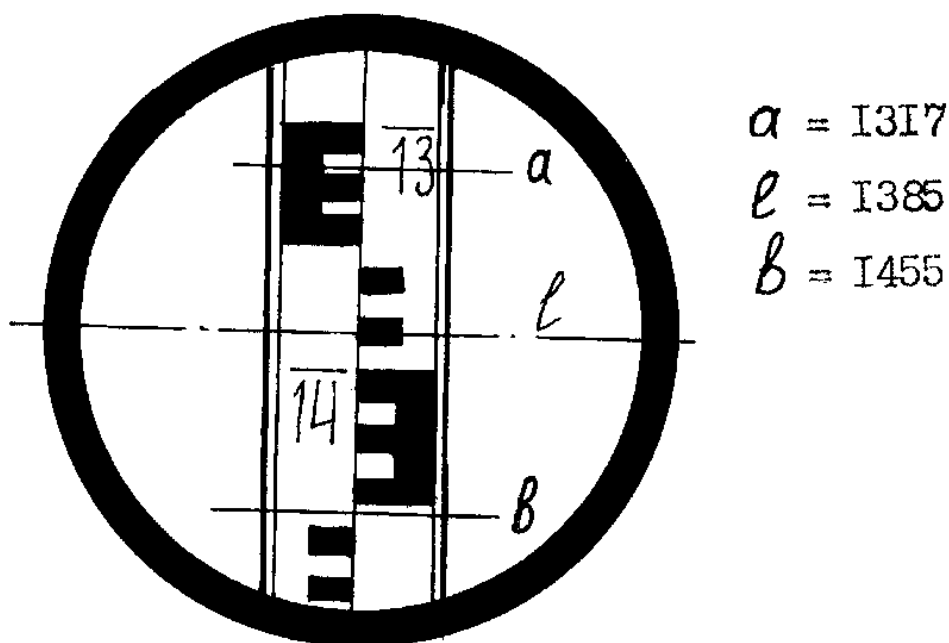


Рисунок 59 – Схема определения расстояния нитяным дальномером

Расстояние D вычисляют по формуле:

Пример. $a = 1317$, $b = 1455$ (рис. 54). Определить D .

Решение. $\Pi = b - a = 138$ мм;

$D = c \cdot \Pi = 100 \times 138 = 13800$ мм = 13,8 м.

Контрольные вопросы

1. Назовите основные части теодолита 3Т5КП?
2. Назовите поверки теодолита и порядок их выполнения?
3. Как задается маркировка теодолита?
4. Как берутся отсчёты по микроскопу теодолит 3Т5КП?
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?
9. Порядок установки тахеометра в рабочее положение.
10. Порядок измерения горизонтального угла способом приёмов.

8 ТОПОГРАФИЧЕСКАЯ СЪЕМКА

План

- 8.1 Обработка результатов теодолитной съемки
- 8.2 Обработка результатов тахеометрической съемки
- 8.3 Способы съемки ситуации местности
- 8.4 Построение топографического плана

8.1 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 съёмочной 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. 60). Координаты вершины и дирекционный угол задаются преподавателем.

Таблица 9 – 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	$70^{\circ}20,5'$	I-II	111,96
II	$80^{\circ}59,5'$	II-III	93,49
III	$94^{\circ}22,5'$	III-ПП10	66,39
ПП10	$114^{\circ}19'$	ПП10-I	92,33
На ПП9	$0^{\circ}00'$		
На т. I	$65^{\circ}10'$		
На т. III	$179^{\circ}29'$		
$(179^{\circ}29' - 65^{\circ}10' = 114^{\circ}19')$			

Вычисления производятся в специальной ведомости (табл. 6) в следующем порядке.

1. В графу 1 ведомости последовательно вписывают наименования точек хода.

2. Выписывают из журнала измерения углов (табл. 9) в графу 2 ведомости средние значения горизонтальных углов.

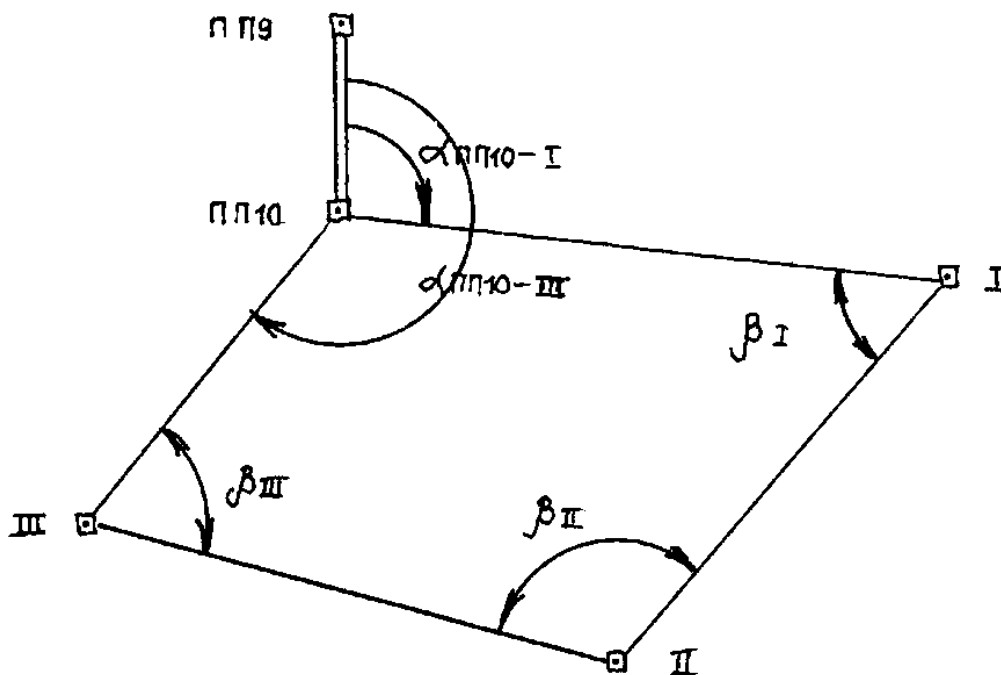


Рисунок 60 – Схема теодолитного хода

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. 9).

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:

$$\sum \beta_{\text{пр}} = \beta_I + \beta_{II} + \beta_{III}, \quad (86)$$

– вычисляют теоретическую сумму углов $\sum \beta_{\text{т}}$ по формуле:

$$\sum \beta_{\text{т}} = 180^\circ - (n - 2), \quad (87)$$

где n – число углов в полигоне;

– определяется практическая величина невязки f_β по формуле:

$$f_\beta = \sum \beta_{\text{пр}} - \sum \beta_{\text{т}} \quad (88)$$

– допустимая угловая невязка оценивается $f\beta_{\text{доп}}$

$$f\beta_{\text{доп}} = \pm \sqrt{n} \quad (89)$$

Результаты вычислений приведены под итоговой чертой граф 2-3 ведомости координат (табл. 7).

Если $f_\beta \leq f\beta_{\text{доп}}$, то ее распределяют поровну на все углы с обратным знаком, то есть вводят поправку δ_i во все измеренные углы со знаком, обратным знаку невязки:

$$\delta_i = -\frac{f_\beta}{n} \quad (90)$$

Поправки записывают в графу 3 ведомости и вычисляют исправленные углы по формуле:

6. Контролируют правильность увязанных углов, для чего подсчитывают сумму $\sum_1^n \beta_{\text{исп}}$ и убеждаются в соблюдении условия:

7. По исходному дирекционному углу и увязанным углам вычисляют дирекционные углы всех остальных сторон по формуле

Где $\alpha_{\text{посл.}}$ — дирекционный угол последующей линии;
 $\alpha_{\text{пред.}}$ — дирекционный угол предыдущей линии;
 $\beta_{\text{посл.}}$ — 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° , то эту величину (период) следует отнять от полученного значения. Вычисления приведены применительно к графе 5 табл. 10.

131

$$\begin{array}{rcl}
& & - 80^{\circ}59' \\
\alpha_{II-III} = & \frac{313^{\circ}32'}{+ 180^{\circ}} & r_{II-III} = C3:46^{\circ}28' \\
& \frac{493^{\circ}32'}{- 94^{\circ}22'} & \\
& \frac{399^{\circ}10'}{-360^{\circ}} & \\
\alpha_{III-III10} = & 39^{\circ}10' & r_{III-III10} = CB:39^{\circ}10'
\end{array}$$

Производят контроль вычислений, для чего получают дирекционный угол исходной стороны:

$$\begin{array}{rcl}
\alpha_{III-III10} = & & 39^{\circ}10' \\
& & +180 \\
& & \circ \\
& & \hline
& & 219^{\circ}10' \\
& & -114^{\circ}19' \\
& & ' \\
& & \hline
\alpha_{III10-I} = & & 104^{\circ}51'
\end{array}$$

Значения вычисленных румбов записаны в графы 6 и 7 табл. 10, против соответствующих дирекционных углов.

8. В ряде случаев полученные дирекционные углы целесообразно перевести в румбы. Зависимость между дирекционными углами и румбами приведена в табл. 11.

9. В графе 8 ведомости подсчитывают длину хода

$$P = \sum_1^n d_i \quad (94)$$

Таблица 10 – Ведомость вычисления координат вершин теодолитного хода

Номер точек теодолитного хода	Измеренные углы $\beta_{и}$	Поправки в углы δ_{β}	Уравненные углы $\beta_{ур}$	Дирекционные углы α_{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'			

$$\sum \beta_{п} = 360^{\circ}1,5'$$

$$\sum \beta_{ур} = 360^{\circ}00'$$

$$P = 364,10$$

$$\sum \beta_{т} = 360^{\circ}$$

$$\sum \beta_{т} = 180^{\circ} (n - 2)$$

$$f_{\beta} = \pm 1,5$$

$$f_{\beta} = \sum \beta_{пр} - \sum \beta$$

$$f_{\beta_{доп}} = \pm 2 \quad f_{\beta_{доп}} = \pm 1' \sqrt{n}$$

Окончание таблицы 10

Вычисленные приращения координат		Поправки в приращения координат		Исправленные приращения координат		Координаты точек	
$\pm \Delta X_B,$ м	$\pm \Delta Y_B,$ м	$\pm \delta_x,$ м	$\pm \delta_y,$ м	$\pm \Delta X_{yp},$ м	$\pm \Delta Y_{yp},$ 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
						400,00	500,00

+151,81	+131,14		+115,86	+131,18
---------	---------	--	---------	---------

Σ -151,91 -131,22 -115,86 -131,18

$$f_X = -0,10 \quad f_Y = -0,08$$

$$f_p = \sqrt{f_x^2 + f_y^2} = 0,128$$

$$f_{\text{OTH}} = f_p / P = 0,128/364,10 = 1/2800 < 1/2000$$

Таблица 11 – Зависимость между дирекционными углами и румбами, а также знаками приращения координат

Пределы значений дирекционных углов	Четверть	Название румбов	Зависимость между румбами и дирекционными	Знаки приращений	
			углами	ΔX	ΔY
$0^\circ-90^\circ$	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	$r = 360^\circ - \alpha$	+	–

10. По горизонтальным проложениям d линий теодолитного хода и их дирекционным углам α или их румбам r вычисляют приращения координат ΔX и ΔY по формулам:

$$\Delta X = d \times \cos \alpha \quad (95)$$

$$\Delta Y = d \times \sin \alpha \quad (96)$$

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.

11. Выполняют оценку точности линейных измерений.

Вычисляют практическую сумму приращений координат по осям

$$\sum \Delta X = f_x \quad (97)$$

$$\sum \Delta Y = f_y \quad (98)$$

Определяем абсолютную невязку теодолитного хода

$$f_p = \sqrt{f_x^2 + f_y^2} \quad (99)$$

Определяем относительную невязку:

$$n = \frac{f_p}{P} = \frac{1}{P \div f_p}, \quad (100)$$

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:

$$\delta\Delta X = \frac{f_x \times d_x}{P}, \quad (101)$$

$$\delta\Delta Y = \frac{f_y \times d_x}{P}, \quad (102)$$

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:

$$\delta\Delta X_{\text{ПП10-I}} = -(-0,10/364,10) 92,33 = +0,02;$$

$$\delta\Delta X_{\text{I-II}} = -(-0,10/364,10) 111,96 = +0,03;$$

$$\delta\Delta X_{\text{II-III}} = -(-0,10/364,10) 93,49 = +0,026 \approx +0,03;$$

$$\delta\Delta X_{\text{III-ПП10}} = -(-0,10/364,10) 66,32 = +0,018 \approx +0,02.$$

$$\delta\Delta Y_{\text{ПП10-I}} = -(0,08/364,10) 92,33 = +0,02;$$

$$\delta\Delta Y_{\text{I-II}} = -(0,08/364,10) 111,96 = +0,02;$$

$$\delta\Delta Y_{\text{II-III}} = -(0,08/364,10) 93,49 = +0,02;$$

$$\delta\Delta Y_{\text{III-ПП10}} = -(0,08/364,10) 66,32 = +0,02.$$

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:

$$\Delta X_{\text{испр.}} = \Delta X \pm \delta\Delta X \quad (103)$$

$$\Delta Y_{\text{испр.}} = \Delta Y \pm \delta\Delta Y \quad (104)$$

Суммы исправленных приращений должны быть равны нулю.

$$\Sigma\Delta X_{\text{испр.}} = 0;$$

$$\Sigma\Delta Y_{\text{испр.}} = 0$$

$$\Delta X_{(\text{ПП10-I}) \text{ испр.}} = -23,66 + 0,02 = -23,64 \text{ м};$$

$$\Delta X_{(\text{I-II}) \text{ испр.}} = -92,25 + 0,03 = -92,22 \text{ м};$$

$$\Delta X_{(\text{II-III}) \text{ испр.}} = +64,39 + 0,03 = +64,42 \text{ м};$$

$$\Delta X_{(\text{III-ПП10}) \text{ испр.}} = +51,42 + 0,02 = 51,44 \text{ м};$$

$$\Sigma\Delta X_{\text{испр.}} = -23,64 - 92,22 + 64,42 + 51,44 = 0.$$

$$\Delta Y_{(\text{ПП10-I}) \text{ испр.}} = +89,25 + 0,02 = +89,27 \text{ м};$$

$$\Delta Y_{(\text{I-II}) \text{ испр.}} = -63,44 + 0,02 = -63,42 \text{ м};$$

$$\Delta Y_{(\text{II-III}) \text{ испр.}} = -67,78 + 0,02 = -67,76 \text{ м};$$

$$\Delta Y_{(\text{III-ПП10}) \text{ испр.}} = +41,89 + 0,02 = +41,91 \text{ м};$$

$$\Sigma\Delta Y_{\text{испр.}} = +89,27 - 63,42 - 67,76 + 41,91 = 0.$$

Результаты записываются в графы 13 и 14 ведомости (табл. 10). 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 (ПП10) и исправленным приращениям вычисляют координаты остальных точек теодолитного хода по формулам:

$$X_{i+1} = X_i \pm \Delta X_{i \text{ испр.}} \quad (105)$$

$$Y_{i+1} = Y_i \pm \Delta Y_{i \text{ испр.}} \quad (106)$$

Полученные значения координат последовательно выписывают в графы 15 и 16 (табл. 7). Контролем правильного вычисления координат точек служит совпадение вычисленных координат точки ПП10 с их исходными значениями.

В нашем примере:

$$X_1 = X_{\text{ПП10}} + \Delta X_{\text{исп}} = 400,00 - 23,64 = 376,36 \text{ м};$$

$$X_2 = 376,36 - 92,22 = 284,14 \text{ м};$$

$$X_3 = 284,14 + 64,42 = 348,56 \text{ м};$$

$$X_{\text{ПП10}} = 348,56 + 51,44 = 400,00 \text{ м}.$$

8.2 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. 12) 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. 61), 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 округлением их до сантиметров. Место нуля (МО) вертикального круга определяют заранее и тоже выписывают в журнал съемки.

Таблица 12 – Журнал тахеометрической съемки

Дата.....

Станция ПП10

$i = 1,45$

$H_{\text{ст}} = 60,00$

Наблюдатели.....

$S = 1,45 \text{ МО} = 0^{\circ}00'$

№ п/п	Даль-но-мер-ные рас-стоя-ния D , м	Отсчеты по горизон-таль-ному кругу		Отсчеты по верти-каль-ному кругу		Углы наклона v	Гори-зонта-льные проло-же-ния d , м	Превы-шения h' , м	Высота наведе-ния S , м	$h = h' + i - S$	$H_i = H_{\text{ст}} + h$	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

2. Вычисляют горизонтальные проложения d измеренных дальномерных расстояний D по формуле:

$$D = d \times \cos^2 v \quad (107)$$

Значения d записывают в журнал (графа 8) с округлением до десятых долей метра. Если угол наклона v меньше 2° , то горизонтальное проложение принимают практически равным измеренному расстоянию D .

3. На микрокалькуляторе последовательно по формулам:

$$h' = \frac{1}{2} D \sin 2v = d \tan v \quad (108)$$

$$h = h' + i - S \quad (109)$$

Вычисляют превышения между станцией и пикетными точками. Результаты записывают в графы 9 и 11 (табл. 12):

$$h'_1 = 14,3 \cdot \operatorname{tg} 2^\circ 12' = + 0,55 \text{ м};$$

$$h_1 = 0,55 + 1,45 - 1,45 = + 0,55 \text{ м}.$$

4. Обработку журнала завершают вычислением отметок H_i пикетных точек по формуле:

$$H_i = H_{\text{ст}} + h \quad (110)$$

Вычисленные значения отметок записывают в графу 12.

В нашем примере:

$$H_1 = 60,00 + 0,55 = 60,55 \text{ м};$$

$$H_2 = 60,00 + 0,88 = 60,88 \text{ м};$$

$$H_3 = 60,00 + 1,39 = 61,39 \text{ м}.$$

8.3 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. 62.

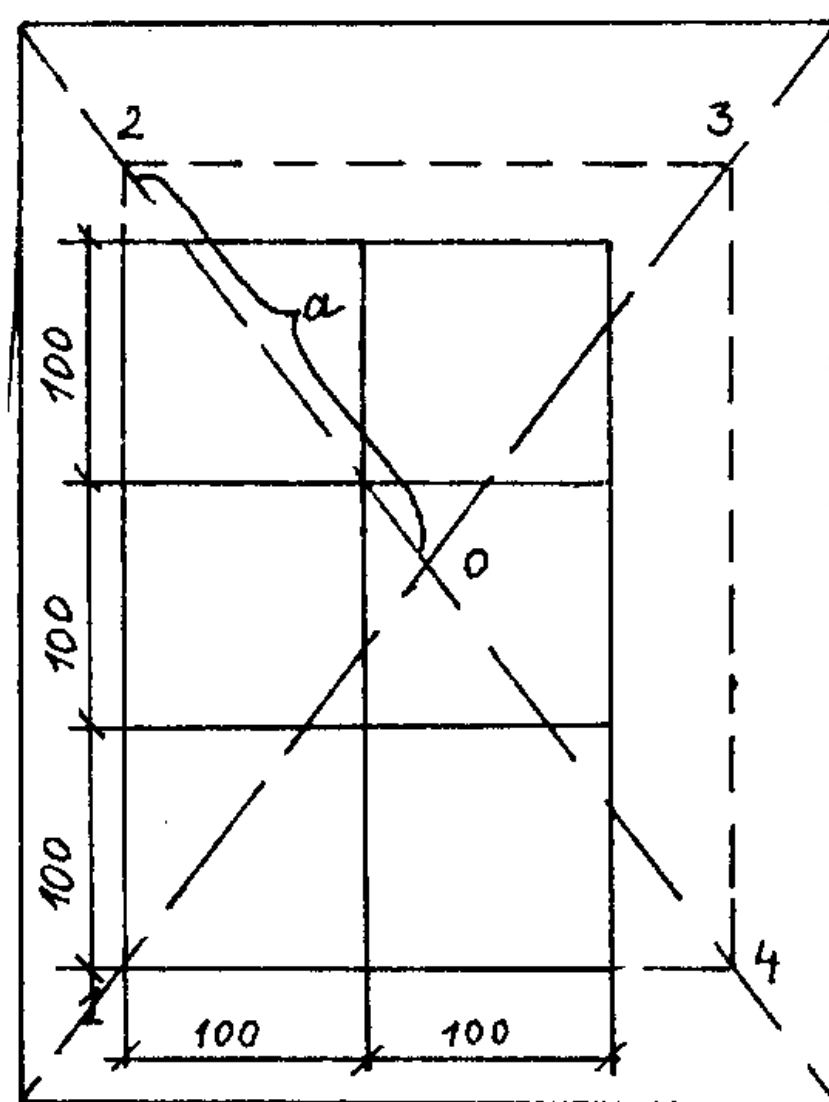


Рисунок 62 – Схема построения сетки квадратов при помощи линейки и циркуля-измерителя

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.

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. 7) 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.

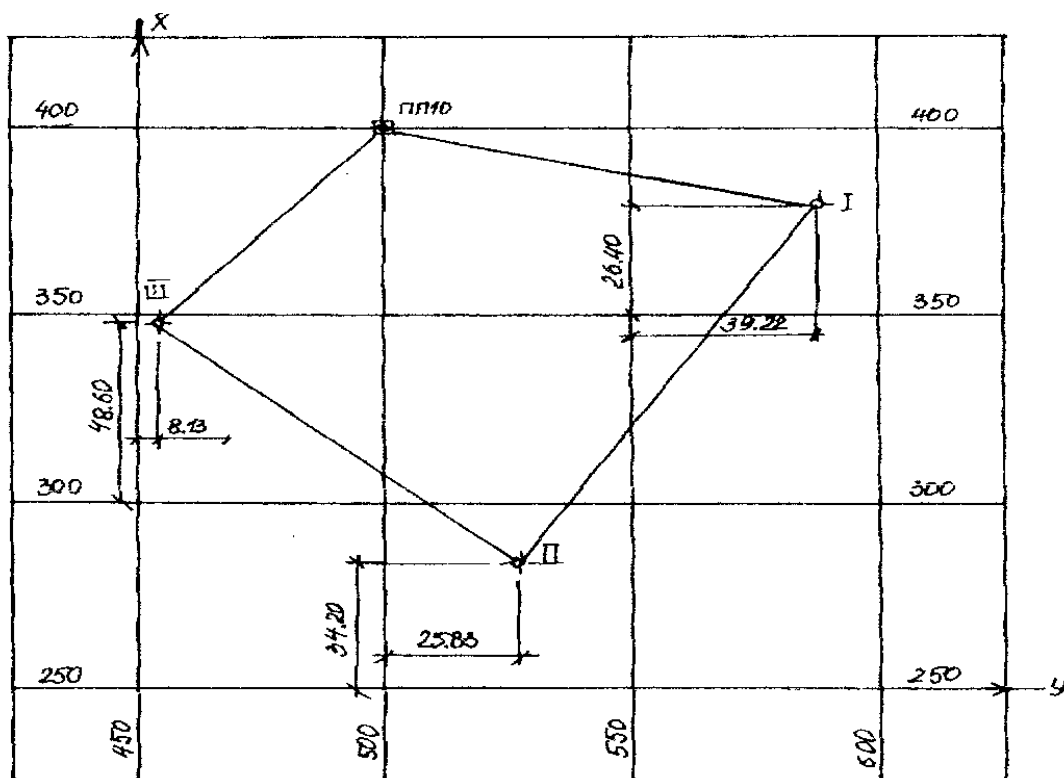


Рисунок 63 – Схема построения точек теодолитного хода

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. 58). От нижней границы этого квадрата откладывают вверх по его вертикальным сторонам отрезки, равные 26,40 м, отмечая полученные точки тонким наколом иглки 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. 11).

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.

При теодолитной съемке используют следующие способы определения положения точек на местности.

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. 64).

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.

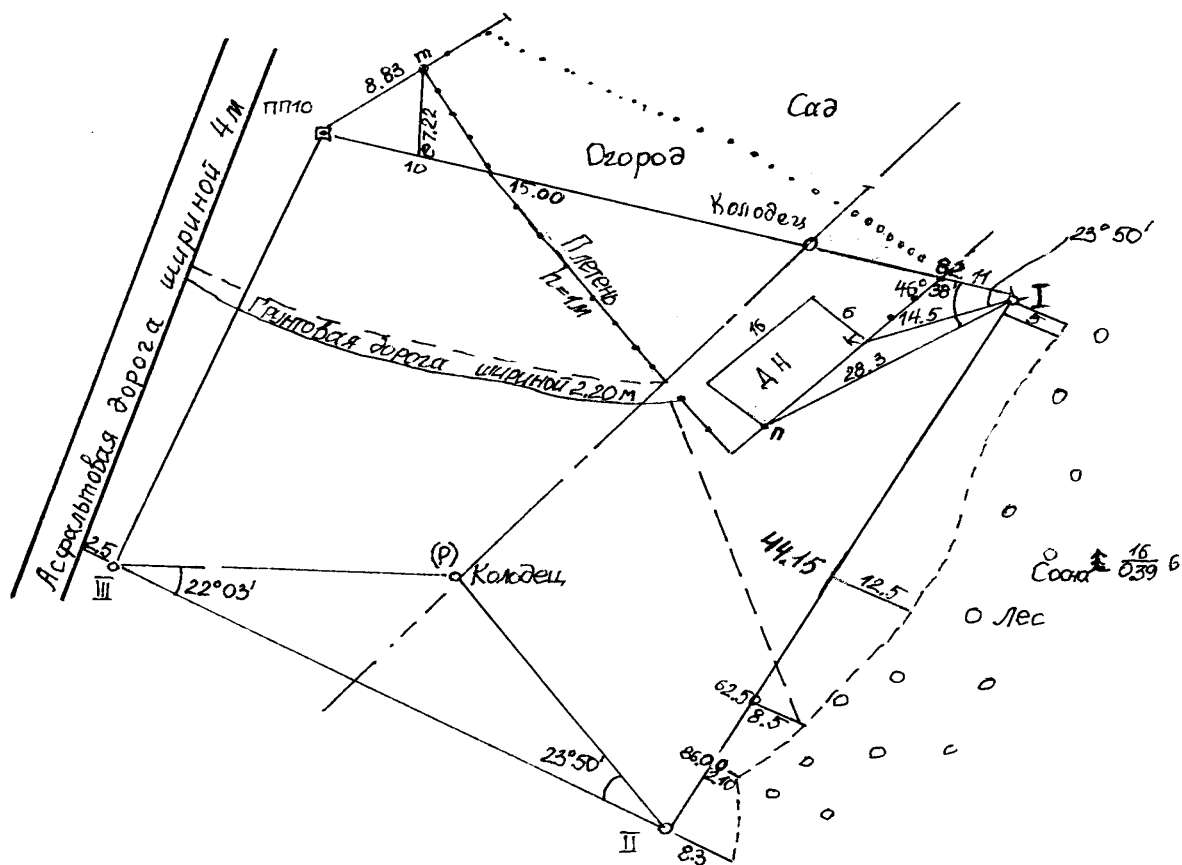


Рисунок 64 – Абрис теодолитной съемки

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. 64 положения точек к и п углов здания определяются полярными углами $\beta_k = 23^\circ 50'$, $\beta_{\text{п}} = 50^\circ 38'$ и полярными расстояниями $d_k = 14,50$ м; $d_{\text{п}} = 28,3$ 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.46 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 р 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. 9), 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. 65).

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.

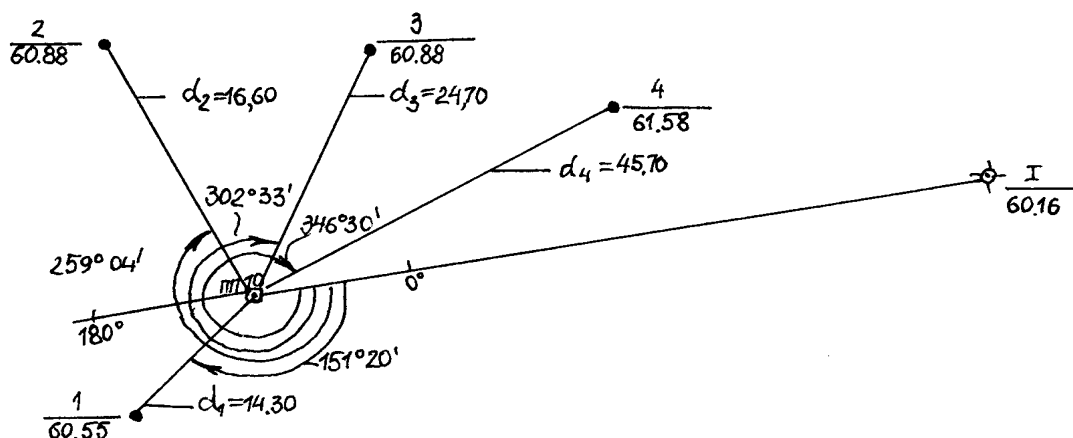


Рисунок 65 – Схема построения и нанесения на план речных точек

Для построения ситуации, пользуясь абрисом тахеометрической съемки (рис. 60), 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.

Контрольные вопросы

1. Цель теодолитной съёмки?
2. Какие виды теодолитных ходов применяют при теодолитной съёмке?
3. Как привязать теодолитный ход к опорным геодезическим пунктам?
4. В чём сущность съёмки ситуации способом перпендикуляров?
5. Как выполнить съёмку ситуации полярным способом?
6. В чём сущность способов линейных и угловых засечек при съёмке ситуации?
7. Что называется абрисом?
8. Как вычисляется угловая невязка замкнутого теодолитного хода, её допустимость и распределение?
9. Как вычисляется угловая невязка в разомкнутом теодолитном ходе, её допустимость и распределение?
10. В чём заключается контроль правильности вычисления дирекционных углов сторон замкнутого теодолитного хода?
11. Какова сущность прямой и обратной геодезических задач?
12. Какие знаки имеют приращения в зависимости от названия румбов их сторон?

13. Чему равна сумма исправленных приращений координат в разомкнутом теодолитном ходе?

14. Как строится координатная сетка и как контролируется правильность её построения?

15. Как наносятся по координатам на план вершины теодолитных ходов и как контролируется правильность их нанесения?

16. Как наносятся на план точки ситуации, снятые способами: перпендикуляров, полярным, угловой и линейной засечки?

17. По данным измерений в замкнутом теодолитном ходе (полигоне) определите координаты всех вершин хода. Исходные данные:

Координаты начальной точки ПП8: $X=500,00$ м, $Y=600,00$ м;

Дирекционный угол исходной стороны $\alpha_{ПП8-1}=112^\circ30'$;

Измеренные горизонтальные углы (внутренние, правые):
 $\beta_1=85^\circ10'$, $\beta_2=92^\circ25'$, $\beta_3=105^\circ40'$, $\beta_4=76^\circ50'$;

Горизонтальные проложения сторон: $d_1=120,40$ м, $d_2=98,60$ м, $d_3=115,20$ м, $d_4=102,80$ м.

Выполните следующие действия:

а) вычислите угловую невязку и сравните её с допустимой ($f_{\text{доп.}} = \pm 1'\sqrt{n}$);

б) распределите невязку поровну на все углы и вычислите исправленные углы;

в) определите дирекционные углы всех сторон хода;

г) вычислите приращения координат, линейную невязку, относительную погрешность и распределите поправки в приращения;

д) найдите координаты всех вершин полигона и выполните контроль.

9 СОСТАВЛЕНИЕ ТОПОГРАФИЧЕСКОГО ПЛАНА УЧАСТКА МЕСТНОСТИ

План

9.1 Изображение рельефа местности горизонталями

9.2 Построение графика заложений

9.3 Проложение линии с заданным уклоном

9.4 Оформление топографического плана

9.1 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. 66).

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. 66). 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. Горизонтали наносятся коричневым цветом. Подписываем только целые четные горизонтали, верх цифры направлен в сторону увеличения рельефа. Необходимо обратить внимание на порядок нумерации квадратов на абрисе и на схеме нивелирования. Так как понижение рельефа направлено в сторону реки Сура.

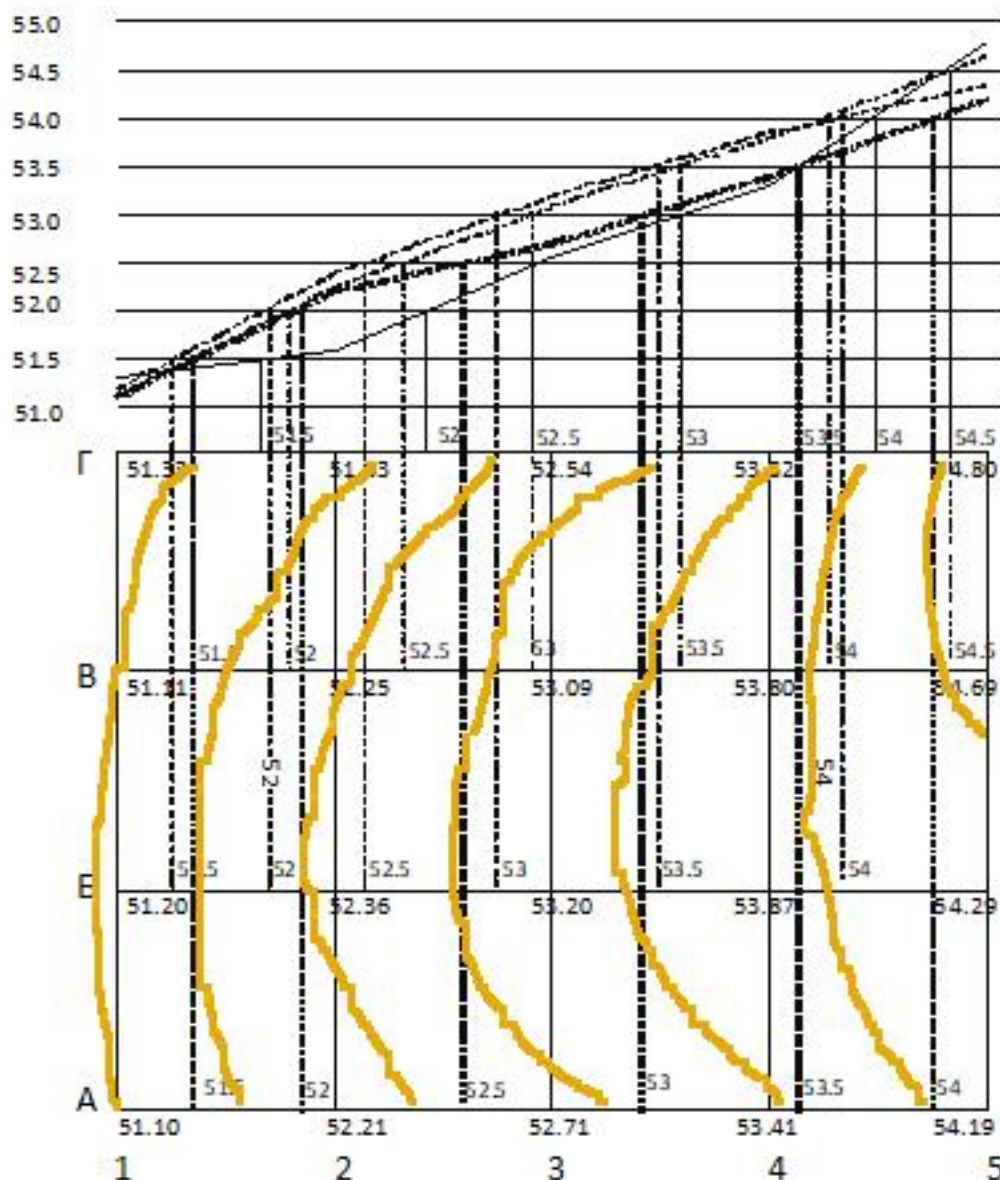


Рисунок 66 – Построение горизонталей графическим способом

Аналитический способ заключается в том, что положение горизонталей на линиях, соединяющих точки с известными отметками, находятся путем математических расчетов. Например: имеется квадрат ABCD с известными абсолютными отметками его вершин (рис. 62). Между точками А и В с отметками 53.320 и 54.802, через 0.5 м, можно провести три горизонтали 53.5; 54.0; 54.5. Расстояние между этими точками в 1:1000 масштабе равно 8 сантиметрам, или 80 мм. На местности этому расстоянию соответствует 80 метров. Определяем превышение между точками В и А:

$$h = H_B - H_A = 54.802 - 53.320 = 1.482 \text{ м.}$$

Разделив полученное превышение на расстояние в миллиметрах, получаем величину $i = 1.482 / 80 = 0.018$, равную изменению превышения на 1 мм. расстояния на плане. Ближайшей горизонталью к точке А является горизонталь 53.5. Определяем превышение между ней и отметкой точки А:

$$h_1 = H_A - 53.320 = 53.5 - 53.320 = 0,180 \text{ м.}$$

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 CD. Соединив, точки с одинаковыми отметками строим горизонтали (рис. 67).

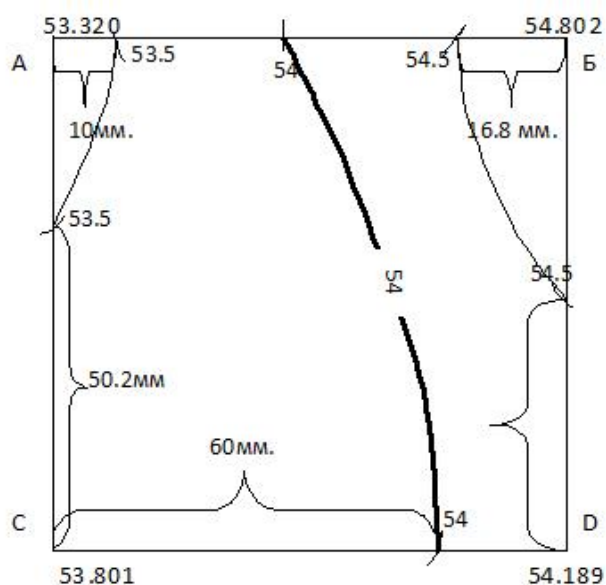


Рисунок 67 – Построение горизонталей аналитическим способом

9.2 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:

$$i = \tan \gamma = \frac{h}{d}, \quad (111)$$

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 $d = \frac{h}{\tan \gamma}$, где h – величина постоянная равная 0,5 м, поэтому величина d будет зависеть только от изменения $\tan \gamma = i$. 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 М 1:500 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. 68).

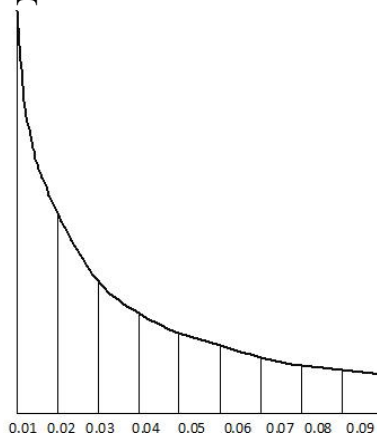


Рисунок 68 – График заложений для определения уклонов

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.

9.3 Оформление топографического плана

Завершающим этапом топографо-геодезической съёмки является составление и окончательное оформление топографического плана — документа, который представляет собой стандартизированное, уменьшенное и геометрически точное изображение местности, содержащее как ситуацию (совокупность искусственных и естественных объектов), так и рельеф. Качество и читаемость плана напрямую зависят от соблюдения установленных нормативных требований к его графическому и содержательному оформлению, что обеспечивает не только эстетическую ясность, но и возможность его дальнейшего использования в проектных, землеустроительных, лесохозяйственных и мелиоративных работах. В соответствии с действующими инструкциями и стандартами, оформление топографического плана масштаба 1:500 начинается с завершения всех вспомогательных построений и переходит к удалению промежуточных элементов, которые не входят в состав окончательного продукта.

Первым шагом в процессе окончательного оформления является обработка координатной сетки. Первоначально построенная сетка квадратов со стороной 100 мм, использовавшаяся для нанесения вершин теодолитного хода и речных точек, подвергается трансформации. Все линии сетки, за исключением пересечений, удаляются, а на их месте вычерчиваются перекрестья зелёного цвета размером 10×10 мм, расположенные в узлах координатной сетки. Эти перекрестья служат ориентиром для последующего чтения и использования плана, позволяя быстро определять координаты любой точки на его поверхности. Одновременно вокруг внешнего контура координатной сетки на расстоянии 14 мм проводится вторая линия рамки толщиной 2 мм, формируя тем самым внутреннюю границу плана, которая впоследствии будет дополнена зарамочным оформлением.

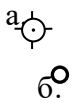
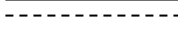
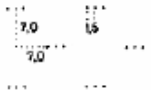
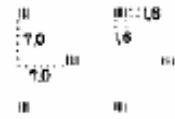
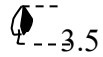
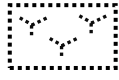
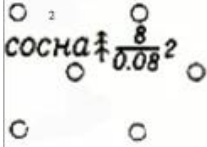
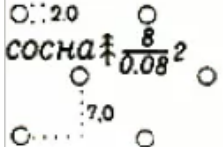
После обработки сетки производится удаление всех вспомогательных линий, включая линии теодолитного хода, которые были необходимы лишь на этапе построения и контроля. При этом вершины хода, являющиеся опорными точками съёмочной сети, сохраняются на плане в виде чётко обозначенных маркеров. Аналогичным образом поступают с сеткой квадратов, использовавшейся при нивелировании поверхности по

квадратам: сами линии сетки убираются, а на вершинах квадратов оставляют точки, снабжённые подписями абсолютных отметок, округлённых до сантиметра. Эти отметки являются основой для последующего построения горизонталей и интерпретации рельефа.

Центральным элементом топографического плана является изображение рельефа, которое выполняется с помощью горизонталей. Горизонтالي, построенные ранее графическим или аналитическим способом, наносятся на план коричневым цветом, что соответствует общепринятой цветовой кодировке в картографии. Сплошные горизонтали, проведённые через принятую высоту сечения (например, 0,5 м), обеспечивают общую структуру рельефа, тогда как дополнительные (полу)горизонтали, выполненные пунктиром, вводятся в тех участках, где рельеф особенно пологий и основные горизонтали расположены слишком далеко друг от друга. Для улучшения читаемости и быстрой ориентации на плане каждая пятая горизонталь утолщается, а в её разрыве проставляется числовая подпись, указывающая абсолютную высоту данной горизонтали. При этом верх цифры всегда ориентирован в сторону повышения рельефа, что позволяет безошибочно определять направление склонов и выделять основные формы рельефа – холмы, котловины, хребты, лощины и седловины.

Все контуры ситуации – дороги, здания, лесные массивы, водоёмы, границы угодий и другие объекты – вычерчиваются в соответствии с требованиями, изложенными в таблице условных знаков для масштаба 1:500. Эта таблица, утверждённая в установленном порядке, является обязательной для всех организаций, выполняющих топографические съёмки, и обеспечивает единообразие и взаимозаменяемость планов. Цветовое решение также строго регламентировано: чёрный цвет используется для изображения большинства объектов ситуации – населённых пунктов, дорог, заборов, отдельно стоящих деревьев и колодцев; синий – для гидрографии (рек, озёр, канав); зелёный – для растительного покрова, в частности, для фоновой окраски лесных массивов. Например, асфальтированная дорога изображается двумя чёрными линиями с розовой отмывкой внутри, тогда как грунтовая дорога показывается одной чёрной линией, ширина которой соответствует её реальному размеру в масштабе плана. Каменные здания (жилые – 1КЖ, нежилые – 1НЖ) вычерчиваются чёрным цветом с соблюдением масштабных пропорций, а луга и выгоны обозначаются специальными условными знаками, также выполненными в чёрном цвете (см. табл. 13).

Таблица 13 – 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.	 
	Абсолютная отметка точки	Черный	
	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	
	Колодез	Черный	диаметр 1,2 мм
	Лес хвойный	Черный, фон зеленый	

Особое внимание уделяется правильному применению бергштрихов – коротких чёрных штрихов, наносимых перпендикулярно горизонталям и указывающих направление понижения ската. Их наличие критически важно для правильной интерпретации рельефа, особенно в сложных формах, таких как седловины или замкнутые котловины. Кроме того, все подписи на плане – названия объектов, номера точек, высотные отметки – выполняются чётким, разборчивым шрифтом, соответствующим образцам, приведённым в таблицах условных знаков. Абсолютные отметки точек имеют диаметр 1 мм и также выполняются чёрным цветом.

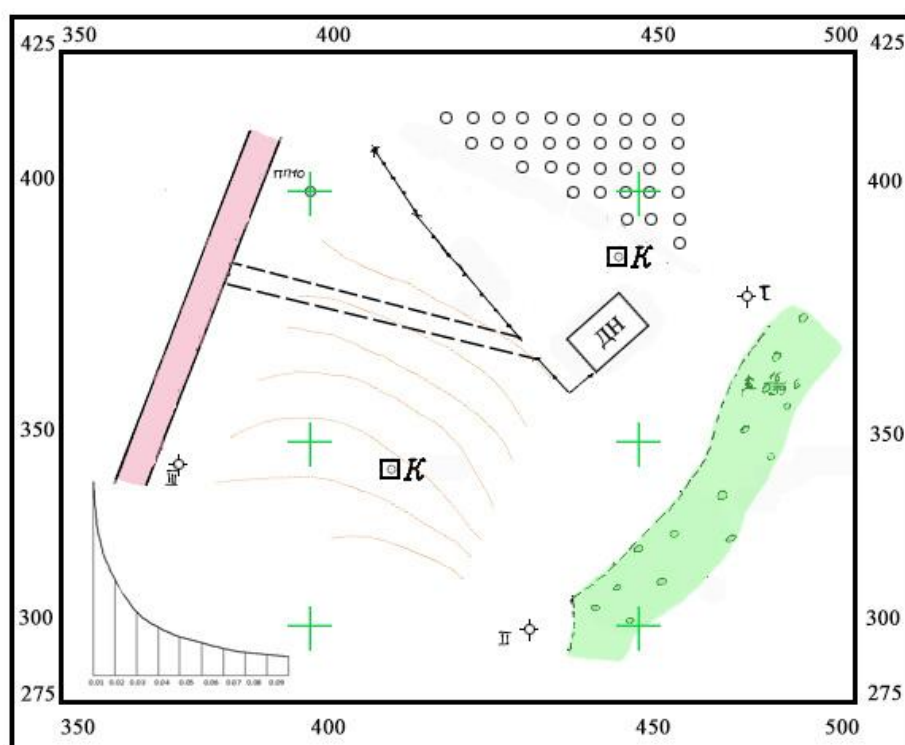


Рисунок 69 – Топографический план участка. Масштаб 1:500

Завершающим этапом оформления является нанесение зарамочного элемента, который располагается вне внутренней рамки плана и содержит важную справочную информацию. В верхней части зарамочного оформления указывается название плана, его масштаб и система координат. В нижней части, как правило, помещается график заложений, предназначенный для быстрого определения крутизны скатов (см. рис. 69). Этот график строится на основе зависимости между заложением (расстоянием между соседними горизонталями на плане) и уклоном или углом наклона местности. Пользователь, измерив циркулем-

измерителем заложен на плане, может перенести его на график и сразу же прочесть соответствующий уклон в процентах или промилле, либо угол наклона в градусах. Наличие такого графика значительно упрощает анализ рельефа и является обязательным элементом любого топографического плана.

Таким образом, процесс оформления топографического плана представляет собой сложную, многоэтапную процедуру, сочетающую в себе строгое соблюдение технических норм и эстетическое мастерство исполнителя. От качества этого этапа зависит не только наглядность и информативность плана, но и его пригодность для решения широкого круга практических задач – от проектирования дренажных систем и противоэрозионных мероприятий в агрономии до планирования рубок и восстановления лесов в лесном хозяйстве. Готовый план, оформленный в соответствии со всеми требованиями и представленный в виде, аналогичном показанному на рисунке 69, становится надёжным и универсальным инструментом для любого специалиста, работающего с земельными ресурсами.

Контрольные вопросы

1. Как вычисляют отметки через превышения и горизонт прибора?
2. Последовательность обработки журнала нивелирования поверхности по квадратам
3. Порядок изображения рельефа местности по горизонталям
4. Суть интерполирования и как оно выполняется при построении горизонталей?
5. Порядок построения графика заложений?
6. Как оформляют план топографической съёмки?
7. В чём заключается сущность графического и аналитического способов построения горизонталей, и в каких случаях предпочтителен каждый из них при составлении топографического плана?
8. Каким образом на топографическом плане обеспечивается передача направления скатов рельефа, и какие элементы используются для этой цели в соответствии с требованиями условных знаков?
9. Объясните порядок построения графика заложений и укажите, как он применяется при определении крутизны склона по топографическому плану.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Геодезия как наука и прикладная дисциплина занимает центральное место в системе знаний, необходимых для рационального и устойчивого использования земельных и лесных ресурсов. В условиях современного развития аграрного сектора и лесного хозяйства, характеризующегося переходом к цифровым технологиям, точному землепользованию и пространственно ориентированному управлению, геодезические компетенции становятся не просто вспомогательным инструментом, а фундаментальной основой профессиональной деятельности будущего специалиста. Учебное пособие, разработанное в соответствии с требованиями Федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования, призвано обеспечить студентов агрономического и лесохозяйственного профилей теоретическими знаниями и практическими навыками, позволяющими уверенно выполнять геодезические измерения, интерпретировать топографические материалы, решать инженерные задачи и использовать современные геопространственные технологии в своей профессиональной практике.

Основной акцент в пособии сделан на интеграцию классических методов геодезии с актуальными достижениями цифровой эпохи. С одной стороны, подробно рассмотрены традиционные приборы – оптические нивелиры, теодолиты, мерные ленты, рейки, – их устройство, поверки, юстировки и методика работы с ними, что формирует у студентов глубокое понимание физической сущности измерительного процесса и развивает навыки внимательности, точности и ответственности. С другой стороны, значительное внимание уделено современным электронным средствам – цифровым нивелирам, тахеометрам, спутниковым приёмникам, – которые сегодня доминируют в производственной практике. Описание принципов работы таких приборов, как SOKKIA C410, Trimble DiNi 12 или SOKKIA SET530R, включая их технические характеристики, программное обеспечение и особенности эксплуатации, позволяет студентам не только освоить передовые технологии, но и понять логику автоматизированной обработки геодезических данных, минимизирующей человеческий фактор и повышающей производительность труда.

Особое значение в контексте подготовки агрономов и лесоводов имеет раздел, посвящённый вертикальной съёмке и изображению рельефа горизонталями. Рельеф – это не просто фоновая характеристика

местности, а ключевой фактор, определяющий водный режим, микроклимат, доступность для механизации, распределение почвенных типов и продуктивность агро- и лесозэкосистем. Владение методикой чтения и построения горизонталей, умение определять крутизну и форму склонов, выделять водосборные площади и моделировать поверхностный сток являются необходимыми условиями для проектирования противоэрозионных мероприятий, организации поливных систем, планирования рубок и восстановления лесов. В пособии этот материал изложен с учётом прикладной направленности, с акцентом на решение конкретных хозяйственных задач, что способствует формированию у студентов пространственного мышления и экологической ответственности.

Не менее важной составляющей геодезической подготовки является освоение теории погрешностей измерений. Понимание природы случайных и систематических ошибок, умение оценивать точность результатов, вводить поправки и принимать обоснованные решения на основе статистического анализа – это то, что отличает квалифицированного специалиста от исполнителя. В условиях, когда даже небольшие погрешности в определении границ участка, отметок поверхности или углов поворота могут привести к серьёзным экономическим потерям или экологическим последствиям, владение этими знаниями становится вопросом профессиональной этики и компетентности.

Учебное пособие также подчёркивает неразрывную связь геодезии с другими дисциплинами – картографией, землеустройством, лесоустройством, мелиорацией, экологией и геоинформационными системами. Геодезические данные являются первичной информационной основой для создания цифровых моделей местности, тематических карт, проектов внутрихозяйственного землеустройства и лесоустроительных планов. Поэтому освоение материала данного курса напрямую способствует успешному изучению смежных дисциплин и формированию целостного, системного взгляда на управление природными ресурсами.

В заключение следует отметить, что геодезия в XXI веке перестала быть исключительно инженерной дисциплиной. Она превратилась в универсальный язык пространственного описания реальности, на котором говорят учёные, проектировщики, управленцы и производственники. Для специалиста в области агрономии и лесного хозяйства владение этим языком означает способность точно локализовать объекты, количественно оценивать изменения ландшафта,

прогнозировать последствия хозяйственных решений и эффективно взаимодействовать с другими участниками процесса рационального природопользования. Настоящее учебное пособие, надеемся, станет надёжным помощником студентам Пензенского государственного аграрного университета на пути к овладению этим языком и формированию прочного фундамента для их будущей профессиональной деятельности, направленной на обеспечение продовольственной безопасности, сохранение лесных богатств и устойчивое развитие сельских территорий.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ Р 51872–2002. Документация исполнительная геодезическая. Правила выполнения. – введ. 07.01.2002. – М., 2002.
2. Инструкция по топографической съёмке 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. – М., 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. – Москва: ПНИИИС, 1997.
7. Федеральный закон от 30.12.2015 № 431-ФЗ «О геодезии, картографии и пространственных данных и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» // КонсультантПлюс [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.consultant.ru/> (дата обращения: 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: учеб.-метод. пособие / В.Н. Анопин. – Волгоград: ВолгГТУ, 2017. – 128 с.
10. Букин, С.Н. Геодезия: учеб. пособие по направлению подгот. 21.03.02 «Землеустройство и кадастры»: в 3 ч. Ч. 1 / С. Н. Букин, Е. П. Тюкленкова, Е. С. Денисова. – Пенза: Пензенский гос. ун-т архитектуры и стр-ва, 2022. – 192 с.
11. Вервейко, А.П. Землеустройство с основами геодезии: учеб. для вузов / А.П. Вервейко. – Москва: Недра, 1988. – 260 с.
12. Голубев, В.В. Геодезия. Теория математической обработки геодезических измерений : учеб. для вузов / В. В. Голубев. – Москва: Моск. гос. ун-т 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 учеб. практики для студ. по напр. подгот. 250100 «Лесное дело», профиль «Лесное хозяйство»,

квалификация – бакалавр / А.П. Дужников, А.В. Лянденбургская. – Пенза: Пензенский гос. аграр. ун-т, 2012. – 37 с.

15. Журкин, И.Г. Геоинформационные системы : учеб. пособие для студ. вузов / И.Г. Журкин, С.В. Шайтура. – Москва: КУДИЦ-Пресс, 2009. – 272 с.

16. Инженерная геодезия: учеб. / В.В. Симонян, А.В. Лабузнов, С.В. Шендяпина [и др.]. – М.: МИСИ – МГСУ, 2023. – Электрон. дан. – URL: <https://e.lanbook.com/book/369800> (дата обращения: 13.02.2025).

17. Инженерная геодезия: учеб. для студ. вузов / Е.Б. Ключин, М.И. Климов, Д.Ш. Михелев, В.Д. Фельдман; под ред. Д.Ш. Михелева. – 4-е изд., испр. – Москва: Академия, 2004. – 479 с.

18. Купреева, Е.Н. Геодезия : учеб. 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 / Г.Ф. Лысов. – Москва: Недра, 1978. – 96 с.

20. Мареев, А.В. Спутниковые системы и технологии позиционирования: практикум: учеб. пособие / А.В. Мареев, Е.Г. Гиенко. – Новосибирск: СГУГиТ, 2023. – 58 с.

21. Поклад, Г.Г. Геодезия: учеб. пособие для вузов / Г.Г. Поклад, С.П. Гриднев. – Москва: Академический Проект, 2017. – 592 с.

22. Соловьев, А.Н. Прикладная геодезия: учеб. пособие / А.Н. Соловьев. – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2021. – 80 с.

23. Стародубцев, В.И. Инженерная геодезия : учеб. для СПО / В.И. Стародубцев. – 2-е изд., стер. – Санкт-Петербург: Лань, 2024. – 260 с.

24. Тихонов, Н.Н. Геодезия: учеб. пособие для студ., обучающихся по напр. подгот. 35.03.03 «Агрохимия и агропочвоведение» (квалификация – бакалавр) / Н.Н. Тихонов, А.П. Дужников. – Пенза: Пензенский гос. аграр. ун-т, 2014. – 122 с.

25. Хаметов, Т.И. Инженерная геодезия: учеб. пособие по напр. подгот. 08.05.01 «Строительство уникальных зданий и сооружений» / Т. И. Хаметов. – Пенза: Пензенский гос. ун-т архитектуры и стр-ва, 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: учеб.-метод. пособие / В.В. Щербаков. – Новосибирск: СГУПС, 2022. – 44 с.

Учебное издание

Солодков Николай Николаевич

ГЕОДЕЗИЯ

Учебное пособие

Компьютерная верстка Н.Н. Солодкова

Корректор Л.Н. Каменская

Дата подписания к использованию **14.05.2025** Уч. Изд. л. 5,47

№ 11 в реестре электронных ресурсов ПГАУ.

Объем издания 7,3 Мб

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Пензенский государственный аграрный университет» 440014, г. Пенза, ул. Ботаническая, 30, www.pgau.ru