



Министерство образования и науки Украины
Харьковский национальный
университет строительства и архитектуры
Кафедра инженерной геодезии
Компьютерный учебно-методический комплекс по
инженерной геодезии. Серия «Геодезия в архитектуре»

Криворучко В.

Инженерная геодезия

Серия "Геодезия в архитектуре"

Харьков 2017



УДК 528.4



Министерство образования и науки Украины
Харьковский национальный
университет строительства и архитектуры
Кафедра инженерной геодезии
Компьютерный учебно-методический комплекс
по инженерной геодезии серия «Архитектура»

ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОДЕЗИЯ

Серия «Архитектура»

**учебное пособие для студентов специальности «Архитектура и
градостроительство»**

Харьков 2017

УДК 528.4(075.8)

Криворучко В. Т. Инженерная геодезия. Серия «Архитектура»: Учебное пособие для студентов специальности «Архитектура и градостроительство». – Харьков: Изд-во ХНУСА, 2017. – 156 с.

Ил. 207, табл. 7, список лит. – 9 назв.

Одобрено кафедрой инженерной геодезии ХНУСА,

Протокол № от

© Издательство ХНУСА, 2017

© Киворучко В. Т.

Содержание

ВСТУПЛЕНИЕ	8
1 ПОНЯТИЯ В ГЕОДЕЗИИ	10
1.1 Определение геодезии как одной из областей науки.....	10
1.2 Место геодезии в экономике и обороне страны	10
1.3 Состав и содержание геодезических научно - технических дисциплин	10
1.4 Связь науки «Геодезия» с другими научными дисциплинами	11
2 ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ ГЕОДЕЗИИ	12
2.1 Сущность основных задач геодезии	12
2.2 Методы изображения топографических объектов в геодезии.....	13
2.3 Методы проектирования, применяемые в геодезии.....	13
2.4 Форма и размеры Земли. Назначение земного эллипсоида	15
2.5 Понятие об уровенной поверхности и ее назначение	16
2.6 Отметка точки, превышение	16
2.7 Вертикальный угол, уклон, связь между превышением, расстоянием и уклоном	17
2.8 Системы координат, применяемые в геодезии.....	17
2.9 Системы высот, применяемые в геодезии.....	19
2.10 Ориентирование	20
2.11 Связь между различными азимутами	20
2.12 Понятие о дирекционном угле. Вычисление дирекционных углов	21
2.13 Прямая геодезическая задача.....	22
2.14 Обратная геодезическая задача	22
2.15 Способы вычисления координат и отметок. Плановые и высотные хода	23
2.16 Условия, возникающие в плановых ходах	23
2.17 Условия, возникающие в высотных ходах.....	25
2.18 Понятие о невязках, виды невязок	25
3 ТОПОГРАФИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ	26
3.1 Виды и сущность топографических материалов.....	26
3.2 Структура топографической карты.....	29
3.3 Номенклатура топографических материалов	30
3.4 Масштаб, графическая точность материалов	32
3.5 Условные знаки топографических карт и планов	34
3.6 Изображение рельефа на топографических картах и планах.....	34
3.7 Решение задач на картах	36
4 ИЗМЕРЕНИЯ	44
4.1 Понятие об измерениях. Погрешности измерений	44
4.2 Результат измерений. Оценка точности измерения.....	46
4.3 Основные виды геодезических измерений	52
4.4 Сущность измерений горизонтальных углов.....	52

4.5	Сущность измерений вертикальных углов теодолитом	53
4.6	Сущность линейных измерений	54
4.7	Сущность нивелирования	54
4.8	Сущность топографических съемок	56
4.9	Геодезические приборы	56
5	УГЛОВЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ.....	58
5.1	Устройство теодолита	58
5.2	Установка теодолита в рабочее положение	60
5.3	Поверки теодолита.....	62
5.4	Измерение горизонтальных углов.....	67
6	НИВЕЛИРОВАНИЕ.....	71
6.1	Устройство нивелиров.....	71
6.2	Нивелирные рейки	72
6.3	Установка нивелира в рабочее положение.....	73
6.4	Поверки нивелиров.....	74
6.5	Способы нивелирования	77
7	ЛИНЕЙНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ	82
7.1.	Состав приборов линейных измерений (механические, оптические, электронные)	82
7.2.	Поверки мерных приборов.....	84
7.3.	Выполнение измерений механическими мерными приборами	84
8	ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ СЕТИ	87
8.1.	Виды геодезических сетей и их сущность	87
8.2	Государственные геодезические сети.....	90
8.3	Точность геодезических сетей.....	92
8.4	Съемочные сети	93
9	ТОПОГРАФИЧЕСКИЕ СЪЕМКИ.....	102
9.1	Сущность, виды и способы топографических съемок.....	102
9.2	Контурная (теодолитная) съемка	102
9.3	Нивелирная съемка	103
9.4	Тахеометрическая съемка	104
9.5	Общие понятия об фотографических методах топографических съемок.	108
9.6	Составление топографических планов	111
10	ОСНОВЫ ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ	119
10.1	Сущность геодезического проектирования	119
10.2	Горизонтальная планировка	119
10.3	Вертикальная планировка	125
10.4	Проектирование горизонтальной площадки	131

10.5 Проектирование наклонной площадки.....	135
11 ГЕОДЕЗИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СТРОИТЕЛЬСТВА.....	137
11.1 Состав работ на этапе строительства.....	137
11.2 Разбивочные работы	137
11.3 Геодезическое обеспечение геометрических параметров сооружений и конструкций.....	142
11.4 Монтаж конструкций.....	145
11.5 Геодезическое обеспечение бетонных работ	147
11.6 Передача отметок на монтажные горизонты	148
11.7 Исполнительные съемки	149
11.8 Элементы исполнительных съемок.....	151
СПИСОК ИСТОЧНИКОВ ИНФОРМАЦИИ	155

ВСТУПЛЕНИЕ

Курс «Инженерная геодезия» состоит из четырех дисциплин: «Основы геодезии», «Геодезическая практика», спецкурсы: «Архитектурная фотограмметрия» и «Геодезическое обеспечение архитектурного проектирования». Первые две дисциплины «Основы геодезии» и «Геодезическая практика» являются нормативными дисциплинами. Содержание основных (нормативных) дисциплин регламентируется государственными документами «ГСВОУ ОХК» и «ГСВОУ ОПП» специальности «Архитектура и градостроительство». Спецкурсы входят в состав выборных дисциплин, их содержание определяется государственными квалификационными характеристиками и производственной практикой, а нагрузка - выходя из содержания этих дисциплин и факультетского лимита нагрузки.

Целью курса «Инженерная геодезия» является получение студентами теоретических знаний и практических навыков по инженерной геодезии для профессионального выполнения специалистами-архитекторами своих функциональных обязанностей.

С целью повышения качества высшего образования специалистов, обеспечения на этой основе конкурентоспособности выпускников и престижа украинского высшего образования в мировом образовательном пространстве внедряется кредитно модульная система организации учебного процесса. Основные задачи которой следующие:

адаптация идей ECTS к системе высшего образования Украины для обеспечения мобильности студентов в процессе обучения и гибкости подготовки специалистов, учитывая быстро изменяемые требования национального и международного рынков работы;

обеспечение возможности обучения студентов по индивидуальной вариативной части образовательно-профессиональной программе, которая формируется по требованиям заказчиков и пожеланиям студента и оказывает влияние на саморазвитие;

стимулирование участников учебного процесса с целью достижения высокого качества высшего образования;

в нормировании порядка предоставления возможности студенту получения профессиональных квалификаций согласно рынку работы.

Мобильность обучения обеспечивается наличием компьютерного учебно-методического комплекса по инженерной геодезии серия «Геодезия в архитектуре» на CD диске и полного учебно-методического обеспечения в Интернете. Кроме того, предполагаются Интернет-консультации преподавателей, которые ведут курс. Таким образом, студент имеет возможность самостоятельно осваивать дисциплины, не зависимо от места его расположения.

Если студент пропустил занятие, он, используя учебно-методические материалы на CD диске или в Интернете, самостоятельно осваивает пропущенный материал. Самостоятельные лабораторные работы выполняются под руководством лаборанта, который выдает инструменты, консультирует студентов и в специальной тетради регистрирует студента.

Особый вид занятий представляет геодезическая практика. Она выполняется на специальном участке - полигоне. Студентам предоставляется возможность самостоятельно выполнить весь комплекс геодезических работ для проектирования реального объекта. Практика максимально приближена к реальному производству. Выбирается реальный объект проектирования. Студенты разбиваются на бригады по 6-7 человек. С членов бригады выбирается бригадир. В процессе практики ведется дневник, в котором содержится график работ, ежедневные задачи и отчет о выполненной работе. По материалам съемки выполняется архитектурное проектирование объекта. Практика заканчивается конкурсом проектов. Как в реальном производстве бригадир оценивает работу каждого студента на основе коэффициента трудового участия, которое выражается в условных баллах. На основе этих баллов преподаватель оценивает работу каждого студента. Спецкурсы являются вариативной частью подготовки специалистов. Студенту, или заказчику, который финансирует обучение, предоставляется право в пределах принятого направления корректировать программы вариативной части курса.

Приняты следующие понятия. «Курс» - комплекс дисциплин, которые относятся к одному научному направлению. «Дисциплина» - комплекс знаний одного направления в пределах одного курса. Таким образом, понятие «Курс» отнесено к научному направлению «Инженерная геодезия», в которое входит: «Основы геодезии», «Геодезическая практика», «Архитектурная фотограмметрия» и «Геодезическое обеспечение архитектурного проектирования».

Положения основных (нормативных) дисциплин являются обязательными, а параметры вариативных (вспомогательных) дисциплин носят рекомендательный характер.

1 ПОНЯТИЯ В ГЕОДЕЗИИ

1.1 Определение геодезии как одной из областей науки

Геодезия – наука, изучающая средства и методы определения и обеспечения формы, размеров и положения объектов.

Основными задачами геодезии являются:

основная прямая задача – определение формы, размеров и положения объектов;

основная обратная задача – обеспечение формы, размеров и положения объектов.

1.2 Место геодезии в экономике и обороне страны

Геодезия применяется практически во всех отраслях экономики, где необходимо определять и обеспечивать форму, размеры и положение объектов: в машиностроении, в землеустройстве, в сельском хозяйстве, в строительстве, в медицине, в электронике, в навигации, в медицине и пр. Например, в медицине геодезия применяется в компьютерной томографии. Геодезические методы используются в микроэлектронике при проектировании и изготовлении микросхем. Применение геодезии в строительстве показано в табл. 1.1.

Таблица 1.1 – Состав геодезических работ в строительстве

<i>Стадия строительства</i>	<i>Состав геодезических работ</i>
Проектирование	<i>Подбор, составление и преобразование геодезических материалов, картометрические измерения, расчет проектных координат и отметок, расчет точности измерений, составление и отслеживание генпланов</i>
Строительство	<i>Разбивочные работы, обеспечение геометрических параметров зданий и сооружений, обеспечение монтажа конструкций, контрольные измерения и исполнительные съемки</i>
Эксплуатация	<i>Контроль состояния зданий и сооружений, геодезическое обеспечение их ремонта и реконструкции</i>

В обороне геодезия используется для навигации, управление стрельбой, в аэрокосмической разведке и пр.

Геодезия является основой современных геоинформационных систем и кадастра.

1.3 Состав и содержание геодезических научно - технические дисциплин

Геодезия как наука состоит из нескольких научных разделов, обеспечивающих решение ее основных задач. Состав научных разделов геодезии приведен в табл. 1.2.

Таблица 1.2 – Состав научных разделов геодезии

<i>Наука</i>	<i>Определение</i>
<i>Геодезия</i>	<i>Изучает средства и способы определения и обеспечения формы, размеров и положения объектов</i>
<i>Инженерная геодезия</i>	<i>Изучает средства и способы определения и обеспечения формы, размеров и положения объектов строительства</i>
<i>Прикладная геодезия</i>	<i>Изучает средства и способы определения и обеспечения формы, размеров и положения объектов в различных отраслях экономики</i>
<i>Высшая геодезия</i>	<i>Изучает средства и способы создания главного геодезического обоснования</i>
<i>Астрономическая геодезия</i>	<i>Изучает геодезические средства и способы астрономических определений геодезических величин</i>
<i>Геодезическая гравиметрия</i>	<i>Изучает геодезические средства и способы гравиметрических определений геодезических величин</i>
<i>Космическая геодезия</i>	<i>Изучает космические средства и способы определения и обеспечения формы, размеров и положения объектов</i>
<i>Свероидическая геодезия</i>	<i>Теоретический раздел высшей геодезии, изучающий теоретические основы определения геометрических параметров сферических поверхностей</i>
<i>Фотограмметрия</i>	<i>Изучает средства и способы обработки космических и наземных фотоснимков для создания топографических материалов</i>
<i>Топография</i>	<i>Изучает средства и способы создания топографических материалов</i>
<i>Гидрография</i>	<i>Изучает топографию и режим водоемов для навигации</i>
<i>Землеустройство</i>	<i>Изучает средства и способы определения и обеспечения формы, размеров и положения земельных ресурсов</i>
<i>Маркшейдерия</i>	<i>Инженерная геодезия подземного строительства и объектов добычи полезных ископаемых</i>

1.4 Связь науки «Геодезия» с другими научными дисциплинами

Связь науки «Геодезия» с другими научными дисциплинами показана на рис. 1.1.

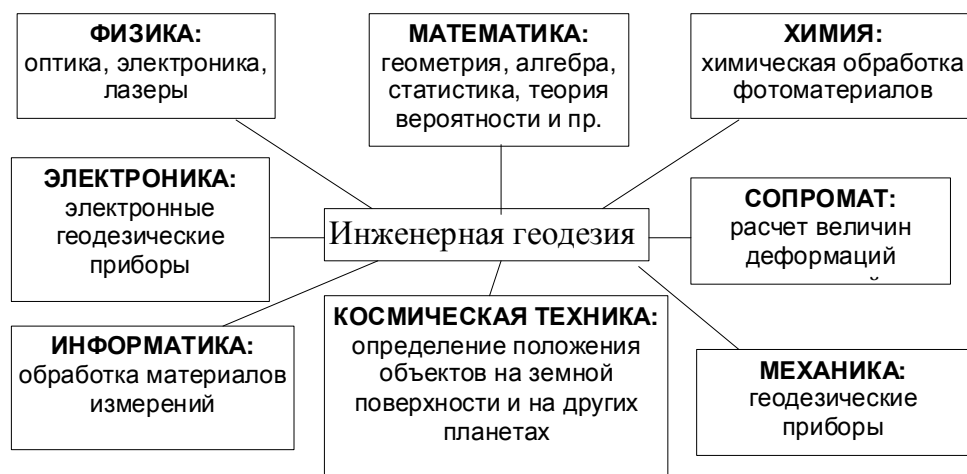


Рис.1.1 - Связь геодезии с другими дисциплинами

2 ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ ГЕОДЕЗИИ

2.1 Сущность основных задач геодезии

Для решения инженерных задач используются различные способы представления объектов. Такими способами являются: графический, аналитический (цифровой), макетный, модельный.

Основой всех этих способов является цифровая модель объекта, представляющая собой совокупность параметров, характеризующих форму, размеры, положение объекта и его свойства. Наиболее рациональным методом создания цифровых моделей является метод координат.

Для решения основных задач геодезии необходимо решить проблемы определения координат точек объекта и вынос точки объекта в заданную точку пространства.

Структурная логическая схема науки «Геодезия» показана на рис. 2.1.

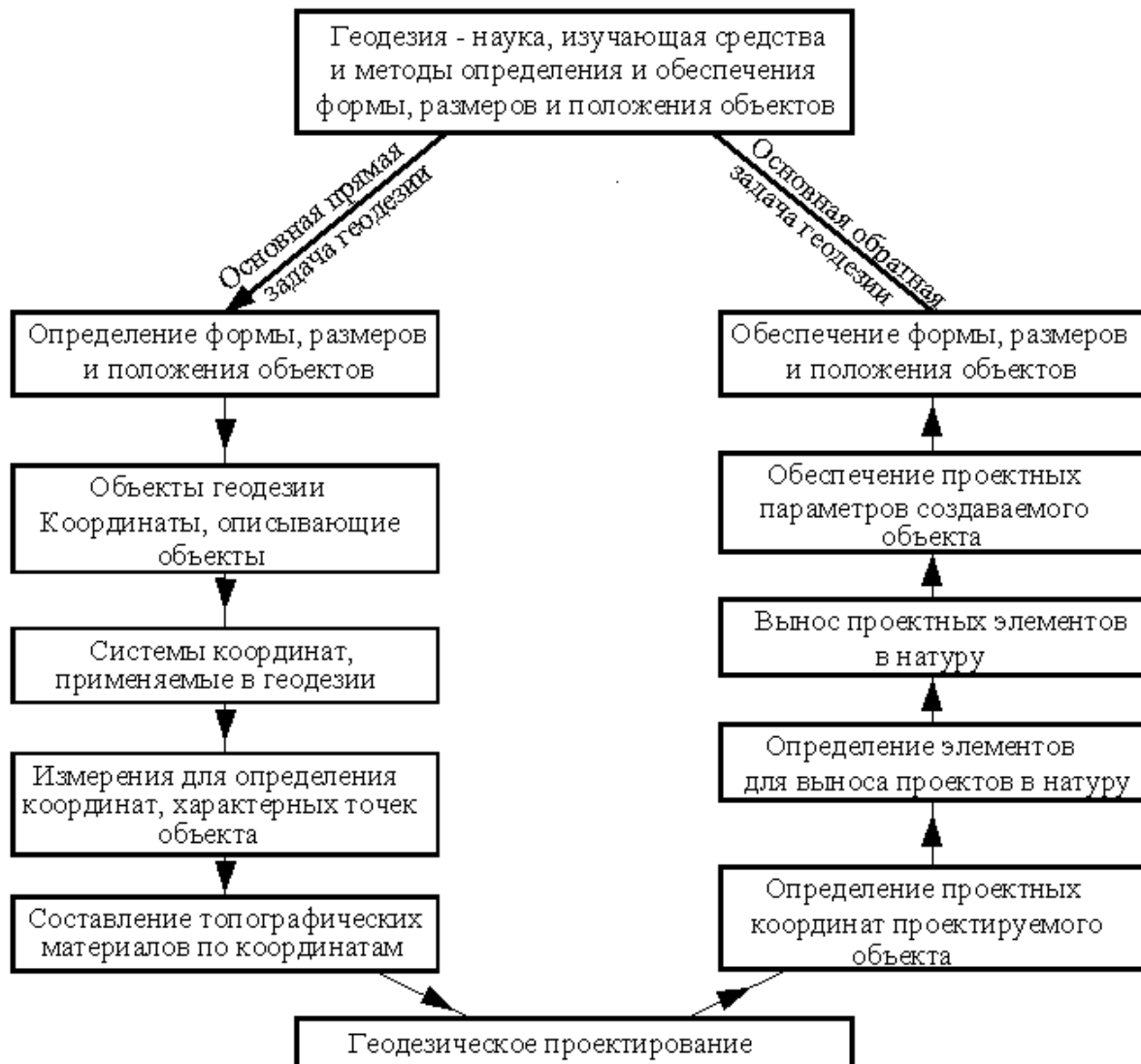


Рис. 2.1 - Структурно логическая схема науки «Геодезия»

Как показано на рис. 2.1 геодезия представляет собой замкнутый цикл операций, состоящих из определения и обеспечения формы, размеров и положения объектов.

В строительной отрасли определение науки «Геодезия» будет иметь вид.

Геодезия – наука, изучающая средства и методы определения и обеспечения формы, размеров и положения объектов на земной поверхности с целью составления топографических материалов и строительства на этой поверхности объектов.

Реализация основных задач геодезии в строительстве состоит из следующих этапов:

прямая основная задача

1) топографические съемки, составление топографических материалов;

переходной этап от прямой к обратной задачам

2) архитектурное, строительное и геодезическое проектирование;

обратная основная задача

3) вынос проекта на местность;

4) строительство;

завершающий этап

5) съемка построенных объектов (исполнительные съемки)

Строительный процесс состоит из трех типов операций: разбивочные работы, обеспечение геометрических параметров сооружения и исполнительные съемки. По проектным координатам осуществляется вынос проекта сооружения на местность. Осуществляется проходка котлована и выполняется возведение стен, крыши и отделка.

Цикл замыкается определением координат характерных точек построенного сооружения. Этот этап называется «Исполнительные съемки». Основная их задача контроль качества строительства, то есть определяется соответствие построенного сооружения и проекта.

2.2 Методы изображения топографических объектов в геодезии

Объекты могут изображаться следующими методами:

1) метод проектирования;

2) аналитический метод, метод цифровой модели;

3) метод виртуальной модели;

4) метод макетирования.

2.3 Методы проектирования, применяемые в геодезии

Применяются два метода проектирования, ортогональное и центральное. Ортогональное проектирование получается путем проектирования характерных точек объекта на поверхность проектирования параллельными лучами, перпендикулярными поверхности проектирования, рис. 2.2.

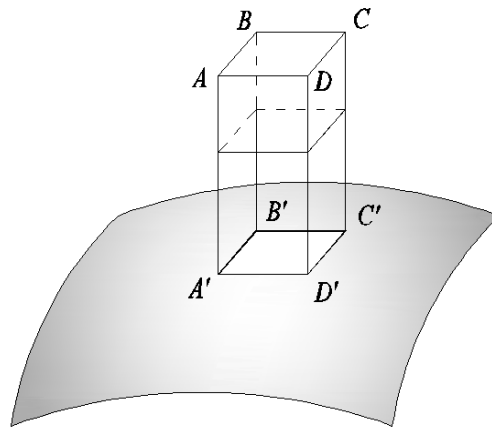


Рис. 2.2 – Ортогональное проектирование

Поверхность, на которую осуществляется проектирование, называется поверхностью относимости.

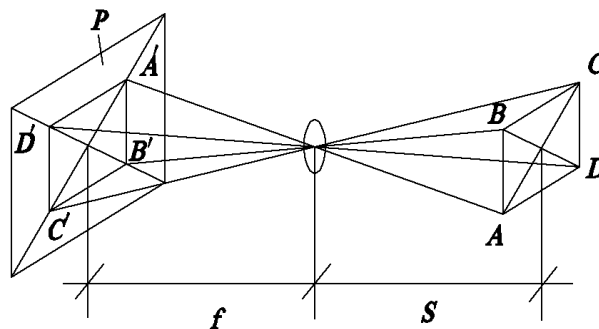
В качестве поверхности относимости в геодезии применяется плоскость, сфера или поверхности математически определенных фигур.

Если проектирование ведется вертикальными лучами на горизонтальную плоскость, то в результате проектирования получаем план. Если проектирование ведется горизонтальными лучами на вертикальную плоскость – в результате проектирования получаем профиль, рис. 2.3.



Рис. 2.3 – Горизонтальное и вертикальное проектирование

Широкое распространение в геодезии получило так называемое центральное проектирование, рис. 2.4, - проектирование через одну центральную точку. Данный метод используется в фототопографических съемках.



f – фокусное расстояние; S – дальность; P – плоскость проектирования.

Рис. 2.4 – Центральное проектирование

2.4 Форма и размеры Земли. Назначение земного эллипсоида

Земля имеет сложную и неправильную форму. Максимальная разность самых высоких и самых низких точек на земной поверхности составляет порядка 20 км. Вследствие вращения Земли за счет центробежной силы она оказывается сплюсненной на полюсах. На такой фигуре сложно обеспечить единство измерений, создать координатную сетку и выбрать поверхность относимости, на которую возможно проектирование всех топографических объектов. Для устранения этих сложностей необходима математическая модель Земли, которая бы максимально приближалась к реальной земной поверхности и была бы математически определена.

Такой фигурой является фигура, образованная вращением эллипса вокруг малой оси. Причем этот эллипсоид должен иметь такие размеры и сориентирован в теле Земли таким образом, чтобы отклонения поверхности Земли от поверхности эллипсоида были минимальными. Фигура, образованная вращающимся вокруг малой оси эллипсом, называется эллипсоид. А эллипсоид, наилучшим образом вписанный в реальную поверхность Земли называется земной эллипсоид. Для территории Украины наилучшим образом подходит эллипсоид Крассовского его параметры следующие, рис. 2.5.

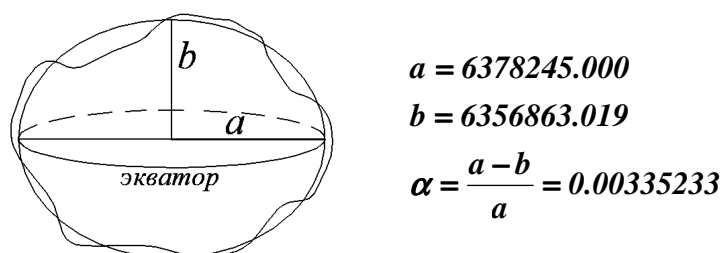


Рис. 2.5 – Земной эллипсоид

Для всей Земли принят Общеземной эллипсоид, со следующими параметрами:

$$a = 6378137.0$$

$$b = 6399521.686$$

$$\alpha = \frac{a-b}{a} = 0.00335281$$

Общеземной эллипсоид применяется для связи между собой региональных эллипсоидов.

Земной эллипсоид является в масштабах всей Земли поверхностью относимости на которую проектируются все земные объекты при выполнении картографирования Земли.

Вторым назначением земного эллипсоида является то, что он используется как основа градусных измерений на земной поверхности, используемых как система геодезических координат.

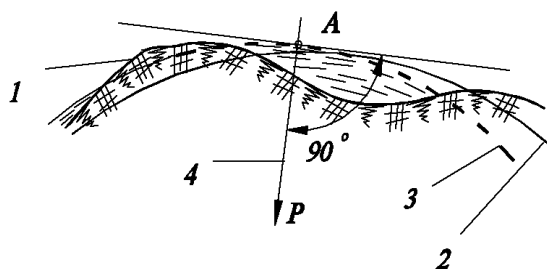
Для мелкомасштабного картографирования в качестве модели Земли применяется шар радиус 6371 км.

Если размер участка не превышает 20×20 км, то в качестве поверхности относимости применяется плоскость.

2.5 Понятие об уровенной поверхности и ее назначение

С уроков географии средней школы известно, что высоты точек определяются относительно уровня мирового океана. Положение водной поверхности зависит от направления силы тяжести. Плотность Земли не равномерна, следовательно, и водная поверхность земного шара представляет собой сложную математически не определенную фигуру.

Поверхность в каждой точке которой касательная перпендикулярна направлению силы тяжести называется **уровенной поверхностью**, рис. 2.6.



1-земная поверхность; 2-геоид; 3-эллипсоид; 4-направление силы тяжести.

Рис. 2.6 - Уровенная поверхность, геоид, земной эллипсоид

Уровенная поверхность является поверхностью относительно которой определяются высоты точек и устанавливаются геодезические приборы, которые используют для их установки жидкостные уровни.

Уровенная поверхность, совпадающая со средним уровнем мирового океана образуют фигуру, которая называется **геоид**. Относительно геоида определяются все высоты Земли.

2.6 Отметка точки, превышение

Отметка точки - расстояние от точки до уровенной поверхности. Разность отметок точек называется **превышение**, рис. 2.7

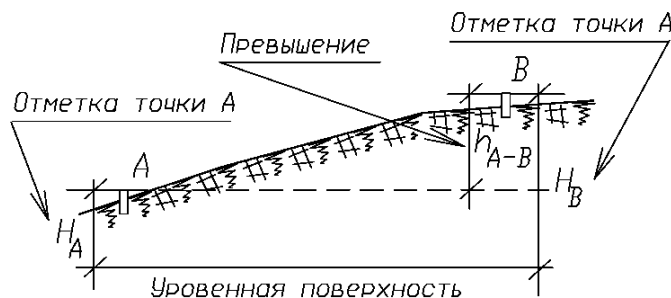


Рис. 2.7– Отметки превышения

Превышение h вычисляется по формуле:

$$h = H_B - H_A, \quad (2.1)$$

где: H_A, H_B - отметки точек.

2.7 Вертикальный угол, уклон, связь между превышением, расстоянием и уклоном

Угол в вертикальной плоскости между линией горизонта и линией поверхности, называется *углом наклона*, рис. 2.8.

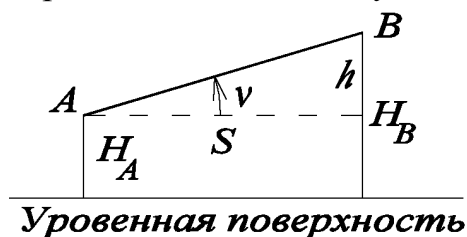


Рис. 2.8 – Вертикальный угол, уклоны

Тангенс угла наклона ($Tg v$) называется *уклоном* (i). Между превышением и уклоном существует следующая зависимость:

$$i = \frac{h}{S}, \quad (2.2)$$

где h – превышение;
 S – расстояние.

Уклон показывает изменение величины превышения на единицу расстояния.

2.8 Системы координат, применяемые в геодезии

Система координат это условная система, определяющая положение точки относительно условно принятой системы отсчета. В качестве системы отсчета в геодезии применяются линии, дуги и углы. Наиболее распространенные две группы систем координат, глобальные и локальные системы координат. К глобальным (общеземным) системам координат относится географическая (геодезическая) система координат, система координат Гаусса-Крюгера и пространственная прямоугольная система.

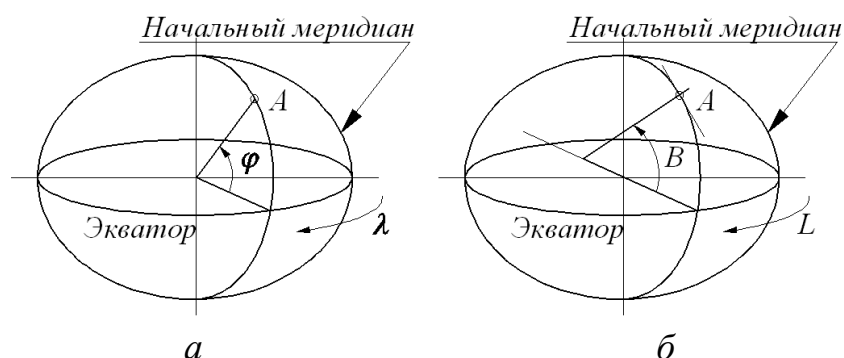
Локальные системы координат применяются на отдельных участках. Они следующие:

- плоская прямоугольная система координат;
- полярная система координат;
- створная система координат;
- перпендикулярная система координат;
- линейная засечка;
- угловая засечка.

Географическая (геодезическая) система координат

Параметрами географической системы координат, рис. 2.9а, являются широта φ и долгота λ . Широта точки это угол между плоскостью экватора и отвесной линией, проходящей через определяемую точку. Долгота – двугранный угол λ между плоскостью начального меридиана и плоскостью меридиана, проходящего через заданную точку.

Геодезическая система координат, рис. 2.9б, отличается от географической тем, что отсчет координат ведется не от земного шара, а от эллипсоида и широта определяется относительно нормали в определяемой точке А (нормаль это перпендикуляр к плоскости эллипсоида в точке определения координат).



a – географическая система координат; *б* – геодезическая система координат

Рис. 2.9 – Географическая система координат

Пространственная прямоугольная система координат

Положение точки *A*, рис. 2.10, определяется относительно координатных осей «*X*», «*Y*», «*Z*». За ось *Z* принимается ось вращения Земли, ось *X* лежит в плоскости начального меридиана, а ось *Y* дополняет систему до правой.

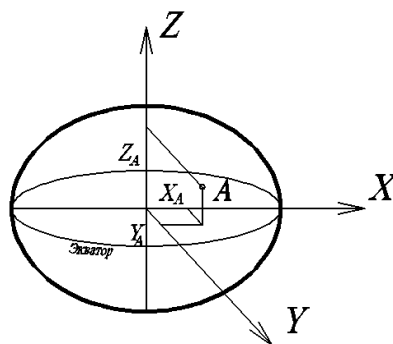


Рис. 2.10 – Пространственная прямоугольная система координат

Система координат Гаусса-Крюгера

Весь земной шар меридианами делится на трех или шести градусные зоны. В каждой зоне формируется своя система плоских прямоугольных координат. Координаты точки *A* определяются номером зоны и прямоугольными координатами этой точки в системе координат зоны, рис. 2.11. За ось *X* принимается центральный (осевой) меридиан зоны, ось *Y* - проекция экватора.

Для предотвращения отрицательных значений координат *Y* осевой меридиан перенесен в западном направлении на 500км.

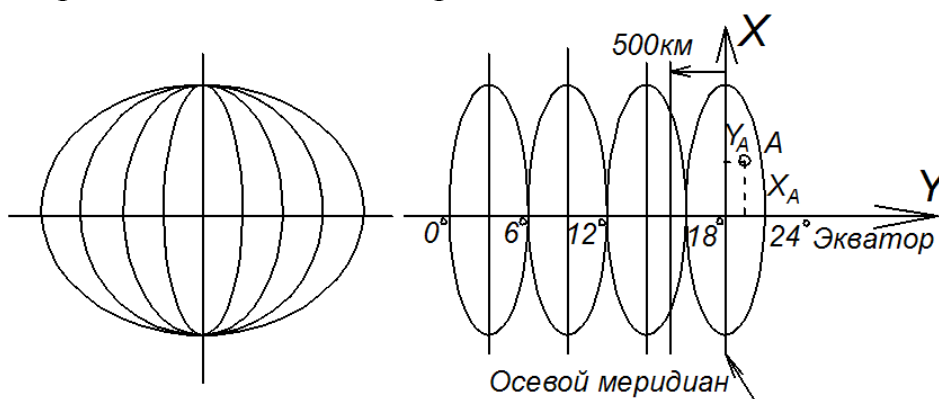


Рис. 2.11 – Система координат Гаусса-Крюгера

Например, точка, рис. 2.11 имеет следующие координаты $X=6385\text{км}$, $Y=3708\text{км}$. Это означает, что точка A расположена в третьей зоне, на расстоянии 6385км от экватора, и на расстоянии 208 км на восток от осевого меридиана.

Системы локальных координат, применяемые в геодезии

Положение точки C в створной системе координат определяется фактом нахождения точки C на линии AB и расстоянием a .

Положение точки C в перпендикулярной системе координат определяется расстоянием a и длиной перпендикуляра b .

Полярная система координат наиболее универсальная система. Точка C в этой системе координат определяется полярным углом α и расстоянием r . В прямоугольной системе координат положение точки A определяется длинами перпендикуляров (координаты X_A, Y_A точки), опущенными с точки A на координатные оси.

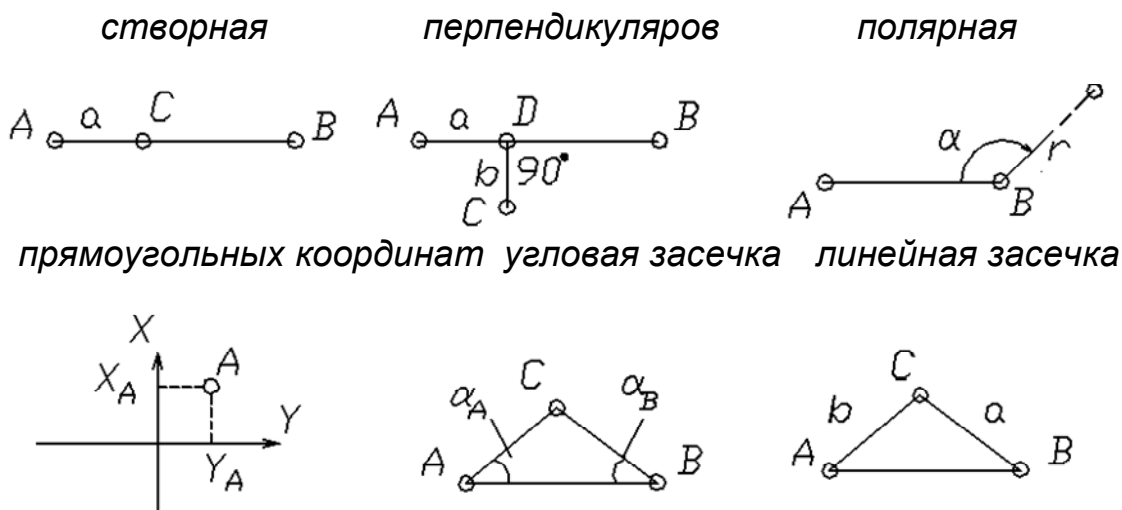
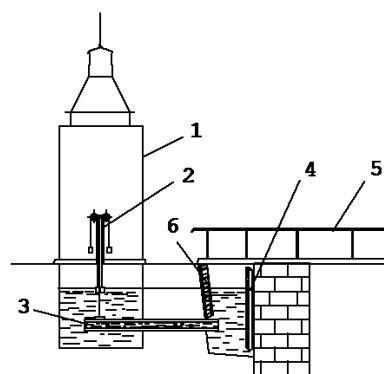


Рис. 2.12 - Системы локальных координат, применяемые в геодезии

Угловая засечка характеризуется угловыми параметрами α_A и β_B . Положение точки C в системе координат «Линейная засечка» определяется расстояниями a и b .

2.9 Системы высот, применяемые в геодезии

Применяется абсолютная и относительные системы высот. Отметки точек в абсолютной системе высот в Украине определяются относительно среднего уровня Балтийского моря, который зафиксированный на специальном футштоке, установленном на устье моста одного из



1 - башня; 2 - уровенно-клапанное устройство; 3 - труба; 4 - футшток; 5 - мост; 6 - лестница.

Рис. 2.13 - Кронштадтский футшток

каналов в Кронштате, рис. 2.13. Относительная система высот принимается в каждом конкретном случае индивидуально. Например, в строительстве, рис. 2.14, за нулевую отметку принимается отметка пола первого этажа или верха фундамента, и все отметки определяются относительно принятой точки строительного нуля.

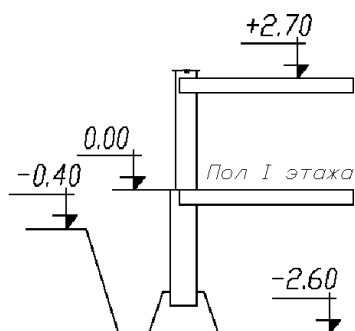


Рис. 2.14 - Система высот строительного объекта

2.10 Ориентирование

Понятие об ориентировании, сущность азимутов их виды

Ориентирование – это определение направления относительно исходного. В качестве исходного направления в геодезии принимается северное направление меридиана.

Угол между северным направлением меридиана по ходу часовой стрелки и заданным направлением называется **азимутом**. В зависимости от используемого исходного меридиана, рис. 2.15, азимуты подразделяются на: истинные (геодезические) магнитные и дирекционные углы. Истинный азимут ориентируется по северному направлению истинного меридиана, магнитные – по магнитному, дирекционный – по осевому меридиану.

Угол, отсчитываемый от ближайшего конца меридиана называется **румбом**.

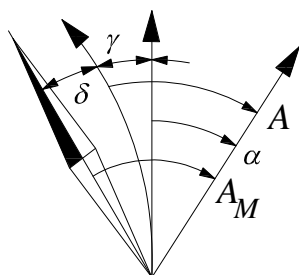
2.11 Связь между различными азимутами

Зависимость между азимутами, согласно рис. 2.15 описывается формулами (2.3), (2.4).

$$\gamma = A - \alpha; \quad (2.3)$$

$$\delta = A - A_M, \quad (2.4)$$

где γ - сближение меридианов;
 A - истинный азимут;
 α - дирекционный угол;
 δ - магнитное склонение;
 A_M - магнитный азимут.



A – истинный азимут; A_M – магнитный азимут; α - дирекционный угол

Рис. 2.15 – Азимуты

Соотношение румбов и азимутов приведено на рис. 2.16.

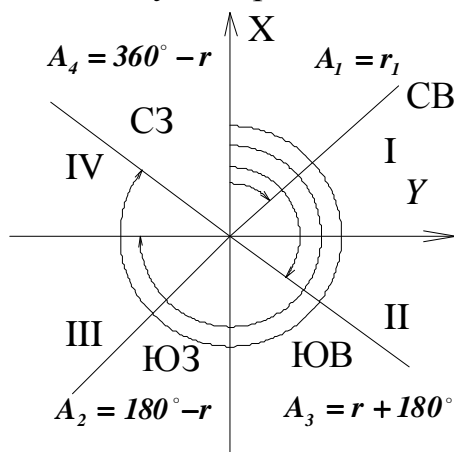


Рис. 2.16 – Связь азимута и румба

2.12 Понятие о дирекционном угле. Вычисление дирекционных углов

Дирекционный угол это азимут, отсчитываемый по ходу часовой стрелки от северного направления осевого меридиана или линии ему параллельной до заданного направления. Значения дирекционных углов изменяются от 0° до 360° . Для вычисления дирекционного угла линии В-С необходимо значение исходного дирекционного угла α_{AB} , и горизонтальный угол β_B , рис. 2.17. Если измерены левые по ходу горизонтальные углы, то искомый дирекционный угол α_{BC} можно получить следующим образом. Продлим линии А-В. Дирекционный угол линии В-В' будет равен $\alpha_{BB'} = \alpha_{AB}$ исходному дирекционному углу. Развернув линию В-В' на 180° и развернув эту линию на измеренный угол β_B получим искомый дирекционный угол α_{BC}

$$\alpha_{BC} = \alpha_{AB} \pm 180^\circ + \beta_B^I . \quad (2.5)$$

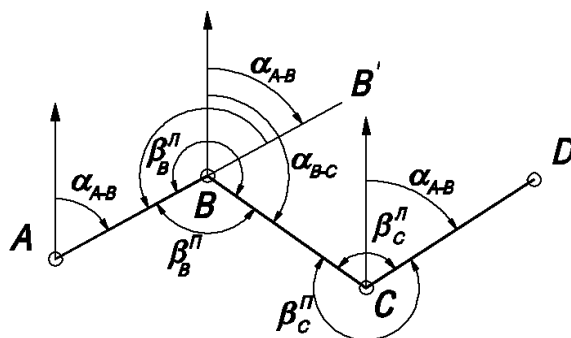


Рис. 2.17 – Вычисление дирекционных углов

Данная формула справедлива для леволежащих горизонтальных углов. Для праволежащих горизонтальных формула (2.5) имеет вид:

$$\alpha_{BC} = \alpha_{AB} \pm 180^\circ + \beta_B^I . \quad (2.6)$$

В общем виде формулы вычисления дирекционных углов приведены ниже:

$$\begin{aligned} \alpha &= \alpha_0 - \beta_{ППРА} \pm 180^\circ ; \\ \alpha &= \alpha_0 + \beta_{ЛЕВ} \pm 180^\circ , \end{aligned} \quad (2.7)$$

где α_0 – предыдущий дирекционный угол;

α - последующий дирекционный угол;

$\beta_{ЛЕВ}$, $\beta_{ПРАВ}$ – левые и правые по ходу горизонтальные углы.

2.13 Прямая геодезическая задача

Данная задача непосредственно связана с основной задачей геодезии, то есть, определение формы, размеров и положения объектов.

Прямая геодезическая задача - вычисление координаты точки B по координатам исходной точки A , дирекционному углу и расстоянию, рис. 2.18.

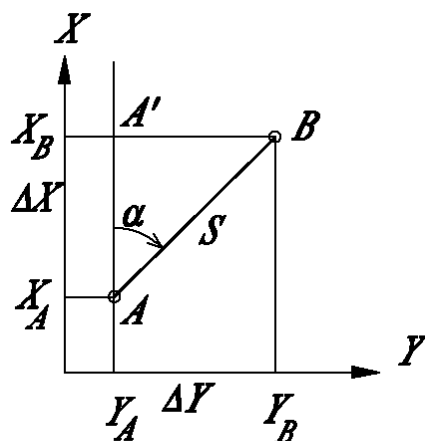


Рис. 2.18 – Прямая геодезическая задача

Если условно принять, что $X_B - X_A = \Delta X$ - приращение координат X и $Y_B - Y_A = \Delta Y$ - приращение координат Y , тогда из $\triangle AA'B$ координаты точки B (прямая геодезическая задача) можно вычислить по следующим формулам:

$$\begin{aligned} X_B &= X_A + \Delta X; \\ Y_B &= Y_A + \Delta Y; \\ \Delta X &= S \cos \alpha; \\ \Delta Y &= S \sin \alpha. \end{aligned} \quad (2.8)$$

2.14 Обратная геодезическая задача

Обратная геодезическая задача – определение расстояния и дирекционного угла по координатам двух точек. Данная задача необходима для обеспечения формы, размеров и положение объектов (основная обратная геодезическая задача).

Из $\triangle AA'B$ получим, рис. 2.18

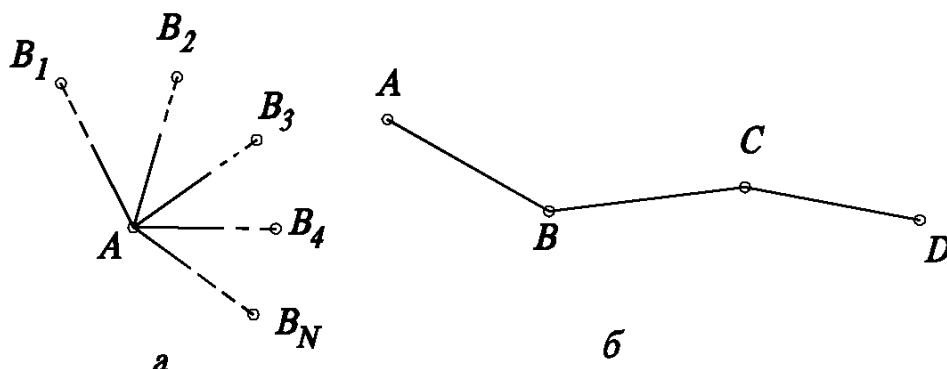
$$\alpha = \arctg \frac{\Delta Y}{\Delta X} + 180^\circ n, \quad (2.9)$$

где $n = 1$ при $\Delta X \leq 0$, $n = 2$ при $\Delta X \geq 0$. Если $\alpha > 360^\circ$, то $\alpha = \alpha - 360^\circ$.

$$S = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2} = \frac{\Delta X}{\cos \alpha} = \frac{\Delta Y}{\sin \alpha}. \quad (2.10)$$

2.15 Способы вычисления координат и отметок. Плановые и высотные хода

Существуют два способа вычислений координат и отметок – параллельный и последовательный, рис. 2.19.



a – способ параллельного определения координат и отметок; *b* – способ последовательного определения координат и отметок

Рис. 2.19 - Способы вычисления координат и отметок

При параллельном способе вычисления от одной исходной точки (точка *A*) вычисляются координаты или отметки нескольких определяемых точек. При последовательном способе вычислений от начальной точки последовательно вычисляются координаты или отметки всех последующих точек.

Последовательное определение координат и отметок называется **плановыми и высотными ходами**.

2.16 Условия, возникающие в плановых ходах

В замкнутых плановых ходах возникают два типа геометрических условий: условия углов и координат. Сумма всех внутренних углов многоугольника (замкнутые хода) должна равняться $180^\circ(n-2)$, где n – число внутренних углов, рис. 2.20.

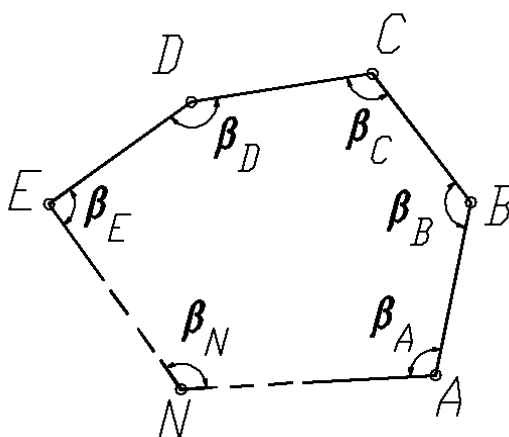


Рис. 2.20 – Условие углов в замкнутых плановых ходах

Таким образом, условие углов имеет вид

$$\Sigma\beta = 180^\circ(n - 2), \quad (2.11)$$

где $\Sigma\beta$ - сумма внутренних углов в ходе; n – число углов.

В разомкнутых ходах условие углов базируется на разности начального и конечного дирекционных углов, 2.21.

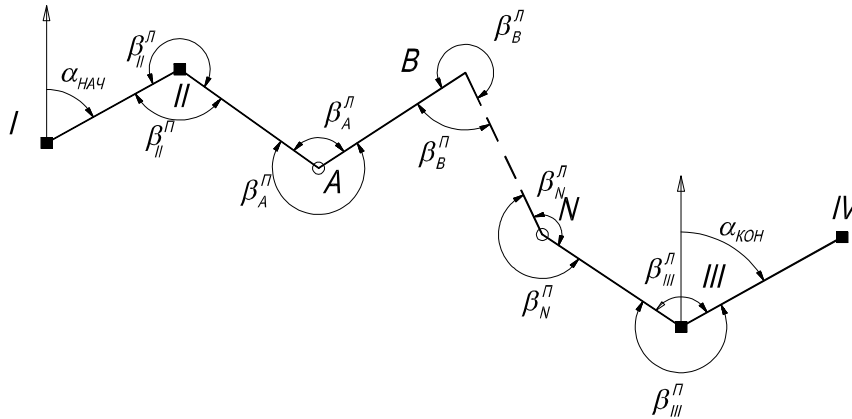


Рис. 2.21 – Условие углов в разомкнутых плановых ходах

В этом случае, условие углов имеет вид

$$\begin{aligned} \Sigma\beta &= \Sigma(\alpha_{\text{кон}} - \alpha_{\text{нач}})180^\circ n - \text{для левых углов;} \\ \Sigma\beta &= \Sigma(\alpha_{\text{нач}} - \alpha_{\text{кон}})180^\circ n - \text{для правых углов,} \end{aligned} \quad (2.12)$$

где $\Sigma\beta$ - сумма внутренних углов в ходе;
 n – число углов;

$\alpha_{\text{нач}}$, $\alpha_{\text{кон}}$ – начальный и конечный дирекционные углы.

Условия координат образуются исходя из особенностей векторов.

Представив замкнутый ход в виде системы замкнутых векторов, рис. 2.22, получим:

$$\begin{aligned} \Sigma\Delta X &= 0; \\ \Sigma\Delta Y &= 0, \end{aligned} \quad (2.13)$$

где ΔX , ΔY – приращения координат.

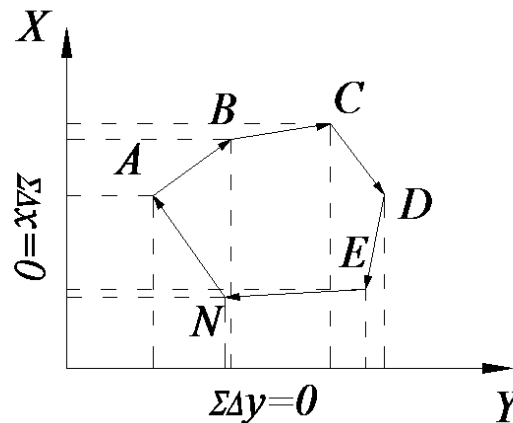


Рис. 2.22 – Условие координат в замкнутых плановых ходах

В разомкнутых ходах условие координат имеет вид:

$$\begin{aligned} \Sigma\Delta X &= X_{\text{кон}} - X_{\text{нач}}; \\ \Sigma\Delta Y &= Y_{\text{кон}} - Y_{\text{нач}}, \end{aligned} \quad (2.14)$$

где $X_{\text{нач}}$, $X_{\text{кон}}$, $Y_{\text{нач}}$, $Y_{\text{кон}}$ – начальные и конечные координаты.

2.17 Условия, возникающие в высотных ходах

В высотных ходах возникают условия превышений. Например, сумма превышений в замкнутом нивелирном ходе должны быть равна 0 ($\Sigma h=0$). В разомкнутых высотных ходах сумма измеренных превышений должна равняться разности отметок конечной и начальной точек.

2.18 Понятие о невязках, виды невязок

Невязка это разность полученного параметра и его теоретического значения. В угловых условиях образуется угловая невязка f_β которая равна:

$$f_\beta = \Sigma\beta_{\text{ПОЛ}} - \Sigma\beta_{\text{ТЕОР}}, \quad (2.15)$$

где $\Sigma\beta_{\text{ПОЛ}}$ - полученная сумма углов;

$\Sigma\beta_{\text{ТЕОР}}$ - теоретическая сумма углов.

Сумма вычисленных приращений в замкнутых плановых ходах образуют невязки в приращениях координат $\Sigma\Delta X = f_x$; $\Sigma\Delta Y = f_y$. Аналогично вычисляются и невязки высотных ходах.

3 ТОПОГРАФИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

3.1 Виды и сущность топографических материалов

К топографическим материалам относятся:

- топографические карты;
- фотопланы;
- топографические планы;
- топографические профили;
- топографические схемы (абрисы);
- цифровые модели;
- виртуальные модели;
- макеты.

Топографическая карта – уменьшенное подобное изображение участка земной поверхности, выполненное в условных знаках и в заданном масштабе с учетом кривизны Земли. Топографические карты применяются в том случае, когда погрешности за счет кривизны Земли сопоставимы с погрешностями измерений, в этом случае проектирование осуществляется на земной эллипсоид. Образец топографической карты приведен на рис. 3.1

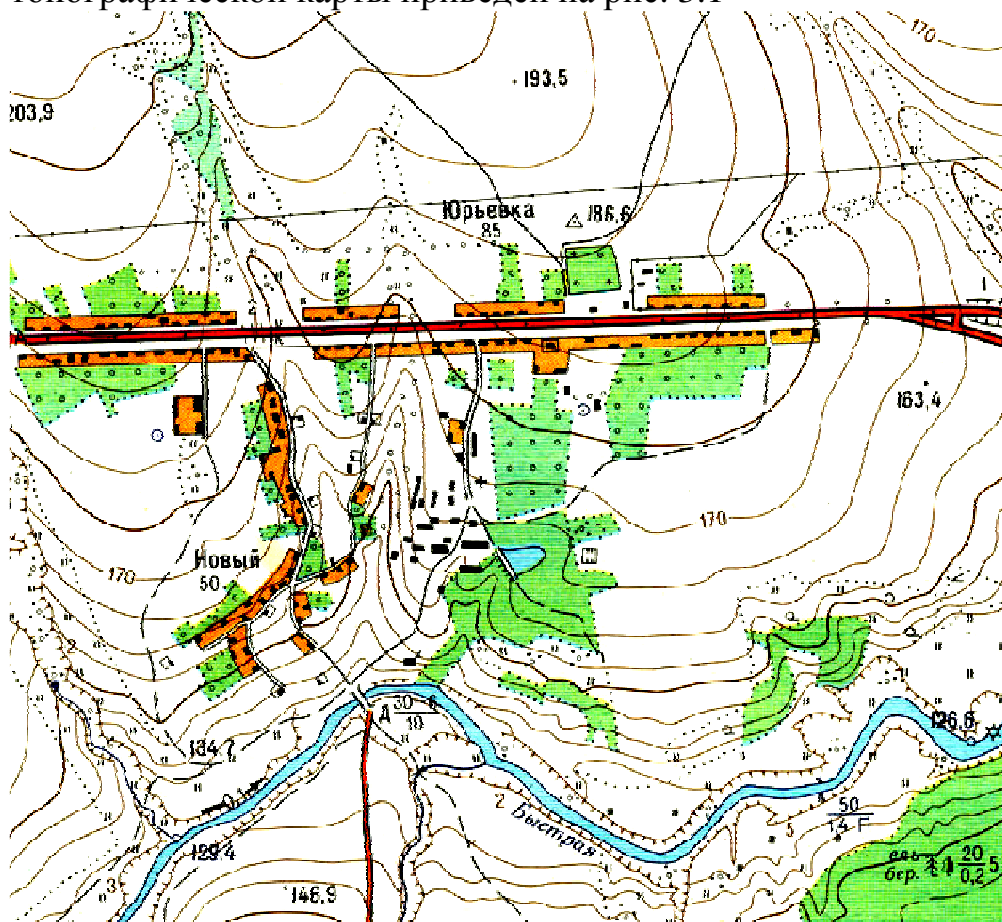


Рис. 3.1 – Фрагмент топографической карты

Фотоплан – уменьшенное подобное фотоизображение участка земной поверхности, выполненное в заданном масштабе по материалам фотограммет-

рической обработки топографических фотоснимков. Образец фотоплана приведен на рис. 3.2.



Рис. 3.2 – Фрагмент фотоплана

Топографический план – уменьшенное подобное изображение участка земной поверхности, выполненное в условных знаках и в заданном масштабе без учета кривизны Земли. Топографические планы применяются в том случае, когда погрешности за счет кривизны Земли значительно ниже погрешностей измерений, в этом случае проектирование осуществляется на плоскость. Образец топографического плана приведен на рис. 3.3.

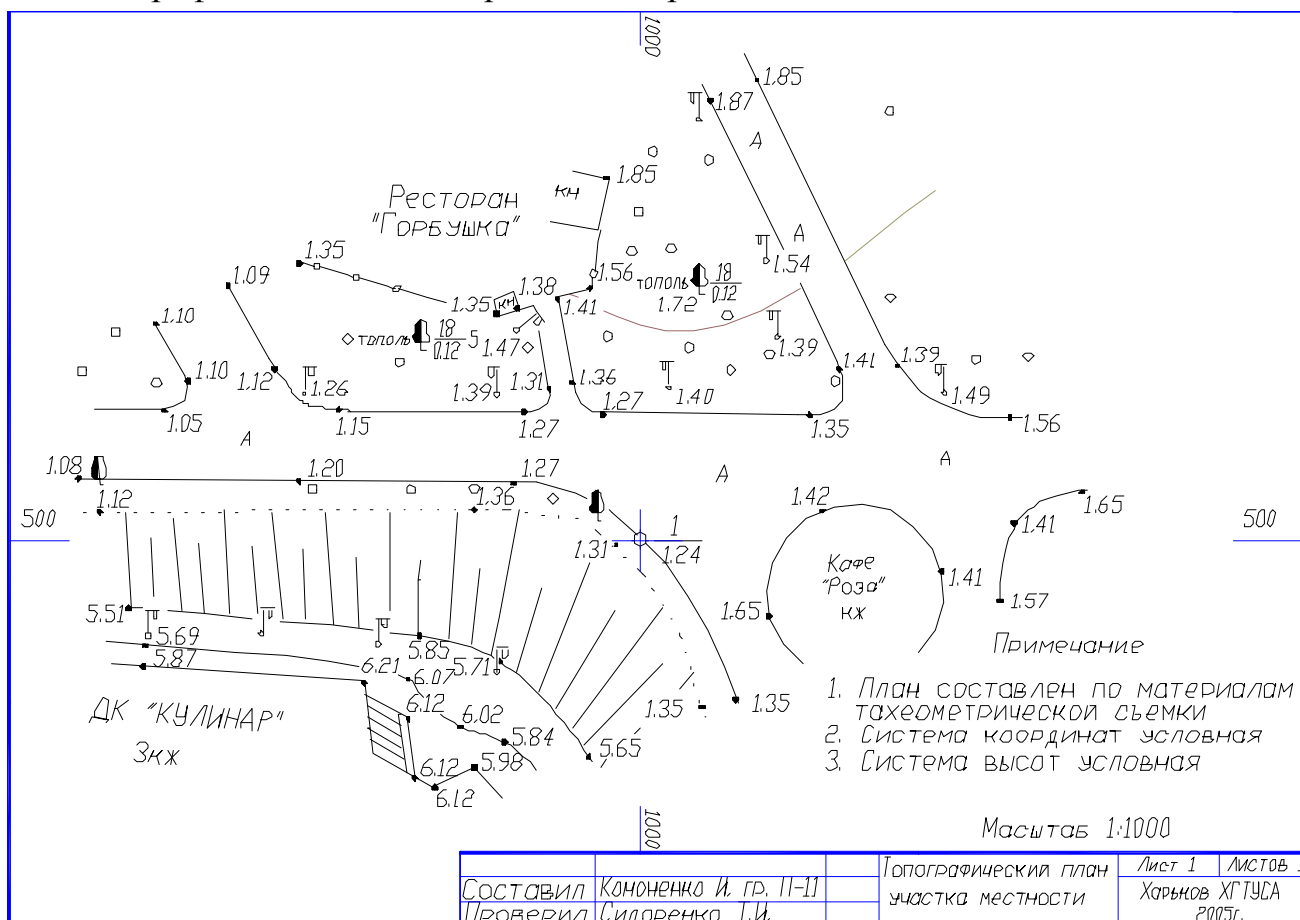


Рис. 3.3 – Фрагмент топографического плана

Топографический профиль – вертикальный разрез местности, построенный по заданному направлению в принятых горизонтальном и вертикальном масштабах. Образец топографического профиля приведен на рис. 3.4.

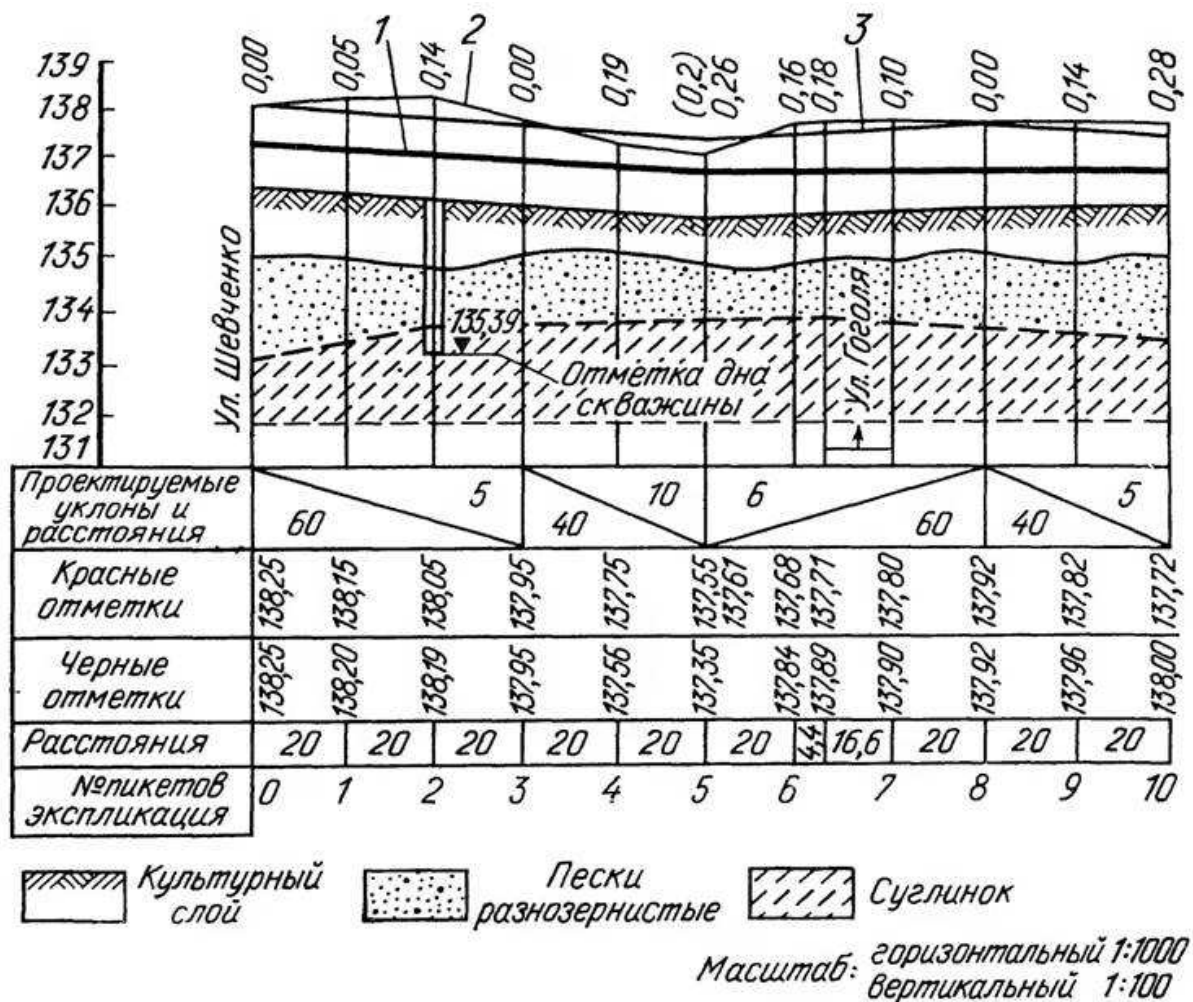


Рис. 3.4 – Фрагмент профиля

Топографические схемы (абрисы) - уменьшенное подобное изображение участка земной поверхности, выполненное без учета масштаба.

Топографические схемы сопровождают все виды геодезических работ. При выполнении топографических съемок составляются абрисы, схемы измерений. Обработка материалов сопровождается расчетными схемами. Образец абриса контурной съемки приведен на рис. 9.5.

Цифровая модель – аналитическая модель местности, построенная в виде матрицы, содержащей характеристики и свойства объектов, выраженных в цифровом виде. Образцом цифровой модели, может служить полевой журнал топографической съемки, табл. 3.1.

Таблица 3.1 – Образец цифровой модели (фрагмент журнала топографической съемки)

Дата 6.06.99

Станция № 2 $i=1.45$ $MO=-1'$

Наблюдатель Осадчук И.

$H_{СТАН} = 120,54$

$H_{РАБ} = 120,99$

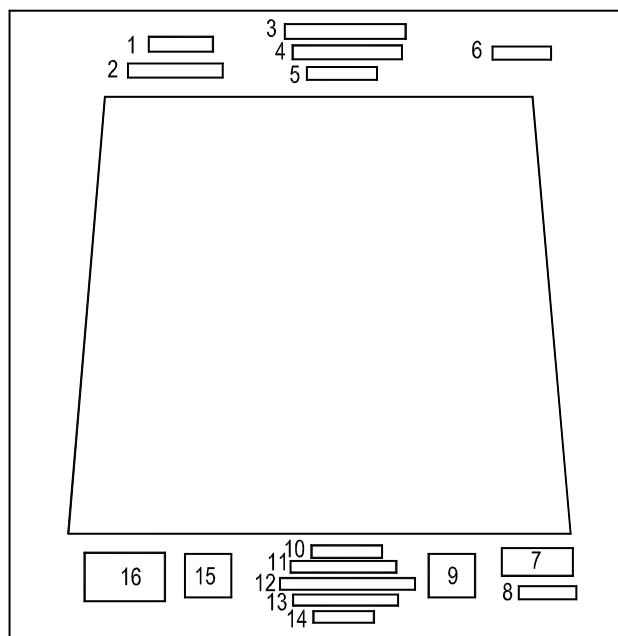
№ точ	Дальномерное расстояние м	Отсчет по горизонт кругу ° '	Отсчет по вертикал кругу ° '	МО '	Вертик угол ° '	Гориз проекция расстоян м	h м	H м	Примечание
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
т.3	86.50	0 0.0	Л 1 15	-1.0	1 16	86.50	1.91	122.90	ориент тчк
			П-1,17						
85	122.5	351 24.0	-0 15.0		-0 14.0	122.5	-0.50	120.49	бордюр
86	107.0	12 12.5	-0 24.0		-0 23.0	107.0	-0.72	120.27	-*-
87	85.0	26 45.6	-0 10			85.0	-0.22	120.77	столб
...
т.3	86.50	0 0.0	Л 1 16	-1.0	1 16	86.50	1.91	122.90	ориент тчк
			П-1,18						

В табл. 3.1 характеристикой модели является цифровая информация, помещенная в колонках 1-9, текстовая информация (колонки 1, 10) относятся к свойствам модели. Для введения их в матрицу текстовая информация заменяется цифровым условным кодом.

3.2 Структура топографической карты

Зарамочное оформление

Содержание зарамочного оформления представлено на рис. 3.9 и табл.3.2.



1 - система координат; 2 - название республики и области, территория которых изображена на данном листе; 3 - наименование ведомства, подготовившего и издавшего карту; 4 - номенклатура листа и название наиболее значительного населенного пункта (для карт масштаба 1:200 000 и 1:500 000 — только

название населенного пункта); 5 - номер и год издания (на картах масштаба 1:200 000 и 1:500 000 номенклатура, номер и год издания указываются ниже подписи «гриф карты»); 6 - гриф карты; 7 - метод и год съемки или год составления и исходные материалы, по которым составлена карта; год подготовки к изданию и печати карты; 8 - исполнители; 9 - шкала заложений (только на картах масштаба 1:25 000, 1:50 000 и 1:100 000); 10 - числовой масштаб; 11 - величина масштаба; 12 - линейный масштаб; 13 - высота сечения (на карте масштаба 1:500 000 здесь же дается шкала ступеней высот); 14 - система высот (за исключением карты масштаба 1:500 000); 15 - схема взаимного расположения вертикальной линии координатной сетки, истинного и магнитного меридианов и величины склонения магнитной стрелки, сближения меридианов и поправки направления (за исключением карты масштаба 1:500 000); 16 - данные о склонении магнитной стрелки, сближении меридианов и годовом склонении магнитной стрелки (эти сведения на карте масштаба 1:500 000 не даются) []

Рис. 3.9 – Зарамочное оформление топографических карт

3.3 Номенклатура топографических материалов

Номенклатура топографических карт эта система обозначений карт, характеризующих их масштаб и район съемки. Основной разграфки топографических карт являются листы карт масштаба 1:1000000, получаемые, если поверхность земного шара разделить на участки шириной 6° по долготе и 4° по широте, рис. 3.7. Шифр (номенклатура) карты масштаба 1:1000000 образуется номерами колонн и индексами рядов. Колонны номеруются с запада на восток через 6° , начиная от 180° меридиана. Таким образом, номер колонны K может быть определен по формуле

$$K = 31^\circ + \frac{\lambda_0}{6}, \quad (3.1)$$

где λ_0 - долгота ближайшего к заданной точке меридиана, долгота которого кратная 6° .

При $\lambda = 36^\circ 46'$, $\lambda_0 = 36^\circ$, получим $K = 37$.

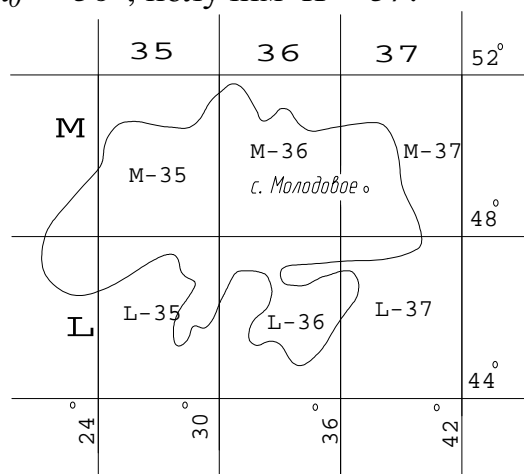


Рис. 3.7 - Разграфка листов карты масштаба 1:1000000

Ряды обозначаются латинскими буквами, их счет ведется с экватора через 4° по широте. Порядковый номер индекса ряда вычисляется по формуле

$$R = \frac{\varphi_0}{\varphi}, \quad (3.2)$$

где φ_0 - значение широты, ближайшей к искомой точке параллели, кратной 4° ;

φ - значение широты искомой точки.

При $\varphi = 50^\circ 02'$, $\varphi_0 = 48^\circ$ получим $R = 12$. Порядковому номеру 12 соответствует латинская буква «М». Следовательно, лист топокарты масштаба 1:1000000 на которой расположен населенный пункт с. Молодовое будет иметь номенклатуру М-37.

В границах листа карты масштаба 1:1000000, рис. 3.8, размещаются четыре листа карты масштаба 1:500000, каждый лист которой обозначается заглавными буквами русского алфавита. Таким образом, с. Молодовое будет расположено на листе карты масштаба 1:500000, имеющей номенклатуру М-37-А. Аналогично, в границах листа карты масштаба 1:1000000 размещаются 36 листов карт масштаба 1:200000 (обозначаются римскими цифрами) или 144 листа карты масштаба 1:100000 (обозначаются арабскими цифрами).

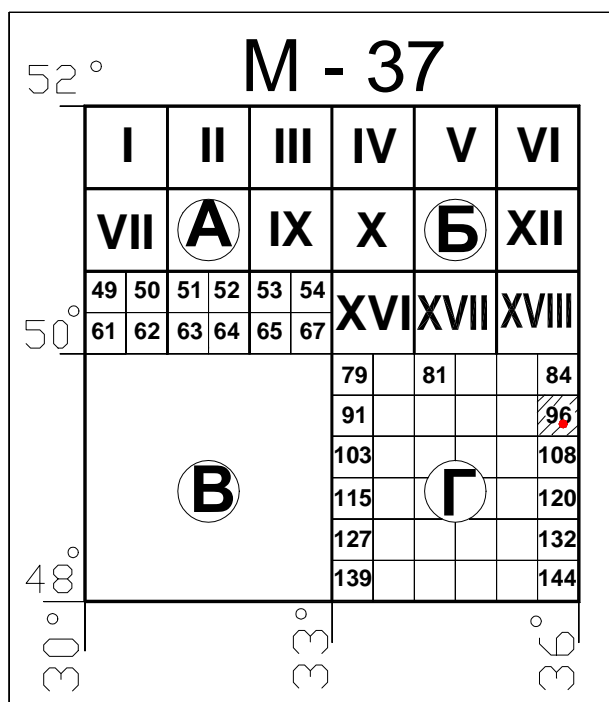


Рис.3.8 - Схема образования номенклатуры мелкомасштабных топографических карт

Чтобы выяснить на каком листе карты находится заданный населенный пункт необходимо определить координаты границ листов. Размеры листов карт в угловой мере и их номенклатура приведены в табл. 3.3.

Таблица 3.3 - Размеры рамок планшетов

Масштаб	Номенклатура	Размеры рамок, °, ', "	
		по широте	по долготе
1:1000000	M-37	4°	6°
1:500000	M-37-A	2°	3°
1:200000	M-37-XVIII	40'	60'
1:100000	M-37-62	20'	30'
1:50000	M-37-62-Г	10'	15'
1:25000	M-37-62-Г-a	5'	7'30"
1:10000	M-37-62-Г-a-3	2'30"	3'45"
1:5000	M-37-62-(233)	1'15"	1'25.5"
1:2000	M-37-62-(233в)	25"	37.5"

Лист карты масштаба 1:100000 является основой формирования номенклатуры листов крупномасштабных топографических карт.

В границах листа карты масштаба 1:100000 будет 4 листа карты масштаба 1:50000 (M-37-62-Г) и 256 листов карты масштаба 1:5000 (M-37-62(233)).

Формирование номенклатуры листов карт других масштабов проиллюстрировано на рис. 3.9 и 3.10 и комментариев не требует.

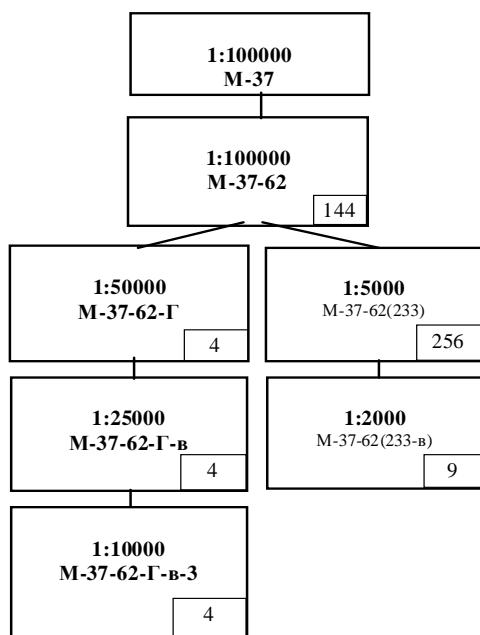


Рис. 3.9 - Схема образования номенклатуры крупномасштабных топографических карт

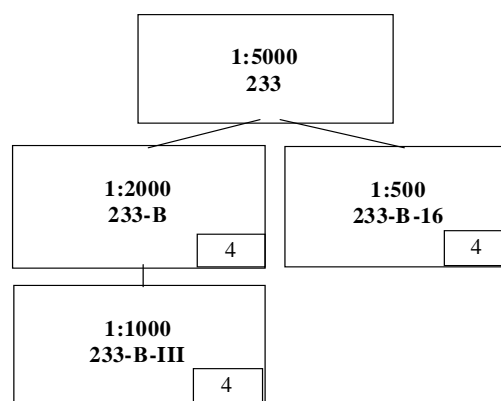


Рис. 3.10 - Схема образования номенклатуры крупномасштабных топографических планов

3.4 Масштаб, графическая точность материалов

Масштаб - это отношение длины отрезка на топографическом материале к соответствующему отрезку на местности.

Топографические материалы имеют стандартизированный ряд масштабов: 1:1000000, 1:500000, 1:200000, 1:100000, 1:50000, 1:25000, 1:10000, 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500.

Масштаб выражается: в числовой форме (1:10000), именованной (в 1см 100м) и линейной, рис.3.11.

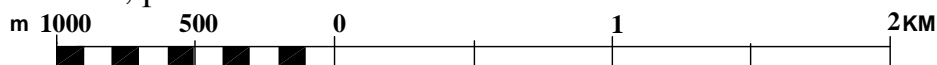


Рис. 3.11 - Линейный масштаб

Для обеспечения максимальной точности графических построений и измерений применяются специальные масштабные линейки, выполненные в виде поперечного масштаба, рис. 3.12. Отсчет по масштабной линейке равен: 27.58 единицы.

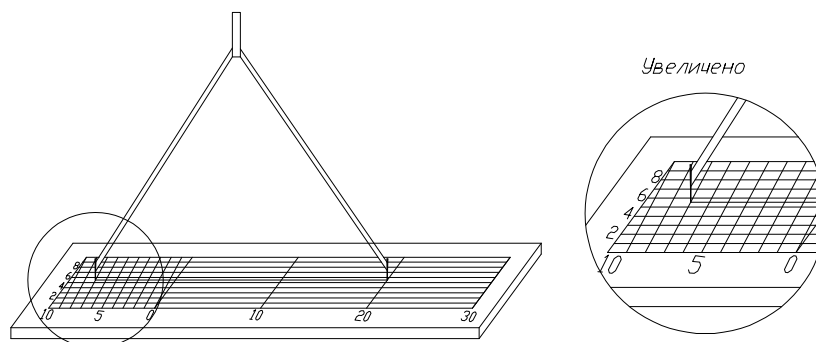


Рис. 3.12 - Поперечный масштаб

Линейный масштаб помещен на всех топографических картах. Это обеспечивает учет деформации бумаги на которой напечатана карта и позволяет приводить копии к заданному масштабу в процессе их электронного копирования.

Точность графических построений (точность определения линейных параметров графическими методами) $m_{ГРАФ}$ принимается равной 0.3мм. Таким образом, графическая точность топографических материалов $m_{ПЛАН}$ определяется исходя из масштаба этого материала, т.е.

$$m_{ПЛАН} = 0.3M, \quad (3.3)$$

где M – знаменатель масштаба топографического плана.

Например, для топографических материалов масштаба 1:500 графическая точность составит $0.3\text{мм} \times 500 = 150\text{мм}$.

Для топографических материалов, составленных в цифровом виде, понятие графической точности не существует. Чтобы иметь возможность судить о точности материала вводится понятие эквивалентного масштаба.

Эквивалентный масштаб определяется точностью непосредственно топографической съемки. Знаменатель эквивалентного масштаба вычисляется по следующей формуле:

$$M_{ЭКВ} = \frac{\sigma_{СЪЕМКИ}}{m_{ГРАФ}}, \quad (3.4)$$

Где $\sigma_{СЪЕМКИ}$ – точность съемки;

$m_{ГРАФ}$ – точность графических построений.

Например, если съемка выполнена с точностью 15см, то знаменатель эквивалентного масштаба съемки будет равен

$$150\text{мм} : 03\text{мм} = 500.$$

Следовательно, эквивалентный масштаб такого материала составляет 1:500.

Точность высотных параметров топографических материалов в большинстве случаев определяется 1/10 сечения рельефа. Другим критерием, определяющим точность высотных параметров, является точность представления отметок точек на плане, равная половине значения последней значащей цифры отметки. Например, на плане отметки представлены числами с двумя знаками после запятой. Следовательно, точность такого числа составляет $0.5 \times 1 \text{ см} = 5 \text{ мм}$.

3.5 Условные знаки топографических карт и планов

Условными знаками называется система обозначений элементов ситуации и рельефа на топографических картах и планах.

Условные знаки классифицируются по форме, размеру, типу, области применения и пр.

По форме условные знаки бывают точечные, контурные и фоновые. Исходя из области применения, знаки подразделяются на следующие виды: рельеф, гидрография; растительный покров, населенные пункты, инженерные сооружения, ориентирные знаки. Особое место в условных знаках занимает числовая и текстовая информация. Текстовая информация подразделяется на личные названия отдельных элементов, например название населенных пунктов, вершин и пр., поясняющих надписей, характеризующих отдельные объекты, например; «ель» - порода деревьев, «бур» - скважина «пар» - паром и пр. Числовыми величинами характеризуются отметки точек и горизонталей, технические характеристики объектов, например: « $\frac{285-5 \times 4}{5}$ », где 285 - длина паромной переправы, 5×4 - размер парома, 5 - грузоподъемность.

Условные знаки бывают масштабируемые и немасштабные. Знаки, которые могут выражены в масштабе карты называются масштабируемые условные знаки. Если размер объекта не выражается в масштабе карты, то этот объект изображается немасштабными условными знаками.

3.6 Изображение рельефа на топографических картах и планах

Рельеф на картах и планах изображается горизонталями. **Горизонталь** - кривая замкнутая линия, все точки которой имеют равные отметки, рис.3.13.

Расстояние между горизонталями по вертикали (на рис. 3.13 величина h) называется **высотой сечения рельефа**. Данный параметр является одной из основных характеристик изображения рельефа на топографических материалах, характеризующий степень детализации его изображения. Горизонтальная проекция расстояния между горизонталями (на рис. 3.13 величина a) характеризует

величину ската рельефа, данный параметр называется *заложением горизонталей*.

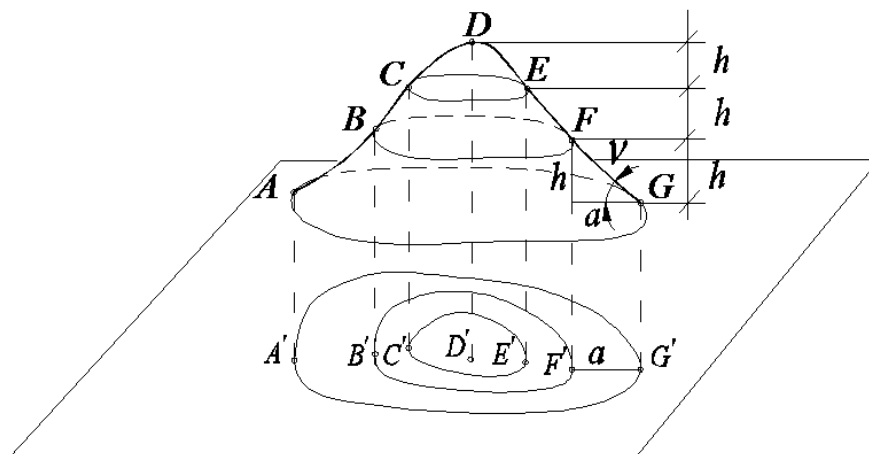


Рис.3.13 - Изображение рельефа горизонталями

По величине сечения рельефа и заложению горизонтали вычисляется *угол наклона* v линии (крутизна ската)

$$v = \text{arcTg} \frac{h}{a}, \quad (3.5)$$

где h - высота сечения рельефа;
 a - заложение горизонталей.

Угол наклона - угол в вертикальной плоскости между плоскостью горизонта и заданным направлением. Величина наклона поверхности Земли, кроме угла наклона характеризуется *уклоном* - тангенсом угла наклона. Уклон представляет собой величину изменения превышения на единицу расстояния. На практике величина уклона может выражаться в процентах, промилях и в натуральных значениях тангенса. Например, если уклон составляет 10%, следовательно, через каждые сто метров расстояния отметка поверхности Земли изменяется на 10м.

Таким образом, уклон равен:

$$i = \frac{h}{S}; \quad (3.6)$$

где h - превышение;
 S - горизонтальное проложение.

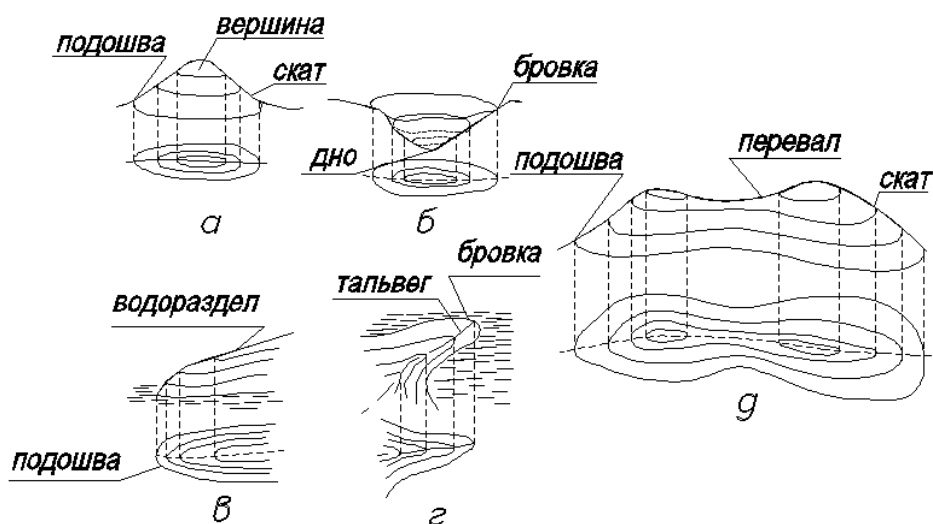
Зная уклон, расстояние между точками и отметку начальной точки, имеется возможность вычислить отметку второй точки:

$$H = H_0 + iS, \quad (3.7)$$

аналогично, по отметкам точек и расстоянию между ними вычисляется уклон:

$$i = \frac{H - H_0}{S} \quad (3.8)$$

Рельеф местности можно представить как совокупность его элементарных форм. Основные формы рельефа и их изображение в горизонталях приведено на рис. 3.14.



а - гора (высота); б - котловина; в - хребет; г - лощина; д - седловина

Рис. 3.14 - Основные формы рельефа

3.7 Решение задач на картах

В процессе архитектурного проектирования на топографических материалах приходится решать следующие основные задачи: определение расстояний, определение координат и отметок точек, определение азимутов, составление профилей, определение площадей и пр. Эти задачи могут быть решены графически непосредственно по топографическим материалам или на компьютере.

Определение расстояний на топографических материалах

Заданы на топографической карте две точки *A* и *B*, необходимо определить расстояние S_{AB} , рис.3.15.

При помощи циркуля-измерителя (или линейки) измеряется по карте отрезок a_s . Для получения значения данного отрезка с точностью графических построений необходимо воспользоваться масштабной линейкой с поперечным масштабом.

Искомое расстояние S_{AB} вычисляется по формуле

$$S_{AB} = a_s M, \quad (3.9)$$

где a_s - расстояние в мм между точками *A* и *B*, измеренное по карте;
M - знаменатель масштаба карты.

Пример, в результате измерений по карте получено $a_s = 28.5\text{мм}$, масштаб карты 1:25000, тогда расстояние между точками *A* и *B* будет равно:

$$S_{AB} = 28.5 \times 25000 = 712500\text{мм} = 712.5\text{м}.$$

Если масштаб карты неизвестен (например, карта получена методом ксерокопирования), то дополнительно требуется измерить расстояние c_s между линиями координатной сетки, в этом случае в формулу (3.9) вместо номиналь-

ного знаменателя масштаба вводится значение знаменателя масштаба, полученное в результате вычислений

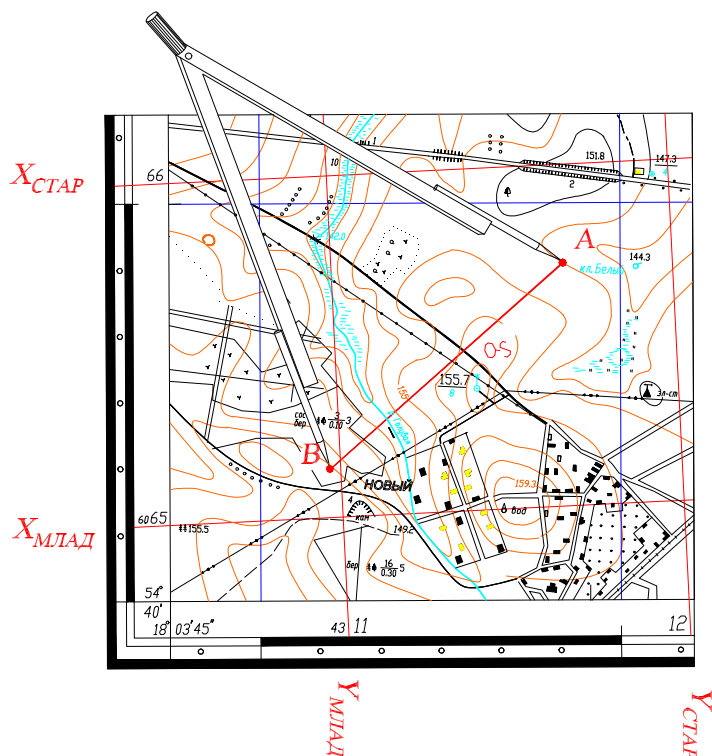


Рис. 3.15 - Измерение расстояния при помощи циркуля-измерителя.

$$M = \frac{L_{СТАР} - L_{МЛАД}}{c_s}; \quad (3.10)$$

где $L_{СТАР}$, $L_{МЛАД}$ - младшие и старшие значения сетки прямоугольных координат;

c_s - расстояние между линиями координатной сетки.

Если направление линии AB север-юг, то вместо $L_{СТАР}$ и $L_{МЛАД}$ берется $X_{СТАР}$ и $X_{МЛАД}$, а если запад-восток, то $Y_{СТАР}$ и $Y_{МЛАД}$.

Пример. При $c_s = 39.5\text{мм}$, $X_{СТАР} = 6066\text{км}$, $X_{МЛАД} = 6065\text{км}$, $a_s = 28.5\text{мм}$, получим

$$M = \frac{6066 - 6065}{39,5} = \frac{1000000(\text{мм})}{39,5(\text{мм})} = 25316,5.$$

Подставив полученное значение знаменателя масштаба в формулу (3.9) получим искомое расстояние S_{AB}

$$S_{AB} = 28.5 \times 25316,5 = 721520\text{мм} = 721,5\text{м}.$$

Определение прямоугольных координат

Для определения прямоугольных координат, прежде всего, определяется квадрат координатной сетки, в котором располагается искомая точка. На рис. 3.19 этот квадрат ограничен координатами: $X_{МЛАД} = 6066\text{км}$, $Y_{СТАР} = 6067\text{км}$ и $Y_{МЛАД} = 4307\text{км}$, $Y_{СТАР} = 4308\text{км}$.

Прямоугольные координаты точки определяются по формулам:

$$\begin{aligned}
 X_A &= X_{\text{МЛАД}} + \frac{X_{\text{СТАР}} - X_{\text{МЛАД}}}{c_X} a_X; \\
 Y_A &= Y_{\text{МЛАД}} + \frac{Y_{\text{СТАР}} - Y_{\text{МЛАД}}}{c_Y} a_Y,
 \end{aligned}
 \tag{3.11}$$

Контрольные формулы:

$$\begin{aligned}
 X_A &= X_{\text{СТАР}} - \frac{X_{\text{СТАР}} - X_{\text{МЛАД}}}{c_X} b_X; \\
 Y_A &= Y_{\text{СТАР}} - \frac{Y_{\text{СТАР}} - Y_{\text{МЛАД}}}{c_Y} b_Y,
 \end{aligned}
 \tag{3.12}$$

где $X_{\text{СТАР}}, X_{\text{МЛАД}}, Y_{\text{СТАР}}, Y_{\text{МЛАД}}$ - соответственно, значения координат координатной сетки, ближайшие к определяемой точке;

a_X, a_Y - расстояния от соответствующей младшей линии координатной сетки до точки A ;

c_X, c_Y - расстояния между соответствующими линиями координатной сетки;

b_X, b_Y - расстояние от старшей линии сетки до определяемой точки.

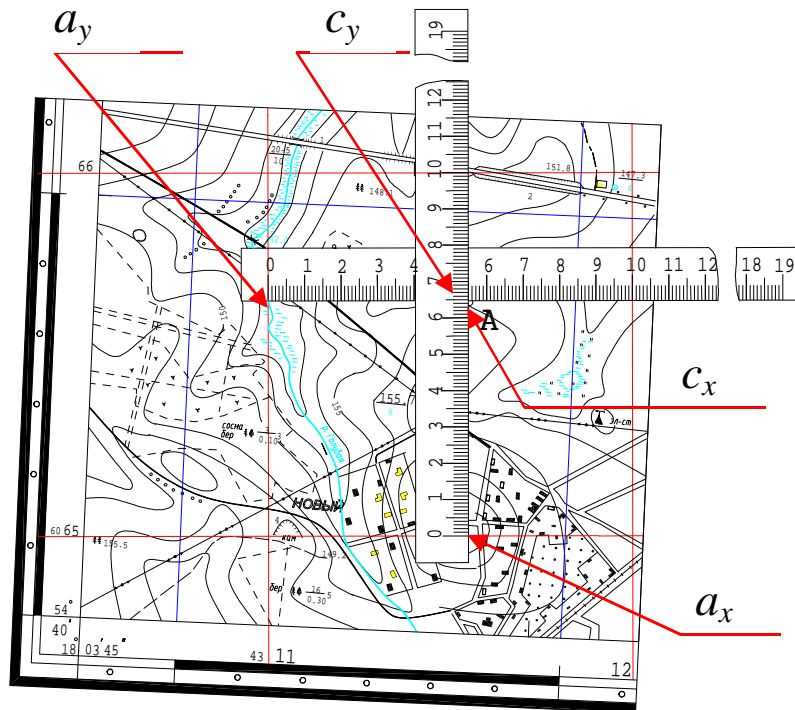


Рис. 3.16 - Определение прямоугольных координат

Пример. В результате измерений по карте получено: $a_X = 29.3\text{мм}$, $c_X = 39.8\text{мм}$, $a_Y = 19.5\text{мм}$, $c_Y = 40.1\text{мм}$. Точка A расположена в квадрате с координатами: $X_{\text{МЛАД}} = 6066\text{км}$, $X_{\text{СТАР}} = 6067\text{км}$, $Y_{\text{МЛАД}} = 4307\text{км}$, $Y_{\text{СТАР}} = 4308\text{км}$.

$$X_A = 6066000 + \frac{6067000 - 6066000}{39.8} 29.3 = 6066736 \text{ м};$$

$$Y_A = 4307000 + \frac{4308000 - 4307000}{40.1} 19.5 = 4307486 \text{ м}.$$

Определение географических координат

Данная задача решается полностью аналогично предыдущей, только измерения выполняются относительно сетки географических координат. На картах сетка географических координат не нанесена явно; меридианами и параллелями является внутренняя рамка листа карты, а по границам карты имеются шкалы, рис. 3.17, оцифровка которых соответствует координатной сетке географических координат.

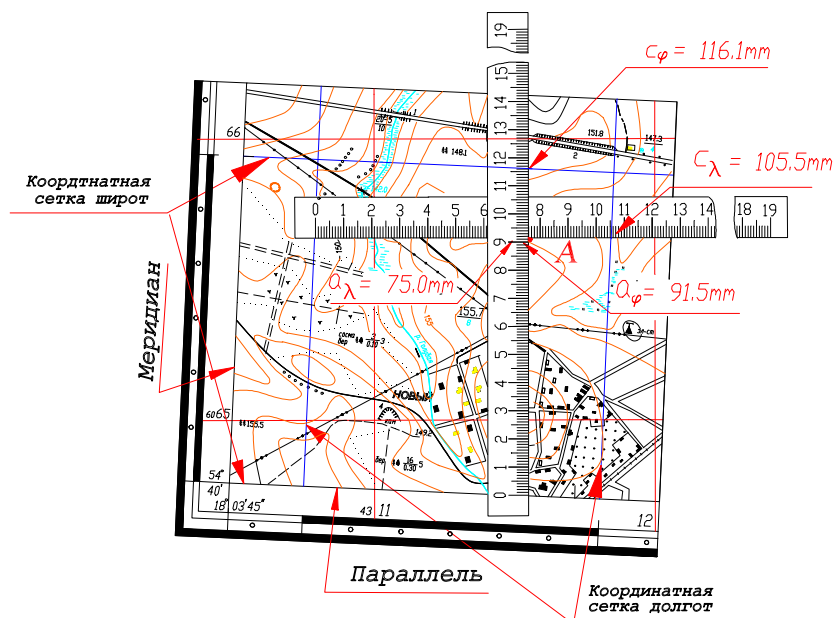


Рис. 3.17 - Определение географических координат

Для восстановления сетки необходимо соединить соответствующие деления координатных шкал и от полученной сетке выполнить измерения, т.е. измерить расстояния (a_φ , a_λ) от младших значений сетки до определяемой точки и расстояния (c_φ , c_λ) между линиями сетки, тогда географические координаты точки A будут равны:

$$\varphi_A = \varphi_{\text{МЛАД}} + \frac{\varphi_{\text{СТАР}} - \varphi_{\text{МЛАД}}}{c_\varphi} a_\varphi; \quad (3.13)$$

$$\lambda_A = \lambda_{\text{МЛАД}} + \frac{\lambda_{\text{СТАР}} - \lambda_{\text{МЛАД}}}{c_\lambda} a_\lambda,$$

Контрольные формулы:

$$\varphi_A = \varphi_{\text{СТАР}} - \frac{\varphi_{\text{СТАР}} - \varphi_{\text{МЛАД}}}{c_\varphi} b_\varphi; \quad (3.14)$$

$$\lambda_A = \lambda_{\text{СТАР}} - \frac{\lambda_{\text{СТАР}} - \lambda_{\text{МЛАД}}}{c_\lambda} b_\lambda,$$

где $\varphi_{\text{МЛАД}}$, $\varphi_{\text{СТАР}}$, $\lambda_{\text{МЛАД}}$,

$\lambda_{\text{СТАР}}$ - координаты ближайших к точке A линий координатной сетки географических координат;

a_φ , a_λ - расстояния от линий координатной сетки, имеющих младшие значения, до определяемой точки;

c_φ, c_λ - расстояния между линиями координатной сетки географических координат;

b_φ, b_λ - расстояние от старшей линии сетки до определяемой точки.

Пример. В результате измерений по карте получено: $a_\varphi = 91.5\text{мм}$, $c_\varphi = 116.1\text{мм}$, $a_\lambda = 75.0\text{мм}$, $c_\lambda = 105.5\text{мм}$. Точка A расположена в четырехугольнике с координатами: $\varphi_{\text{млад}} = 54^\circ 41'$, $\varphi_{\text{ст}} = 54^\circ 42'$, $\lambda_{\text{млад}} = 18^\circ 00'$, $\lambda_{\text{ст}} = 18^\circ 01'$.

$$\varphi_A = 54^\circ 41' + \frac{60''}{116.1} 91.5 = 54^\circ 40' 47.3'';$$

$$\lambda_A = 18^\circ 04' + \frac{60''}{116.1} 105.5 = 18^\circ 04' 54.5''.$$

Определение отметок точек

Для определения отметки необходимо определиться с отметками горизонталей, ближайших к определяемой точки. Значение отметок горизонталей определяются: по подписям горизонталей, по отметкам точек с учетом высоты сечения рельефа, по отметкам пикетных точек. Согласно рис. 3.18 при высоте сечения рельефа равной 2.5м, отметка младшей горизонтали равна 152.5м, отметка старшей - 155м. Отметка точки равна

$$H_A = H_{\text{МЛАД}} + \frac{H_{\text{СТАР}} - H_{\text{МЛАД}}}{c_H} a_H, \quad (3.15)$$

Контрольная формула:

$$H_A = H_{\text{СТАР}} - \frac{H_{\text{СТАР}} - H_{\text{МЛАД}}}{c_H} b_H, \quad (3.16)$$

где $H_{\text{МЛАД}}, H_{\text{СТАР}}$ - отметки старшей и младшей горизонталей; a_H - расстояние от младшей горизонтали до точки A ;

c_H - расстояние между старшей и младшей горизонталями; b_H - расстояние от старшей горизонтали до определяемой точки.

Пример. В результате измерений по карте получено: $a_H = 9.5\text{мм}$, $c_H = 27.0\text{мм}$, при $H_{\text{МЛАД}} = 150\text{м}$, $H_{\text{СТАР}} = 152.5\text{м}$.

$$H_A = 150.0 + \frac{2.5}{27.0} 9.5 = 150.9\text{м}$$

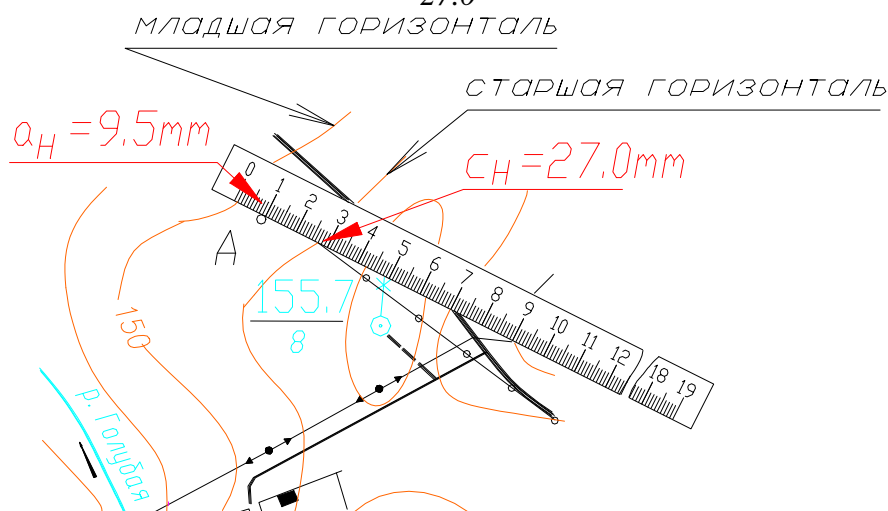


Рис. 3.18 - Определение отметки точки

Определение азимутов

Азимут направления, как известно, это угол, отсчитываемый по ходу часовой стрелки от северного конца меридиана, проходящего через начальную точку направления, до заданного направления. Азимут может определяться при помощи транспортира, рис. 3.19.

Если определяется истинный азимут, то транспортир ориентируется по истинному меридиану, дирекционный угол определяется относительно вертикальной линии сетки прямоугольных координат.

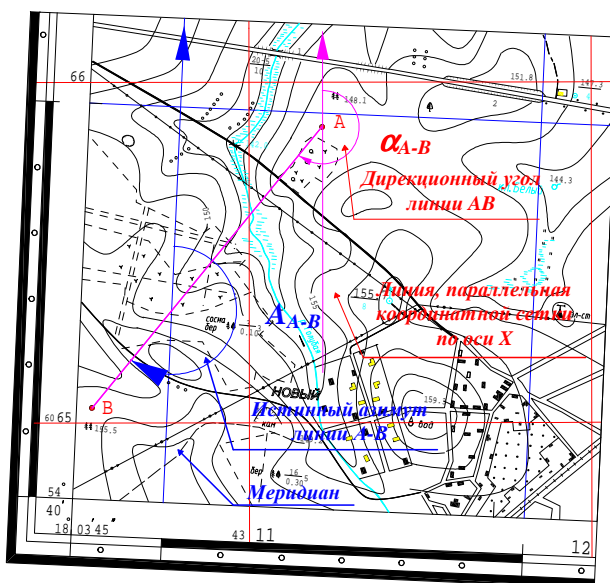


Рис. 3.19 - Определение азимутов

Обратный азимут равен $A_{OBR} = A \pm 180^\circ$; аналогично определяется обратный дирекционный угол - $\alpha_{OBR} = \alpha \pm 180^\circ$

Графо-аналитическое решение задач

Большинство задач, решаемых на топографических материалах сопровождаются аналитическими расчетами. Например, длину отрезка можно получить по координатам концов этого отрезка.

Расстояние S_{AB}

$$S_{AB} = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2}, \quad (3.17)$$

где $\Delta X, \Delta Y$ - разности координат точек.

Превышение h_{AB}

$$h_{AB} = H_B - H_A. \quad (3.18)$$

Уклон i_{AB}

$$i_{AB} = \frac{h_{AB}}{S_{AB}}. \quad (3.19)$$

Дирекционный угол α_{AB}

$$\alpha_{AB} = \text{arcTg}\left(\frac{Y_B - Y_A}{X_B - X_A}\right) + 180n, \quad (3.20)$$

где $n = 1$ при $X_B - X_A < 0$; $n = 2$ при $X_B - X_A > 0$. Если $\alpha_{AB} > 360^\circ$, то $\alpha_{AB} = \alpha_{AB} - 360^\circ$.

Составление профиля по заданной линии

Профиль является графиком, на котором на горизонтальной оси показаны расстояния, а на вертикальной - отметки. Он может строится по картографическим материалам и по материалам полевых работ. Для построения профиля по картографическим материалам на линии трассы (оси профиля) намечаются: начало профиля, углы поворота оси профиля, характерные точки ситуации и рельефа, конец профиля, рис. 3.20.

Определяются расстояния от точки начала трассы до характерных точек ситуации и рельефа и отметки этих точек. Очень часто трассу профиля делят на отрезки длиной по 100м, концы стометровых отрезков называются *пикетами*.

Чтобы построить профиль рекомендуется числовую информацию предварительно записать, в так называемый писанный профиль, представляющей собой таблицу, образец которой приведен в табл. 3.4.

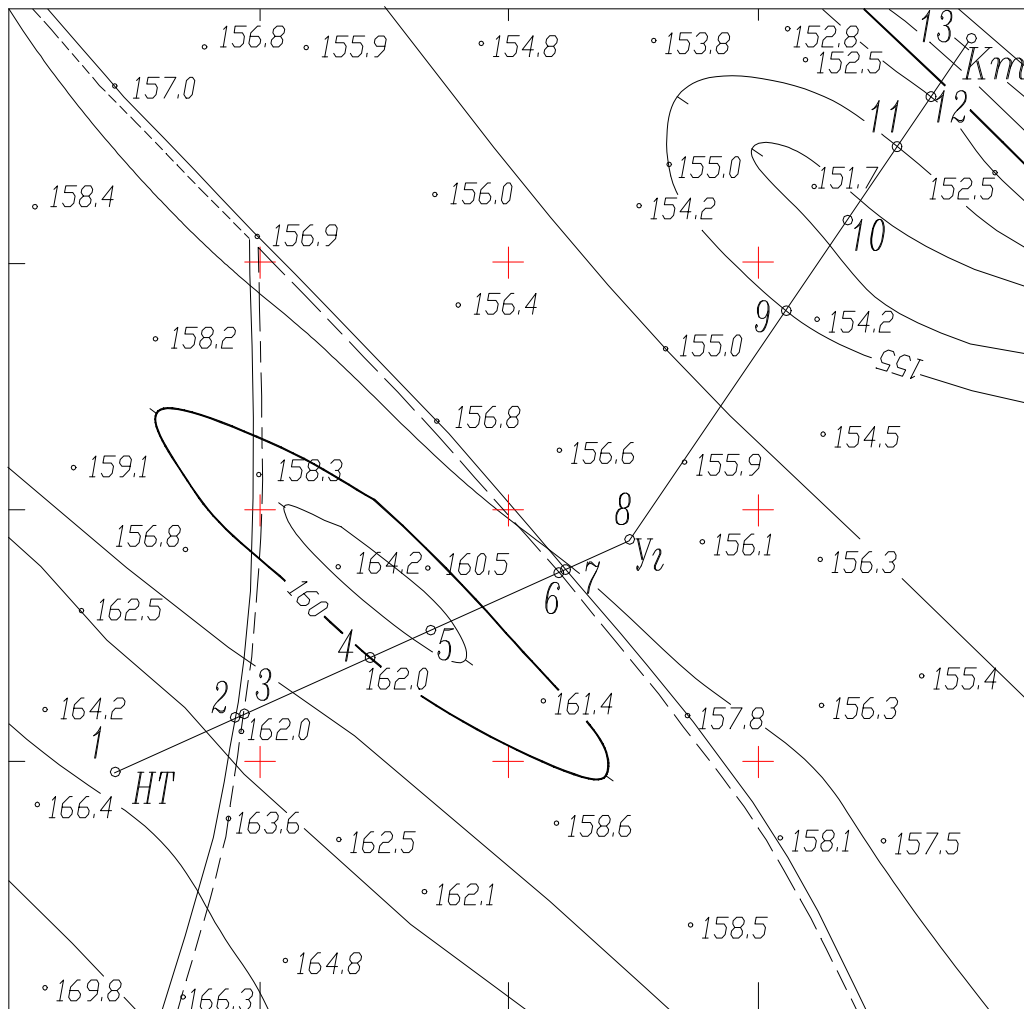


Рис. 3.20 - Составление профиля по картографическим материалам

Таблица 3.4 - Писанный профиль

№ точки	Расстояние от начала трассы	Расстояние между точками	Отметки	Примечание
1	0		164.3	начало трассы
		52.45		
2	52,45		162.0	обочина грунт дороги
		5.36		
3	57,81		162.0	-.-
		52.85		
4	110,66		162.0	подошва холма
		27.72		
5	138,38		164.2	вершина холма
		55.64		
6	194,02		157.6	обочина грунт дороги
		4.12		
7	198,14		157.6	-.-
		28.30		
8	226,44		156.5	угол поворота
		113.16		
9	339,60		154.9	бровка выемки
		42.59		
10	382,19		151.7	дно выемки
		36.15		
11	418,34		152.5	бровка ямы
		21.58		
12	439,92		155.0	подошва склона
		29.90		
13	469,82		163.0	конец трассы

Для лучшей наглядности вертикальный масштаб профиля делается в 10 раз крупнее горизонтального. Образец продольного профиля, построенного по данным табл. 3.4 приведен на рис. 3.21.

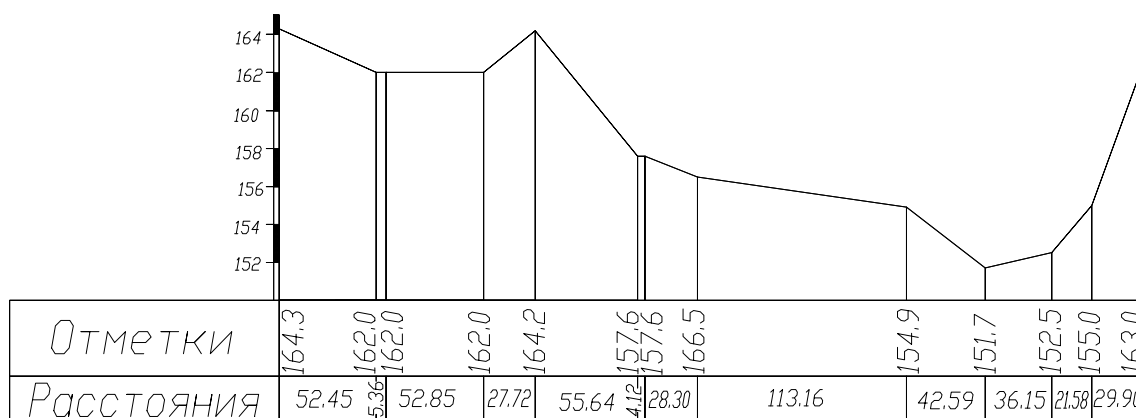


Рис. 3.21 - Продольный профиль

4 ИЗМЕРЕНИЯ

4.1 Понятие об измерениях. Погрешности измерений

Измерением называется определение числового значения физических величин при помощи технических средств в установленных единицах измерениях. Под **физической величиной** подразумевается количественная характеристика определенных свойств объекта. Например, большинство объектов характеризуют размеры, вес, объем и пр. Каждое из этих свойств является физической величиной, так как характеризуется соответствующим числовым значением. Физическая величина, значение которой равно единицы, называется единицей измерений. В инженерно-геодезической практике используются в основном две величины - длина и угол. **Длиной** называют расстояние между двумя точками, определенное по прямой или кривой. Угол - это поворот радиус-вектора, выходящего из точки, от одного направления к другому. Основной единицей линейных измерений принят метр (*m*), определяемый как $1650763,73$ длины волны в вакууме излучения, соответствующего переходу между уровнями $2p^{10}$ и $5d^5$ атома криптона 86. За единицу измерения плоского угла принят радиан - угол между двумя радиусами круга, опирающимися на дугу, длина которой равна радиусу. В геодезии в качестве постоянной применяется величина ρ'' , равная числу угловых единиц в одном радиане ($206265''$).

Значение физической величины, точно отражающее качественные и количественные характеристики свойств объекта называется истинным значением физической величины. Значения физической величины, определенные экспериментальным путем, наиболее близкие к истинному значению для данного уровня техники называются **действительными значениями** физической величины. **Точность** измерений это степень приближения результата измерений к его действительному значению. Отклонение результата измерений от его истинного значения называется **погрешностью измерений**.

$$\Delta x_i = x_i - X, \quad (4.1)$$

где x_i - результат измерений;

X - истинное значение измеренной величины.

Измерения делятся на две большие группы - **прямые** и **косвенные**. Под прямыми измерениями подразумеваются измерения, результат которых получен путем непосредственного сравнения меры с измеряемой величиной. Например, при выполнении линейных измерений средство измерений рулетка сравнивается с измеряемой величиной, результат измерений будет равен

$$x = Aq, \quad (4.2)$$

где q - единица измерений;

A - число единиц измерений.

Измерение, результат которого является функцией измеренных величин, называется косвенным измерением.

Площадь прямоугольного участка определяется как произведение длины участка на его ширину

$$F = ab, \quad (4.3)$$

где a и b - размеры участка.

В общем виде косвенные измерения можно представить в виде выражения

$$y = F(x_1, x_2, \dots, x_i). \quad (4.4)$$

По характеру возникновения погрешности бывают: грубые, систематические и случайные.

Грубыми погрешностями называются погрешности, которые на много отличаются от остального ряда погрешностей и обусловлены промахами, просчетами и пр.

Например, выполнены пять измерений одного отрезка: **100.285м, 100.290м, 101.289м, 100.285м, 100.279м**. Очевидно, что третий результат (**101.289м**) содержит грубую погрешность, так как он значительно отличается от остального ряда результатов. Грубые погрешности должны быть выявлены, а результаты их содержавшие исключены из обработки.

Систематические погрешности - погрешности, носящие закономерный характер, который может быть описан соответствующими математическими зависимостями. Измерен стометровый отрезок, результат измерений следующий: **100.103м, 100.106м, 100.099м, 100.111м, 100.100м, 100.106м, 100.102м, 100.100м, 100.103м, 100.102м**. Во всех приведенных результатах присутствует постоянная часть равная 100мм. Очевидно, что реальная длина мерного прибора отличается на 100мм от его номинальной длины, что и является причиной систематической погрешности. Систематические погрешности выявляются, а их действия исключаются или ослабляются. Существует несколько способов выявления и исключения систематических погрешностей:

измерение разными исполнителями, разными приборами и в разное время;

измерения при разных положениях шкал или разными шкалами (основной и дополнительной);

измерения в прямом и обратном направлениях.

Случайные погрешности - это погрешности, появляющиеся случайным образом, не имеющие определенной закономерности и обладающие свойствами случайных чисел:

1) равные по величине случайные погрешности, но разные по знакам встречаются одинаково часто;

2) малые по абсолютной величине случайные погрешности встречаются чаще, чем большие;

3) случайные погрешности по абсолютной величине не превосходят заданного предела;

4) сумма случайных погрешностей значительного числа измерений стремиться к нулю.

Приведенные свойства иллюстрируются рис. 4.1, где по вертикальной оси приведены частоты появления результата, по горизонтальной оси дана числовая ось результатов. Наибольшее количество результатов лежит в пределах

$(-m) \div (+m)$, свойство 2, ветви графика симметричны, т.е. частоты появлений равных по абсолютной величине, но разных по знаку одинаковы, свойство 1. Так как ветви графика симметричны, то и сумма погрешностей (положительных и отрицательных) будет равна нулю, свойство 4. Погрешности по абсолютной величине имеют предел, свойство 3, на графике это $3m$, данный предел называется **предельной погрешностью**.

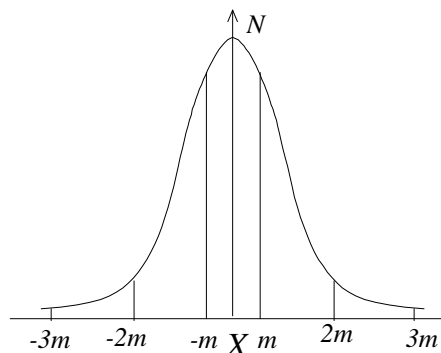


Рис.4.1 - Свойства случайных погрешностей

4.2 Результат измерений. Оценка точности измерений

При многократных измерениях одной и той же величины невозможно получить одинаковый результат измерений, так как в состав результата обязательно входит погрешность измерений. В общем виде результат измерений может быть представлен в виде интервала

$$x_0 \pm tm, \quad (4.5)$$

где x_0 - вероятнейшее значение измеряемой величины;
 t - критерий точности;
 t - коэффициент степени доверия.

Наука, изучающая способы получения достоверных результатов измерений и обоснованием выбора методики и средств измерений для получения результата с заданной точностью, называется **теорией погрешностей измерений**.

Прямой задачей теории погрешностей является получение достоверных результатов измерений (*оценка точности измерений*). Для получения результата измерений необходимо найти: вероятнейшее значение измеряемой величины x_0 , критерий точности t и принять степень доверия t к полученному результату.

Обратной задачей теории погрешностей является техническое обоснование выбора методики и средств измерений для получения результата с заданной точностью (*расчет точности измерений*). Каждый процесс состоит из ряда элементарных процессов, сопровождающихся определенными погрешностями

$$\Delta = \Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3 + \dots + \Delta_n, \quad (4.6)$$

Если задана суммарная погрешность процесса Δ , то при расчете точности необходимо определить значения составляющих погрешностей $\Delta_1, \Delta_2, \dots, \Delta_n$ и исходя из этих значений обосновать выбор методики и средств измерений.

Имеем ряд результатов измерений $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ одной и той же величины, истинное значение которой равно X . Запишем значения истинных погрешностей

$$\begin{aligned} \Delta_1 &= x_1 - X; \\ \Delta_2 &= x_2 - X; \\ \Delta_3 &= x_3 - X; \\ &\dots\dots\dots; \\ \Delta_n &= x_n - X, \end{aligned} \tag{4.7}$$

просуммируем полученные выражения и разделим на число измерений n

$$\frac{\sum \Delta_i}{n} = \frac{\sum x_i}{n} - X. \tag{4.8}$$

По четвертому свойству случайных погрешностей $\sum_{i \rightarrow \infty} \Delta_i \rightarrow 0$ (сумма случайных погрешностей при $n \rightarrow \infty$ будет стремиться к нулю), следовательно,

$$\frac{\sum x_i}{n} \rightarrow X. \tag{4.9}$$

Таким образом, величина $\frac{\sum x_i}{n}$, являющаяся средним арифметическим значением результата измерений, будет наиболее близкой величиной к истинному значению результата, т.е. будет вероятнейшим значением измеряемой величины

$$x_0 = \frac{\sum x_i}{n}. \tag{4.10}$$

Разность результата измерений x_i и вероятнейшего его значения x_0 называется *вероятнейшей погрешностью* v_i

$$v_i = x_i - x_0. \tag{4.11}$$

Величина m в выражении (4.5) называется критерием точности. Имеем ряд результатов измерений $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ и соответствующие им истинные погрешности $\Delta_1, \Delta_2, \Delta_3, \dots, \Delta_n$. Естественно, что каждая из погрешностей не может быть критерием точности, так как она характеризует только одно измерение. Критерий точности должен быть обобщенной характеристикой всех измерений. Среднее арифметическое значение из истинных погрешностей не может быть критерием точности, так как оно при большом числе измерений будет стремиться к нулю (свойство 4). Если взять среднее арифметическое значение абсолютных значений погрешностей ($\frac{\sum |\Delta_i|}{n}$), то увеличенная погрешность в одном из измерений будет распределена на число измерений и на критерии точности существенно не окажет влияния. Например, имеем ряд погрешностей: -1.3, +1.6, -1.5, +5.0, -1.8, +1.3, -1.1, -1.2, +1.2, среднее значение из абсолютных значений данного ряда составило $16.0/9=1.78$, т.е. результат имеет тот же порядок, что и все приведенные погрешности за исключением величины 3.0. Повы-

шенная погрешность одного результата должным образом не проявилась в полученном критерии.

Критерий точности должен удовлетворять следующим требованиям:

критерий должен характеризовать весь ряд измерений;

критерий не должен зависеть от знаков погрешностей измерений;

увеличение абсолютного значения хотя бы одной погрешности в ряде результатов должно быть отражено в критерии. Таким свойствам удовлетворяет среднее квадратическое значение погрешностей измерений

$$m = \pm \sqrt{\frac{\sum \Delta_i^2}{n}}. \quad (4.12)$$

Подставив в выражение (4.12) приведенные выше погрешности получим

$$\sqrt{\frac{\sum (1.3^2 + 1.6^2 + 1.5^2 + 5.0^2 + 1.8^2 + 1.3^2 + 1.1^2 + 1.2^2 + 1.2^2)}{9}} = \sqrt{\frac{40.52}{9}} = \pm 2.12.$$

Таким образом, увеличение погрешности одного измерения повлияли на величину средней квадратической погрешности, т.е. рассмотренный критерий оказался чувствительным к изменениям результатов даже одного измерения.

Среднюю квадратическую погрешность измерений можно вычислить по следующим формулам:

$$m = \pm \sqrt{\frac{\sum \Delta_i^2}{n}} - \text{формула Гаусса}; \quad (4.13)$$

$$m = \pm \sqrt{\frac{\sum v_i^2}{n-1}} - \text{формула Бесселя}; \quad (4.14)$$

$$m = \pm \sqrt{\frac{\sum d_i^2}{2n-2}} - \text{формула по разностям двойных измерений}, \quad (4.15)$$

где Δ_i - истинная погрешность;

v_i - вероятнейшая погрешность;

d_i - разность двойных измерений.

Таким образом, в выражении (4.5) критерий точности m можно определить по формулам (4.13), (4.14), (4.15).

Степень доверия представим в виде диаметра мишени, в которую необходимо попасть.

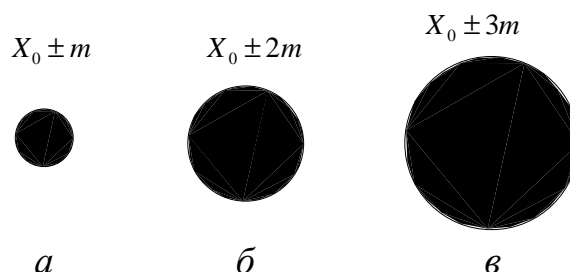


Рис. 4.4 - Степень доверия к результату измерений

Если мишень маленькая (диаметр равен $x_0 \pm 1m$), рис. 4.4а, то из 100 испытаний (в данном случае измерений) 77 результатов попадут в мишень, т. е.

будут в пределе $x_0 \pm 1m$. Расширив мишень до диаметра $x_0 \pm 2m$, рис. 4.4б, получим для 100 измерений 95 попаданий, следовательно, вероятность будет равна 0.95. Сделав мишень диаметром $x_0 \pm 3m$ и увеличив число измерений, получим число верных попаданий равное 997, рис. 4.4в, вероятность 0.997. Следовательно, чем больше коэффициент степени доверия t , тем больше вероятность результата измерений. Например, если результат измерений расстояния в 1км представить как 1 ± 0.5 км, то практически с вероятностью 1 можно сказать что данный результат верен, так как допустить погрешность в измерениях в 0.5км на расстоянии 1км очень трудно. Если этот же результат записать как 1 ± 0.010 км, то вероятность данного результата менее 1, так как для его получения необходимо выполнить измерения с погрешностью не превышающей 10м на 1 км.

В строительной практике для общетехнических измерений коэффициент степени доверия принимается $t=2$, для высокоточных - $t=3$.

Величина tm - называется **предельной погрешностью** измерений и служит критерием для отбраковки результатов измерений, имеющих грубые погрешности.

Коэффициенты t степени доверия могут быть определены в зависимости от числа измерений по табл. 4.1.

Таблица 4.1 - Коэффициенты степени доверия для разного числа измерений при разных вероятностях

Вероятность	0.95	0.9545	0.99	0.9973
Число измерений	Коэффициент степени доверия t			
2	4.30	4.52	9.92	18.5
3	3.18	3.31	5.84	9.20
4	2.78	2.87	4.61	6.63
5	2.57	2.65	4.04	5.50
6	2.45	2.52	3.71	4.91
7	2.31	2.36	3.36	4.28
10	2.23	2.28	3.17	3.88
20	2.08	2.13	2.85	3.42
		2.00		3.00

Рассмотрим пример обработки результатов линейных измерений. Выполнено 10 измерений рулеткой одного отрезка, результаты измерений приведены в табл.4.2.

Таблица 4.2 - Обработка результатов линейных измерений

Число измерений, n	Результат измерений x_i , м	Вероятнейшая погрешность v_i , мм	v_i^2
1	27.575	4	16
2	27.570	1	1
3	27.569	-2	4

Продолжение таблицы 4.2

Число измерений, n	Результат измерений $x_i, м$	Вероятнейшая погрешность $v_i, мм$	v_i^2
4	27.572	1	1
5	27.568	-3	9
6	27.570	1	1
7	27.572	1	1
8	27.569	-2	4
9	27.571	0	0
10	27.570	-1	1
Σ	275.709	0	39

$$x_0 = \frac{\Sigma x_i}{n} = \frac{275.709}{10} = 27.571 \text{ м}, \quad v_i = x_i - x_0,$$

контроль $\Sigma x_i = 0$. $m = \pm \sqrt{\frac{\Sigma v_i^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{39}{9}} = \pm 2.08 \text{ мм.}$

Приняв вероятность $P=0.997$, определим по табл. 4.2 коэффициент степени доверия, который для $n = 10$ будет равен $t = 3.88$, запишем окончательный результат измерений

$$27.571 \pm 3.88 \times 0.00208 = 27.571 \pm 0.008 \text{ м.}$$

Иногда интересно знать точность определения средней квадратической погрешности, она может быть определена по формуле

$$m_m = \frac{m}{\sqrt{2n}}, \tag{4.16}$$

При оценке точности некоторых измерений удобно пользоваться не абсолютными значениями погрешностей, а относительными. Например, измерены два отрезка, один длиной 100см с точностью $\pm 1\text{см}$ и второй - длиной 1 км с точностью 1м . Какое из этих измерений точнее? Для объективной оценки таких измерений применяются относительные погрешности

$$\frac{\Delta}{X} \text{ или } \frac{m}{x_0}. \tag{4.17}$$

подставив результаты измерений в выражение (4.17) получим,

$$\text{в I случае } \frac{1}{100/1} = \frac{1}{100};$$

$$\text{во II случае } \frac{1}{1000/1} = \frac{1}{1000},$$

следовательно, измерение II точнее, так как его погрешность составляет $1/1000$ измеренной длины (0.001), в то время точность измерения I - $1/100$ (0.01).

Очень часто измерения выполняются парами, например, прямое и обратное. В этом случае имеется возможность вычислить среднюю квадратическую погрешность по разностям двойных измерений

$$m = \pm \sqrt{\frac{\Sigma d^2}{2n-2}}, \tag{4.18}$$

где d - разность двойных измерений; n - число пар измерений.

Рассматривая результаты измерений, можно заметить, что не все измерения выполняются с одинаковой точностью. Например, одна группа углов измерялась тремя приемами, другая - шестью. Измерения, выполненные с одинаковой точностью, называются **равноточные**, а измерения, выполненные с разной точностью называются **неравноточные**. Для оценки точности неравноточных измерений вводится понятие **веса** измерений, чем больше точность измерений, тем больше и вес, следовательно,

$$P = \frac{C}{m^2}, \quad (4.19)$$

где C - коэффициент пропорциональности; m - средняя квадратическая погрешность.

В качестве исходных значений для вычисления веса измерений могут приниматься средние квадратические погрешности измерений, число станций или углов, число приемов и другие показатели, влияющие на точность измерений.

Вероятнейшее значение измеренной величины неравноточных измерений определяется ее весовым средним \bar{x}

$$\bar{x} = \frac{x_1 P_1 + x_2 P_2 + x_3 P_3 + \dots + x_n P_n}{\sum P}, \quad (4.20)$$

где x_i - результат измерений; P_i - вес измерений.

Для примера рассмотрим обработку системы нивелирных ходов, схема которых приведена на рис. 4.3.

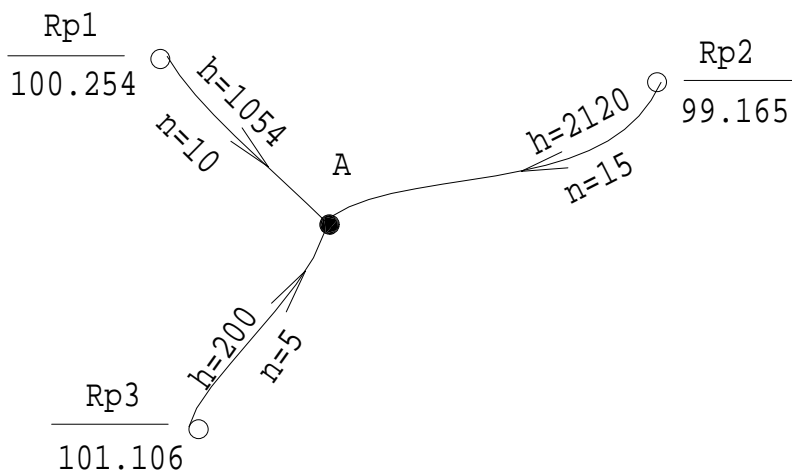


Рис 4.3 - Определение весового среднего

Необходимо вычислить отметку точки A . В данном примере в качестве веса используется величина обратно пропорциональная числу нивелирных станций

$$P = \frac{c}{n}, \quad (4.21)$$

где n - число нивелирных станций;
 c - коэффициент пропорциональности.

$$P_1 = \frac{10}{10} = 1;$$

$$P_2 = \frac{10}{15} = 0.67;$$

$$P_3 = \frac{10}{5} = 2,$$

исходя из формулы (4.20) получим

$$H_A = \frac{101.308 \times 1 + 101.285 \times 0.67 + 101.302 \times 2}{3.67} = 101.303 \text{ м.}$$

Большинство измерений представляют собой комплекс элементарных действий, являющихся источником погрешностей. Суммарная погрешность при нескольких составляющих погрешностей будет равна

$$m^2 = \left(\frac{\partial f}{\partial x_1} \right)^2 m_1^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial x_2} \right)^2 m_2^2 + \dots + \left(\frac{\partial f}{\partial x_n} \right)^2 m_n^2. \quad (4.22)$$

Выражение (4.22) позволяет получить формулы вычисления средней квадратической погрешности функции измеренных величин:

$$1) z = kx \quad - \quad m_z = km_x;$$

$$2) z = x \pm y \quad - \quad m_z = \pm \sqrt{m_x^2 + m_y^2}; \quad (4.23)$$

$$3) z = x \sin y \quad - \quad m_z = \pm \sqrt{(m_x \sin y)^2 + (m_y x \sin y / \rho)^2}.$$

Например, необходимо вычислить погрешность определения приращений координат, если расстояние S измерено с погрешностью m_s , а угловые измерения выполнены с точностью m_α . Приращения координат вычисляются по формуле

$$\Delta x = S \cos \alpha.$$

Возьмем частные производные по S и α , получим

$$m_{\Delta x}^2 = (m_s \cos \alpha)^2 + \left[\frac{(\sin \alpha) m_\alpha S}{\rho} \right]^2, \quad (4.24)$$

где m_s – погрешность линейных измерений;

m_α – погрешность угловых измерений;

α – дирекционный угол;

S – расстояние;

ρ – число угловых величин в одном радиане.

4.3 Основные виды геодезических измерений

В геодезии применяются следующие измерения:

измерение горизонтальных и вертикальных углов – угловые измерения;

измерение расстояний – линейные измерения;

измерение превышений – нивелирование.

4.4 Сущность измерений горизонтальных углов

Угловые измерения бывают горизонтальные и вертикальные.

На местности имеется два направления AB и AC . Необходимо определить угол β между этими направлениями, рис. 4.4.

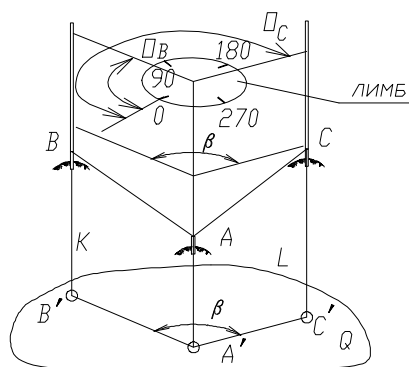


Рис. 4.4 - Сущность угловых измерений

Так как в геодезии все линии проектируются на плоскость, то горизонтальным углом β будет угол $\angle B'A'C'$, образованный, проекциями линий AB и BC на плоскость Q .

Для измерения данного угла необходима мера, которой будет круг с градусными делениями, называемый *лимбом*. Лимб горизонтально устанавливается над вершиной угла (точка A). Линия пересечения вертикальной плоскости K с лимбом образуют отсчет O_B , а линия пересечения плоскости L - даст отсчет O_C . Разность данных отсчетов будет равна измеряемому горизонтальному углу

$$\beta = O_C - O_B. \quad (4.25)$$

Таким образом, горизонтальный угол между двумя направлениями AB и AC будет двухгранный угол, образованный двумя вертикальными плоскостями, проходящими через данные направления.

4.5 Сущность измерений вертикальных углов теодолитом

Вертикальный угол, рис. 4.5 это угол в вертикальной плоскости, образованный горизонтальной плоскостью $H-H'$ и заданным направлением. Горизонтальная плоскость формируется цилиндрическим уровнем. Мерой измерений вертикальных углов является лимб вертикального круга. Вертикальный угол v равен

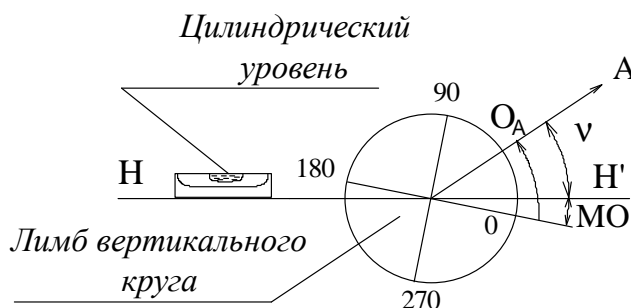


Рис. 4.5 - Сущность измерения вертикальных углов

$$v = O_A - MO, \quad (4.26)$$

где O_A - отсчет по лимбу вертикального круга;

МО - **место нуля** вертикального круга (угол между нулевым диаметром лимба и линией горизонта при горизонтальном положении линии визирования).

Для измерения горизонтальных и вертикальных углов на местности применяется специальный геодезический прибор - **теодолит**.

4.6 Сущность линейных измерений

Длина линии *D*, рис. 4.6, соединяющей две точки по кратчайшему расстоянию, называется **дальностью**. В вычислениях используется **горизонтальная проекция** измеряемой линии *AB*, линия *A'B'*, значение которой вычисляется по формуле

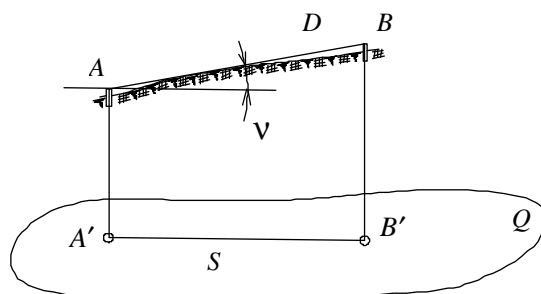


Рис. 4.6 Сущность линейных измерений

$$S = D \cos \nu, \quad (4.27)$$

где *D* - дальность, результат измерения по земной поверхности;
ν - угол наклона линии.

Расстояния на местности измеряются механическими, оптическими и электронными приборами линейных измерений.

К механическим приборам относятся: землемерные ленты, мерные проволоки, рулетки, длинномеры и пр. К оптическим приборам - оптические дальномеры. В настоящее время наибольшее распространение получили электронные радио и светодальномеры.

4.7 Сущность нивелирования

Нивелирование - это измерение превышений. Имеем на местности две точки *A* и *B*, рис. 4.7.

Если известна отметка точки *A* - *H_A*, то отметка точки *B* будет равна

$$H_B = H_A + h_{AB}, \quad (4.28)$$

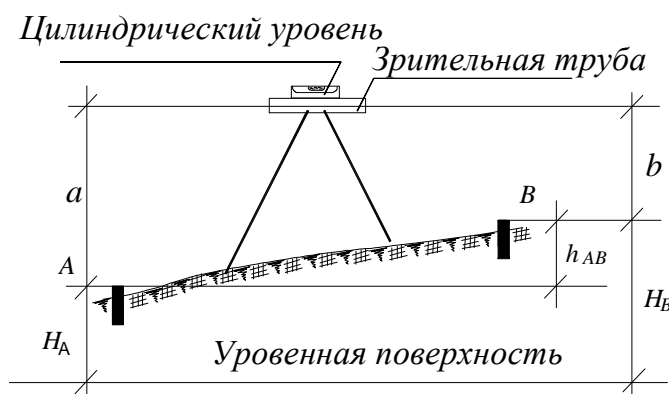


Рис. 4.7 - Сущность геометрического нивелирования

где h_{AB} - превышение точки B над точкой A .

Следовательно, для определения отметки точки B необходимо знать отметку исходной точки A и превышение между этими точками. Превышение h_{AB} может быть измерено при помощи зрительной трубы и совмещенного с ней цилиндрического уровня, формирующего горизонтальную линию визирования

$$h = a - b, \quad (4.29)$$

где a и b - соответственно, расстояния от точек A и B до горизонтальной линии визирования.

Данные расстояния измеряются специальной линейкой, называемой в геодезии **нивелирной рейкой**. Величины a и b будут отсчетами по рейкам, если их нулевые отсчеты совпадают с точками A и B .

Способ нивелирования, при котором превышение определяется относительно горизонтального луча, называется **геометрическим нивелированием**, а прибор для измерения превышений - **нивелир**.

Способ нивелирования, при котором превышение определяется при помощи наклонной линии визирования, называется **тригонометрическим нивелированием**.

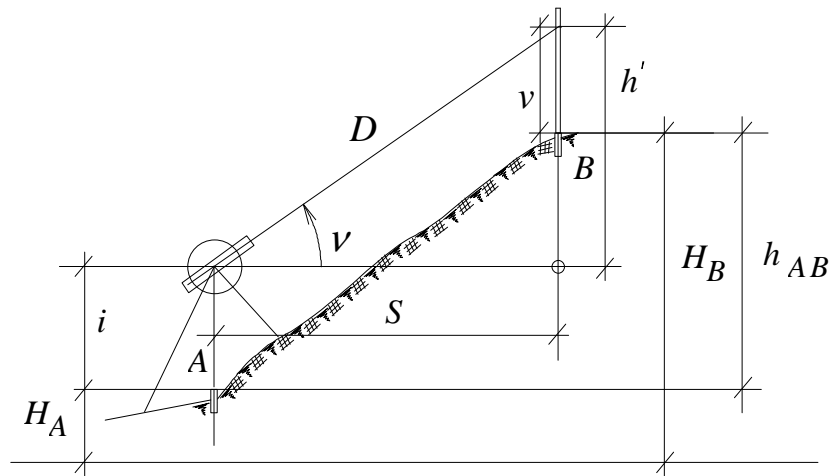


Рис. 4.8 - Сущность тригонометрического нивелирования

Согласно рис. 4.8 отметка H_B точки B равна

$$H_B = H_A + i + h' - v, \quad (4.30)$$

где H_A - отметка точки A ;

i - высота инструмента;

v - высота визирования;

$h' = S \operatorname{tg} \nu$;

ν - угол наклона;

S - горизонтальная проекция расстояния, равная $S = D \cos \nu$.

Превышение h_{AB} можно получить из формулы:

$$h = S \operatorname{tg} \nu + i - v \quad (4.31)$$

Тригонометрическое нивелирование выполняется теодолитом.

4.8 Сущность топографических съемок

Любой участок земной поверхности можно представить как совокупность расположенных на нем объектов. Положение и размер каждого объекта определяется координатами его характерных точек, рис. 4.9.

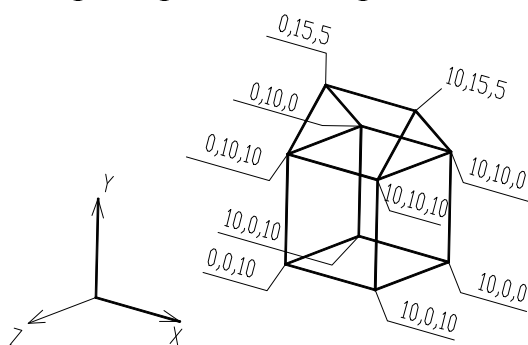


Рис. 4.9 - Объемное изображение объекта

Чтобы получить цифровую модель участка земной поверхности, пригодную для составления топографического материала, необходимо определить эти координаты.

Топографической съемкой называется определение координат характерных точек элементов ситуации и рельефа для получения цифровой модели снимаемого объекта.

Виды топографических съемок определяются способами определения координат. Наиболее распространенными являются следующие виды топографических съемок:

- 1) надземная фототопографическая съемка;
- 2) наземная фотоаэрометрическая и телевизионная съемка;
- 3) наземная инструментальная съемка;
- 4) съемка при помощи приборов спутникового определения местоположения объектов.

Определить координаты характерных точек ситуации и рельефа будет возможно только при условии, что в районе съемки имеются закрепленные точки с заранее определенными координатами и высотами, **точки планово-высотного обоснования**.

Получение топографических материалов можно разделить на три самостоятельных процесса:

- 1) создание съемочного планово-высотного обоснования;
- 2) съемка;
- 3) составление топографических материалов.

4.9 Геодезические приборы

В современной геодезической практике применяются: приборы угловых и линейных измерений, нивелиры, электронные тахеометры и другие приборы. На рис. 4.10 показаны наиболее распространенные из них.



Теодолит 4Т30П



3Н-5Л



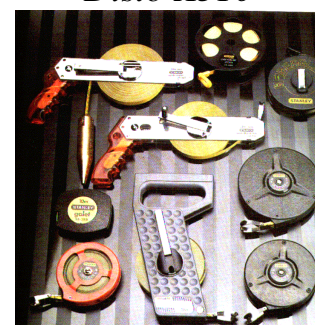
Лазерная рулетка Leica Disto X310



Тахеометр –SOKKIA NET05X



Система для спутникового определения местоположения



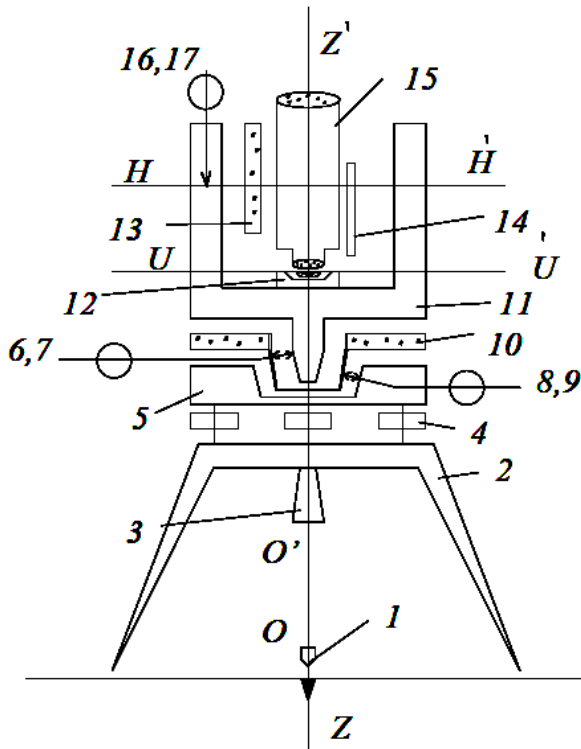
Рулетки

Рис. 4.10 - Геодезические приборы

5 УГЛОВЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ

5.1 Устройство теодолита

Теодолит - оптический геодезический прибор, предназначенный для измерений горизонтальных и вертикальных углов, расстояний и магнитного азимута. Схема теодолита приведена на рис. 5.1.



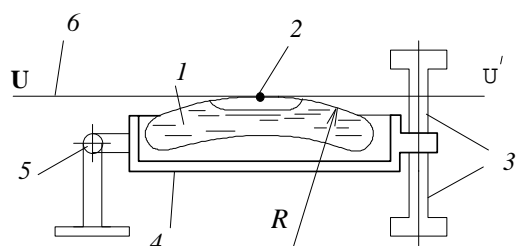
На рис. 5.1 цифрами обозначены: 1 – отвес; 2 – штатив; 3 – становой винт; 4 – подъемные винты; 5 – трегерная подставка. 6, 7 – закрепительный и наводящий винты алидады; 8, 9 – закрепительный и наводящий винты лимба; 10 – лимб горизонтального круга; 11 – алидада; 12 – цилиндрический уровень; 13 – лимб вертикального круга; 14 – отсчетное устройство; 15 – зрительная труба. 16, 17 – закрепительный и наводящий винты трубы.

Рис. 5.1 - Схема теодолита

На штативе 1, при помощи станкового винта 3 закрепляется трегерная подставка 5 с подъемными винтами 4. Теодолит центрируется над точкой при помощи отвеса 1. Во втулке подставки 5 помещается лимб 10, представляющий собой стеклянный круг с выгравированными на нем делениями. Во втулке лимба 10 помещается алидада 11, на горизонтальной оси NN' которой закреплена зрительная труба 15. Для измерения вертикальных углов теодолит оснащен лимбом вертикального круга 13. Отсчеты по лимбам берутся при помощи отсчетного микроскопа 14. Лимб 10 горизонтального круга соединяется с трегерной подставкой при помощи закрепительного винта лимба 8, и с алидадной частью лимба при помощи закрепительного винта алидады 6. Наведение трубы теодолита на объект осуществляется наводящими винтами лимба 9, алидады 7, трубы, 17. Для горизонтирования лимба горизонтального круга используется цилиндрический уровень 12, конструкция которого приведена на рис. 5.2.

В цилиндрической обойме 4 размещается ампула 1, внутренняя поверхность которой представляет собой дугобразную поверхность с радиусом R . Верхняя точка 2 этой поверхности называется **нуль-пунктом**. Касательная к внутренней поверхности ампулы в нуль-пункте называется **осью уровня** (ось UU'). Положение оси уровня **регулируется** при помощи **юстировочных винтов** 3 уровня. Корпус уровня крепится к прибору на шарнире 5.

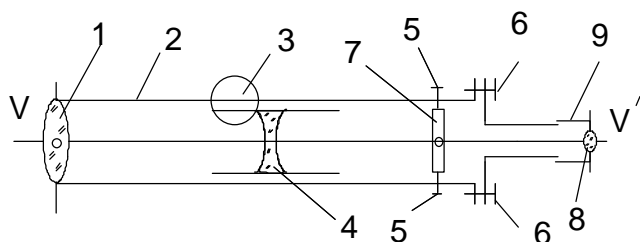
Наведение теодолита на объект осуществляется при помощи зрительной трубы, рис. 4.13. В цилиндрическом корпусе 2 установлены объектив 1 и окуляр 8. Окуляр закреплен на корпусе при помощи монтажных винтов 6. Визирный луч от окуляра к объективу проходит диафрагму 7, закрепленную на корпусе юстировочными винтами 5. Фокусировка трубы выполняется фокусирующей линзой 4, перемещение которой осуществляется специальной ручкой, называемой **кремальерой** 3.



1 - ампула; 2 - нуль-пункт; 3- юстировочные винты уровня; 4 - корпус уровня; 5 - шарнир; uu' - ось уровня, касательная к внутренней поверхности ампулы в точке нуль-пункта

Рис. 5.2 - Цилиндрический уровень

Мнимая линия, соединяющая оптический центр объектива и геометрический центр диафрагмы называется **визирной осью** VV' . Диафрагма представляет собой металлическое кольцо, рис. 5.4, со стеклянной вставкой с выгравированными линиями сетки. Так как диафрагма закрепляется в корпусе трубы при помощи юстировочных винтов, следовательно, положение визирной оси **регулируется**.

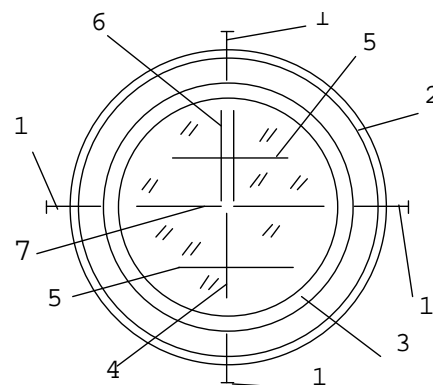


1 - объектив; 2 - корпус; 3 - кремальера; 4 - фокусирующая линза; 5 - юстировочные винты сетки нитей; 6 - монтажные винты окуляра; 7 - диафрагма; 8 - окуляр; 9 - фокусирующее кольцо окуляра

Рис. 5.3 - Зрительная труба

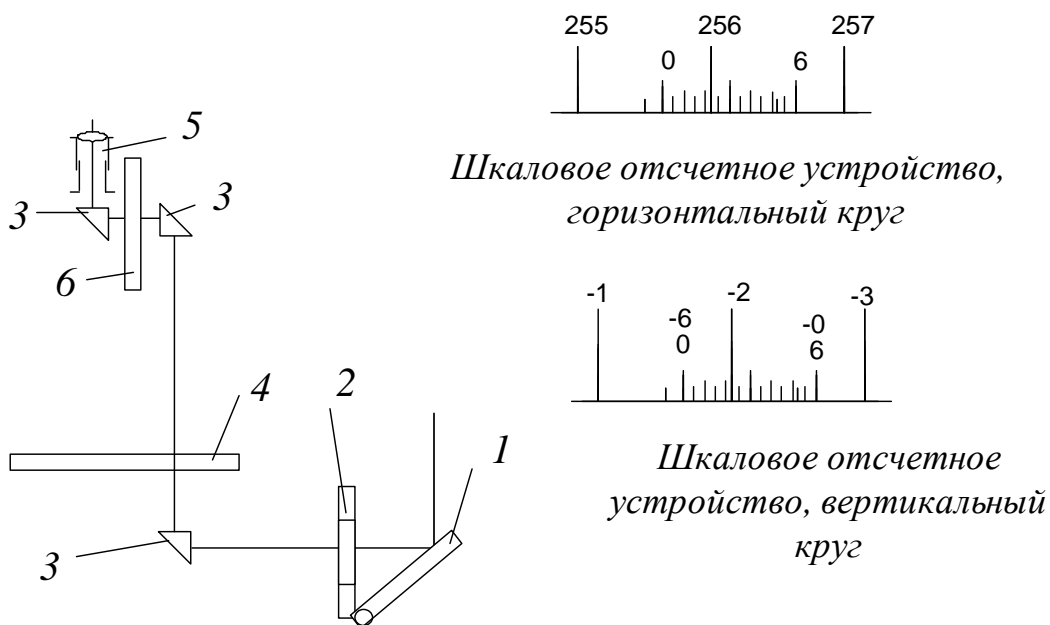
Для фокусировки сетки нитей используется фокусирующее кольцо 9, рис. 5.3.

Отсчетные устройства современных теодолитов представляют собой сложную оптическую систему, рис. 5.5, обеспечивающую передачу изображения делений лимбов в отсчетный микроскоп.



1 - юстировочные винты сетки. 2 - корпус зрительной трубы. 3 - диафрагма. 4 - вертикальная нить сетки. 5 - дальномерные нити. 6 - биссектр сетки нитей. 7 - горизонтальная нить

Рис. 5.4 - Сетка нитей



Отсчет по шкаловому отсчетному устройству горизонтального круга равен $256^{\circ} 22'$.

Отсчет по шкаловому отсчетному устройству вертикального круга равен $-2^{\circ} 38'$.

Отсчет по штриховому отсчетному устройству равен $255^{\circ} 34'$.

Рис. 5.5 - Отсчетные устройства

Общий вид теодолита Т30 приведен на рис. 5.6.

5.2 Установка теодолита в рабочее положение

Установка теодолита в рабочее положение осуществляется в такой последовательности.

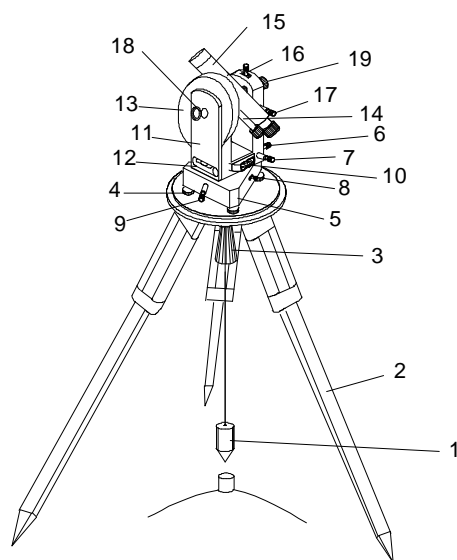
1) открепляются закрепительные винты ножек штатива и выдвигаются ножки таким образом, чтобы головка штатива была на уровне плеч наблюдателя;

2) устанавливается теодолит на штатив;

3) приводятся все элементы управления теодолитом в начальное состояние, т.е., все наводящие и подъемные винты устанавливаются в среднее положение, закрепительный винт лимба закрепляется, остальные закрепительные винты должны быть откреплены, резкость трубы настраивается на среднюю дальность (порядка 100м), устанавливается резкость сетки нитей и отсчетов;

4) при помощи отвеса центрируется теодолит над точкой, которое осуществляется в два этапа; на первом этапе приблизительно совмещается центр отвеса с

центром точки, перемещая штатив, окончательное центрирование осуществляется путем перемещения теодолита по головке штатива, предварительно при этом ослабив становой винт;



1 - отвес; 2- штатив; 3 - становой винт; 4 - подъемные винты; 5 - трегерная подставка; 6 – 7 - закрепительный и наводящий винты алидады; 8, 9 - закрепительные и наводящие винты лимба; 10 - лимб горизонтального круга; 11 - алидада; 12 - цилиндрический уровень; 13 -лимб вертикального круга; 14 - ;отсчетное устройство; 15 - зрительная труба; 16,17 - закрепительный и наводящий винты трубы; 18 - окно отсчетного устройства; 19 - кремальера

Рис. 5.6 - Общий вид теодолита Т30

5) разворачивается теодолит так, чтобы цилиндрический уровень был параллелен двум подъемным винтам, рис.5.7а, вращая эти винты в противоположном направлении, выводится пузырек уровня в нуль-пункт;

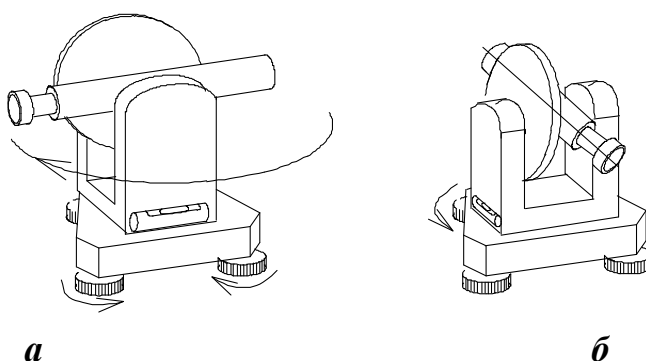


Рис. 5.7-Горизонтирование теодолита

б) разворачивается труба теодолита на 90°, рис. 5.7б, и третьим подъемным винтом выводится пузырек уровня в нуль-пункт;

7) для контроля разворачивается труба теодолита еще на 180° и проверяется положение пузырька уровня.

5.3 Поверки теодолита

Поверки теодолита это комплекс действий, направленных на обеспечение механических, оптических и геометрических условий теодолита.

Поверки проводятся в два этапа. На первом этапе контролируется условие и если условие не выполняется, то проводится второй этап - юстировка.

К механическим условиям относятся:

- 1) все механические узлы должны быть работоспособны;
- 2) подвижные узлы должны вращаться свободно без задержек и скрипов;
- 3) теодолит, установленный на штативе, должен стоять жестко без люфтов.

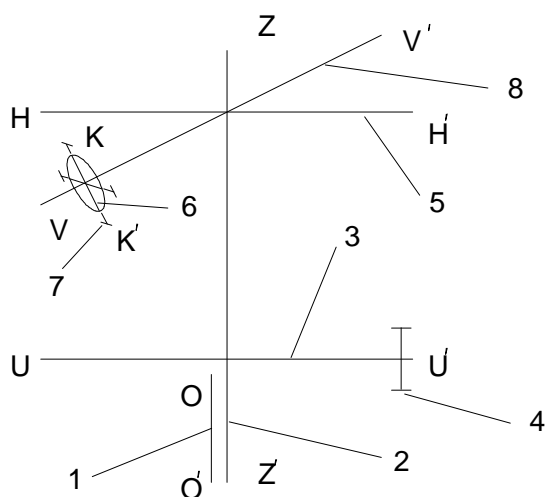
Контроль механических условий осуществляется методом осмотра и при необходимости теодолит направляется в ремонт.

Оптические условия это качество изображений объекта, сетки нитей и отсчетов:

- 1) изображение объектов, сетки нитей и отсчетов должны быть резкими;
- 2) фокусировка трубы должна обеспечивать фокусирование объектов в пределах диапазона, установленного техническим паспортом прибора;
- 3) освещенность отсчетов должна быть равномерной.

Оптические условия, также как и механические, проверяются методом осмотра. Самостоятельная регулировка оптики категорически запрещается, следовательно, при обнаружении недостатков в оптике приборов они должны быть направлены в ремонтную мастерскую.

Геометрические условия, рис. 5.8, определяют соотношение основных геометрических осей теодолита:



1 - ось OO' центрирующего устройства; 2 - вертикальная ось ZZ' вращения теодолита; 3 - ось UU' цилиндрического уровня; 4 - юстировочные винты уровня; 5 - горизонтальная ось HH' вращения трубы; 6 - вертикальная нить сетки нитей; 7 - юстировочные винты сетки нитей; 8 - визирная ось VV' зрительной трубы

Рис. 5.8 - Схема основных осей теодолита

1) ось OO' центрирующего устройства должна совпадать с вертикальной осью ZZ' вращения теодолита (поверка центрирующего устройства);

2) ось UU' цилиндрического уровня должна быть перпендикулярной вертикальной оси ZZ' вращения теодолита (поверка цилиндрического уровня);

3) вертикальная ось ZZ' вращения теодолита должна быть перпендикулярна горизонтальной оси HH' вращения трубы (поверка равенства подставок);

4) визирная ось VV' зрительной трубы должна быть перпендикулярна горизонтальной оси вращения трубы HH' ; (поверка коллимационной погрешности);

5) вертикальная нить KK' сетки нитей должна лежать в одной плоскости с визирной осью VV' зрительной трубы (поверка сетки нитей);

6) место нуля вертикального круга должно равняться нулю (поверка места нуля вертикального круга).

Поверка цилиндрического уровня (условие 2)

Теодолит устанавливается в рабочее положение, разворачивается труба таким образом, чтобы уровень был параллелен двум подъемным винтам, вращая эти винты, выводится пузырек уровня в нуль-пункт. Разворачивается труба на 90° и вращением третьим подъемным винтом выводится также пузырек уровня в нуль-пункт. Развернув теодолит еще на 90° , контролируется положение пузырька уровня. Условие считается выполненным, если величина смещения пузырька уровня с нуль-пункта не превысила 1-2 деления, в противном случае делается юстировка.

Юстировка уровня может быть выполнена двумя способами. Если величина смещения пузырька уровня не превысила 2-3 деления то, вращая юстировочные винты уровня, выводится пузырек уровня на половину величины смещения. При значительных отклонениях пузырька уровня от нуль-пункта в процессе поверок применяется второй способ юстировки. Труба устанавливается так, чтобы уровень был параллелен двум подъемным винтам и этими винтами выводится пузырек уровня в нуль-пункт. Разворачивается труба на 120° , т.е. уровень будет параллелен двум другим винтам, и также выводится пузырек уровня в нуль-пункт, вращая при этом только третьим подъемным винтом. После разворота трубы еще на 120° юстировочными винтами уровня выводится пузырек в нуль-пункт.

Поверка сетки нитей (условие 5)

Вертикальная нить сетки нитей должна лежать в коллимационной плоскости.

Нарушение данного условия приводит к погрешностям в измерениях углов, если при выполнении наведения на объект труба наводится не на центр сетки нитей, а на верхнюю часть вертикальной нити сетки, рис. 5.9.

Порядок выполнения поверки следующий.

Подвешивается отвес, рис. 5.10, на расстоянии 6-8м от теодолита и наводится труба теодолита на нить отвеса. Условие считается выполненным, если вертикальная нить сетки нитей совпадет с нитью отвеса. В противном случае необходимо выполнить юстировку. Для этого ослабляются монтажные винты 6

окуляра, рис. 5.3, и он разворачивается вокруг своей оси до полного совпадения нитей отвеса и сетки.

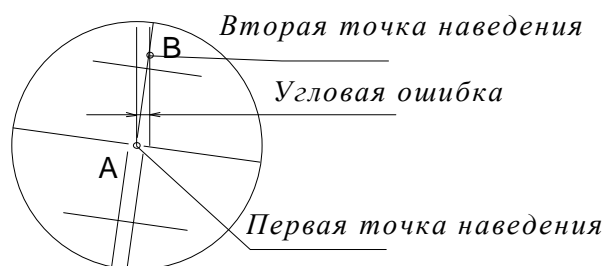


Рис. 5.9 - Погрешность за счет неправильной установки сетки нитей

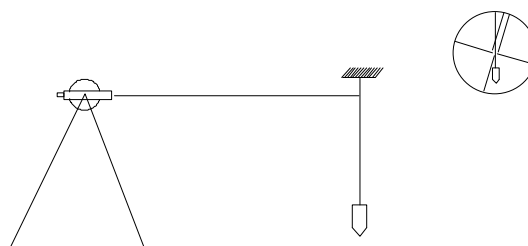


Рис.5.10 - Проверка сетки нитей

Проверка равенства подставок (условие 3)

Горизонтальная ось вращения трубы HH' должна быть перпендикулярна вертикальной оси вращения теодолита ZZ' .

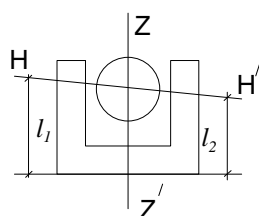


Рис. 5.11 - Равенство подставок

Если горизонтальная ось HH' трубы не перпендикулярна вертикальной оси ZZ' вращения теодолита, рис. 5.11, то труба будет вращаться в наклонной плоскости, следовательно, проекция визирной оси будет наклонна. Нарушение этого условия особенно сильно

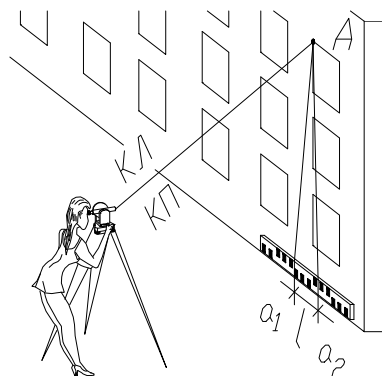


Рис. 5.12 - Проверка равенства подставок

сказывается при выполнении вертикального проектирования, например, при монтаже колонн.

Теодолит устанавливается на расстоянии 30-40м от высокой стены, рис. 5.12, в нижней части которой горизонтально устанавливается рейка. При двух положениях вертикального круга ($КЛ$ и $КП$) наводится труба теодолита на четкую хорошо видимую точку A , расположенную в верхней части стены. Опуская трубу, точка проектируется вниз, и производится отсчитывание по рейке, отсчеты a при $КЛ$ и a' при $КП$.

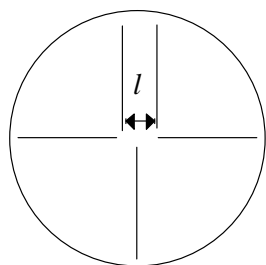


Рис. 5.13 - Условие проверки равенства подставок

Условие считается выполненным, если длина отрезка l , полученного как разность отсчетов $a - a'$, видимого в трубу (рис. 5.13), не превышает ширины биссектора сетки нитей.

Если условие не выполняется, теодолит необходимо направить в ремонтную мастерскую.

Проверка коллимационной погрешности (условие 4)

Визирная ось VV' трубы должна быть перпендикулярна горизонтальной оси вращения трубы HH' . Если данное условие не выполняется, то при наведении трубы теодолита

на точку A , рис. 5.14, за счет неперпендикулярности оси вращения трубы и визирной оси, отсчет, получаемый по горизонтальному лимбу, не будет равен углу между нулевым диаметром лимба и визирной осью. Угол c между перпендикуляром к оси вращения трубы и визирной осью называется *коллимационной погрешностью*.

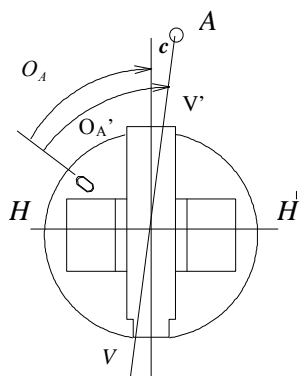


Рис. 5.14 - Коллимационная погрешность

Проверка выполняется в такой последовательности. Устанавливается теодолит, приводится в рабочее положение. Последовательно при двух положениях вертикального круга (*КЛ* и *КП*), наводится труба теодолита на удаленный объект с четко выраженным вертикальным контуром (точка A), производятся отсчеты по горизонтальному кругу $O^{ЛЕВ}$ и $O^{ПРАВ}$, рис. 5.16.

Вычисляется коллимационная погрешность

$$c = \frac{O^{ЛЕВ} - O^{ПРАВ} \pm 180^\circ}{2}, \quad (5.1)$$

где $O^{ЛЕВ}, O^{ПРАВ}$ - отсчеты по горизонтальному кругу.

Условие считается выполненным, если величина коллимационной погрешности c не превышает двойной точности теодолита, т.е. $|c| < 2t$ (для теодолита типа *Т30* $t = 30''$). Если условие не выполнено, то выполняется юстировка, для чего вычисляется средний отчет O , равный:

$$O = \frac{O^{ЛЕВ} + O^{ПРАВ} \pm 180^\circ}{2}. \quad (5.2)$$

Устанавливается данный отсчет на лимбе горизонтального круга, при этом, центр сетки нитей не совпадает с точкой A . Немного ослабив верхний юстировочный винт сетки нитей, вращая горизонтальные юстировочные винты, совмещается центр сетки нитей и изображение точки A .

Проверка значения места нуля (МО) вертикального круга (условие б)

Место нуля вертикального круга должно быть постоянным и близким к нулю.

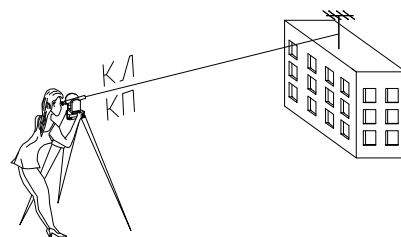


Рис. 5.16 - Проверка коллимационной погрешности

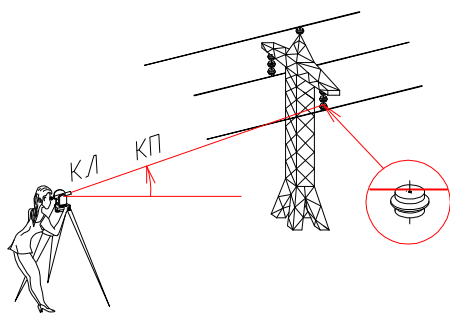


Рис. 5.17 - Проверка места нуля вертикального круга

Так как вертикальный угол отсчитывается от линии горизонта, определяемого осью цилиндрического уровня, то положение этой оси непосредственно влияет на точность измерений.

Теодолит устанавливается на штативе, приводится в рабочее положение.

Выбирается удаленная хорошо видимая точка (точка A) с четким горизонтальным контуром, рис. 5.17.

Наводится труба на точку A последовательно при двух положениях вертикального круга (*КЛ* и *КП*) и производится

отсчитывание по вертикальному кругу V^I, V^{II} .

При взятии отсчетов по вертикальному кругу необходимо контролировать положение уровня. Если пузырек уровня вышел с нуля-пункта, вращением подъемных винтов он выводится в нуль-пункт и корректируется наведение трубы.

Вычисляется значение место нуля

$$MO = \frac{V^I + V^{II}}{2}, \quad (5.3)$$

где V^I, V^{II} - отсчет по вертикальному кругу при круге лево и круге право.

Условие считается выполненным, если значения место нуля, определенные на различные объекты в пределах двойной точности инструмента (l') равны между собой. Желательно, чтобы значение место нуля было близким к нулю. Чтобы выполнить данное требование вычисляется «правильный» отчет, соответствующий отсчету на точку A при нулевом значении места нуля вертикального круга

$$V = \frac{V^I - V^{II}}{2}. \quad (5.4)$$

Вычисленный отсчет V , устанавливается на вертикальном круге, контролируя положение пузырька уровня, и, наблюдая объект наведения (точку A), вращением вертикальных винтов сетки нитей совмещается центр сетки нитей с точкой A .

Примечание. Формулы вычисления значений место нуля и вертикального круга зависят от индивидуальных особенностей теодолита. Их необходимо уточнять по инструкции по эксплуатации конкретного прибора.

Проверка центрирующего устройства (условие 1)

Ось центрирующего устройства должна совпадать с вертикальной осью вращения теодолита.

На расстоянии порядка 5 м от теодолита забивается колышек, рис. 5.18. Переведя трубу теодолита через зенит также на расстоянии 5 м, в коллимационной плоскости забивается второй колышек. Аналогично забиваются еще 4 колышка, предварительно разворачивая теодолит на 120° . Соединив противоположные колышки шпагатом, получим на земле проекцию вертикальной оси вращения теодолита. Условие считается выполненным, если отвес совпадает с перекрестиями шпагатов. Если условие не выполняется то, подгибая скобу крепления отвеса, совмещается центр отвеса с перекрестиями шпагатов.

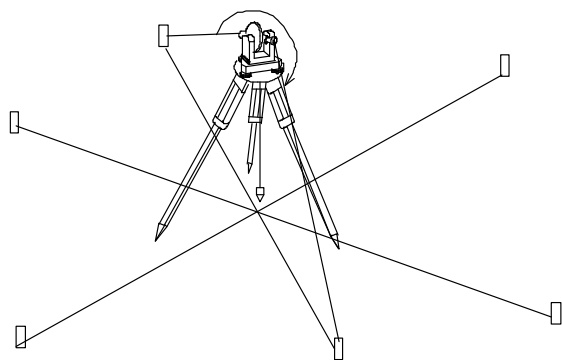


Рис. 5.18 - Проверка центрирующего устройства

5.4 Измерение горизонтальных углов

Существует несколько способов измерения горизонтальных углов, наиболее распространенные из них следующие:

- способ приемов;
- полярный способ.

Способ приемов применяется в работах технической точности. Измерения выполняются при двух положениях вертикального круга (два полуприема), причем каждый полуприем независим друг от друга, что обеспечивается изменением положения лимба при переходе с одного полуприема на другой на угол порядка, 90° , рис. 5.19.

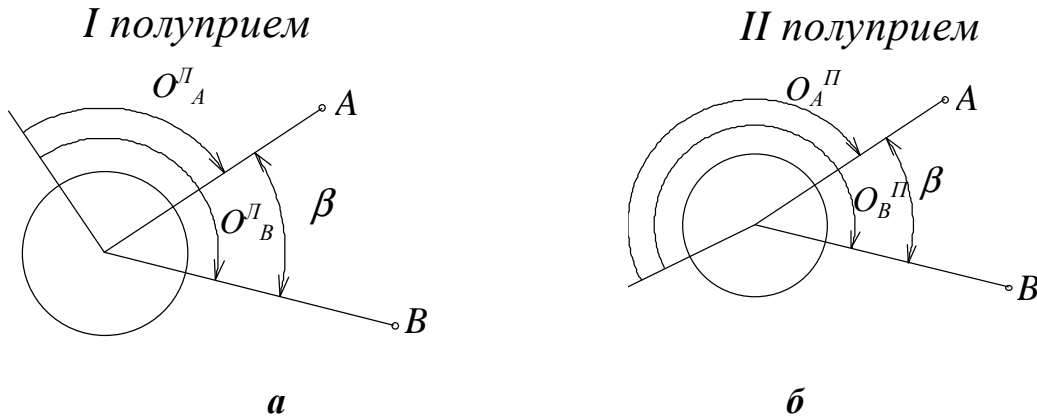


Рис. 5.19 - Способ приемов

При круге лево, рис. 5.19а, последовательно наводится труба на точки A и B и производится отсчетывание по горизонтальному кругу (отсчеты O_A^I и O_B^I). Вычисляется горизонтальный угол

$$\beta_I = O_B^I - O_A^I; \quad (5.5)$$

На этом первый полуприем закончен.

Открепляется лимб, и труба разворачивается на угол приблизительно равный 90° , затем лимб закрепляется. Труба переводится через зенит, и аналогичные измерения выполняются при круге право, рис. 5.19б, получая отсчеты O_A^{II} и O_B^{II} . Вычисляется второе значение горизонтального угла

$$\beta_{II} = O_B^{II} - O_A^{II}. \quad (5.6)$$

Контролируется качество измерения путем вычисления разности полученных углов и сравнения ее с допуском.

Допуск на разность углов, полученных в полуприемах для измерений технической точности, составляет $1'$

$$|\beta_I| - |\beta_{II}| \leq \pm 1', \quad (5.7)$$

Если данный допуск выдержан, вычисляется окончательное значение измеренного угла

$$\beta = \frac{\beta_I + \beta_{II}}{2}, \quad (5.8)$$

в противном случае повторяется один из полуприемов, причем повторные измерения выполняются при другой установке лимба.

Полярный способ измерения углов, рис. 5.20, применяется в основном при производстве топографических съемок, когда необходимо выполнить измерения полярных углов на большое количество направлений.

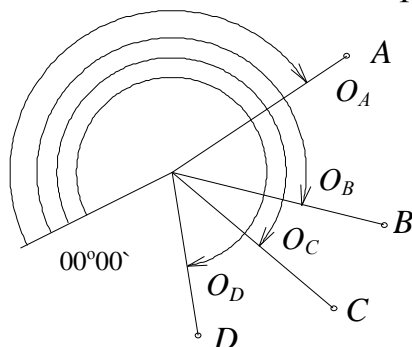


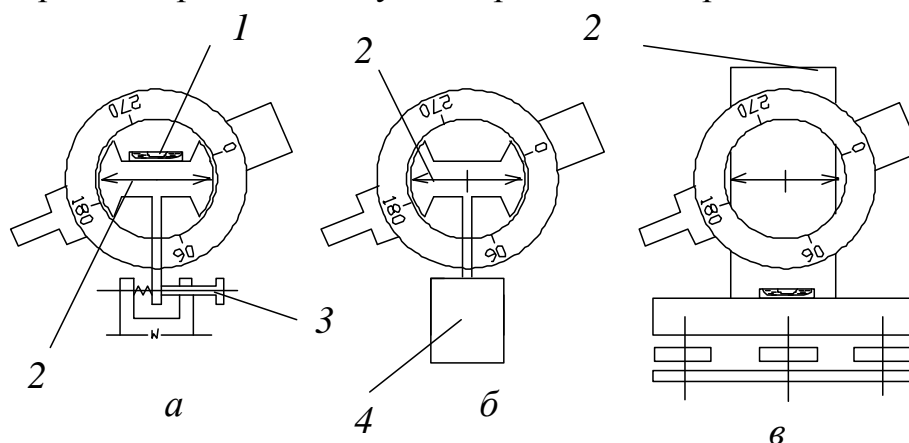
Рис. 5.20 - Полярный способ измерения углов

Нулевой отсчет лимба ориентируется на начальное направление. Затем труба теодолита последовательно наводится на все измеряемые точки и производится отсчитывание по горизонтальному кругу. Отсчеты на измеряемые направления будут равен измеряемым углам.. Измерения выполняются при одном круге теодолита.

5.4 Измерение вертикальных углов

Задача применяется при тригонометрическом нивелировании, при определении высоты сооружений и при выполнении топографических съемок.

При измерениях вертикальных углов следует обратить внимание, что в современных теодолитах вертикальный круг может иметь специальный цилиндрический уровень при алидаде вертикального круга, рис. 5.21а, компенсатор, рис. 5.21б, или в качестве уровня вертикального круга используется основной уровень лимба горизонтального круга, 5.21в. Схема узлов различной конструкции для измерений вертикальных углов приведены на рис. 5.21.



а - алидада с уровнем; б - алидада с компенсатором; в - алидада без уровня и компенсатора с единым уровнем лимба горизонтального круга;

1- уровень при алидаде вертикального круга; 2 - алидада вертикального круга;

3 - микрометрический винт алидады вертикального круга; 4 - компенсатор.

Рис. 5.21 - Конструкции узлов лимба вертикального круга

Кроме конструктивных особенностей лимбы вертикального круга имеют различную оцифровку, рис. 5.22.

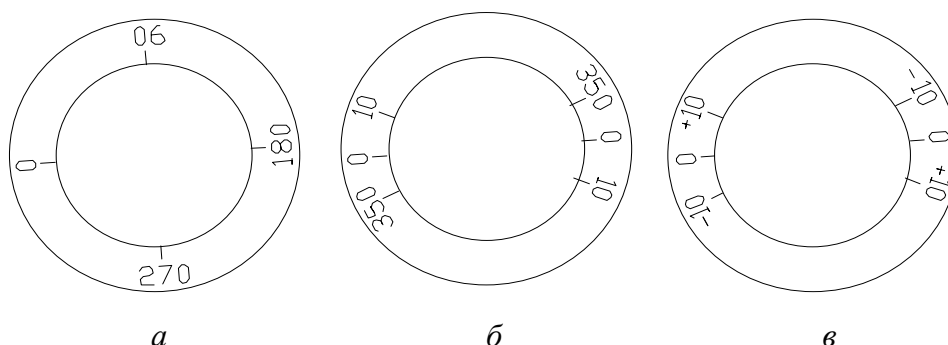


Рис. 5.22 - Схемы оцифровки лимбов вертикального круга

Независимо от конструкций теодолитов, оцифровка лимбов вертикального круга при положении теодолитов круг лево и углах наклона больше нуля выполнена от 0° до 90° .

Устанавливается теодолит на исходную точку и приводится в рабочее положение. При круге лево наводится труба теодолита на измеряемую точку и, контролируя положение уровня при алидаде вертикального круга или при его отсутствии при лимбе горизонтального, производится отсчетывание по вертикальному кругу, отсчет $V_{ЛЕВ}$.

Устанавливается труба теодолита в положение круг право и аналогично наводится труба теодолита на измеряемую точку, контролируя положение уровня при алидаде вертикального круга или при его отсутствии при лимбе горизонтального круга, производится отсчетывание по вертикальному кругу, отсчет $V_{ПРАВ}$.

Вычисляется значение место нуля вертикального круга

$$MO = \frac{V_{ЛЕВ} + V_{ПРАВ}}{2}. \quad (5.9)$$

Данная формула справедлива для лимбов, оцифрованных согласно рис. 5.18в. Для других типов лимбов (рис. 5.18а и 5.18б) вместо отсчетов при круге право, чтобы можно было воспользоваться формулой (5.10) необходимо использовать дополнения этих отсчетов к 180° для лимбов согласно рис. 4.28а и к 360° для лимбов согласно 4.28б. Контролируется значение место нуля, оно не должно отличаться более чем на $1-2'$ от значения, полученного при поверках теодолита. Вычисляется значение вертикального угла

$$\nu = V_{ЛЕВ} - MO = MO - V_{ПРАВ} = \frac{V_{ЛЕВ} - V_{ПРАВ}}{2}. \quad (5.10)$$

Так как измерения вертикальных углов бесконтрольные, необходимо их повторить, изменив при этом высоту инструмента.

Образец формы записей угловых измерений приведен в табл. 5.1 и 5.2.

Таблица 5.1 – Образец записи результатов измерения горизонтальных углов

Точка установки теодолита	Точка визирования	Отсчет по гориз. кругу, ° ′	Измеренный угол, ° ′	Средний угол, ° ′	Схема измерений
	2	30 23.5			
1 КЛ			85 17.5		
	3	115 41.0		85 17.8	
	2	117 54.0			
1 КП			85 18.0		
	3	203 12.0			

Таблица 5.2 – Образец записи результатов измерения вертикальных углов

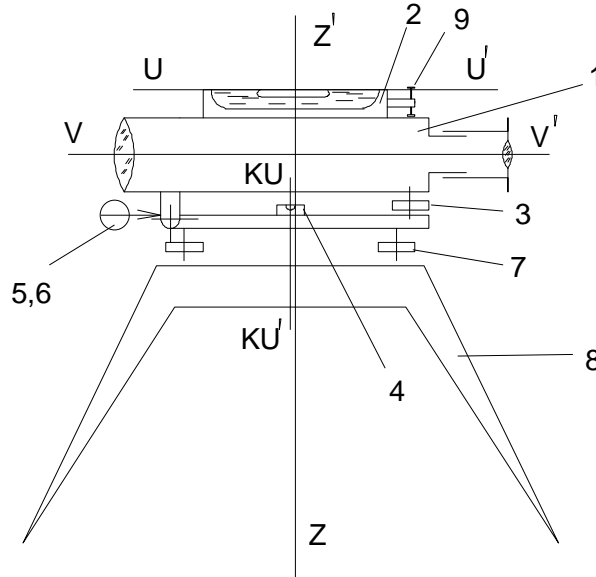
Точка устан. теодол.	Точка визирования	Отсчет по вертик. кругу ° ′	МО, ′	Угол наклона ν , ° ′	Схема измерений
	В	КЛ 9 14.6	+0.4	9 14.2	
А		КП - 9 13.8			
	С	КЛ -6 38.6	+0.3	-6 38.3	
		КП 6 39.2			

6 НИВЕЛИРОВАНИЕ

6.1 Устройство нивелиров

Нивелир - оптический геодезический прибор, предназначенный для измерений превышений, они бывают уровенные и нивелиры с самоустанавливающейся линией визирования (нивелиры с компенсатором).

Конструкция уровенного нивелира приведена на рис. 6.1.



1 - зрительная труба; 2 - цилиндрический уровень; 3 - элевационный винт; 4 - круглый уровень; 5, 6 - закрепительный и наводящий винты трубы; 7 - подъемные винты; 8 - штатив; 9 - юстировочные винты цилиндрического уровня

Рис. 6.1 - Схема уровенного нивелира

В уровенных нивелирах цилиндрический уровень 2 закреплен на зрительной трубе. Для обеспечения горизонтальности линии визирования необходимо чтобы было выполнено условие

$$VV' \parallel UU', \quad (6.1)$$

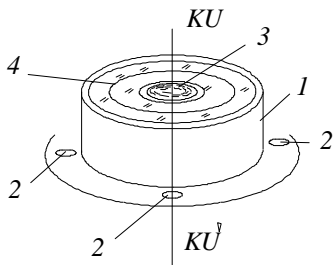
где VV' - визирная ось;

UU' - ось цилиндрического уровня.

Данное условие называется главным условием нивелира. Приведение визирной оси к горизонту осуществляется элевационным винтом 3.

Кроме цилиндрического уровня, нивелир снабжен установочным круглым уровнем, рис. 6.2, предназначенным для установки нивелира в рабочее положение.

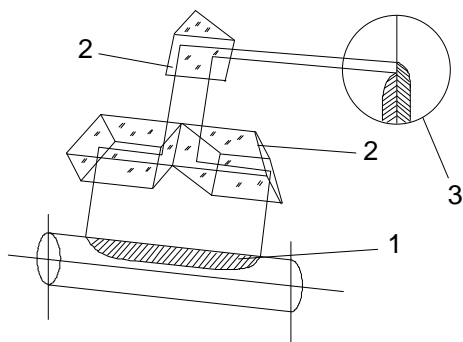
Для оперативного контроля положения пузырька цилиндрического уровня, его концы при помощи специальной оптической системы, рис. 6.3, проектируют-



1 - корпус; 2 - юстировочные винты; 3 - пузырек уровня; 4 - большая окружность

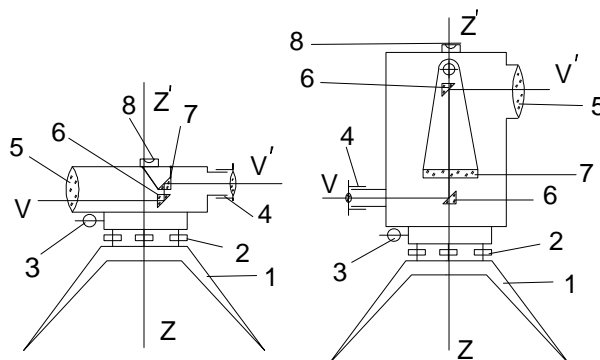
Рис.6.2 - Круглый уровень

ся в поле зрения зрительной трубы. Такой уровень называется контактным уровнем. В момент измерений, наблюдая в трубу, элевационным винтом выводятся концы пузырька уровня в контакт, т.е. совмещаются в единую дугу, и в момент контакта производится отсчитывание по рейке.



1 - пузырек уровня; 2 - призмная система; 3 - поле зрения трубы

Рис. 6.3 - Схема контактного уровня

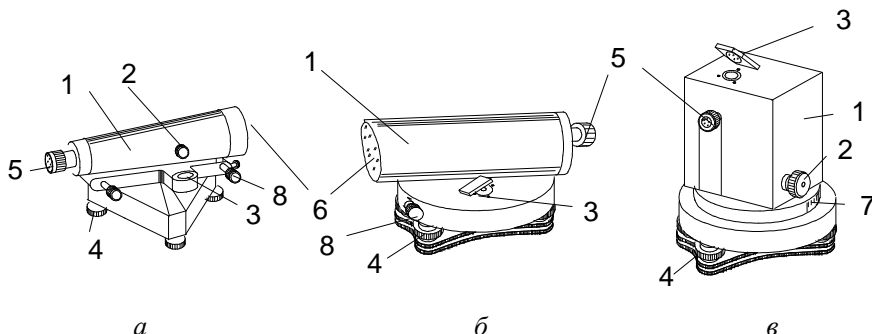


1 – штатив; 2 - подъемные винты; 3 - наводящий винт трубы; 4 – окуляр; 5 – объектив; 6 – призма; 7 – компенсатор; 8 - круглый уровень

Рис. 6.4 - Нивелиры с компенсатором

Кроме уренных нивелиров промышленность выпускает нивелиры с самоустанавливающейся линией визирования - *нивелиры с компенсатором*, рис. 6.4.

Общий вид наиболее распространенных нивелиров приведен на рис. 6.5.



а - нивелир уренный НЗ; б - нивелир с компенсатором НЗК; в - нивелир с компенсатором и с лимбом горизонтального круга Н10КЛ;

1 - зрительная труба; 2 – кремальера; 3 - круглый уровень; 4 - подъемные винты; 5 – окуляр; 6 – объектив; 7 - окно лимба горизонтального круга; 8 - наводящий винт

Рис. 6.5 - Общий вид технических нивелиров

6.2 Нивелирные рейки

Для выполнения нивелирования применяются специальные нивелирные рейки. Конструкция одной из них приведена на рис. 6.6.

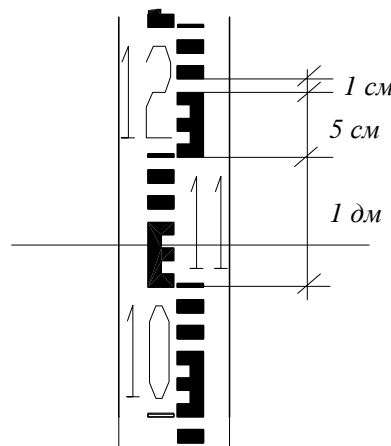
Рейка состоит из двух шкал, основной и дополнительной. Оцифровка основной шкалы начинается с нуля, а дополнительной с отсчета, превышающего величину 4000.

Отсчет по пятке рейки дополнительной шкалы называется постоянной рейки.

На разных участках рейки разность отсчетов по основной и дополнительной шкалам всегда равна постоянной рейки, это свойство обеспечивает контроль правильности взятия отсчетов и однозначности при установке рейки. Оцифровка реек, рис.6.7, осуществлена через 1дм. Дециметровый интервал разбит на два пятисантиметровый интервала. Цена деления рейки составляет 1см.



Рис.6.6 - Деревянная нивелирная рейка



Отсчет по рейке равен 1132

Рис. 6.7 - Оцифровка нивелирной рейки

При взятии отсчета по рейке отсчетным индексом является средняя нить сетки нитей. Отсчет складывается из младшего, относительно отсчетного индекса, значения дециметра (11), целого числа сантиметров от начала одиннадцатого дециметра до отсчетного индекса (3) и число миллиметров берется на глаз (2), следовательно, отсчет равен

$$11\text{дм} + 3\text{см} + 2\text{мм} = 1132\text{мм.}$$

Отсчеты по рейке всегда берутся до миллиметров и записываются в виде четырехзначного целого числа.

6.3 Установка нивелира в рабочее положение

Перед началом работы с нивелиром все элементы управления должны быть установлены следующим образом:

- 1) подъемные винты должны быть в среднем положении;
- 2) закрепительный винт трубы должны быть откреплен;
- 3) наводящий винт трубы должен быть в среднем положении;
- 4) элевационный винт должен быть в среднем положении;
- 5) установка окуляра трубы должна соответствовать резкому изображению сетки нитей и концов пузырька цилиндрического уровня.

Установка нивелира в рабочее положение осуществляется в такой последовательности:

- 1) открепляются закрепительные винты ножек штатива и выдвигаются ножки таким образом, чтобы головка штатива была на уровне плеч наблюдате-

ля;

- 2) устанавливается нивелир на штатив;
- 3) устанавливается нивелир со штативом между измеряемыми точками;
- 4) приводятся все элементы управления нивелиром в начальное состояние;

ние;

- 5) определяется положение пузырька уровня и направление его перемещения в сторону нуля-пункта, рис.6.8;

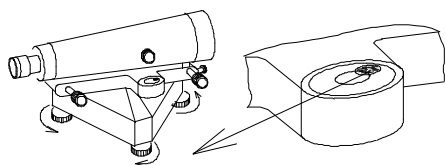


Рис. 6.8 - Горизонтирование нивелира

направление его движения.

б) выбирается один из подъемных винтов, наиболее соответствующий направлению перемещения пузырька, и, вращая его, перемещается пузырек в сторону нуля-пункта, если при движении пузырек сместился от требуемого направления то, вращая одновременно два оставшихся подъемных винта, корректируется

6.4 Поверки нивелиров

Поверки нивелира это комплекс действий, направленный на обеспечение механических, оптических и геометрических условий нивелира.

Поверки проводятся в два этапа. На первом этапе контролируется условие и если условие не выполняется, то проводится второй этап – ремонт, регулировка или юстировка.

К механическим условиям относятся:

- 1) все механические узлы должны быть работоспособны;
- 2) подвижные узлы должны вращаться свободно без задержек и скрипов;
- 3) нивелир, установленный на штативе должен стоять жестко без люфтов;

тов;

Контроль механических условий осуществляется методом осмотра и при необходимости нивелир направляется в ремонтную мастерскую.

К оптическим условиям относятся.

1) изображение объектов, сетки нитей и пузырька уровня должны быть резкими;

2) фокусировка трубы должна обеспечивать фокусирование объектов в пределах диапазона, установленного техническим паспортом прибора;

3) освещенность пузырька уровня должна быть равномерной;

Оптические условия, также как и механические, проверяются методом осмотра. Самостоятельная регулировка оптики категорически запрещается, следовательно, при обнаружении нарушений в оптике приборов они должны быть направлены в ремонтную мастерскую.

Геометрические условия - это соотношение его основных осей. Схема основных осей нивелира приведена на рис. 6.9. Состав основных геометрических условий следующий:

1) ось $KUKU'$ круглого уровня должна быть параллельной вертикальной оси ZZ' вращения нивелира (поверка круглого уровня);

2) визирная ось VV' должна быть горизонтальна; для уренных нивелиров визирная ось должна быть параллельной оси UU' цилиндрического уровня - главное условие нивелира (поверка главного условия нивелира);

3) у нивелиров с компенсатором диапазон работы компенсатора должен быть в пределах нахождения пузырька круглого уровня в большой окружности (поверка компенсатора).

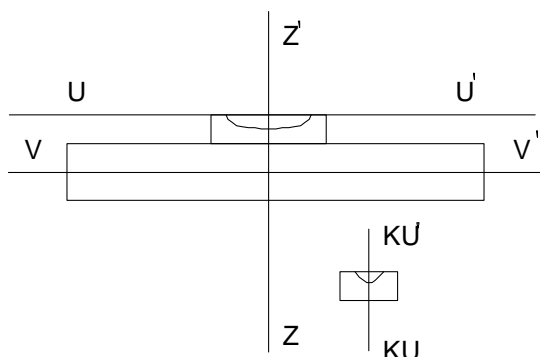


Рис. 6.9 - Геометрические условия нивелира

Поверка круглого уровня

Ось круглого уровня должна быть параллельна вертикальной оси вращения нивелира.

Устанавливается нивелир, приводится в рабочее положение.

Разворачивается труба нивелира таким образом, чтобы юстировочные винты уровня и подъемные винты, занимали противоположное положение, рис. 6.10а.

Выводится пузырек уровня в нуль-пункт.

Разворачивается труба нивелира на 180° , рис. 6.10б.

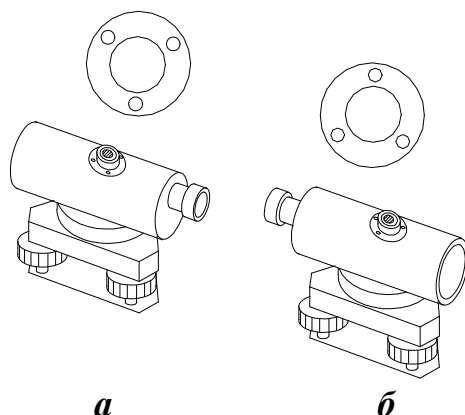


Рис. 6.10. Поверка круглого уровня нивелира

Если пузырек уровня вышел за пределы большой окружности, то проводится юстировка уровня.

Для проведения юстировки, одним из юстировочных винтов уровня смещается пузырек уровня на половину величины отклонения, оставшаяся часть отклонения пузырька устраняется соответствующим подъемным винтом.

Поверка главного условия нивелира

Ось цилиндрического уровня должна быть горизонтальной (для уренных нивелиров - ось цилиндрического уровня должна быть параллельной визирной оси трубы). Данное условие является главным условием нивелира.

На расстоянии порядка 100м друг от друга, рис. 6.11, намечаются две точки.

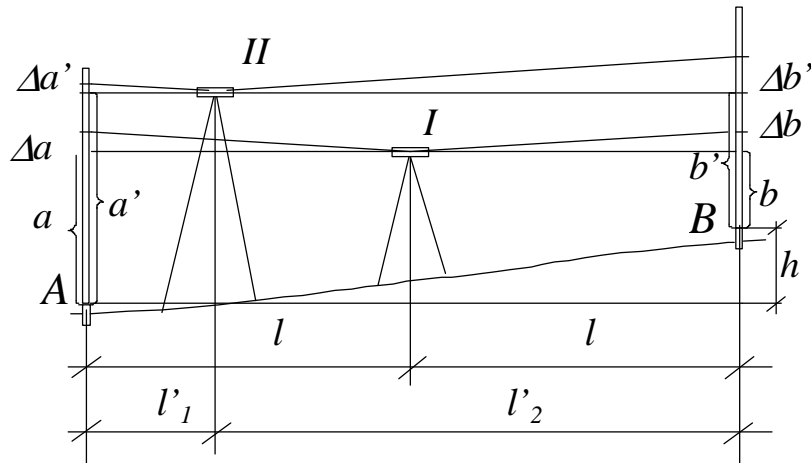


Рис. 6.11 - Проверка главного условия нивелира

В качестве точек необходимо выбрать жесткие точки с четкой и однозначной верхней поверхностью, например, можно использовать характерную точку, взятую на бордюрном камне. Если подходящих точек не найдено, то забиваются два колышка длиной порядка 15 см.

Измеряется расстояние между выбранными точками и находится точка, расположенная строго посередине между ними. В данную точку устанавливается нивелир. Приводится нивелир в рабочее положение. Устанавливается рейка на точку *A* и берутся отсчеты a^u и a^k , контролируя разность пяток, т.е. вычисляя разность $a^k - a^u$.

Устанавливается рейка в точку *B*, и берутся отсчеты b^u и b^k , контролируя разность пяток, т.е. вычисляя разность $b^k - b^u$, допуск 5 мм.

Вычисляется превышение h , равное:

$$h^u = a^u - b^u; \quad h^k = a^k - b^k, \quad (6.2)$$

если $|h^u - h^k| < 5$ мм, то

$$h = (h^u + h^k) / 2. \quad (6.3)$$

При установке нивелира строго посередине между измеряемыми точками, погрешности Δa и Δb за счет негоризонтальности линии визирования равны между собой. Имеем

$$h = a + \Delta a - b - \Delta b,$$

то при $\Delta a = \Delta b$, получим $h = a - b$, следовательно, даже если визирная ось трубы негоризонтальная, а нивелир установлен посередине между измеряемыми точками полученное превышение будет свободно от погрешностей за счет негоризонтальности линии визирования.

Устанавливается нивелир на минимальном расстоянии от одной из точек и аналогично измеряется превышение между этими же точками, получив величину h' . В данном случае, $h' = a' + \Delta a' - b' - \Delta b'$, но так как расстояние от нивелира до точки *A* мало по сравнению с расстоянием от нивелира до точки *B*, то величина $\Delta a'$ близка к нулю, следовательно, погрешность $\Delta b'$ полностью войдет в измеряемое превышение

$$h' = a' - b' - \Delta b'. \quad (6.4)$$

Условие считается выполненным, если разность $|h - h'| < 5$ мм; в противном случае выполняется юстировка.

При установке нивелира у одной из точек (положение II, рис. 6.11) вычисляется отсчет на дальнюю рейку, равный $X = a' - h$, где a' - отсчет по ближней рейке; h - превышение, измеренное со середины. Для уренных нивелиров, вычисленный отсчет X устанавливается по рейке, вращая элевационный винт; при этом пузырек цилиндрического уровня сойдет с нуля-пункта. Вращая юстировочные винты уровня, приводится пузырек уровня в нуля-пункт.

В нивелирах с компенсатором, вращением юстировочных винтов сетки нитей, устанавливается по рейке вычисленный отсчет X .

Существует второй способ проверки, называемый двойным нивелированием. Между двумя точками, рис. 6.12, дважды измеряется превышение в прямом и обратном направлениях. Условие считается выполненным, если $h_{ПР} = h_{ОБР}$ (допуск 5 мм), в противном случае выполняется юстировка. Для чего вычисляется «правильное» превышение h

$$h = \frac{h_{ПР} + h_{ОБР}}{2}, \quad (6.5)$$

дальнейший ход проведения юстировки аналогичен предыдущему способу проверки.

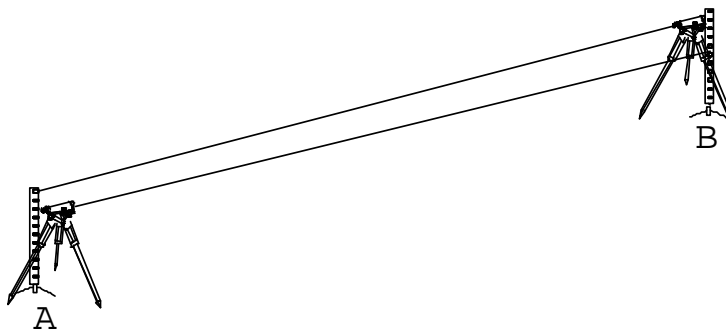


Рис. 6.12 - Двойное нивелирование

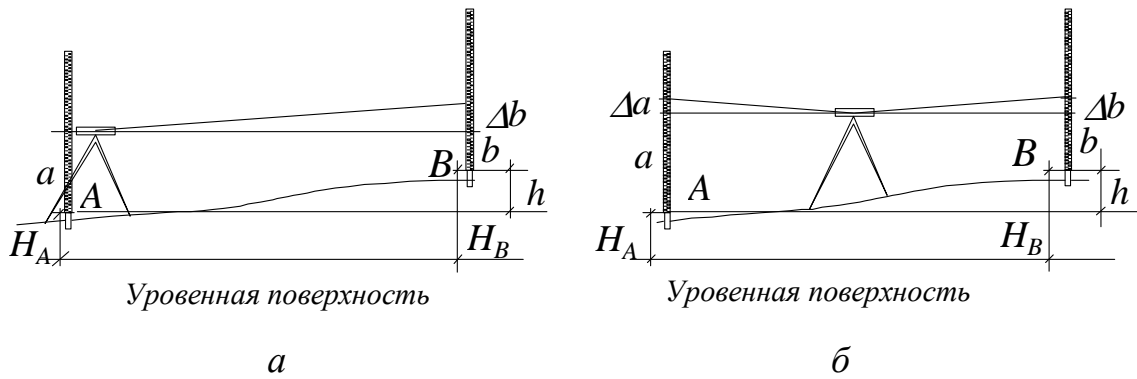
Проверка компенсатора

У нивелиров с компенсатором диапазон работы компенсатора должен быть в пределах нахождения пузырька круглого уровня в пределах большой окружности

Рейка устанавливается на расстоянии порядка 15-20м от нивелира и наводится на нее труба. Вращая один из подъемных винтов, контролируется отсчет по рейке. Условие считается выполненным, если отсчет по рейке остается неизменным при нахождении пузырька уровня в пределах большой окружности, в противном случае нивелир направляется в ремонтную мастерскую.

6.5 Способы нивелирования

Существуют следующие способы нивелирования: вперед и нивелирование со середины, рис. 6.13, последовательное нивелирование и нивелирование поверхности.



a *б*
a - вперед; *б* - нивелирование со середины

Рис. 6.13 - Способы нивелирования

При выборе способа нивелирования следует учитывать, что при нивелировании со середины, если расстояния от нивелира до реек равны между собой, погрешности Δa , Δb за счет негоризонтальности линии визирования компенсируются, т.е., $\Delta a = \Delta b$; при нивелировании вперед вся погрешность Δb входит в измеряемое превышение.

Точка установки нивелира называется **нивелирной станцией**; точки установки реек, в зависимости от того участвуют ли они в передаче отметок или нет, называются **связующие** (точки, участвующие в передаче отметок) и **промежуточные** (точки не участвующие в передаче отметок), рис. 6.14.

Если направление нивелирного хода A, B, C, D , то для станции I точка A - задняя, а точка B - передняя, а для станции II точка B будет задней, а точка C - передней.

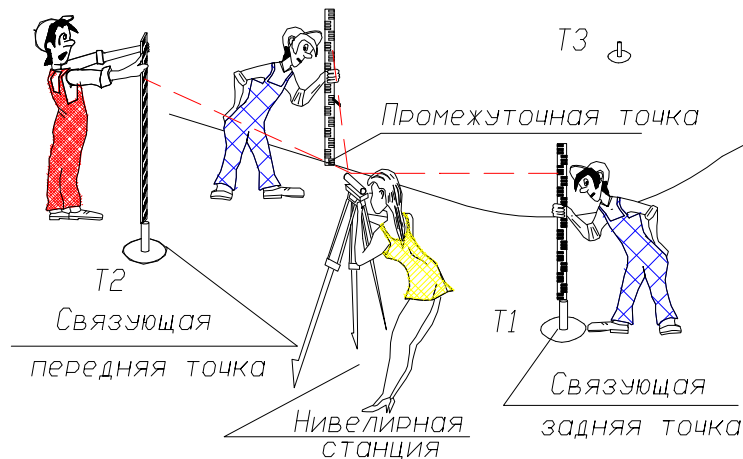


Рис. 6.14. Промежуточные и связующие нивелирные точки

Превышение h_{AB} между точками A и B равно

$$h = a - b, \tag{6.6}$$

где a - отсчет по задней по ходу рейке;
 b - отсчет по передней по ходу рейке.

Допустим, известна отметка H_A точки A . Необходимо определить отметки H_B и H_C точек B и C , причем точка B будет связующей, а точка C - промежуточной, рис. 6.15.

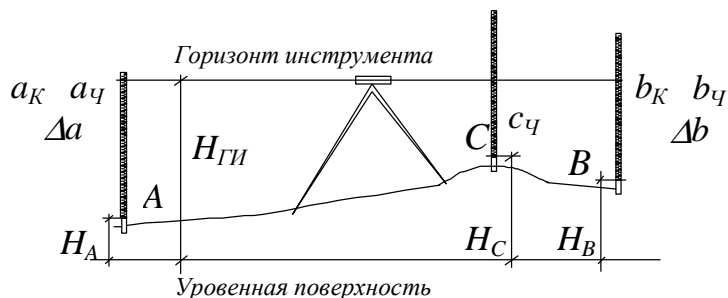


Рис. 6.15 - Определение отметок точек

Нивелир устанавливается посередине между связующими точками и приводится в рабочее положение. На точки A и B устанавливаются нивелирные рейки. Труба нивелира наводится на заднюю точку, точку A и производится отсчетывание по основной шкале, отсчет a_C , и по дополни-

тельной шкале, отсчет a_K , рейки. Контролируется разность пяткок

$$\Delta a = a_K - a_C, \quad (6.7)$$

если разность пяткок отличается не более чем на 5мм от постоянной рейки, то труба нивелира направляется на точку B . Аналогичные отсчеты берутся по рейке, установленной на точке B , отсчеты b_C , b_K и контролируется разность пяткок

$$\Delta b = b_K - b_C, \quad (6.8)$$

если допуск выдержан, рейка устанавливается на промежуточную точку C и производится отсчетывание только по черной стороне рейки, отсчет c_C .

Вычисляются превышения по черным и красным сторонам рейки

$$h_C = a_C - b_C; \quad (6.9)$$

$$h_K = a_K - b_K. \quad (6.10)$$

Контролем будет соблюдения условия $h_C = h_K$, допуск 5мм. Если допуск выдержан, вычисляется среднее превышение

$$h = 0.5(h_C + h_K). \quad (6.11)$$

Получив среднее превышение, имеется возможность вычислить отметку точки B , которая равна

$$H_B = H_A + h. \quad (6.12)$$

Для вычисления отметок промежуточных точек вводится понятие «Горизонт инструмента» под которым подразумевается линия визирования. Отметка горизонта инструмента $H_{ГИ}$ - расстояние от уровенной поверхности до линии визирования нивелира, согласно рис. 6.15 отметка горизонта инструмента равна:

$$H_{ГИ}^A = H_A + a_C; \quad (6.13)$$

$$H_{ГИ}^B = H_B + b_C. \quad (6.14)$$

Из выражений (5.13), (5.14) видно, что отметка горизонта инструмента вычисляется дважды - по отметке точки A и по отметке точки B , что позволяет контролировать вычисления и измерения. Если $|H_{ГИ}^A - H_{ГИ}^B| \leq 5\text{мм}$, то

$$H_{ГИ} = \frac{H_{ГИ}^A + H_{ГИ}^B}{2}. \quad (6.15)$$

Зная отметку горизонта инструмента, не трудно вычислить отметку промежуточной точки

$$H_C = H_{ГИ} - c_ч, \quad (6.16)$$

где $c_ч$ - отсчет по черной стороне рейки, установленной на промежуточной точке C .

Результаты измерений записываются в нивелирный журнал, образец которого приведен в табл. 6.1.

Таблица 6.1 - Журнал технического нивелирования

№ станц	№№ точек	Отсчеты по рейкам			Превышение			Отметки	
		задний	передн.	про-меж.	вычисл.	средн.	испр.	ГИ	точек
I	A	$a_ч$	$b_ч$		$a_ч - b_ч$	$\frac{h_ч + h_к}{2}$		$H_A + a_ч$	H_A
		$a_к$	$b_к$		$a_к - b_к$	2		$H_B + b_ч$	
	B	$a_к - a_ч$	$b_к - b_ч$					$\frac{H_{ГИ}^ч + H_{ГИ}^к}{2}$	$H_A + h$
	C			$c_ч$					$H_{ГИ} - c_ч$
	A	1000	1053		-0053	-0054		121,200	120.200
I		5785	5839		-0056			<u>121,199</u>	
	B	4785	4786					121,199	120.146
	C			0960					120.136

Последовательное нивелирование, рис. 6.16, применяется при необходимости определения отметок нескольких точек, расположенных на значительном удалении друг от друга. Превышение h между точками A и B равно сумме измеренных превышений.

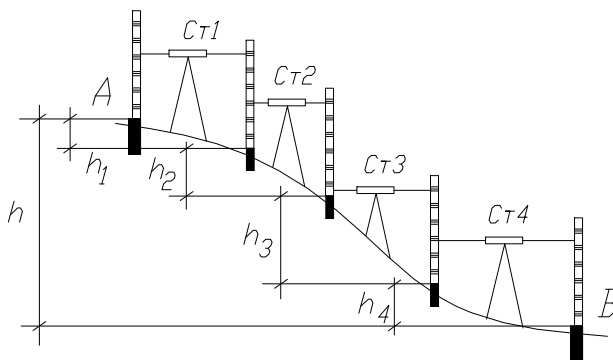
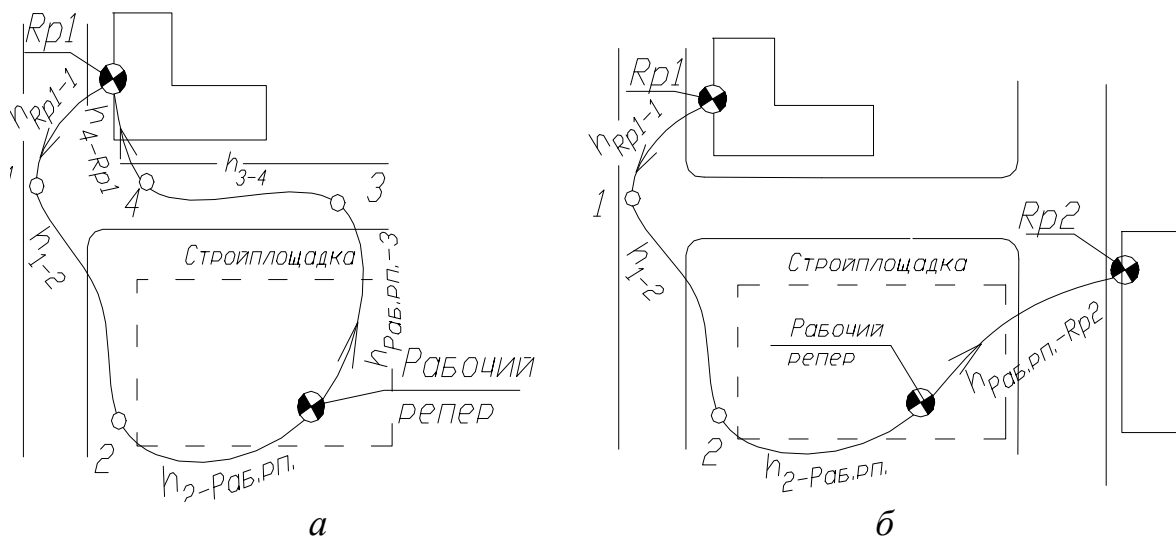


Рис. 6.16. Последовательное нивелирование

$$h_{AB} = \sum h_i, \quad (6.17)$$

Например, необходимо определить отметку временного репера, заложенного на стройплощадке, рис. 6.17. Отметка рабочего репера определяется от реперов городской нивелирной сети.

Если отметка рабочего репера определяется от одного исходного репера, то нивелирный ход делается в виде замкнутой петли. Такой нивелирный ход называется замкнутым, рис. 6.17а. Ход между двумя исходными реперами называется разомкнутым, рис. 6.17б.



а – замкнутый нивелирный ход; б – разомкнутый нивелирный ход

Рис. 6.17. Виды нивелирных ходов

Если измерения выполнены верно, то сумма превышений в замкнутом нивелирном ходе будет близка к нулю, т.е. $\sum h_i = 0$. В разомкнутом нивелирном ходе сумма измеренных превышений должна равняться разности отметок исходных точек $\sum h_i = (H_{Rp2} - H_{Rp1})$. Рассмотренные свойства позволяют контролировать качество измерений.

При приведении поверхности к проектному виду, например при выполнении вертикальной планировки, применяется **нивелирование поверхности**. Участок делится на квадраты или поперечники, рис. 6.18.

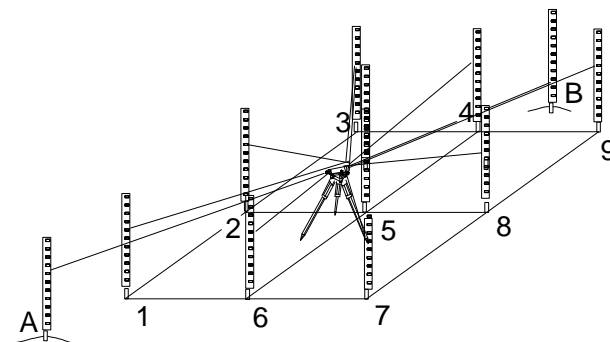


Рис 6.18. Нивелирование поверхности

Нивелир устанавливается посередине площадки. Рейка устанавливается на одну из исходных точек с известной отметкой, точка А, и производится отсчетывание по черной и красной сторонам рейки, контролируя разность пяток ($a_{ч}$, $a_{к}$, $b_{к} - b_{ч}$). Затем рейка последовательно устанавливается на все контрольные точки и производится отсчетывание только по черной стороне рейки, отсчеты c_i . Работы на станции завершаются, установив рейку на вторую опорную или связующую точку, произведя отсчетывание по черной и красной сторонам рейки и также, контролируется разность пяток, ($b_{ч}$, $b_{к}$, $b_{к} - a_{ч}$). Результаты измерений записываются в стандартный нивелирный журнал, табл. 6.1.

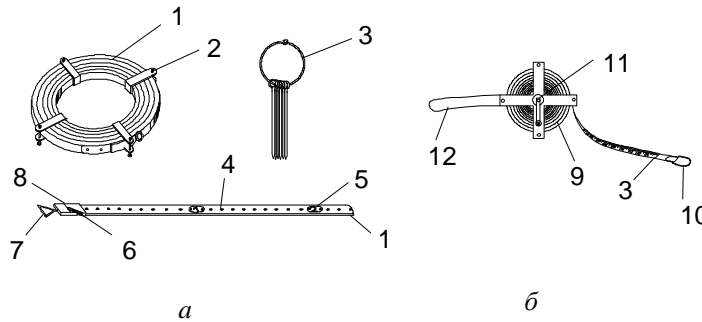
7 ЛИНЕЙНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ

7.1. Состав приборов линейных измерений (механические, оптические, электронные)

Приборы линейных измерений можно разделить на три группы:

- 1) механические;
- 2) оптические;
- 3) электронные.

К механическим мерным приборам относятся: землемерные ленты, рулетки, базисные приборы, длинномеры.



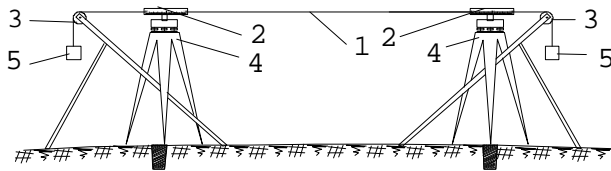
а - землемерная лента; б - рулетка

1 - полотно ленты; 2 - кольцо; 3 - комплект шпилек; 4 - дециметровое деление; 5 - метровое деление; 6 - крючок; 7 - ручка; 8 - нулевой отчетный индекс; 9 - полотно рулетки; 10 - кольцо; 11 - ручка для намотки полотна рулетки; 12 - ручка

Рис. 7.1 - Штриховые механические приборы линейных измерений

По типу шкал механические мерные приборы подразделяются на штриховые и шкаловые. К штриховым приборам относятся мерные ленты, рис. 7.1а и рулетки, рис. 7.1б.

В шкаловых приборах линейных измерений оцифровывается не все мерное полотно, а только концевые шкалы. Образцом шкаловых мерных приборов является базисный прибор, рис. 7.2.



1 - инварная проволока; 2 - шкала; 3 - блок; 4 - штатив с целиком; 5 - груз.

Рис. 7.2. Базисный прибор

Расстояние D равно:

$$D = 0.5l \operatorname{ctg} \frac{\varphi}{2}, \quad (7.1)$$

Где l – разность отсчетов по рейке ($l = O_B - O_H$);

Конструкции оптических приборов линейных измерений (оптические дальномеры) основаны на особенностях зрительных труб изменять величину поля зрения при изменении расстояний до объекта.

Имеем зрительную трубу, рис. 7.3, с диафрагмой, ограничивающей поле зрения.

φ - угол поля зрения трубы, ограниченный дальномерными нитями.

Расстояние между дальномерными нитями подобрано таким образом, чтобы величина $0.5c \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2} = 100$. Эта величина называется коэффициентом дальномера K . Таким образом, выражение (7.1) будет иметь вид:

$$D = Kn, \quad (7.2)$$

где n – разность отсчетов по рейке, отсчитываемых по дальномерным нитям;
 K – коэффициент дальномера.

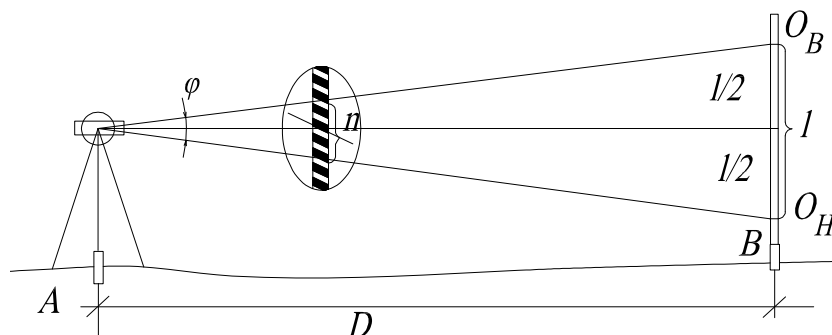


Рис. 7.3 - Схема оптического дальномера

Относительная погрешность наиболее точных оптических дальномеров составляет $\frac{1}{5000}$, нитяным дальномером теодолитов можно измерить расстоя-

ния с точностью $\frac{1}{300}$.

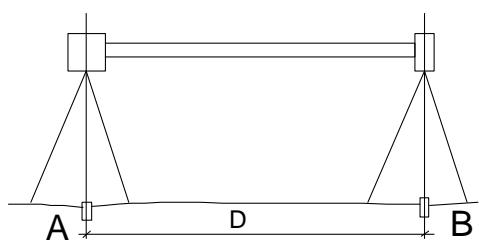


Рис. 7.4 - Принцип измерения электронным дальномером

Принцип действия электронных дальномеров основан на измерении времени прохождения электромагнитными колебаниями измеряемой дистанции. Если диапазон частот дальномера лежит в пределах радиочастот, то такие дальномеры называются **радиодальномерами**, если диапазон частот соответствует световым частотам, то данные приборы называются **светодальномерами**.

На точке A устанавливается приемопередатчик, рис. 7.4, а на точке B - отражатель или ретранслятор. Сформированный передатчиком сигнал проходит дистанцию в прямом и обратном направлениях, следовательно, имеет место зависимость

$$2D = c\tau; \quad (7.3)$$

где c - скорость распространения электромагнитных колебаний;

τ - время прохождения дистанции сигналом.

В настоящее время промышленность выпускает све-



Рис. 7.5 – Лазерная рулетка Disto D8

тодальномеры, имеющие точность измерений в пределах от 1:25000 до 1:1000000. Внешний вид одного из светодальномеров приведен на рис. 7.5.

Компарирование - это контроль фактической длины мерного прибора путем сравнения его с образцовой мерой. В результате компарирования составляется уравнение мерного прибора, имеющее вид:

$$l = l_0 + \delta l_K + \alpha (t - t_0); \quad (7.3)$$

где l_0 - номинальная длина мерного прибора;

δl_K - поправка за компарирование;

α - коэффициент линейного расширения материала, из которого сделан мерный прибор;

t_0 - нормальная температура (19С°);

t - температура компарирования.

7.2. Поверки мерных приборов

Поверки приборов линейных измерений это действия, направленные на обеспечение основных условий приборов. В состав проверок механических мерных приборов входит:

контроль целостности полотна рулетки;

контроль делений рулетки;

полевое компарирование (определение фактических длин сантиметровых, дециметровых и метровых интервалов; определение фактической длины всей рулетки).

7.3. Выполнение измерений механическими мерными приборами

Линейные измерения выполняются на земной поверхности и на строительных конструкциях. На земной поверхности линейные измерения выполняются для определения размеров объектов, выносе проектов в натуру, при выполнении топографических съемок. Перед выполнением измерений линия очищается от препятствий, концы ее закрепляются кольшками. Если длина измеряемой линии превышает длину мерного прибора, то на конечной точке устанавливается вешка (кусочек арматуры или ровная деревянная планка), необходимая для обеспечения прямолинейности измерений. Измерения начинают с начальной точки *A*, рис. 7.6, рулетка распускается, нуль ее совмещается с центром точки *A*. Второй конец рулетки направляется по направлению вешки, визуально контролируя створность. Натянув ленту, по конечной риске вставляется в землю шпилька (кусочек стальной проволоки диаметром 6-8мм).

Далее нуль рулетки совмещается с центром шпильки и измерения продолжают, вставляя вторую, третью шпильку до тех пор, пока ос-

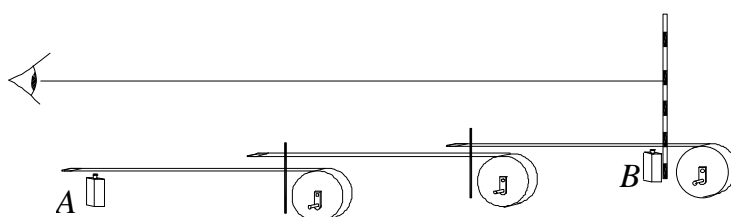


Рис. 7.6 - Линейные измерения

тавшейся отрезок (домер) будет меньше длины мерного прибора, измеряемый совмещая нуль рулетки с последней шпилькой и беря отсчет по центру точки B . Точность отсчитывания по рулетке при цене деления 1мм составляет порядка 0.5мм, но отсчеты фиксируются только с точностью 1мм. Каждая линия измеряется дважды в прямом и обратном направлениях. Если разность результатов измерений не превышает 1/2000 всего расстояния, то вычисляется среднее значение, в противном случае измерения повторяются.

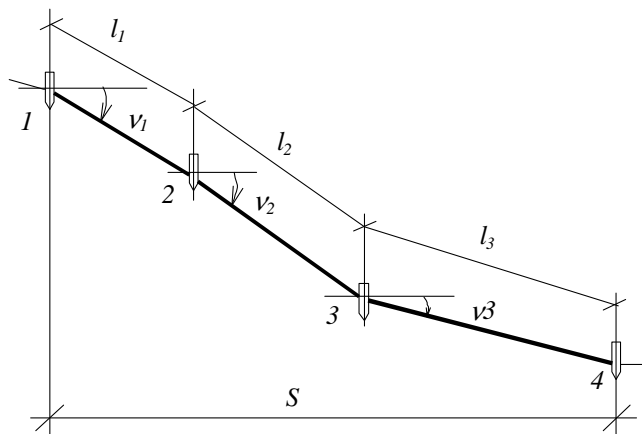


Рис. 7.7 - Линейные измерения на склонах

теодолитом, но можно для измерений углов наклона применить устройство, приведенное на рис. 7.8.

Строительные детали и конструкции перед монтажом, как правило, должны быть обмерены на соответствие их размеров паспортным данным. Наиболее надежно размеры таких деталей можно получить способом совмещений, рис. 7.9. Размер l детали будет равен разности отсчетов a'_1 и a'_2 , выполненных по концам детали

$$l' = a'_2 - a'_1. \quad (7.5)$$

Повторное измерение осуществляется перемещением ленты по детали и повторным снятием отсчетов a''_1 и a''_2 ,

$$l'' = a''_2 - a''_1 \quad (7.6)$$

Если $\frac{1}{l'/(l' - l'')} \leq \frac{1}{2000}$ то,

измерения считаются верными. Окончательный результат равен

$$l = \frac{l' + l''}{2}. \quad (7.7)$$

При измерениях на склонах линия разбивается кольшками на участки с приблизительно равными уклонами, рис. 7.7, и каждый участок измеряется отдельно.

Общее расстояние между точками будет равно

$$S = \sum(l_i \cos v_i); \quad (7.4)$$

где l_i - измеренные отрезки;

v_i - углы наклона соответствующего отрезка.

Углы наклона измеряются

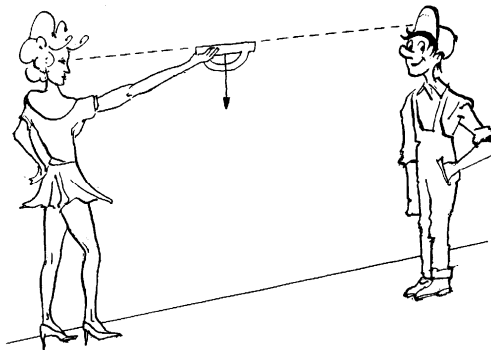


Рис. 7.8 - Определение угла наклона

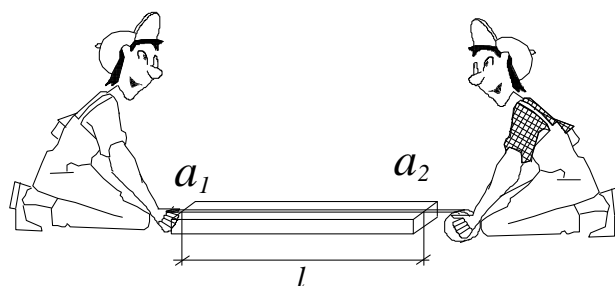


Рис. 7.9 - Определение размеров строительных деталей

При выполнении обмеров возникает необходимость определять расстояния между вертикальными поверхностями, рис. 7.10.

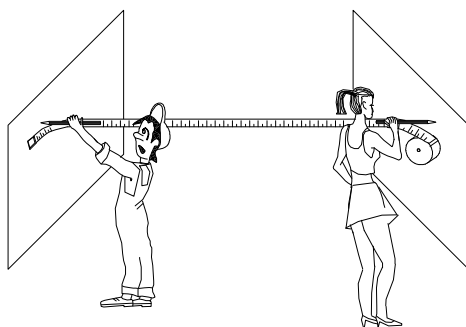


Рис. 7.10 - Определение расстояний между двумя вертикальными поверхностями

В этом случае к ленте рулетки с двух сторон подставляются карандаши, которые поводятся к стенам, натягивая рулетку. После совмещения концов карандашей со стенами к ним подводится лента рулетки и производится отсчитывание по шкалам. Аналогично выполняются измерения между горизонтальными поверхностями.

8 ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ СЕТИ

8.1. Виды геодезических сетей и их сущность

Геодезические сети это система пунктов, закрепленных на земной поверхности с известными координатами и высотами.

Геодезические сети бывают: плановые и высотные; государственные и ведомственные; основные, съемочные и разбивочные.

В зависимости от способа построения сети подразделяются на: *полигональные, триангуляцию, трилатерацию, комбинированные (аналитические), строительные сетки и спутниковые сети.*

Полигональные сети представляют собой систему отдельных ходов, рис. 8.1, или полигонов, рис. 8.2, в которых измерены углы и стороны.

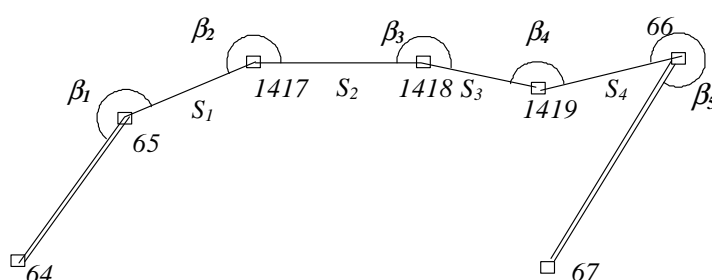


Рис. 8.1 - Полигональная сеть в виде разомкнутого хода

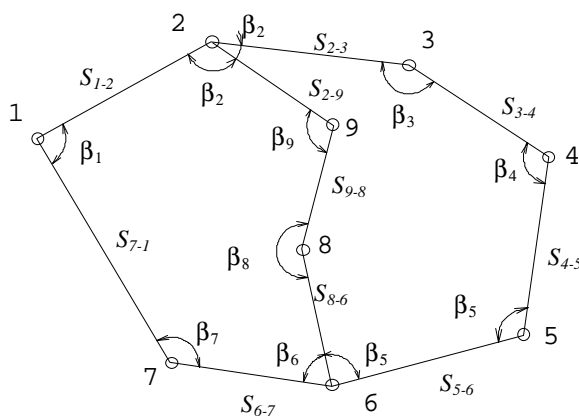


Рис 8.2 - Замкнутые полигональные сети

Координаты пунктов сети вычисляются по следующим формулам:

$$\begin{aligned}
 X &= X_0 + \Delta X; \\
 Y &= Y_0 + \Delta Y; \\
 \Delta X &= S \cos \alpha; \\
 \Delta Y &= S \sin \alpha; \\
 \alpha &= \alpha_0 + \beta_{\text{ЛЕВ}} \pm 180^\circ; \\
 \alpha &= \alpha_0 - \beta_{\text{ПРАВ}} \pm 180^\circ,
 \end{aligned}
 \tag{8.1}$$

где X_0, Y_0 - координаты предыдущей от определяемой точки;

X, Y - координаты определяемой точки;

$\Delta X, \Delta Y$ - приращения координат; S - горизонтальная проекция расстояния;

α - дирекционный угол;

$\beta_{ЛЕВ}$ - леволежащий по ходу горизонтальный угол;

$\beta_{ПРАВ}$ - праволежащий горизонтальный угол.

Сети, построенные из цепочек треугольников, у которых по измеренным углам и базису вычисляются расстояния и впоследствии координаты, называются триангуляционными сетями или **триангуляцией**, рис. 8.3.

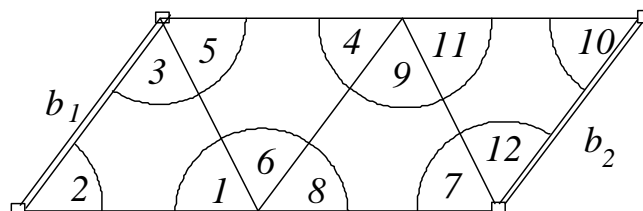


Рис. 8.3 - Триангуляция

Для вычисления расстояний в сетях триангуляции применяется теорема синусов.

$$b_2 = b_1 \frac{\sin(2)\sin(5)\sin(8)\sin(11)}{\sin(1)\sin(4)\sin(7)\sin(10)}. \quad (8.2)$$

Сети, образованные цепочками треугольников с измеренными сторонами называются сетями **трилатерации**, рис. 8.4.

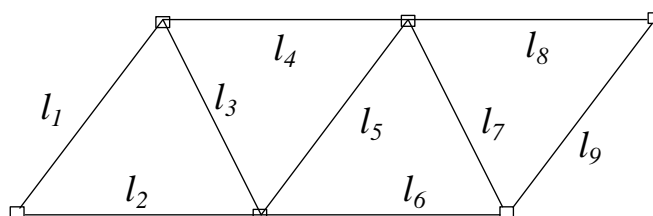


Рис. 8.4 - Трилатерация

В трилатерации значения углов получаются из решения треугольников, используя теорему косинусов

$$c^2 = a^2 + b^2 - 2ab \cos(C), \quad (8.3)$$

где a, b, c – сторон треугольника;

C – угол, лежащий напротив стороны c .

Трилатерация применяется при отсутствии возможности выполнения угловых измерений.

Для повышения точности определения координат пунктов применяют комбинированные сети, т.е. совмещаются угловые и линейные измерения, такие сети называются **аналитическими**, рис. 8.5.

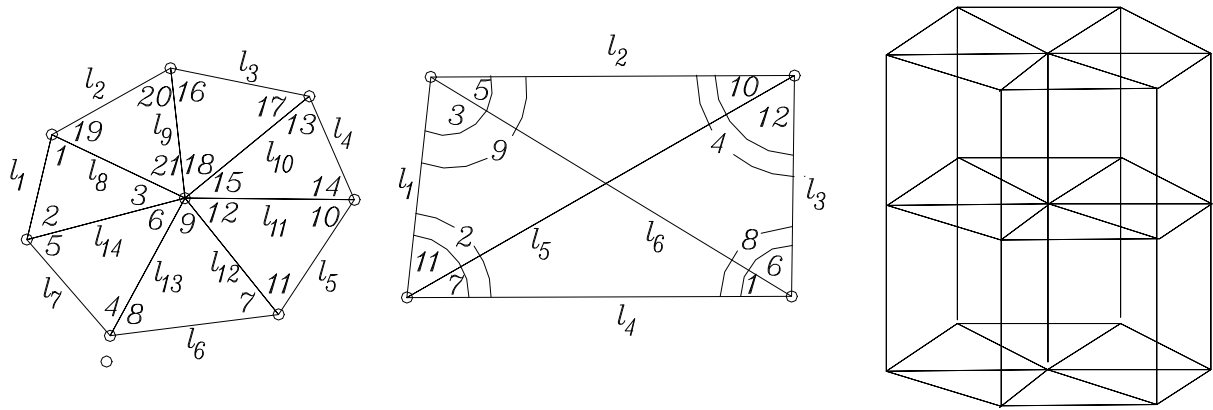


Рис. 8.5 - Аналитические сети

Аналитические сети применяются в качестве обоснования на специальных высокоточных или уникальных сооружениях. Форма сети зависит от вида объектов; например, в многоэтажном строительстве применяются пространственные аналитические сети.

В строительстве, особенно на крупных промышленных объектах применяются специальные сети, оси которых параллельны основным осям объектов, а координаты пунктов приведены к проектным значениям и кратные десяткам или сотням метров. Такие сети называются строительная сетка, рис. 8.6.

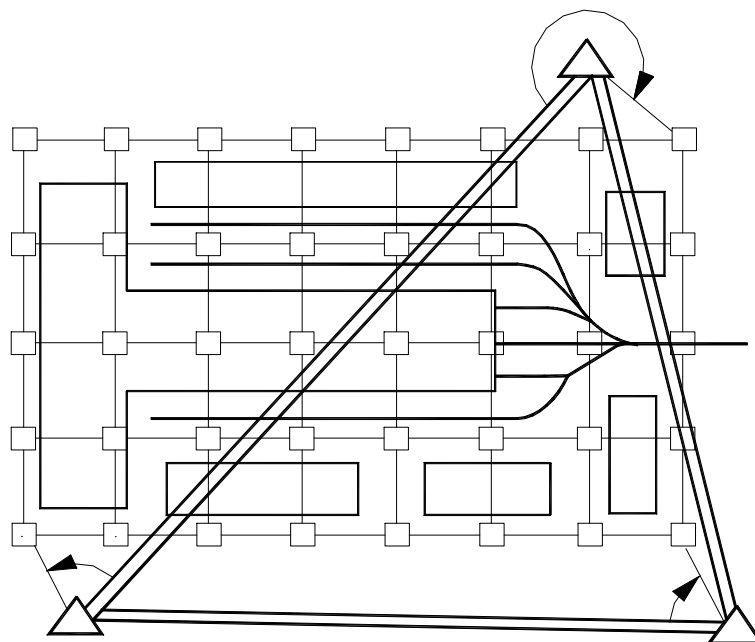


Рис. 8.6 - Строительная сетка

Разбивочные сети бывают внешние и внутренние. Внешние сети применяются для выноса в натуру всего здания в целом. Внутренние разбивочные сети используются для разбивки отдельных узлов зданий.

На рис. 8.6 показано использование триангуляции для разбивки строительной сетки.

Трилатерацию удобно применять в тех случаях, когда угловые измерения не могут дать требуемой точности, например при устройстве разбивочной сети на цоколе здания, рис. 8.7.

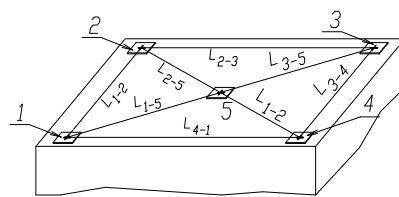


Рис. 8.7 - Использование трилатерации

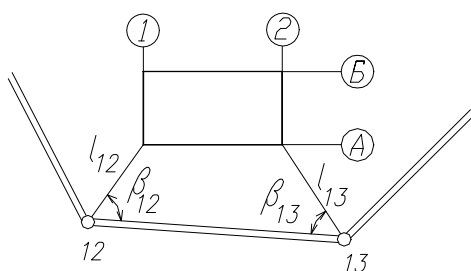


Рис. 8.8 - Использование полигональных сетей для разбивки отдельных зданий

Если выполняется разбивка отдельного здания, то она может выполняться с использованием полигональных сетей, рис. 8.8.

8.2 Государственные геодезические сети

Основным национальным геодезическим обоснованием являются государственные геодезические сети. Они строятся в виде триангуляции и полигонометрии.

Основными государственными сетями в настоящее время являются общегосударственные триангуляционные сети, рис. 8.9, состоящие из триангуляционных и полигонометрических сетей 1-4 классов. Схема сети 1 класса приведена на рис. 8.9.

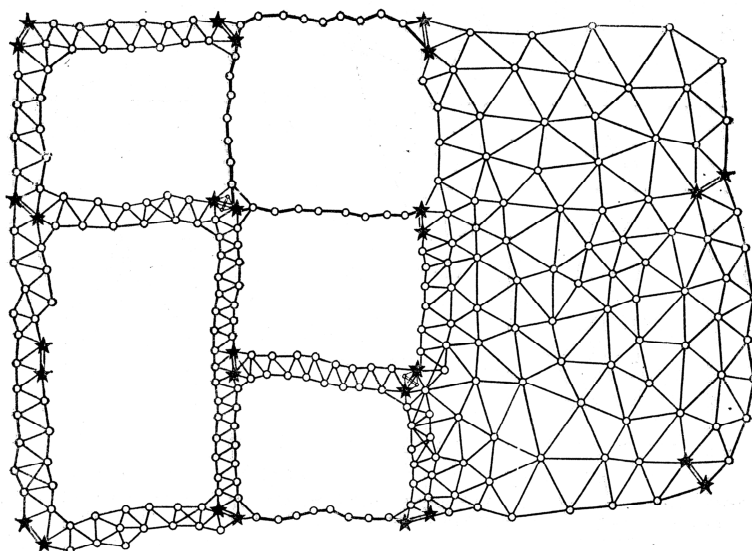


Рис. 8.9 – Схема триангуляционной сети 1 класса

В последние десятилетия в связи с развитием спутниковых технологий появились спутниковые геодезические сети, рис. 8.10.

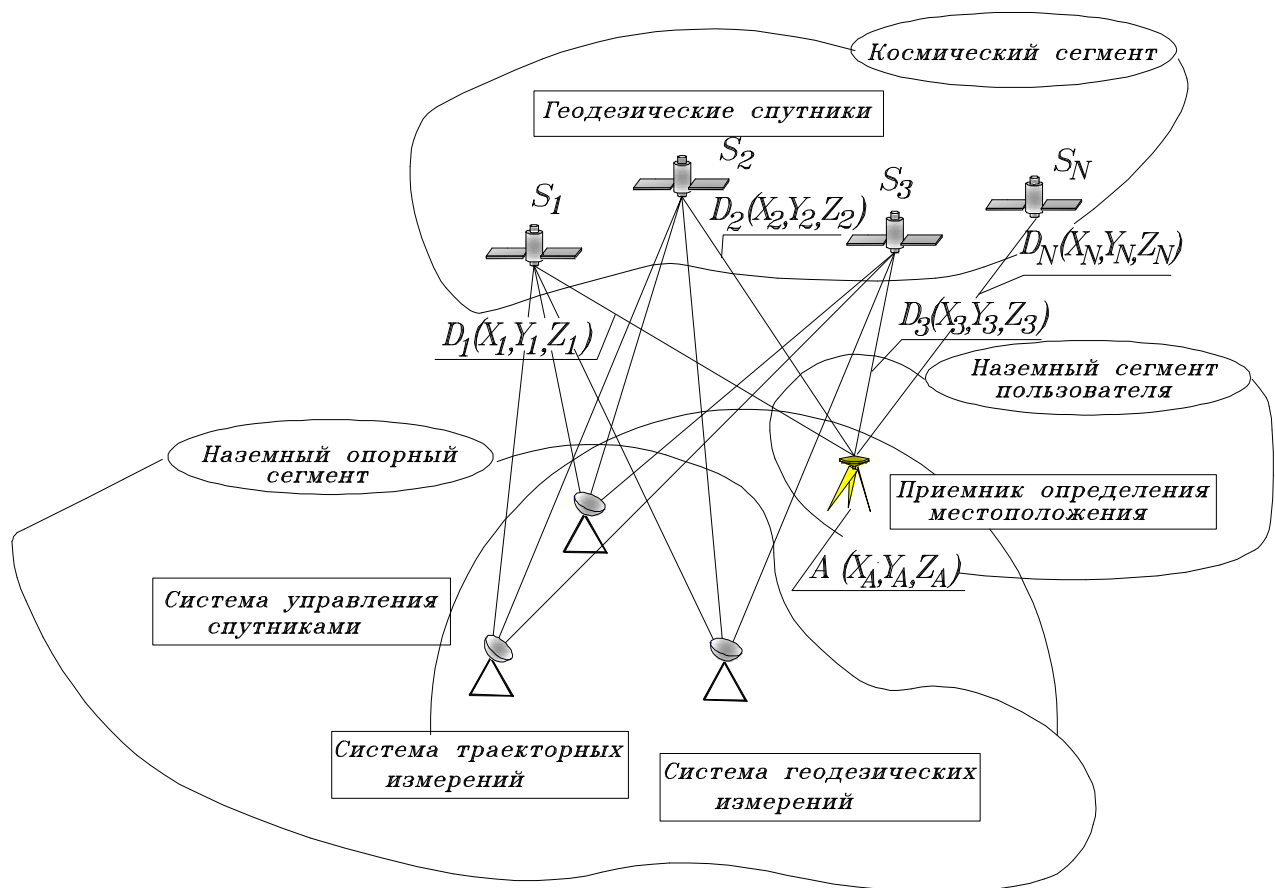


Рис. 8.10 – Спутниковая система определения местоположения

Спутниковая система определения местоположение – это совокупность трех сегментов: наземного опорного сегмента, космического сегмента и наземного сегмента пользователя.

Наземный опорный сегмент состоит из системы управления спутниками, системы траекторных измерений и системы геодезических измерений. Система управления спутниками обеспечивает контроль параметров спутников, формирует информационные сигналы спутников, передаваемые пользователям. Траектории спутников определяет система траекторных измерений. Определение геодезических координат всех элементов системы осуществляет система геодезических измерений.

Космический сегмент представляет собой орбитальную группировку спутников (порядка 24), вращающихся на круговых орбитах на расстоянии порядка 200000 км над Землей с периодом обращения около суток.

Пользовательский сегмент представляет собой полевые приемники спутниковой системы определения местоположения. Посредством этих приемников осуществляется определение координат точек земной поверхности.

Система траекторных измерений систематически определяет координаты всех спутников, аппроксимирует их на любое заданное время и через систему управления спутниками передает эту информацию на борт спутников.

Таблица 8.2 – Точность высотных геодезических сетей

<i>Класс сети</i>	<i>Невязка в полигонах, мм</i>	<i>Точность измерения превышений на одной станции, мм</i>
<i>I</i>	$3\sqrt{L}$	0,15
<i>II</i>	$5\sqrt{L}$	0,5
<i>III</i>	$10\sqrt{L}$	1
<i>IV</i>	$20\sqrt{L}$	3
<i>Технический</i>	$50\sqrt{L}$	10

8.4 Съёмочные сети

Полевые работы

К геодезическому съёмочному обоснованию относятся: сети теодолитных ходов и технического нивелирования. Геодезические сети строятся в виде замкнутых и разомкнутых ходов, опирающихся на пункты обоснования высших классов, на участках со сложным рельефом применяется обоснование, построенное в виде триангуляционных, аналитических или трилатерационных сетей.

В отдельных случаях сети строятся без привязки к исходным пунктам; в этом случае сети называются свободные. Если ход имеет привязку только с одной стороны, такой ход называется висячий; в данных ходах отсутствует возможность контроля. Рекомендуется висячие ходы замыкать, т.е. выполнять измерения в прямом и обратном направлениях.

Работы по созданию плано-высотного съёмочного обоснования начинаются с рекогносцировки (обследования) участка работ, обследуются исходные пункты, выбираются направления ходов, закрепляются пункты. Пункты закрепляются деревянными кольшками, рис. 8.11, или металлическими штырями длиной порядка 1м. Для лучшей сохранности они окапываются окопкой диаметром порядка 1м.

Выполняются угловые и линейные измерения, нивелирование. Результаты измерений записываются в полевые журналы с обязательным составлением схем измерений. Осуществляется полевая обработка журналов, окончательно уточняются схемы измерений;

Полевые работы считаются законченными, если полностью обработаны журналы, составлены схемы измерений и журналы проверены руководителем работ.

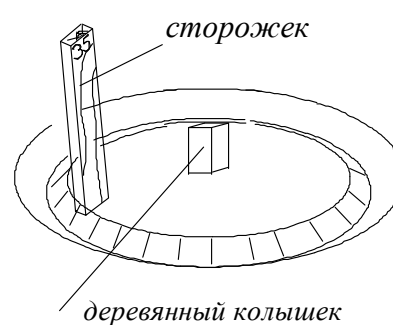


Рис. 8.11 - Закрепление точек теодолитного хода

Образец окончательной схемы теодолитного хода приведена на рис. 8.12.

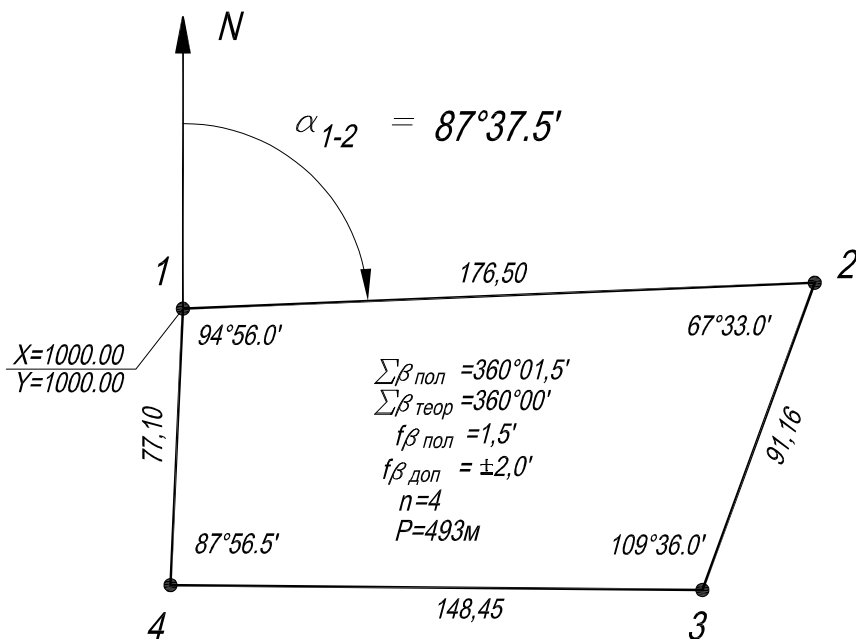


Рис. 8.12 - Схема теодолитного хода

В процессе полевых работ по созданию съемочного обоснования выполняются элементы контурной (теодолитной) съемки, координируются ответственные элементы ситуации (углы зданий, кварталов и пр.), нивелируются отдельные элементы ситуации (смотровые колодцы, углы зданий, оси проездов, бордюры и пр.)

Вычисление координат теодолитного хода

Вписывается из схемы теодолитного хода в ведомость вычисления координат, табл. 8.3, номера точек (колонка 1), измеренные углы (колонка 2), измеренные расстояния, приведенные к горизонту (колонка 5).

Вычисляется сумма измеренных углов

$$\Sigma\beta_{\text{ПОЛ}} = \Sigma\beta_{\text{ИЗМЕР}} \quad (8.5)$$

Теоретически сумма измеренных углов должна удовлетворять следующему условию::

$$\Sigma\beta_{\text{ПОЛ}} = \Sigma\beta_{\text{ТЕОР}}, \quad (8.6)$$

где $\Sigma\beta_{\text{ПОЛ}}$ - полученная сумма измеренных горизонтальных углов;

$\Sigma\beta_{\text{ТЕОР}}$ - теоретическая сумма горизонтальных углов.

Для замкнутого теодолитного хода она равна

$$\Sigma\beta_{\text{ТЕОР}} = 180^\circ (n - 2), \quad (8.7)$$

где n - число внутренних углов теодолитного хода.

Для расчета теоретической суммы углов разомкнутого теодолитного хода необходимо знать дирекционные углы исходных сторон

$$\Sigma\beta_{\text{ТЕОР}} = \alpha_{\text{НАЧ}} - \alpha_{\text{КОН}} + 180^\circ n \quad \text{- для леволежащих горизонтальных углов;}$$

$$\Sigma\beta_{\text{ТЕОР}} = \alpha_{\text{КОН}} - \alpha_{\text{НАЧ}} + 180^\circ n \quad \text{- для праволежащих горизонтальных углов;}$$

ЛОВ;

где $\alpha_{НАЧ}$ - дирекционный угол начальной стороны; $\alpha_{КОН}$ - дирекционный угол конечной стороны.

Разность полученной и теоретической сумм углов образуют угловую невязку $f\beta$

$$f\beta = \Sigma\beta_{ПОЛ} - \Sigma\beta_{ТЕОР}, \quad (8.8)$$

она характеризует качество угловых измерений. Вычисленная угловая невязка не должна превышать допустимую

$$f\beta_{ДОП} = 1\sqrt{n}, \quad (8.9)$$

где n – число углов.

В противном случае угловые измерения необходимо повторить.

Если угловая невязка не превышает допустимую невязку, то вычисляются поправки в измеренные углы

$$\delta_{\beta} = -\frac{f\beta}{n}; \quad (8.10)$$

сумма поправок должна равняться угловой невязке, взятой с противоположным знаком,

$$\Sigma\delta_{\beta} = -f\beta. \quad (8.11)$$

Таблица 8.3 – Образец ведомости вычислений координат

№ тчк	Измер. углы, °	Исправ. углы, °	Дирекц. углы, °	Расст. м.	Вычислен. приращения в м		Исправлен. приращения в м		Координаты, м	
					ΔX	ΔY	ΔX	ΔY	X	Y
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1					+1	-1			<u>1000,00</u>	<u>1000,00</u>
	-0,3		<u>87 37,5</u>	176,50	+7,31	+176,35	+7,32	+176,34		
2	67 33,0	67 32,7			+1	-1			1007,32	1176,34
	-0,4		200 04,8	91,16	-85,62	-31,30	-85,61	-31,31		
3	109 36,0	109 35,6			+1	-1			921,71	1145,03
	-0,4		270 29,2	148,46	+1,26	-148,45	+1,27	-148,46		
4	87 56,5	87 56,1							922,98	996,57
	-0,4		2 33,1	77,10	+77,02	+3,43	+77,02	+3,43		
1	94 56,0	94 55,6							<u>1000,00</u>	<u>1000,00</u>
			<u>87 37,5</u>							
2										

360 01,5 **360** 493,22 $f_x = -0,03$ $f_y = +0,03$ $\Sigma\Delta X = 0,00$ $\Sigma\Delta Y = 0,00$

$\Sigma\beta_{ПОЛ} = 360^{\circ}01,5'$
 $\Sigma\beta_{ТЕОР} = 360^{\circ}$
 $f\beta = +1,5'$
 $\Sigma\beta_{ДОП} = 1'\sqrt{n}$

$$f_s = \sqrt{f_x^2 + f_y^2} = \sqrt{0,03^2 + 0,03^2} = \pm 0,03;$$

$$\frac{f_s}{S} = \frac{1}{P/f_s} = \frac{1}{493,22/0,03} = \frac{1}{16441} \leq \frac{1}{2000}$$

Поправки вводятся в измеренные углы, в табл. 8.3 поправки записаны над значениями измеренных углов (колонка 2).

Вычисляются исправленные углы.

$$\beta_{ИСПР} = \beta_{ИЗМЕР} + \delta_{\beta}. \quad (8.12)$$

Правильность введения поправок контролируется условием

$$\Sigma\beta_{ИСПР} = \Sigma\beta_{ТЕОР}; \quad (8.13)$$

Проконтролировав правильность введения поправок в измеренные углы, вычисляются дирекционные углы

$$\begin{aligned}\alpha &= \alpha_0 + \beta_{ЛЕВ} \pm 180 \\ \alpha &= \alpha_0 - \beta_{ПРАВ} \pm 180\end{aligned}\quad (8.14)$$

где $\beta_{ЛЕВ}$, $\beta_{ПРАВ}$ - соответственно леволежащие и праволежащие по ходу исправленные горизонтальные углы.

Контроль - вычисленный по ходу начальный дирекционный угол должен быть равен исходному;

Следующий этап вычислений это вычисление приращений координат

$$\begin{aligned}\Delta X &= S \cos \alpha \\ \Delta Y &= S \sin \alpha\end{aligned}\quad (8.15)$$

При вычислении приращений координат следует обратить внимание на их знаки, они соответствуют знакам функций синус и косинус дирекционных углов; для контроля можно воспользоваться следующим соотношением:

- если $0 < \alpha < 90^\circ$, то $\Delta X > 0$, $\Delta Y > 0$;
- если $90^\circ < \alpha < 180^\circ$, то $\Delta X < 0$, $\Delta Y > 0$;
- если $180^\circ < \alpha < 270^\circ$, то $\Delta X < 0$, $\Delta Y < 0$;
- если $270^\circ < \alpha < 360^\circ$, то $\Delta X > 0$, $\Delta Y < 0$.

Числовое значение приращений контролируется теоремой Пифагора

$$S = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2}. \quad (8.16)$$

Вычисленные приращения координат записываются в колонки 6,7 ведомости вычисления табл. 8.3.

Сумма приращений координат позволяет осуществить контроль качества линейных измерений. Если в измеренных линиях есть погрешности, то в последняя точка теодолитного хода не совпадет с исходной, рис. 8.12, т.е. образуется абсолютная линейная невязка f_s по которой осуществляется контроль качества линейных измерений

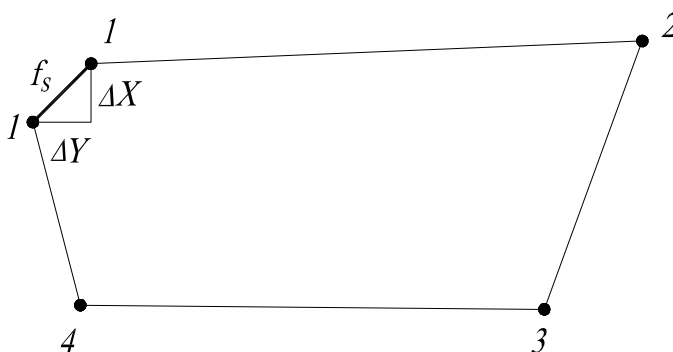


Рис. 8.13 – Линейная невязка теодолитного хода

$$\frac{f_s}{S} \leq \frac{1}{2000}, \quad (8.17)$$

где S - длина теодолитного хода (для замкнутого хода - периметр полигона)

$$f_s = \sqrt{f_x^2 + f_y^2}, \quad (8.18)$$

где f_x, f_y - соответственно, невязки в приращениях координат.

Невязки в приращениях координат равны разности полученных и теоретических сумм приращений координат

$$\begin{aligned} f_x &= \sum \Delta X_{\text{пол}} - \sum \Delta X_{\text{теор}}, \\ f_y &= \sum \Delta Y_{\text{пол}} - \sum \Delta Y_{\text{теор}}. \end{aligned} \quad (8.19)$$

Для замкнутого теодолитного хода теоретическая сумма приращений координат равна нулю, следовательно, невязки в приращениях координат равны

$$\begin{aligned} f_x &= \sum \Delta X, \\ f_y &= \sum \Delta Y; \end{aligned} \quad (8.20)$$

$$\begin{aligned} \sum \Delta X_{\text{теор}} &= X_{\text{кон}} - X_{\text{нач}}; \\ \sum \Delta Y_{\text{теор}} &= Y_{\text{кон}} - Y_{\text{нач}}, \end{aligned} \quad (8.21)$$

таким образом, для разомкнутого полигона невязки в приращениях координат будут равны

$$\begin{aligned} f_x &= \sum \Delta X - X_{\text{кон}} - X_{\text{нач}}; \\ f_y &= \sum \Delta Y - Y_{\text{кон}} - Y_{\text{нач}}, \end{aligned} \quad (8.22)$$

где $X_{\text{кон}}$, $Y_{\text{кон}}$, $X_{\text{нач}}$, $Y_{\text{нач}}$ - соответственно, координаты конечной и начальной точек.

Завершив вычисление невязок в приращениях координат (8.20), (8.22), абсолютной линейной невязки (8.17) и проконтролировав линейную невязку на соответствие допуску (8.16), вычисляются поправки в приращения координат

$$\begin{aligned} \delta_x &= -\frac{f_x}{P} S_i, \\ \delta_y &= -\frac{f_y}{P} S_i, \end{aligned} \quad (8.23)$$

где S_i - измеренное расстояние в сотнях метрах;

P - периметр полигона или длина теодолитного хода в сотнях метров.

Контролем правильности вычисления поправок будет соблюдение следующего условия:

$$\begin{aligned} \sum \delta_x &= -f_x, \\ \sum \delta_y &= -f_y. \end{aligned} \quad (8.24)$$

Поправки записываются над вычисленными приращениями координат в колонках 6 и 7 ведомости, табл. 8.3.

Если условие (8.23) выполнено, то вычисляются исправленные приращения координат

$$\begin{aligned} \Delta X_{\text{испр}} &= \Delta X + \delta_x, \\ \Delta Y_{\text{испр}} &= \Delta Y + \delta_y; \end{aligned} \quad (8.25)$$

$$\begin{aligned} \text{контроль} - \quad & \sum \Delta X_{\text{испр}} = 0, \\ & \sum \Delta Y_{\text{испр}} = 0, \quad \text{для замкнутого теодолитного хода;} \\ & \sum \Delta X_{\text{испр}} = X_{\text{кон}} - X_{\text{нач}}, \\ & \sum \Delta Y_{\text{испр}} = Y_{\text{кон}} - Y_{\text{нач}}. \quad \text{для разомкнутого теодолитного хода.} \end{aligned}$$

Завершающей операцией обработки теодолитного хода является вычисление координат

$$\begin{aligned} X &= X_0 + \Delta X; \\ Y &= Y_0 + \Delta Y, \end{aligned} \quad (8.26)$$

где X, Y - координаты последующих точек;
 X_0, Y_0 - координаты предыдущих точек;
 $\Delta X, \Delta Y$ - исправленные приращения координат.

Нивелирование точек теодолитного хода

Производство нивелирования точек теодолитного хода состоит из нескольких операций. Составляется схема измерений, предварительно ознакомившись с размещением реперов и подходов к ним, образец схемы приведен на рис. 8.13. Устанавливается нивелир между измеряемыми точками, таким образом, чтобы расстояние между точками и нивелиром было приблизительно одинаковым, например, между $Rp1$ и точкой 3, рис.8.14. Приводится нивелир в рабочее положение. Устанавливается рейка на заднюю точку, на рис. 8.14 задней будет точка $Rp1$.

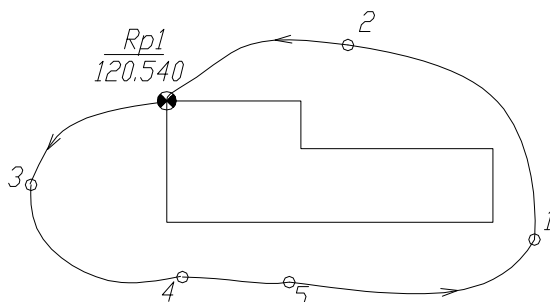


Рис. 8.13 - Схема нивелирования точек теодолитного хода

Наводится труба нивелира на заднюю точку. В уровенных нивелирах элевационным винтом совмещаются концы пузырька цилиндрического уровня в единую дугу, рис.8.15. В нивелирах с компенсатором легким постукиванием по корпусу прибора или небольшим поворотом подъемного винта контролируется работа компенсатора, если компенсатор исправлен, то при возбуждении колебаний корпуса нивелира отсчет по рейке должен быть неизменным.

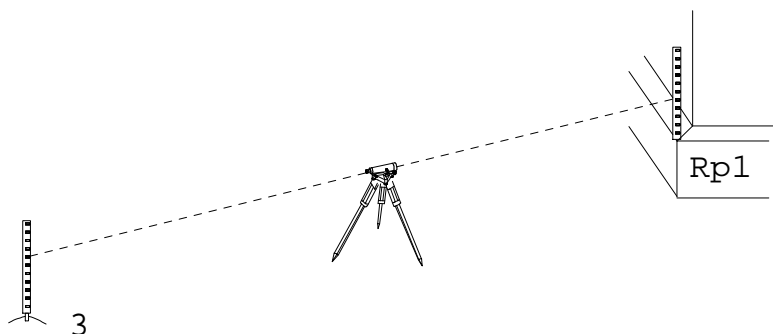


Рис.8.14 - Привязка к реперу

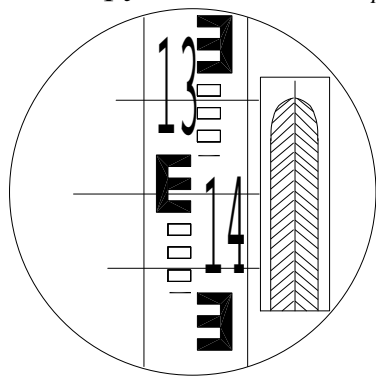


Рис. 8.15 - Поле зрения нивелира

Берутся отсчеты $a_{Rp}^ч$, $a_{Rp}^к$ по черной и красной сторонам рейки, контролируя разность пяток ($a_{Rp}^к - a_{Rp}^ч$), она не должна отличаться от постоянной рейки более чем на 5мм. Записываются эти отсчеты в полевой журнал.

Устанавливается рейка на переднюю точку. Наводится труба нивелира на переднюю точку. В уровненных нивелирах элевационным винтом совмещаются концы пузырька цилиндрического уровня в единую дугу, рис. 8.15. В нивелирах с компенсатором легким постукиванием по корпусу или небольшим поворотом подъемного винта контролируется работа компенсатора.

Берутся отсчеты $b_3^ч$, $b_3^к$ по черной и красной сторонам рейки, контролируя разность пяток ($b_3^к - b_3^ч$), она не должна отличаться от постоянной рейки более чем на 5мм. Если на станции есть точки, отметки которых необходимо определить, последовательно устанавливается рейка на эти точки и производится отсчитывание по черной стороне рейки, отсчет c_i .

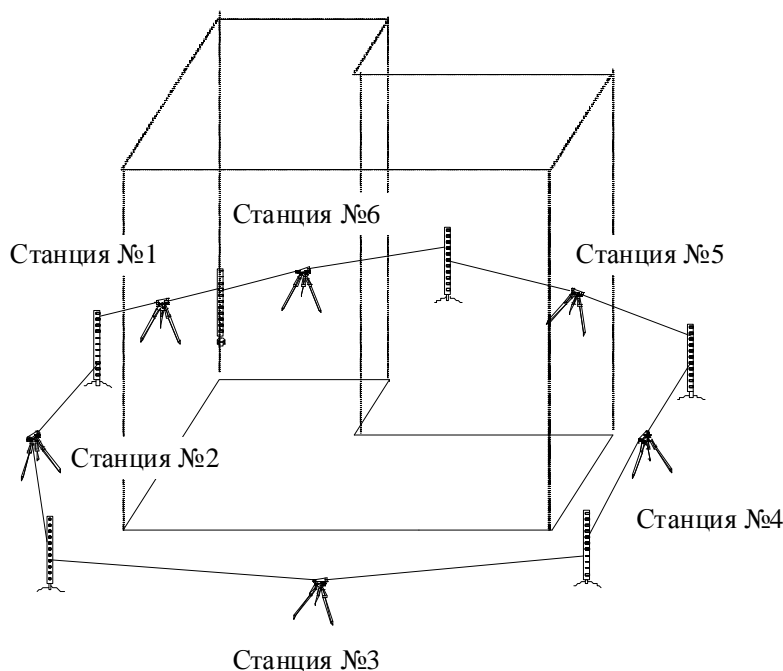


Рис. 8.17 - Схема производства нивелирования

Записываются эти отсчеты в полевой журнал. Вычисляются превышения по черной и красной сторонам рейки

$$\begin{aligned} h_{ч} &= a_{Rp}^ч - b_3^ч; \\ h_{кп} &= a_{Rp}^{кп} - b_3^{кп} \end{aligned} \quad (8.27)$$

Устанавливается нивелир на следующей станции и аналогично выполняются измерения следующего превышения, рис. 8.17.

Работы завершаются замыканием хода на исходном репере $Rp1$.

Форма нивелирного журнала приведена в табл.8.4.

Таблица 8.4 - Журнал нивелирования точек теодолитного хода

№ ст	№ тчк	Отсчеты по рейкам			Превышения			Отметки	
		задний	передний	промежуток	вычислен	средние	исправлен	ГИ	точек
	Rp1	1620	1645		-0025	+1		122.160	<u>120.540</u>
1		6402	6429		-0027	-0026	-0025	122.160	
	m3	4782	4784					<u>122.160</u>	120.515
	1			1580					120.580
	2			1495					120.665
	m3	1595	1847		-0252	+1			120.515
2		6380	6630		-0250	-0251	-0250		
	m4	4785	4783						120.265
	2	0736	1426		-0690	+1			121230
6		5520	6212		-0692	-0691	-0690		
	Rp1	4784	4786						<u>120.540</u>
Контроль		<u>17226</u> 17220 -6	-17220		-13	-6	0000		

$$fh = -6.6 \text{ м}$$

$$fh_{\text{доп}} = 50\sqrt{L} = 50 \times \sqrt{0.78} = 44 \text{ мм.}$$

Контроль:

$$\Sigma a_{\text{ЗАДН}} - \Sigma b_{\text{ПЕРЕД}} = 2 \Sigma h_{\text{ВЫЧИС}}; \quad (8.28)$$

$$2 \Sigma h_{\text{ВЫЧИС}} = \Sigma h_{\text{СРЕД}}. \quad (8.29)$$

Если условия не выполнены, необходимо построчно проверить всю арифметику, обратив внимание на знаки превышений и только после чего произвести контрольные измерения. При поиске погрешностей при выполнении нивелирования в первую очередь необходимо обратить внимание на те станции в которых были погрешности или какие-либо проблемы.

Вычисляется невязка в превышениях

$$fh = \Sigma h_{\text{СРЕД}}. \quad (8.30)$$

Контролируется допустимость невязки

$$fh_{\text{доп}} = 50\sqrt{L}, \quad (8.31)$$

где L - длина хода в км.

Если полученная невязка недопустима, то необходимо проверить повторно журнал и только после чего провести контрольные измерения. Вычисляются поправки в превышения

$$\delta_n = -\frac{fh}{n} \quad (8.32)$$

где n - число станций в нивелирном ходе.

Вычисляются исправленные превышения

$$h_{ИСПР} = h_{СРЕД} + \delta_h \quad (8.33)$$

Контролируется правильность вычисления исправленных превышений

$$\Sigma h_{ИСПР} = 0 \quad (8.34)$$

Вычисляются отметки точек:

$$\begin{aligned} H_3 &= H_{Rp1} + (h_{ИСПР})_{Rp1-3}; \\ H_4 &= H_3 + (h_{ИСПР})_{3-4}; \\ H_5 &= H_4 + (h_{ИСПР})_{4-5}; \\ H_1 &= H_5 + (h_{ИСПР})_{5-1}; \\ H_2 &= H_1 + (h_{ИСПР})_{1-2}; \\ H_{Rp1} &= H_2 + (h_{ИСПР})_{2-Rp1}. \end{aligned} \quad (8.35)$$

Вписываются исправленные превышения и отметки точек в схему нивелирования полевого журнала.

Образец оформленной схемы нивелирования приведен на рис.8.18.

На станциях на которых есть промежуточные точки вычисляется отметка горизонта инструмента станции:

$$H_{ГИ} = \frac{H_{ГИ}^A + H_{ГИ}^B}{2}, \quad (8.36)$$

где $H_{ГИ}^A$ - отметка горизонта инструмента, определенная по задней точки;
 $H_{ГИ}^B$ - отметка горизонта инструмента, определенная по передней точки;
 $H_{ГИ}^A = H_A + a_u$;
 $H_{ГИ}^B = H_B + b_u$.

Данная работа считается завершенной если, полностью обработан журнал, т.е.: вычислены все превышения, произведен постраничный контроль, вычислена невязка, вычислены поправки и исправленные превышения, вычислены отметки и составлена схема.

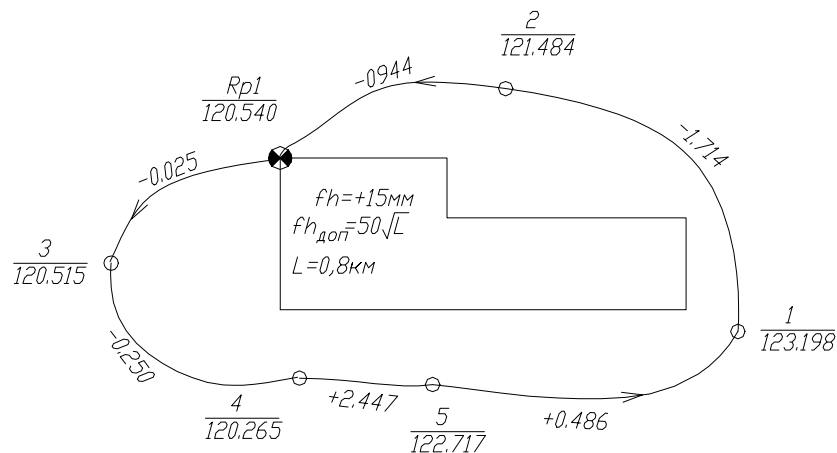


Рис.8.18 - Образец полностью заполненной схемы нивелирного хода

9 ТОПОГРАФИЧЕСКИЕ СЪЕМКИ

9.1 Сущность, виды и способы топографических съемок

Топографическая съемка это определение координат элементов ситуации и рельефа с целью получения топографических материалов.

Процесс получения топографических материалов состоит из двух этапов – топографическая съемка и составление материалов.

Виды съемки определяются методикой и средствами измерений, применяемыми для съемки. Наиболее распространены следующие виды наземных съемок:

- 1) контурная (теодолитная);
- 2) нивелирная;
- 3) тахеометрическая;
- 4) фототопографическая;
- 5) спутниковая;
- 6) комбинированная.

Способы топографических съемок определяются используемыми для съемки системами координат. Они, как известно, следующие:

- створная;
- перпендикулярная;
- полярная;
- угловая и линейная засечки;
- прямоугольных координат.

9.2 Контурная (теодолитная) съемка

Контурная съемка это вид съемки, при которой координаты характерных точек ситуации определяются в процессе прокладки теодолитных ходов следующими способами: створным, полярным, перпендикуляров, засечек, координат. При выполнении угловых измерений выполняется съемка элементов ситуации полярным способом, измеряя углы и расстояния. Если линейные измерения затруднены, то применяется угловая засечка. При выполнении линейных измерений створным способом определяются положение объектов, пересекающих линию измерений, а способом перпендикуляров фиксируются объекты, находящиеся рядом с измеряемой линией. Если расстояния до снимаемых контуров не превышают длины мерного прибора, то рекомендуется применять способ линейной засечки.

В процессе съемки ведется полевой абрис, рис. 9.1, на котором схематически показываются все элементы ситуации и приводятся результаты измерений.

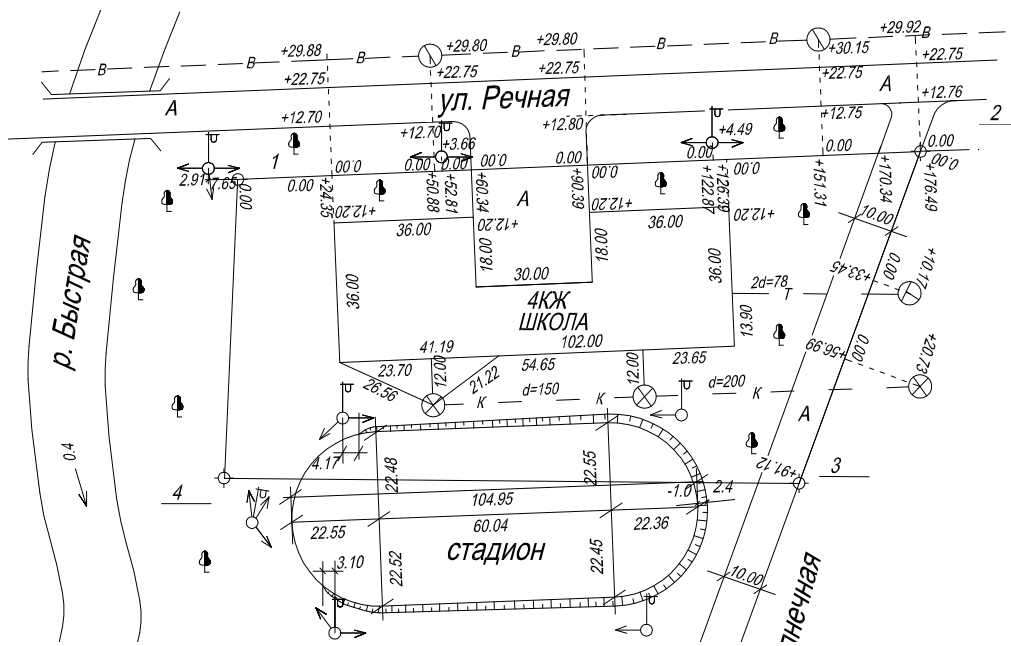
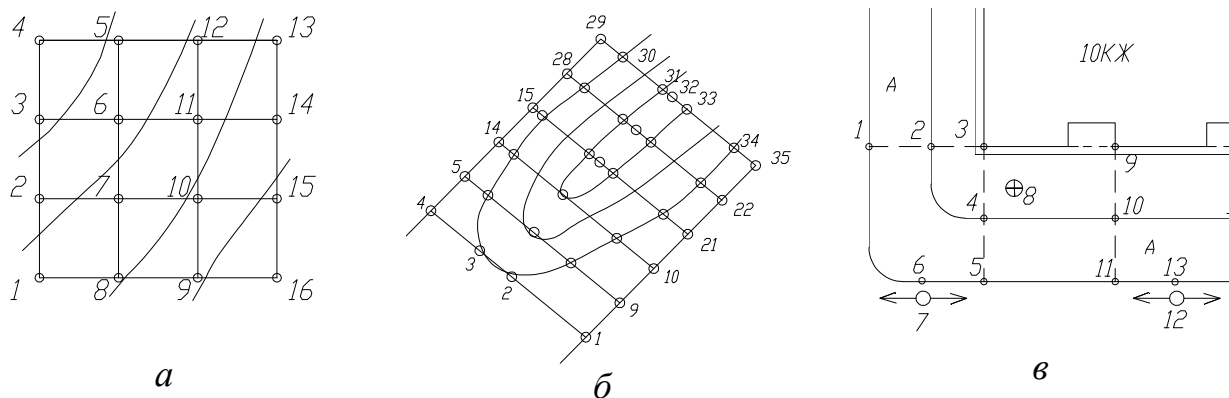


Рис. 9.1 - Абрис контурной съемки

Теодолитная съемка, как правило, используется в качестве дополнений к другим видам съемки или применяется при проведении корректуры существующих топографических планов.

9.3 Нивелирная съемка

Нивелирная съемка это съемка при которой плановое положение характерных точек ситуации и рельефа определяется сеткой квадратов, поперечниками или объектами, а высотное - техническим нивелированием. Данный вид съемки наиболее рационально применять на открытых площадках, при выполнении городских внутриквартальных съемок. Основные разновидности нивелирных съемок показаны на рис. 2.2.



а – нивелирование по квадратам; б – нивелирование по поперечникам; в – нивелирование по ситуации

Рис. 9.2 - Разновидности нивелирных съемок

Работы осуществляются в три этапа. На первом этапе выполняется разбивка сетки квадратов или поперечников, затем составляется абрис.

Полевые работы завершаются нивелированием. Если рельеф площадки спокойный, то нивелирование выполняется с одной станции, обязательно связывая две смежные точки обоснования, рис. 9.3. На участках со сложным рельефом прокладывается нивелирный ход, в качестве связующих точек используются любые подходящие точки, а вершины квадратов нивелируются как промежуточные точки. Образец нивелирования площадки по квадратам с нескольких нивелирных станций показан на рис. 9.4.

Образец записи журнала нивелирования по квадратам приведен в табл. 9.1.

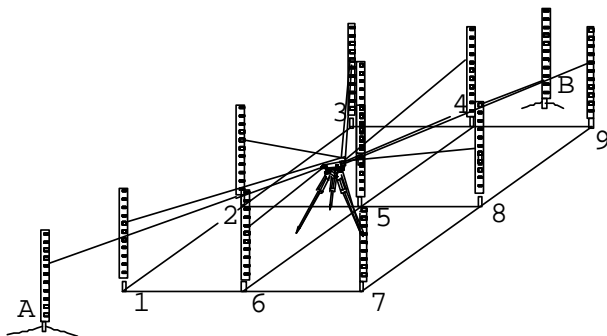


Рис. 9.3 - Нивелирование сетки квадратов

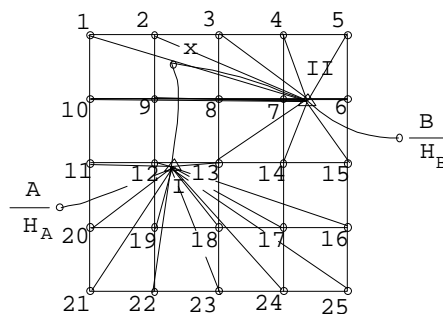


Рис. 9.4 - Нивелирование квадратов с нескольких нивелирных станций

Таблица 9.1 - Журнал нивелирования по квадратам

№ ст	№ тчк	Отсчеты по рейкам			Превышения			Отметки	
		задний	передн	промеж	вычислен	средние	исправлен	ГИ	точек
	m2	0635	2934		-2299	+2		123,755	<u>123.120</u>
1		5417	7720		-2303	-2302	-2300	<u>123,754</u>	
	m3	4782	4786					123,754	<u>120.820</u>
	1			1235					122.519
	2			1195					122.559

Конт- роль		6052	10654		-4602 -4602	-2302	-2300		

$$fh = \sum h_{\text{СРЕД}} - (n_3 - n_2) = -2302 - (-2300) = -2\text{мм},$$

$$fh_{\text{доп}} = 10\sqrt{n} = 10\sqrt{1} = 10\text{мм}..$$

9.4 Тахеометрическая съемка

При тахеометрической съемке плановое положение характерных точек ситуации и рельефа определяется полярным способом, высотное - тригонометрическим нивелированием, рис. 9.5. Съемка выполняется теодолитом-тахеометром.

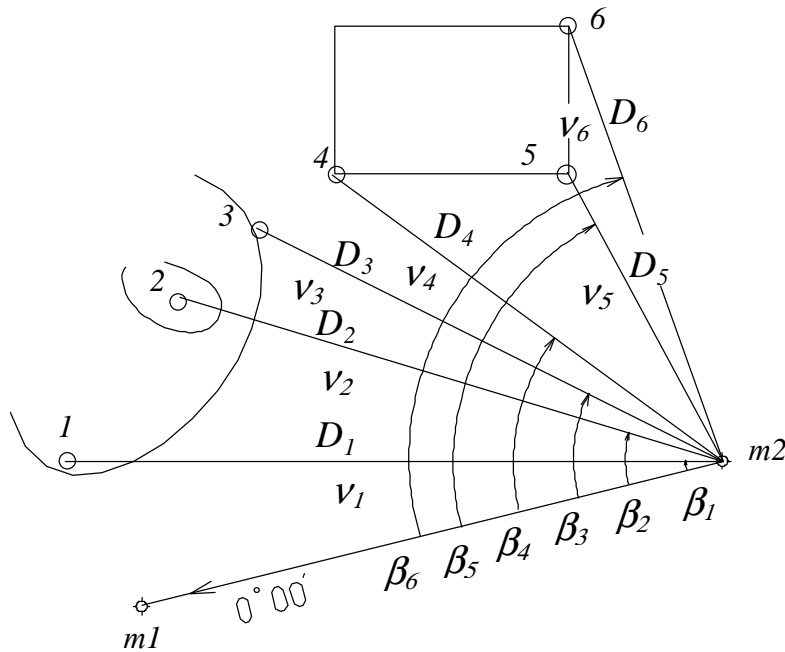


Рис. 9.5 - Тахеометрическая съемка

Горизонтальные углы определяются отсчетами по горизонтальному кругу при ориентировании нуля лимба на смежную точку планово-высотного обоснования.

Отметка снимаемой точки B , рис. 9.6, равна:

$$H_B = H_A + h' + i - V, \quad (9.1)$$

где H_A - отметка точки обоснования;

$h' = S \operatorname{Tg} \nu$;

V - высота визирования;

i - высота инструмента.

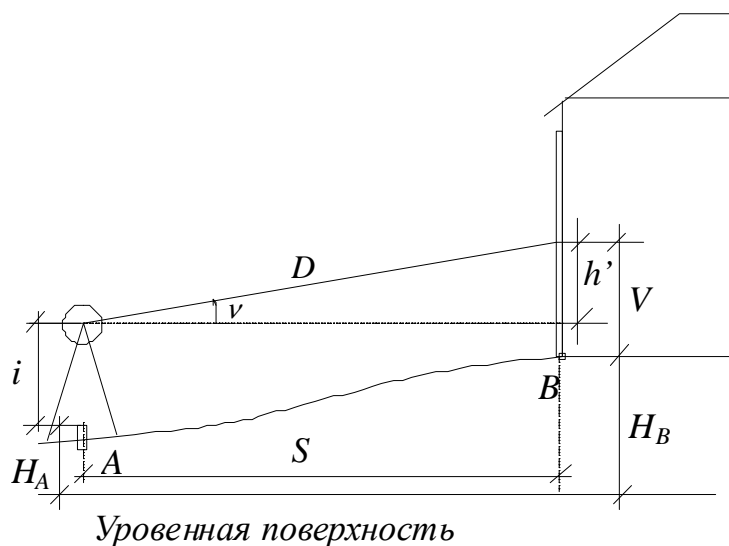


Рис. 9.6 - Тригонометрическое нивелирование

Работа на тахеометрической станции состоит из двух этапов. На первом этапе устанавливается теодолит на съемочную станцию, измеряется высота инструмента, тахеометр приводится в рабочее положение. Составляется абрис

съемки, рис. 9.7. На заднюю точку выполняются контрольные измерения, определяется место нуля, дальномерное расстояние и выполняется ориентирование нуля лимба на эту точку.

На втором этапе выполняется непосредственно съемка. Последовательно устанавливается рейка на все пикетные точки, производится отсчитывание по горизонтальному кругу, определяется дальномерное расстояние и выполняется отсчет по вертикальному кругу.

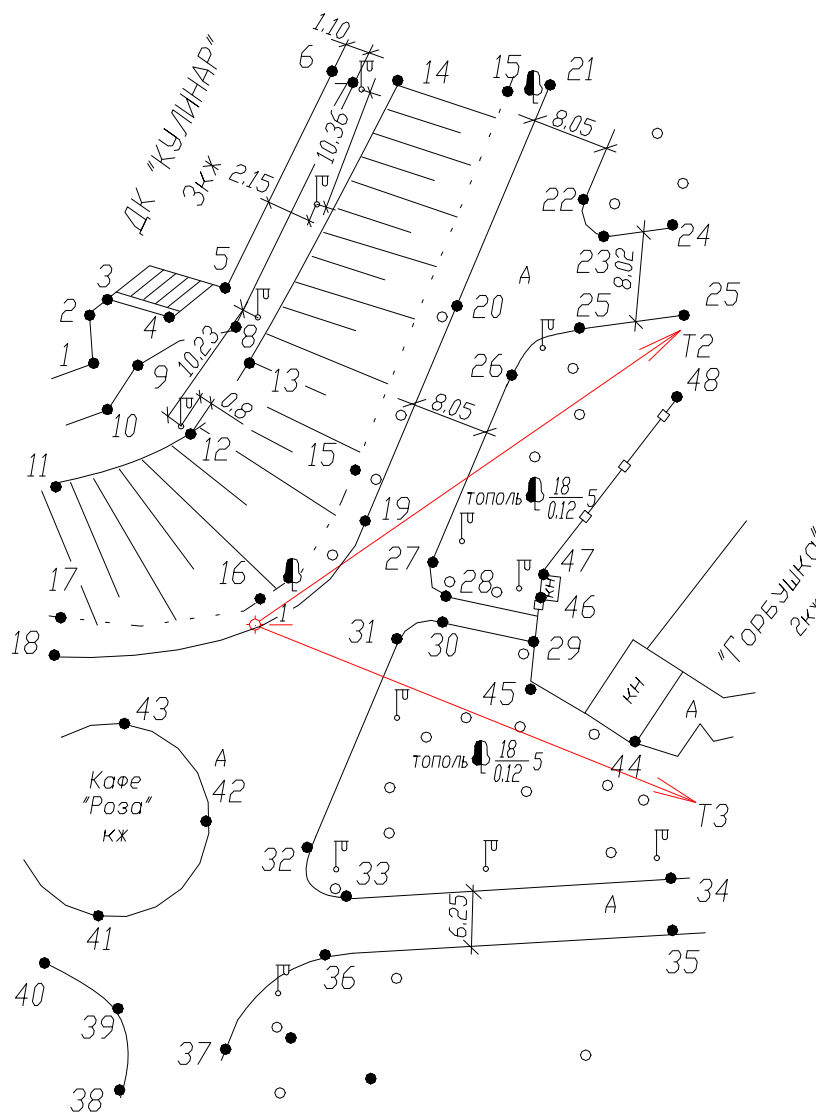


Рис. 9.7 - Абрис тахеометрической съемки

Работы на станции завершаются контрольным наведением трубы на ориентирную точку и повторным определением дальномерного расстояния, место нуля и контролируется ориентирование. Отклонение отсчета по горизонтальному кругу при повторном наведении на ориентирную точку не должно превышать $2'$, разность расстояний, определенных в начале и в конце работы на станции не должна превышать $1/200$, а разность значений место нуля, определенных в начале и в конце работы на станции не должно превышать $2'$.

Результаты измерений записываются в полевой журнал, форма которого приведена в табл. 9.2.

Таблица 9.2 - Журнал тахеометрической съемки

Дата 6.06.99

Наблюдатель Осадчук И.

Станция № 2 $i=1.45$ $MO=-1'$

$H_{с\text{ мин}} = 120,54$

$H_{раб} = 120,99$

№ точ	Дальномерное расстояние м	Отсчет по горизонтальному кругу ° '	Отсчет по вертикальному кругу ° '	МО	Вертикальный угол ° '	Горизонтальная проекция расстояния м	h м	H м	Примечание
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
т.3	86.50	0 0.0	Л 1 15 П -1 17	-1.0	1 16	86.50	1.91	122.90	ориент точка
1	122.5	351 24.0	-0 15.0		-0 14.0	122.5	-0.50	120.49	бордюр
2	107.0	12 12.5	-0 24.0		-0 23.0	107.0	-0.72	120.27	-*-
3	85.0	26 45.6	- 0 10			85.0	-0.22	120.77	столб
т.3	86.50	0 0.0	Л 1 16 П -1 18	-1.0	1 16	86.50	1.91	122.90	ориент точка

Обработка журнала тахеометрической съемки выполняется в такой последовательности:

1) вписываются отметки станций в тахеометрический журнал из журнала нивелирования точек теодолитного хода;

2) вычисляются рабочие отметки для каждой станции

$$H_{РАБ} = H_{СТ} + i - v, \quad (9.2)$$

где i - высота инструмента;

v - высота визирования;

$H_{СТ}$ - отметка станции;

рабочие отметки записываются в журнал ниже отметок станций;

3) вычисляются значения место нуля для каждой станции

$$MO = \frac{KL + KP}{2}, \quad (9.3)$$

эти значения теоретически должны быть одинаковыми, допускается расхождение до 2', если одно из значений место нуля определено ошибочно, то для данной станции используется среднее значение место нуля, вычисленное по другим станциям;

4) вычисляются значения углов наклона

$$v = KL - MO; \quad (9.4)$$

5) вычисляются горизонтальное проложение линий

$$S = D \cos v, \quad (9.5)$$

где D - дальномерное расстояние;

v - угол наклона, если $v < 3^\circ$, то $S = D$;

6) вычисляются превышения

$$h = Stg v; \quad (9.6)$$

7) вычисляются отметки пикетных точек

$$H_{\text{пик}} = H_{\text{РАБ}} + h. \quad (8.7)$$

Горизонтальные углы определяются отсчетами по горизонтальному кругу при ориентировании нуля лимба на смежную точку плано-высотного обоснования.

Отметка снимаемой точки B , рис. 9.4, равна:

$$H_B = H_A + h' + i - V, \quad (9.1)$$

где H_A - отметка точки обоснования; $h' = STg \nu$; V - высота визирования; i - высота инструмента.



Рис. 9.8 - Электронный тахеометр

Полная автоматизация процесса измерений и передачи полевой информации достигается объединением в одном приборе теодолита с автоматической регистрацией отсчетов (кодированного теодолита), светодальномера и компьютера. В этом случае информация, получаемая при съемке, предварительно обрабатывается на внутреннем компьютере и посредством специальной электронной карточки передается на дальнейшую обработку. Внешний вид электронного тахеометра подобной конструкции приведен на рис. 9.8.

9.5 Общие понятия об фотографических методах топографических съемок.

Фотографическое изображение представляет собой центральную проекцию объекта съемки. Если известны параметры съемки, расстояние S , фокусное расстояние объектива фотокамеры f , углы разворота фотокамеры относительно объекта, то по снимкам имеется возможность определять координаты элементов ситуации, рис. 9.9. Формулы общей зависимости между координатами точки местности и снимка имеют вид

$$\begin{aligned} X - X_s &= (Z - Z_s) \frac{a_1(x - x_0) + a_2(y - y_0) - a_3f}{c_1(x - x_0) + c_2(y - y_0) - c_3f}; \\ Y - Y_s &= (Z - Z_s) \frac{b_1(x - x_0) + b_2(y - y_0) - b_3f}{c_1(x - x_0) + c_2(y - y_0) - c_3f}, \end{aligned} \quad (9.7)$$

где $a_1 = \cos \alpha \cos \chi - \sin \alpha \sin \omega \sin \chi$;
 $a_2 = -\cos \alpha \sin \chi - \sin \alpha \sin \omega \cos \chi$;

$$a_3 = -\sin \alpha \cos \chi;$$

$$b_1 = -\cos \omega \sin \chi;$$

$$b_2 = \cos \omega \cos \chi;$$

$$b_3 = -\sin \omega;$$

$$c_1 = \sin \alpha \cos \chi + \sin \alpha \sin \omega \sin \chi;$$

$$c_2 = -\sin \alpha \sin \chi + \cos \alpha \sin \omega \cos \chi;$$

$$c_3 = \cos \alpha \times \cos \omega \times X_s, Y_s, \alpha, \omega, \chi - \text{элементы}$$

внешнего ориентирования фотокамеры;

x_0, y_0, f - элементы внутреннего ориентирования фотокамеры.

Координата Z (отметка точки) определяется по стереопаре фотоснимков, рис. 9.10.

$$Z = \frac{S \Delta p}{b + \Delta p}, \quad (9.8)$$

где S - расстояние съемки;

$$\Delta p = y' - y'';$$

b - базис фотографирования.

Наука, изучающая методы и средства измерений по фотоизображениям, называется фотограмметрия.

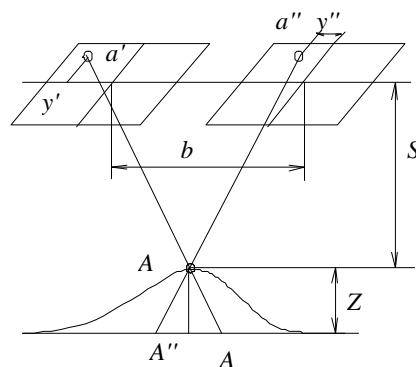


Рис 9.10 – Стереоскопическая съемка

Фотосъемка бывает наземной, аэрокосмической. Для наземной фотосъемки используются фототеодолиты, рис. 9.11, для аэрокосмической фотосъемки применяются специальные фотоаппараты.

Аэрокосмические способы съемки применяются при картографировании крупных участков земной поверхности и при топографических съемках масштабов от 1:5000 и мельче для промышленного и гражданского строительства. Так, например, только один снимок, сделанный с орбитальной космической станции фиксирует площадь около 200000 км².

Состав работ при аэрофотосъемке следующий:

1) проектируются залеты;

2) осуществляется аэрофотосъемка, обрабатываются материалы и составляются фотосхемы;

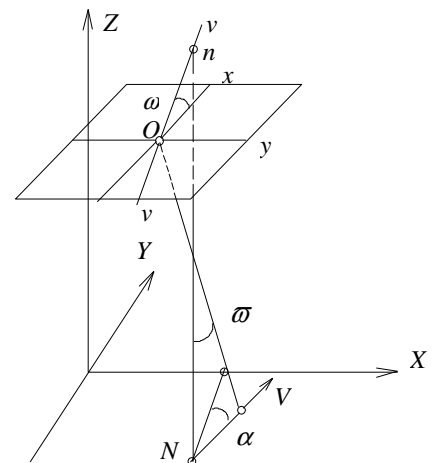
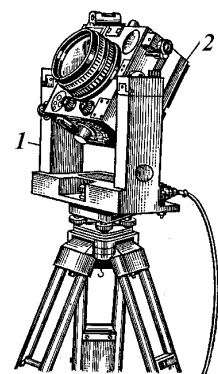


Рис 9.9 - Зависимость между координатами местности и снимка



1-теодолит; 2-фотокамера
Рис. 9.11 - Фото-теодолит

- 3) в поле выполняется дешифрирование объектов;
- 4) геодезическими методами определяются координаты опознаков, дешифрованных на снимках и найденных на местности;
- 5) выполняется фотограмметрическая обработка материалов и составляются фотопланы;
- 6) осуществляется издание топографокартографических материалов.

Фототеодолитная съемка применяется на локальных участках земной поверхности с большим количеством элементов ситуации, например при съемках геологических разрезов, архитектурных памятников и пр.



**Рис. 9.12 –
Беспилотный летательный аппарат**

Достижения в области электроники позволили создать навигационное оборудование для летательных аппаратов массой не более 1 кг. Что в свою очередь привело к созданию геодезических беспилотных летательных аппаратов для аэросъемки, рис. 9.12. Если стоимость одного часа полета пилотируемых летательных аппаратов составляет несколько тысяч гривен, то для беспилотников, работающих на аккумуляторах достаточно всего несколько сот ватт электроэнергии.

В результате обработки снимков получают цифровые модели местности, фотопланы и топографические планы, рис. 9.13-9.14.

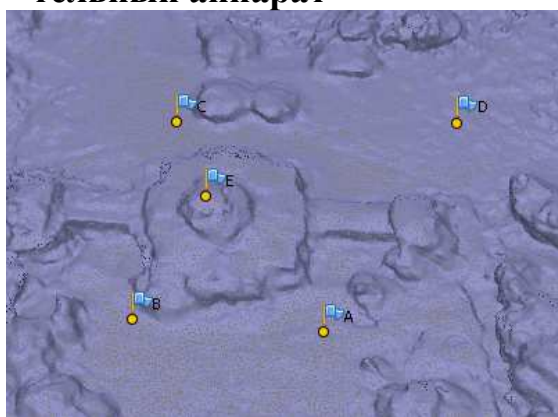


Рис. 9.13 - Каркасная модель



Рис. 9.14 -Текстурированная модель

Результатом обработки материалов съемки получается топографический план участка местности, рис. 9.15.

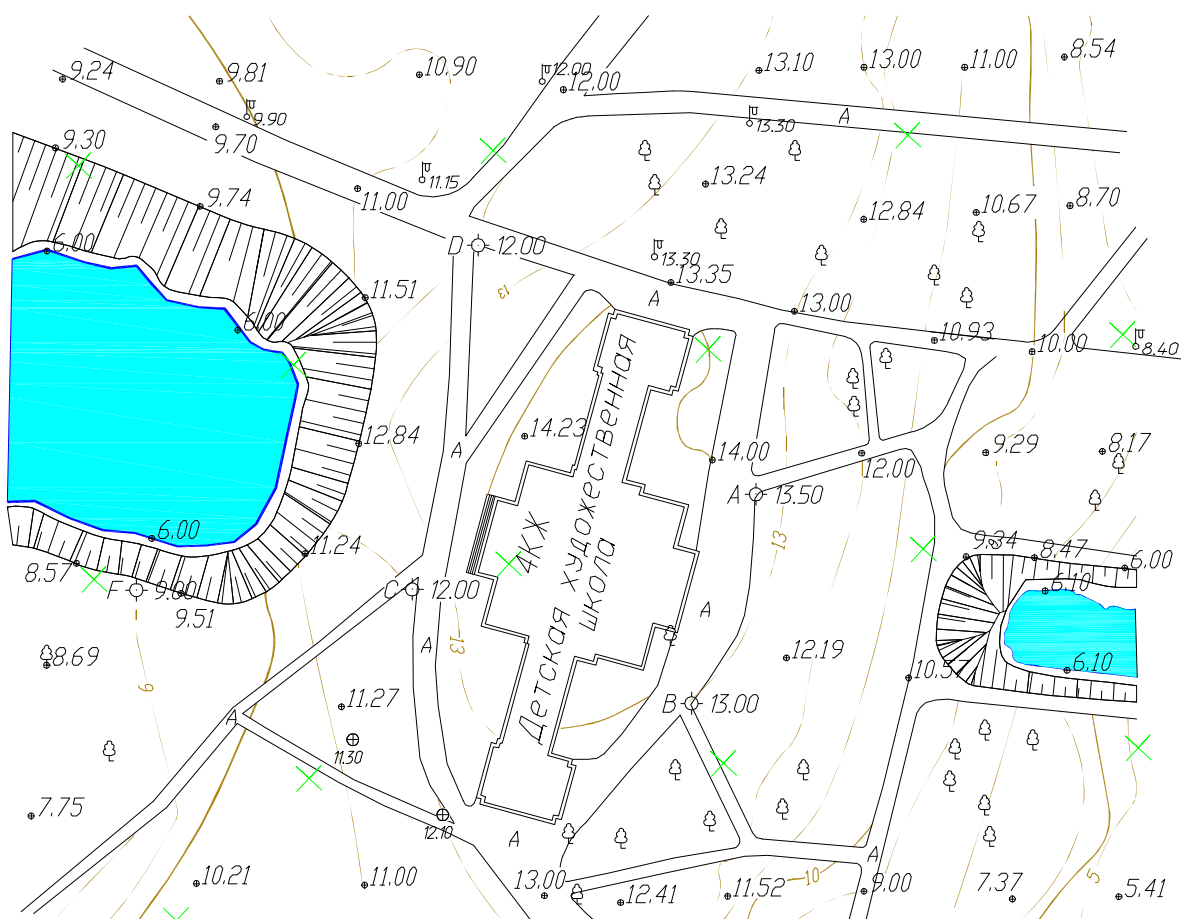


Рис. 9.15 – Топографический план

9.6 Составление топографических планов

Исходными материалами для составления топографических планов являются обработанные полевые материалы топографических съемок. Состав этих материалов следующий:

- 1) абрисы топографических съемок;
- 2) ведомости вычислений координат планово-высотного обоснования;
- 3) нивелирные журналы;
- 4) журналы тахеометрических съемок.

Разбивка координатной сетки

Работа по составлению плана начинается из подготовки ватмана и разбивки координатной сетки. План составляется на ватмане в стандартных форматах исходя из масштаба и площади съемки.

Координатная сетка для крупномасштабных планов имеет клетки размером 10 на 10 см. Для ее разбивки применяются специальные линейки, например линейка Дробышева, длиной порядка 100 см. Если специальная линейка отсутствует, то для разбивки сетки можно применять обычную выверенную линейку длиной 1 м.

Проводятся диагонали, рис. 9.16, и от точки пересечения диагоналей откладываются равные отрезки a , концы которых образуют прямоугольник, что является основой построения координатной сетки. На основе данного прямо-

угольника, откладывая по его сторонам десяти сантиметровые отрезки, строится сетка.

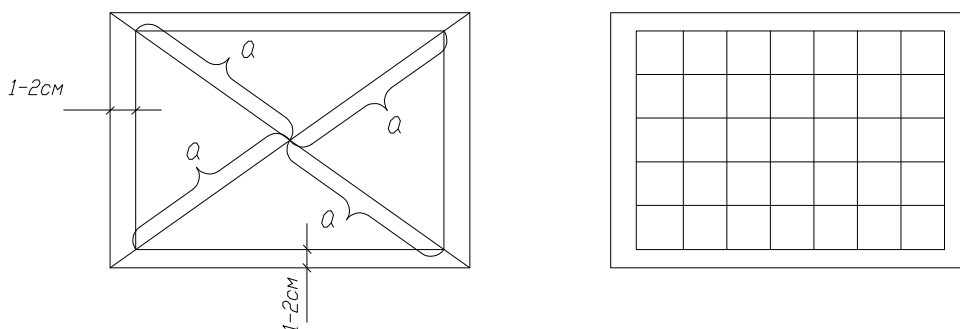


Рис. 9.16 - Разбивка сетки методом диагоналей

Для контроля качества разбивки сетки проводятся диагональные линии, максимальные длины сторон треугольников погрешностей, получаемых в вершинах квадратов, не должны превышать 1мм.

Оцифровка линий координатной сетки

Линии координатной сетки должны быть оцифрованы таким образом, чтобы план полностью поместился в рамки листа ватмана. Для этого вычисляются средние координаты точек теодолитного хода:

$$X_0 = \frac{\sum X_i}{n}, \quad Y_0 = \frac{\sum Y_i}{n}; \quad (9.9)$$

где X_i, Y_i – координаты точек теодолитного хода.

Эти значения будут координатами средних линий сетки, рис. 9.17.

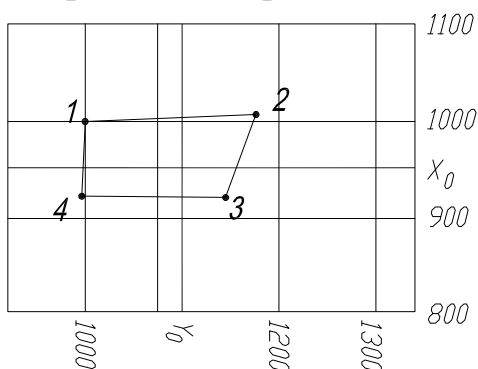


Рис. 9.17 - Оцифровка координатной сетки

На глаз по координатам наносятся точки теодолитного хода. Проводится граница съемки, рис. 9.18.

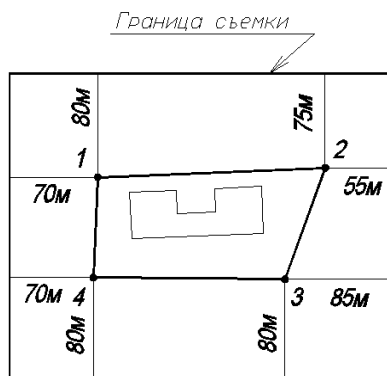


Рис. 9.18 - Граница съемки

Исходя из этой границы оценивается размещение плана на ватмане. Если план не помещается на ватмане, то оцифровка сетки корректируется.

Для более рационального размещения плана на ватмане допускается разворот плана таким образом, чтобы он наилучшим способом разместился на листе ватмана. При этом в правом верхнем углу обязательно показывается направление на север, рис. 9.19.

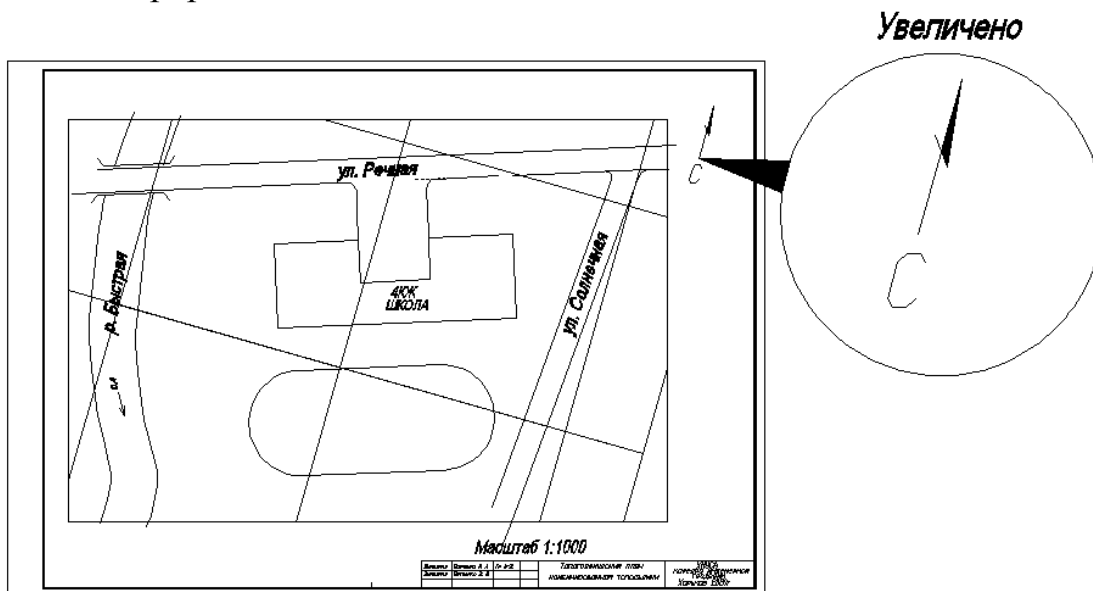


Рис. 9.19 – Размещение плана на листе ватмана

Накладка точек теодолитного хода

После разбивки координатной сетки и ее оцифровки выполняется накладка точек плано-высотного обоснования, которые должны быть нанесены с точностью порядка 0.3мм. Для обеспечения заданной точности применяется масштабная линейка и циркуль-измеритель, рис. 9.20. Циркулем-измерителем от линии сетки по оси X , в пределах одного квадрата, откладывается расстояние, равное разности координаты X точки накладки и младшего значения ближайшей к накладываемой точке линии координатной сетки. Полученная точка закрепляется уколком (точка 1, рис.9.20). Аналогично наносится точка по второй стороне квадрата, точка 2. Соединяются точки 1 и 2 вспомогательной линией. По этой линии откладывается отрезок, равный разности значения координаты Y накладываемой точки и младшего значения ближайшей к накладываемой точке линии координатной сетки по оси

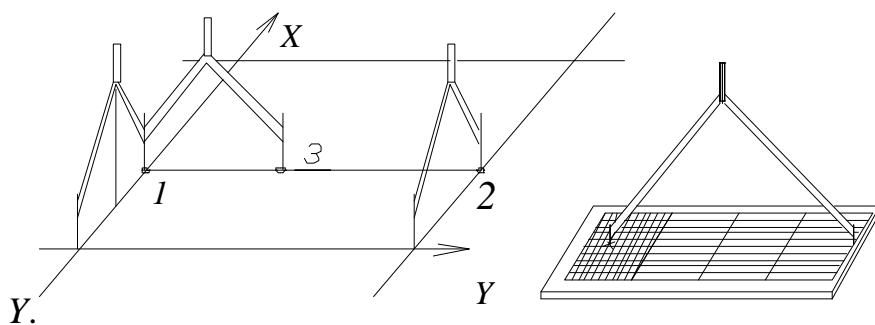


Рис. 9.20 - Накладка точек плано-высотного обоснования

Точка обоснования обозначается условным знаком, приведенным на рис. 9.21

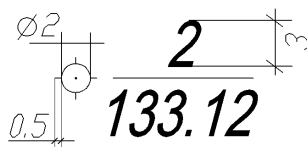


Рис. 9.21 - Условное обозначение точки планово-высотного обоснования

Контролем правильности накладки точек обоснования будет равенство (в пределах графической точности плана 0.4мм) расстояний между сопредельными точками обоснования, измеренными по плану, и выписанными из ведомости вычислений координат с учетом масштаба плана.

Составление плана

На основе абрисов съемки наносится ситуация. Для построения тахеометрической части плана используется круговой транспортир – тахеограф, рис. 9.22.

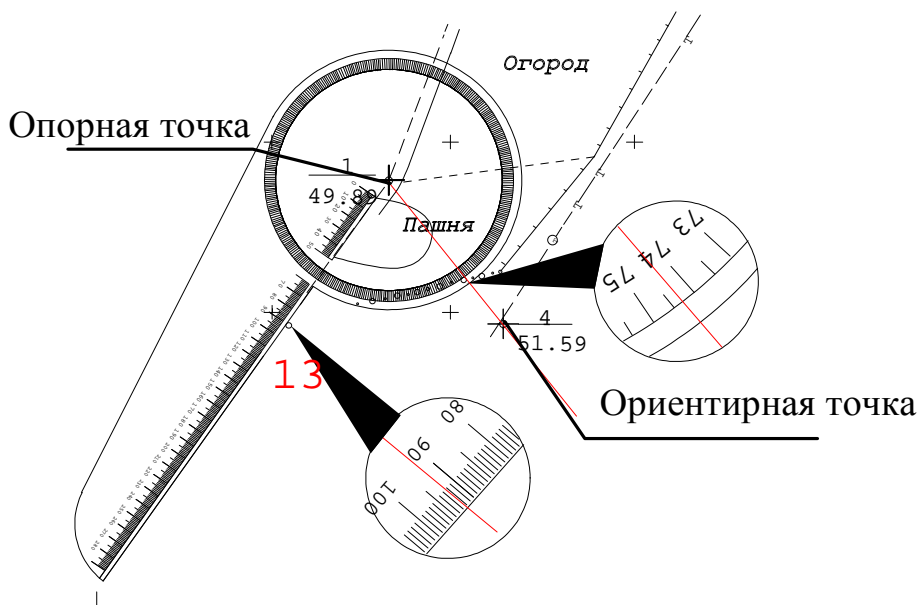


Рис. 9.22 - Накладка точек по полярным координатам

На плане проводится вспомогательная линия, соединяющая опорную и ориентирную точку. В опорную точку вставляется игла и на нее одевается тахеограф.

Разворачивается тахеометр таким образом, чтобы отсчет по его круговой шкале был равен горизонтальному углу на заданную пикетную точку ($74^{\circ} 30'$). По линейке откладывается заданное расстояние (92.3мм -92.3м) и делается укол. Получаем требуемую пикетную точку. Ставится номер пикета и аналогично накладываются остальные точки. После завершения накладки точек на первой станции, алогично наносятся все остальные пикетные точки других станций.

Нанесение отметок точек

Отметки пикетных точек переписываются на план в соответствии с их номерами из журналов тахеометрической и нивелирных съемок.

Проведение горизонталей

Горизонтали проводятся исходя из отметок пикетных точек и схемы (скелета) рельефа, составленной в процессе съемки. На первом этапе на плане стрелками показываются направления скатов местности, рис. 9.23, составляется скелет рельефа.

По отметкам пикетов определяется форма рельефа. В данном примере четко просматриваются две вершины (129.34 м и 129.05 м) и склоны, отходящие от этих вершин. Таким образом, представленный на рис. 9.23, рельеф является седловиной.

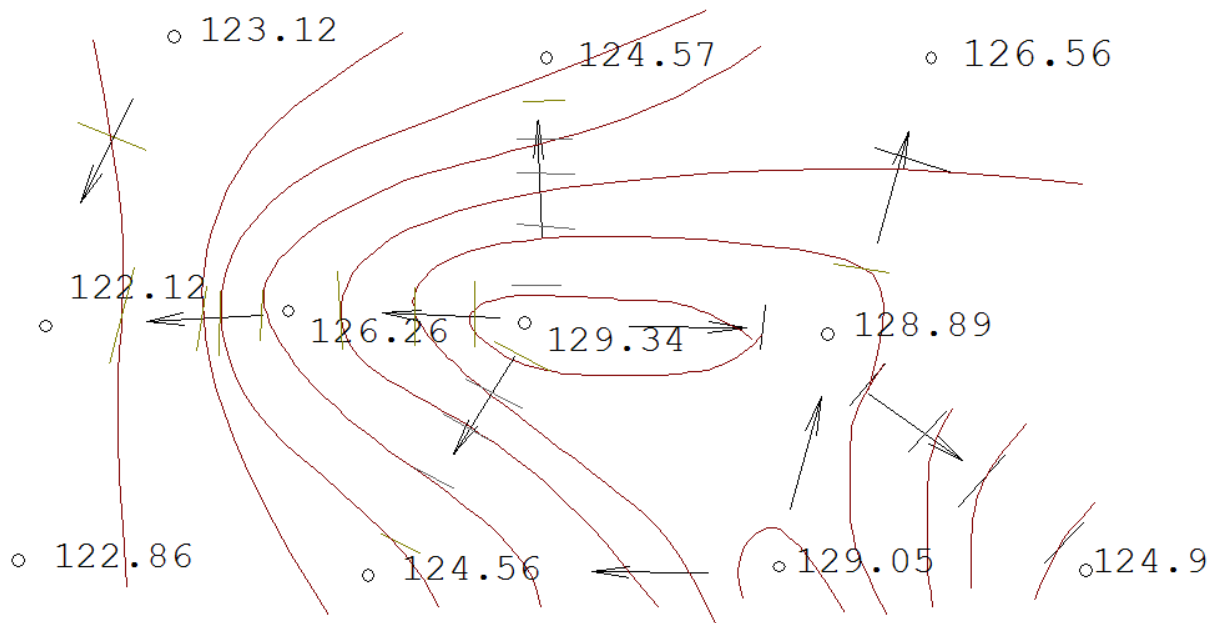


Рис. 9.23 - Предварительное проведение горизонталей

Между смежными пикетными точками проводятся риски, соответствующие отметкам кратным высоте сечения рельефа (в данном случае 1 м). Так на рис. 9.24 между точками 129.34 м и 126.26 м имеем точки 127 м, 128 м, 129 м. Через эти точки будут проведены соответствующие горизонталей. Соединив точки с равными отметками, получим изображение рельефа.

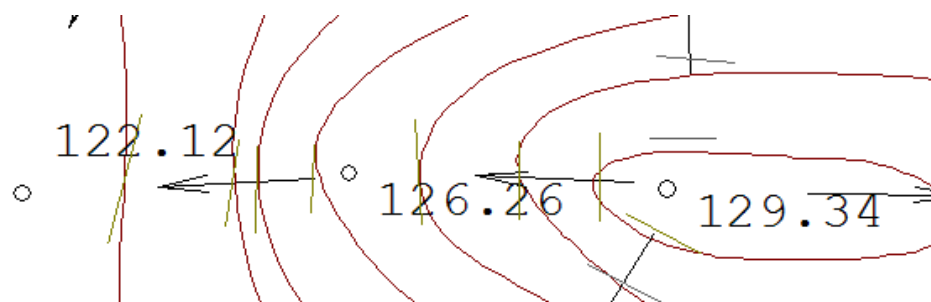


Рис. 9.24 – Приближенное интерполирование горизонталей

Окончательное уточнение положения горизонталей и их сгущение выполняется на основе графической интерполяции с помощью палетки.

На листе бумаги (можно взять миллиметровку) размером порядка 10 на 10 см, рис. 9.25, проводятся горизонтальные линии, которые цифруются согласно диапазону отметок точек плана.

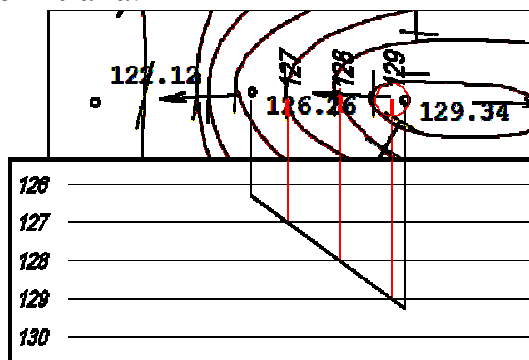


Рис. 9.25 - Палетка

Полученная палетка прикладывается до двух точек, между которыми необходимо провести горизонтали. От этих точек на палетку опускаются два перпендикуляра, длина которых соответствует отметкам этих точек. Концы перпендикуляров соединяются прямой линией. Проекция на план точек пересечения линий, соединяющих два перпендикуляра с горизонтальными линиями палетки дадут точки прохождения соответствующих горизонталей.

Окончательное оформление плана

После составления контурного, нивелирного и тахеометрического планов мы получим план комбинированной съемки.

План вычерчивается в соответствии с условными знаками, рис. 9.26 и в работе [].

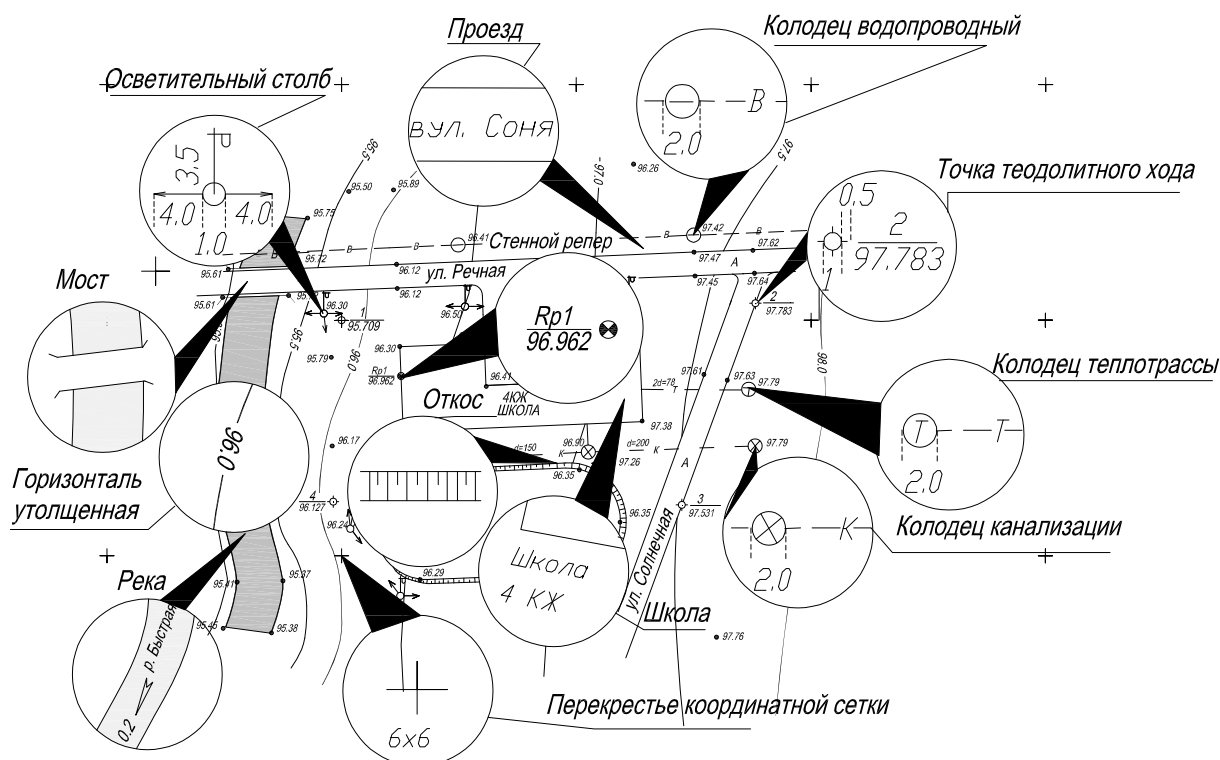


Рис. 9.26 – Условные знаки

Вычерчивание плана в начале осуществляется карандашом. Затем он вычерчивается тушью. Порядок вычерчивания плана тушью должен быть следующий, рис. 9.27:

1) выполняется отмывка реки;

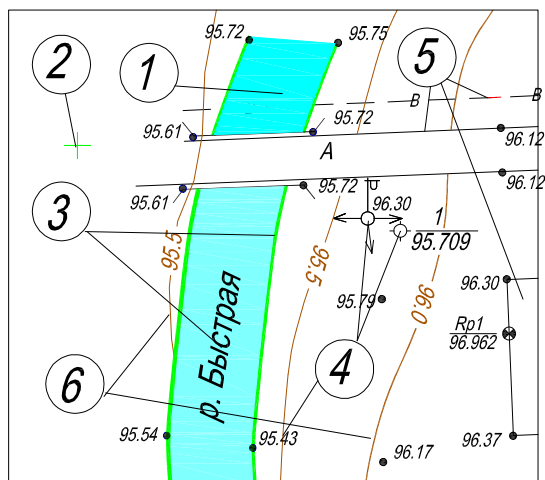


Рис. 9.27 - Порядок оформления плана

2) обводятся пересечения координатной сетки, точки обоснования, служебные надписи;

3) наносится береговая линия реки и название реки;

4) наносятся точечные объекты;

5) наносятся коммуникации и вся другая ситуация;

б) вычерчивается рельеф.

Окончательное оформление плана

Окончательное оформление топографических материалов выполняется в соответствии с действующими нормативными документами ЕСКД и [].

Возможны два типа оформления

стандартное и планшетное []. Образец стандартного оформления планов приведен на рис. 9.28, 9.29.

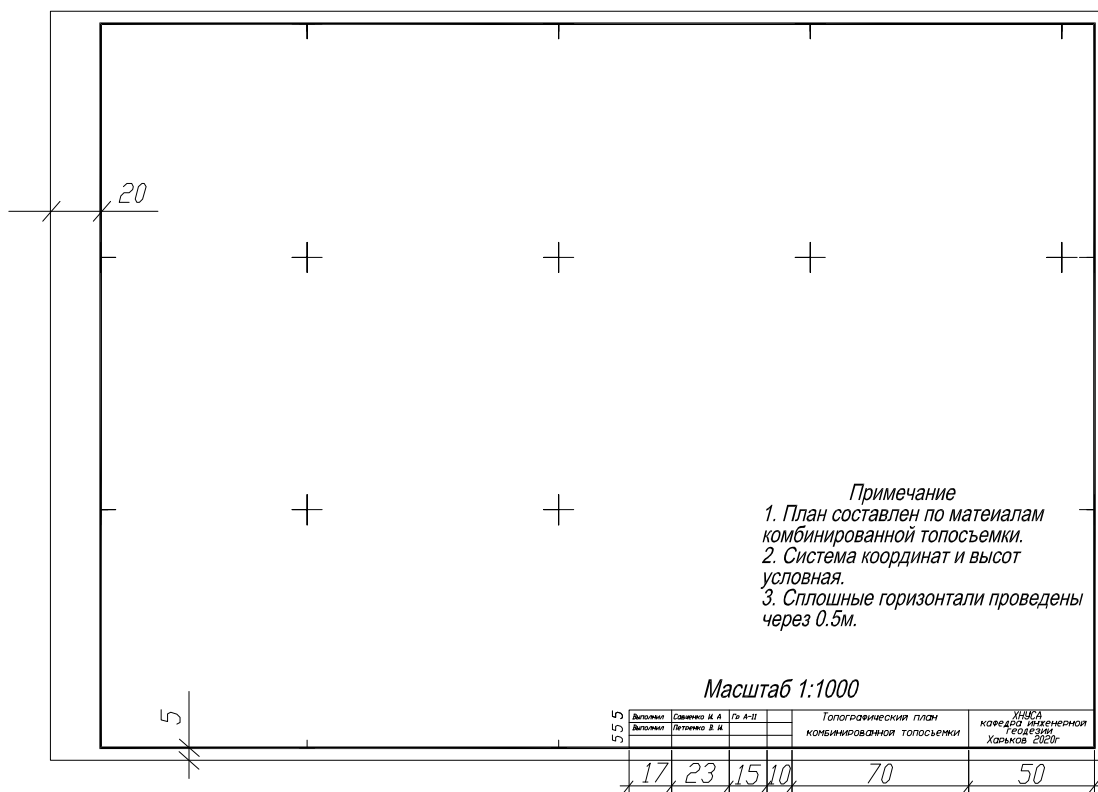


Рис. 9.28 - Стандартное оформления плана

Примечание

- 1. План составлен по материалам комбинированной топосъемки.*
- 2. Система координат и высот условная.*
- 3. Сплошные горизонталы проведены через 0.5м.*

Масштаб 1:1000

<i>Выполнил</i>	<i>Савченко И. А.</i>	<i>Гр А-11</i>		<i>Топографический план</i>	<i>ХНУСА</i>
<i>Выполнил</i>	<i>Петренко В. И.</i>			<i>комбинированной топосъемки</i>	<i>кафедра инженерной</i>
					<i>геодезии</i>
					<i>Харьков 2020г</i>

Рис. 9.29 – Подписи плана

10 ОСНОВЫ ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

10.1 Сущность геодезического проектирования

Геодезическое проектирование это комплекс геодезических работ по определению координат проектируемых объектов. Геодезическое проектирование состоит из горизонтальной и вертикальной планировки объектов.

10.2 Горизонтальная планировка

Горизонтальная планировка – решение вопросов планового размещения объектов. Создается архитектурный проект, рис. 10.1.

На его основе в ACADe или в другом векторном редакторе строится схема квартала, уточняются размеры зданий, проездов, расстояний между объектами.

Исходным материалом на котором осуществляется проектирование является топографический план, который получают по результатам геодезических изысканий, рис. 10.2.

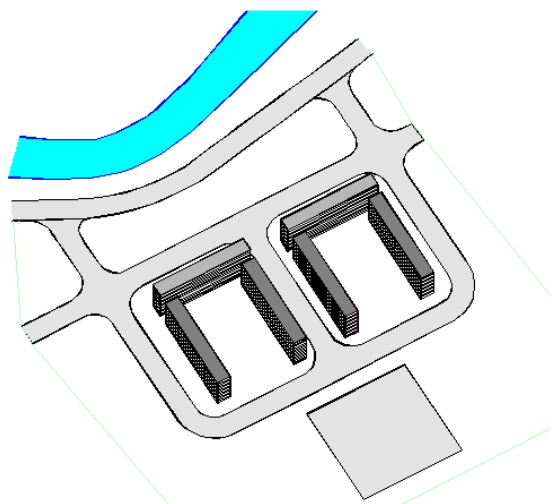


Рис. 10.1 – Фрагмент архитектурного проекта

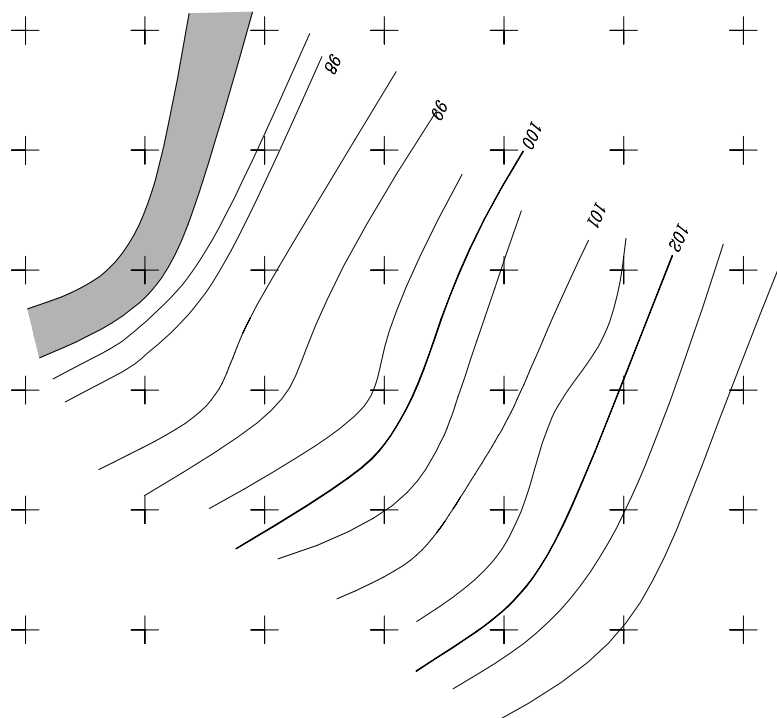


Рис. 10.2 – Топографический план участка

Схема размещается на топографическом плане, выполняется сопряжение проекта и местности, рис. 10.3.

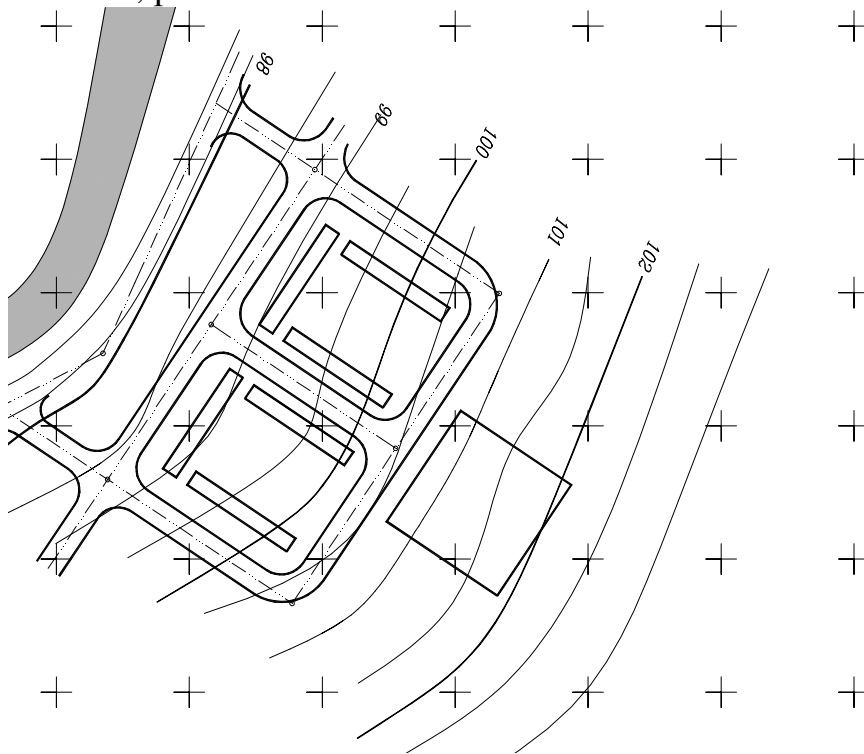


Рис. 10.3 – Размещение проекта на плане

Возникает проблема выбора системы отсчета координат. Можно оставить систему координат плана, но в этом случае координатные оси не будут параллельны основным осям сооружений, или принять так называемую строительную систему координат, рис. 10.4.

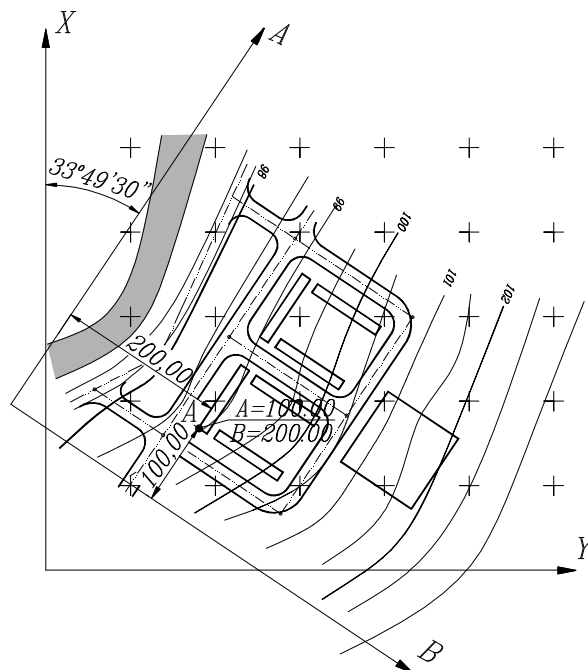


Рис. 10.4 – Строительная система координат

Начало новой системы координат прежде всего выбирается из расчета того, что все координаты будут положительными. В нашем случае, кроме этого условия, координаты крайнего угла здания приняты $A=100.10\text{м}$, $B=200.00\text{м}$. Благодаря этому условию координаты всех углов зданий будут кратными одному метру. План разворачивается на угол поворота систем координат и переносится таким образом, чтобы точка A имела координаты $A=100.00\text{м}$, $B=200.00\text{м}$. При этом следует иметь в виду, геодезическая и компьютерные системы координат имеют разное направление. Следовательно, при привязке плана к строительной системе координат надо поменять оси местами. Ось « A » будет « Y », а ось « B » - « X ».

После преобразования координат имеем, рис. 10.5.

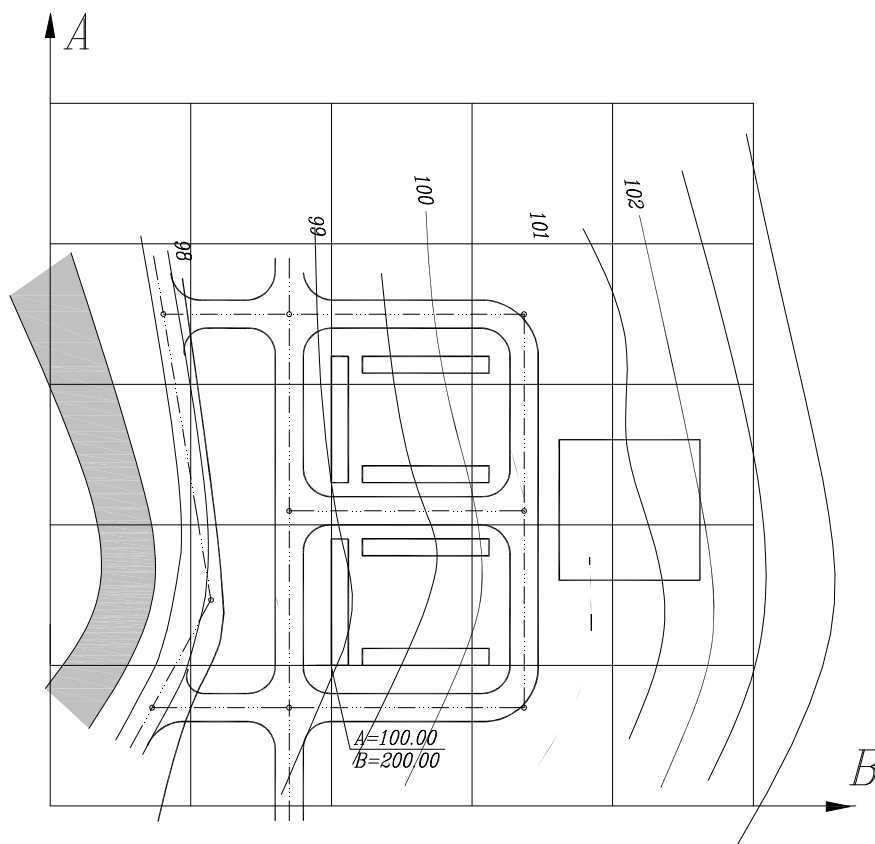


Рис.10.5 – План в строительной системе координат

Следующей проблемой является проблема определения проектных координат характерных точек проекта. В ACADе имеется специальная команда «Координаты», которая находится в меню «Сведения». Но в этом случае координаты определяются отдельно по каждой точке. Эту же задачу можно решить иначе, определять сразу все проектные координаты. Чтобы не загромождать чертеж выбираются основные точки, координаты которых необходимо определить. Такими точками будут углы поворота осей проездов, угловые точки зданий квартала и углы спортивной площадки. Нумеруются все эти точки и они соединяются полилинией. При проведении полилинии необходимо следить за режимом привязки, рис. 10.6.

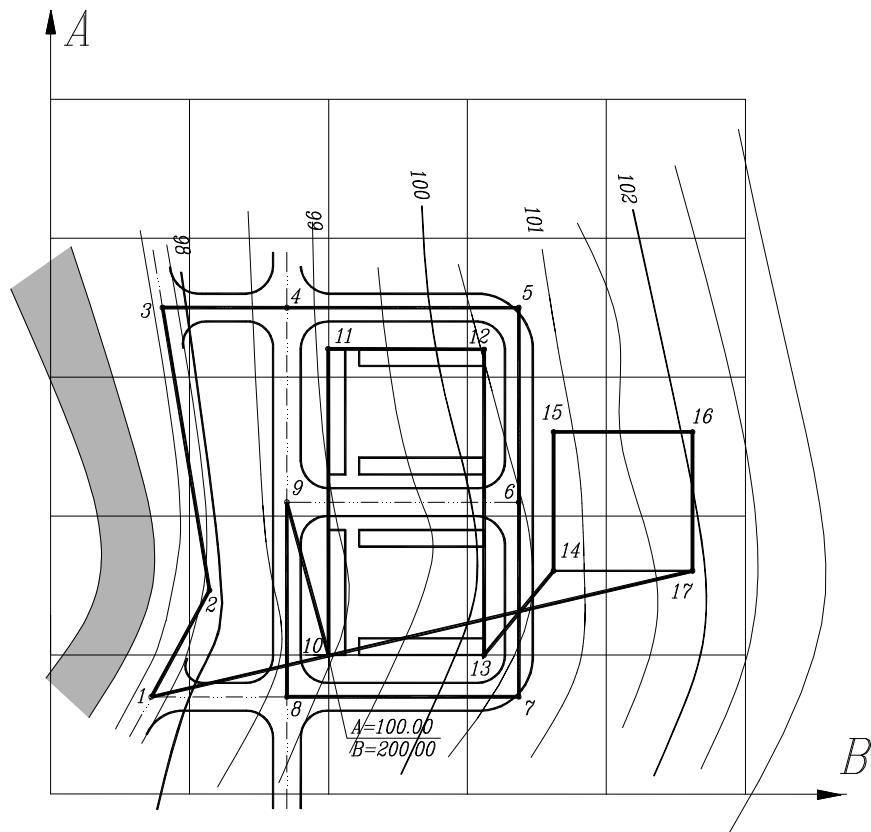


Рис. 10.6 – Определение проектных координат

Выделяется эта полилиния и по команде «Список» в текстовом окне выводятся все проектные координаты, рис. 10.7.

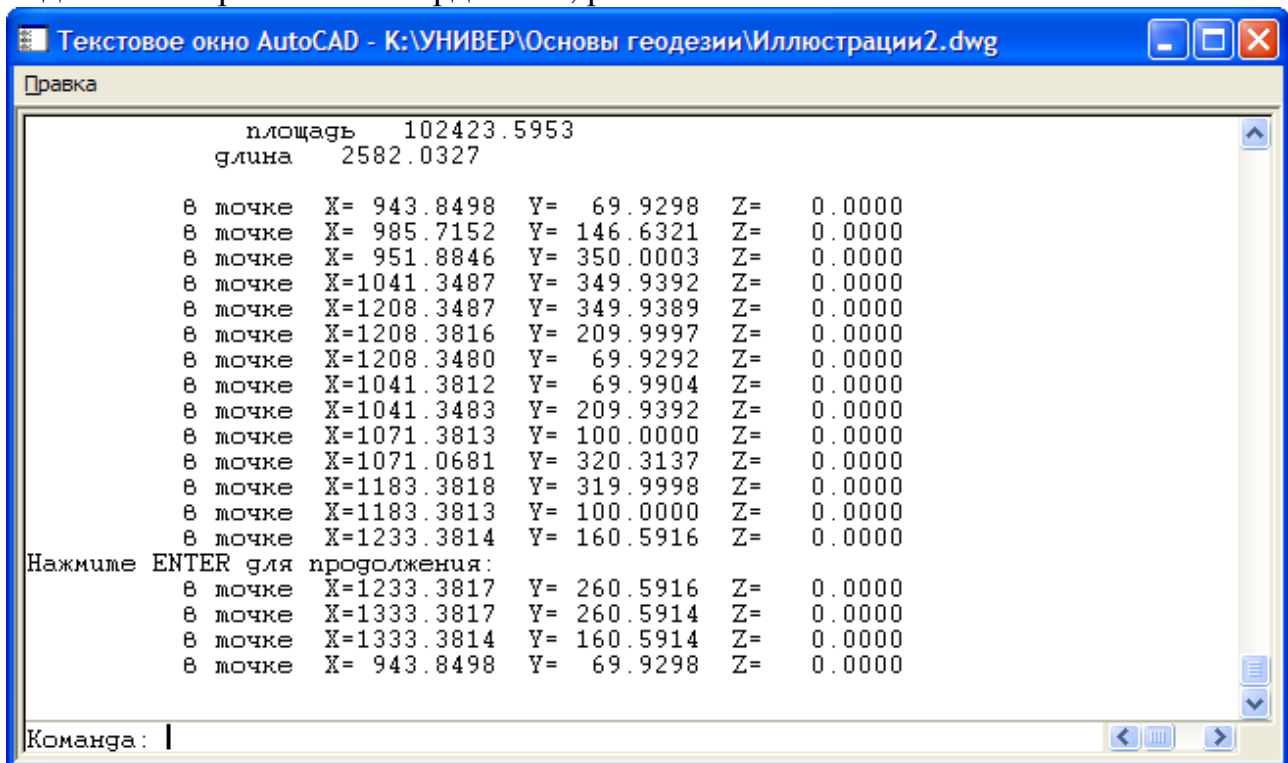


Рис. 10.7 – Проектные координаты основных точек проекта

Эти координаты могут быть помещены на проект или записаны в специальную таблицу. Для формирования таблицы координат, через буфер переносятся проектные координаты на страницу WORD.

в точке X= 72.4685 Y= 69.9298 Z= 0.0000

в точке X= 114.3339 Y= 146.6321 Z= 0.0000

в точке X= 80.5033 Y= 350.0003 Z= 0.0000

в точке X= 170.0000 Y= 350.0000 Z= 0.0000

в точке X= 337.0000 Y= 350.0000 Z= 0.0000

в точке X= 337.0000 Y= 210.0000 Z= 0.0000

в точке X= 337.0000 Y= 70.0000 Z= 0.0000

в точке X= 170.0000 Y= 70.0000 Z= 0.0000

в точке X= 170.0000 Y= 210.0000 Z= 0.0000

в точке X= 200.0000 Y= 100.0000 Z= 0.0000

в точке X= 200.0000 Y= 320.0000 Z= 0.0000

в точке X= 312.0000 Y= 320.0000 Z= 0.0000

в точке X= 312.0000 Y= 100.0000 Z= 0.0000

в точке X= 362.0001 Y= 160.5916 Z= 0.0000

Нажмите ENTER для продолжения:

в точке X= 362.0004 Y= 260.5916 Z= 0.0000

в точке X= 462.0004 Y= 260.5914 Z= 0.0000

в точке X= 462.0001 Y= 160.5914 Z= 0.0000

в точке X= 72.4685 Y= 69.9298 Z= 0.0000

Удаляется «Нажмите ENTER для продолжения:». Вместо « X=», « Y=», « Z= 0.0000» ставится знак табуляции. в точке

72.4685 69.9298

114.3339 146.6321

80.5033 350.0003

170.0000 350.0000

337.0000 350.0000

337.0000 210.0000

337.0000 70.0000

170.0000 70.0000

170.0000 210.0000

200.0000 100.0000

200.0000 320.0000

312.0000 320.0000

312.0000 100.0000

362.0001 160.5916

362.0004 260.5916

462.0004 260.5914

462.0001 160.5914

72.4685 69.9298

Выделяется этот текст и на него накладывается рамка.

Таблица 10.1 – Заготовка таблицы проектных координат

	72.4685	69.9298	
	114.3339	146.6321	
	80.5033	350.0003	
	170.0000	350.0000	
	337.0000	350.0000	
	337.0000	210.0000	
	337.0000	70.0000	
	170.0000	70.0000	
	170.0000	210.0000	
	200.0000	100.0000	
	200.0000	320.0000	
	312.0000	320.0000	
	312.0000	100.0000	
	362.0001	160.5916	
	362.0004	260.5916	
	462.0004	260.5914	
	462.0001	160.5914	
	72.4685	69.9298	

После несложной доработки получается окончательная таблица проектных координат

Таблица 10.2 – Проектные координаты основных точек проекта

<i>№ точк</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>H</i>
<i>1</i>	<i>69.930</i>	<i>72.468</i>	
<i>2</i>	<i>146.632</i>	<i>114.400</i>	
<i>3</i>	<i>350.000</i>	<i>80.503</i>	
<i>4</i>	<i>350.000</i>	<i>170.000</i>	
<i>5</i>	<i>350.000</i>	<i>337.000</i>	
<i>6</i>	<i>210.000</i>	<i>337.000</i>	
<i>7</i>	<i>70.000</i>	<i>337.000</i>	
<i>8</i>	<i>70.000</i>	<i>170.000</i>	
<i>9</i>	<i>210.000</i>	<i>170.000</i>	
<i>10</i>	<i>100.000</i>	<i>200.000</i>	
<i>11</i>	<i>320.000</i>	<i>200.000</i>	
<i>12</i>	<i>320.000</i>	<i>312.000</i>	
<i>13</i>	<i>100.000</i>	<i>312.000</i>	
<i>14</i>	<i>160.592</i>	<i>362.000</i>	
<i>15</i>	<i>260.592</i>	<i>362.000</i>	
<i>16</i>	<i>260.592</i>	<i>462.000</i>	
<i>17</i>	<i>160.592</i>	<i>462.000</i>	
<i>1</i>	<i>69.930</i>	<i>72.468</i>	

Следует обратить внимание, что в табл. 10.2 координаты *A* и *B* поменяны местами.

Окончательный проект фрагмента плановой части генерального плана приведен на рис. 10.8.

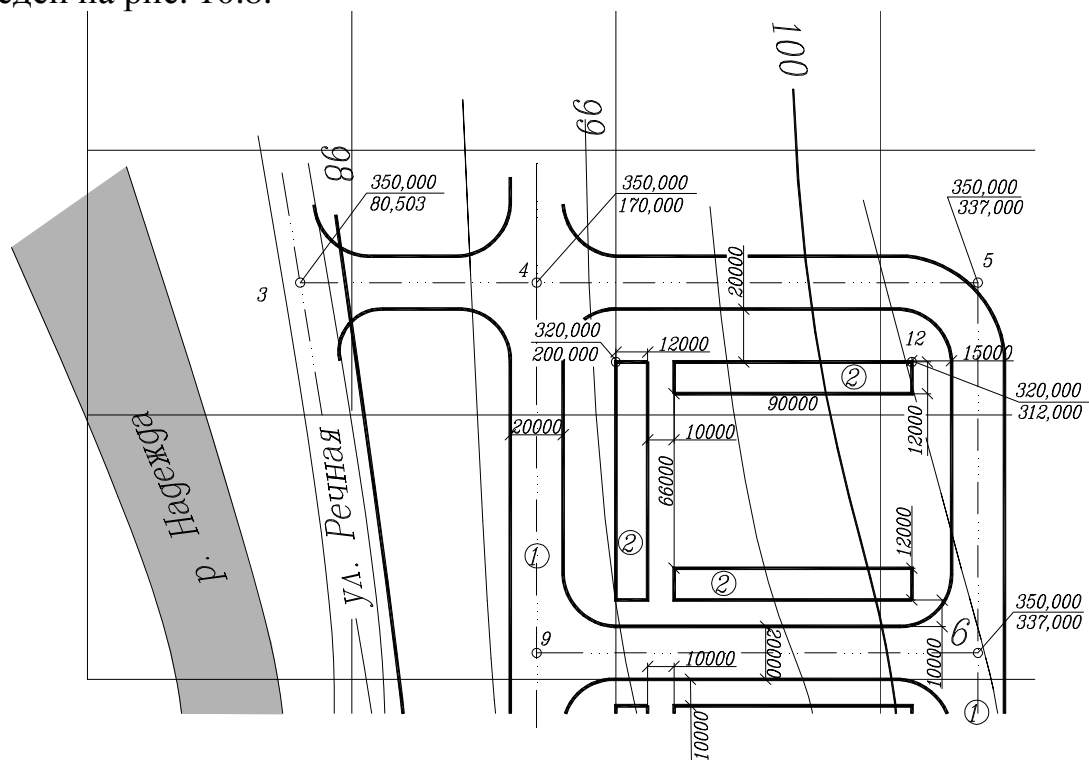


Рис. 10.8 – Фрагмент плановой части генерального плана

10.3 Вертикальная планировка

Общие положения

Вертикальная планировка - это преобразование естественного рельефа с целью обеспечения эксплуатационных и эстетических требований объекта. Она выполняется на материалах топографических съемок. Как правило, территории, предназначенные для промышленного и жилого строительства, проектируются в виде наклонных площадок с небольшим уклоном, что позволяет обеспечить отвод поверхностных вод. Площадки спортивного назначения, сельскохозяйственные угодья проектируются горизонтальными. Максимальный уклон внутриквартальных и внутренних дорог, как правило, не должен превышать 0.08, а минимальный - 0.002.

Общий принцип вертикальной планировки следующий. Выбирается основной элемент водоотведения, расположенный на земной поверхности. Таким элементов на примере, приведенном на рис. 10.9, является проезжая часть ул. Речной. Затем выбираются элементы водоотведения проекта - внутренние проезды квартала.

Проектные отметки отмоеток зданий должны обеспечить отвод вод от зданий в элементы водоотведения. Сопряжение отметок зданий и отметок проездов с учетом отвода вод от зданий осуществляется посредством наклона по-

верхностей от здания до проездов. Расчет параметров этих поверхностей осуществляется по типовым поперечникам проездов, рис. 10.10.

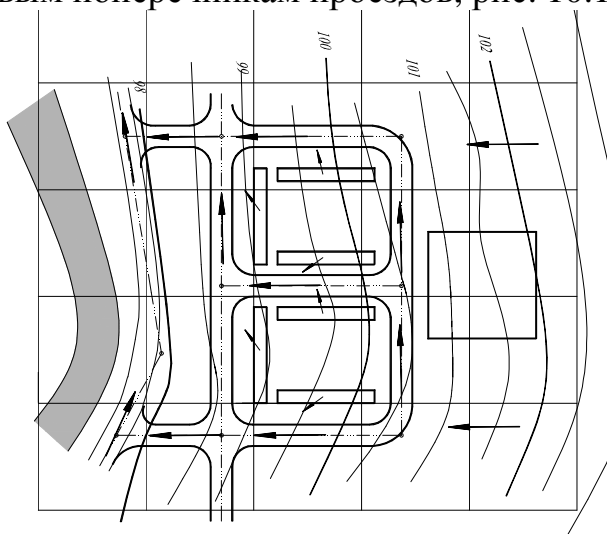


Рис. 10.9 – Организация водоотведения

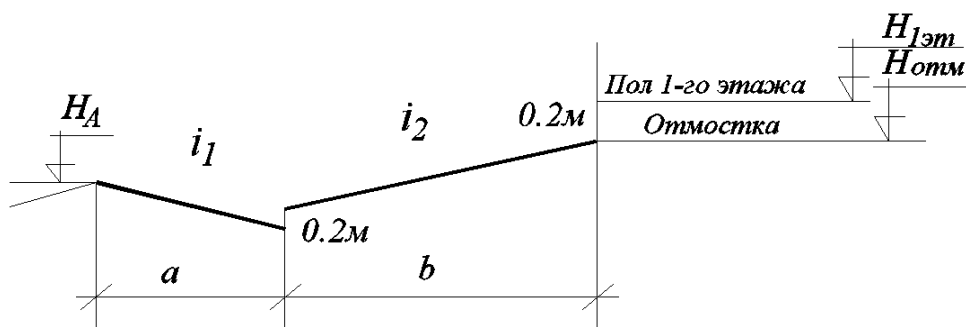


Рис. 10.10 – Типовой поперечник проезда

Все проектные отметки проекта объединяются при помощи проектного профиля проездов. Структурная схема этого профиля приведена на рис. 10.11.

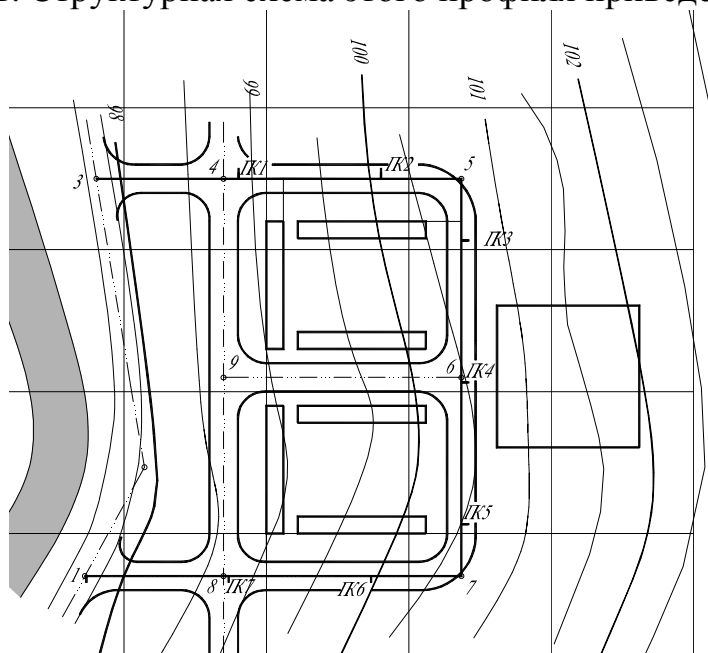


Рис. 10.11 – Схема осей продольных профилей

Отметка пола I этажа (отметка строительных нулей зданий) должна быть на 20 см выше максимальной отметки земли здания, рис. 10.12.

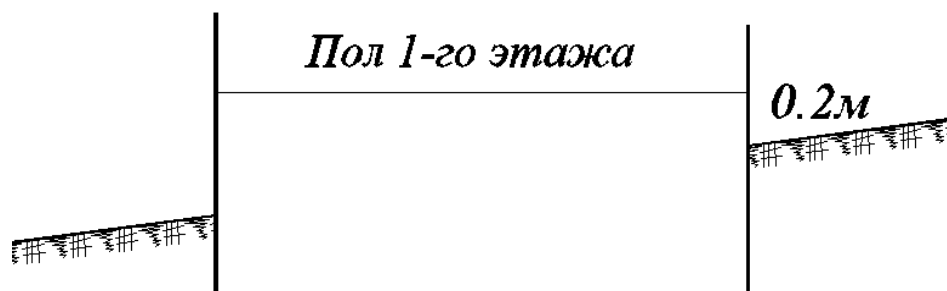


Рис. 10.13 – Положение пола I этажа

В процессе проектирования вертикальной планировки возникает необходимость решать вопросы высотного размещения коммуникаций, высотного согласования различных поверхностей, отметок проезжих частей и тротуаров. Подобные задачи решаются на поперечных профилях площадки.

Кроме площадной вертикальной планировки в процессе проектирования решаются задачи проектирования наклонных и горизонтальных площадок.

Площадная вертикальная планировка

После проведения оси профиля, рис. 10.14, намечаются точки на углах зданий, они необходимы для определения отметок пола первого этажа и с этих точек опускаются перпендикуляры на оси проездов, основания этих перпендикуляров образуют точки A_i , рис. 10.15.

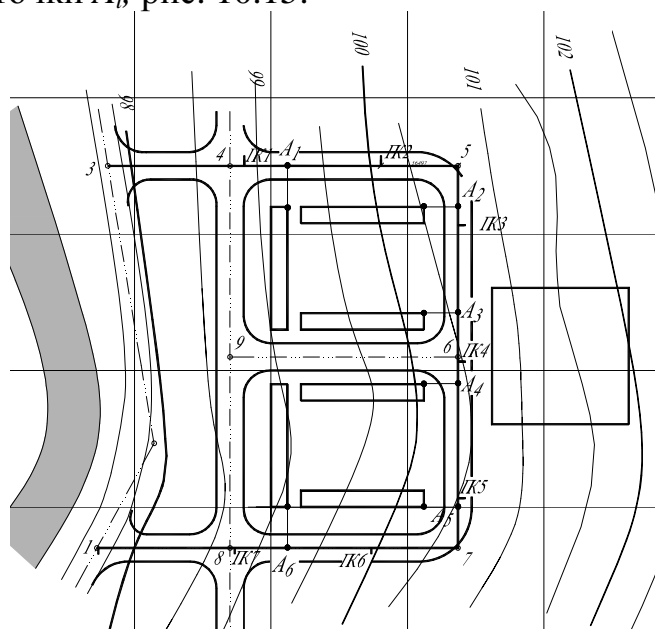


Рис. 10.14 – Схема створных точек для расчета отметок пола первого этажа зданий

Профиль строится в два этапа. На первом этапе составляется, так называемый, писанный профиль, табл. 10.3.

Таблица 10.3 – Писанный профиль

<i>№ n/n</i>	<i>Пикетажное значение</i>	<i>Расстояние</i>	<i>Отметка</i>	<i>Примечание</i>
1	ПК0		97.70	3
		89.46		
2	ПК0+89.46		98.75	4
		10.54		
3	ПК1		98.89	
		31.56		
4	ПК1+31.56		99.20	A ₁
		68.44		
5	ПК2		100.14	
		31.50		
	ПК2+31.50		100.56	A ₂
		25.00		
6	ПК2+56.50		100.80	5
		30.00		
	ПК2+86.50		100.75	A ₃
		13.50		
7	ПК3		100.73	
		64.24		
8	ПК3+64.24		100.56	A ₄
		32.25		
9	ПК3+96.49		100.47	6
		3.51		
10	ПК4		100.46	
		16.50		
11	ПК4+16.50		100.41	A ₅
		83.50		
12	ПК5		100.45	
		6.50		
13	ПК5+6.50		100.57	A ₆
		30.00		
14	ПК5+36.50		100.75	7
		63.50		
15	ПК6		98.95	
		61.60		
16	ПК6+61.60		99.23	A ₇
		38.40		
17	ПК7		98.75	
		3.50		
18	ПК7+3.50		98.70	8
		96.50		
19	ПК8		97.80	
		1.00		
20	ПК8+1		97.75	1

При проектировании вертикальной планировки стремятся обеспечить баланс земляных работ, т.е. условие при котором проектный объем выемки должен быть равен проектному объему насыпи.

Результат проектирования вертикальной планировки представляется в виде картограмм земляных работ, ведомостей вычисления объемов, чертежей организации рельефа или вводится в генеральный план.

Проектирование начинается с выбора методики и принятия ориентировочных планировочных отметок. Для этого по основным осям проектируемой площадки, строятся профили на которых прорисовываются проезжие части, основания зданий, площадки, коммуникации и другие сооружения.

Образец такого профиля приведен на рис. 10.15. Данный профиль необходим для получения проектных отметок точек A_i осей проездов, которые являются основой расчета отметок нулей пола первого этажа.

Расчет отметок пола первого этажа

Составляется схема расчета отметки пола первого этажа, рис. 10.11. Определяются по генплану расстояния a - расстояние от оси дороги до бордюра и b - расстояние от бордюра до здания.

Отметки пола первых этажей отмосток зданий вычисляются по следующей формуле:

$$\left. \begin{aligned} H_{1Э} &= H_A - 0.02a + 0.20 + 0.02b + 0.2 \\ H_{отмос} &= H_A - 0.02a + 0.20 + 0.02b \end{aligned} \right\}, \quad (10.1)$$

где H_A – проектная отметка оси проезда;
 a – расстояние от оси проезда до бордюра;
 b – расстояние от бордюра до здания.
 Все расчеты выполняются в табл. 10.4.

Таблица 10.4 - Расчеты проектных отметок пола первого этажа и отмосток зданий

№ тчк	H_A	a	b	Отметка отмостки $H_{отм}$	Отметка пола пер- вого этажа $H_{1ЭТ}$
A1	99.26	10.00	20.00	99.66	99.86
A2	100.63	10.00	20.00	101.03	101.23
A3	100.37	10.00	20.00	100.77	100.97
A4	100.23	10.00	20.00	100.63	100.83
A5	99,83	10.00	20.00	100.23	100.43
A6	98.77	10.00	20.00	99.17	99.37

Вычисленные отметки отмосток и полов первых этажей зданий, фактические и проектные отметки характерных ситуации вписываются в генеральный план объекта, рис. 10.16.

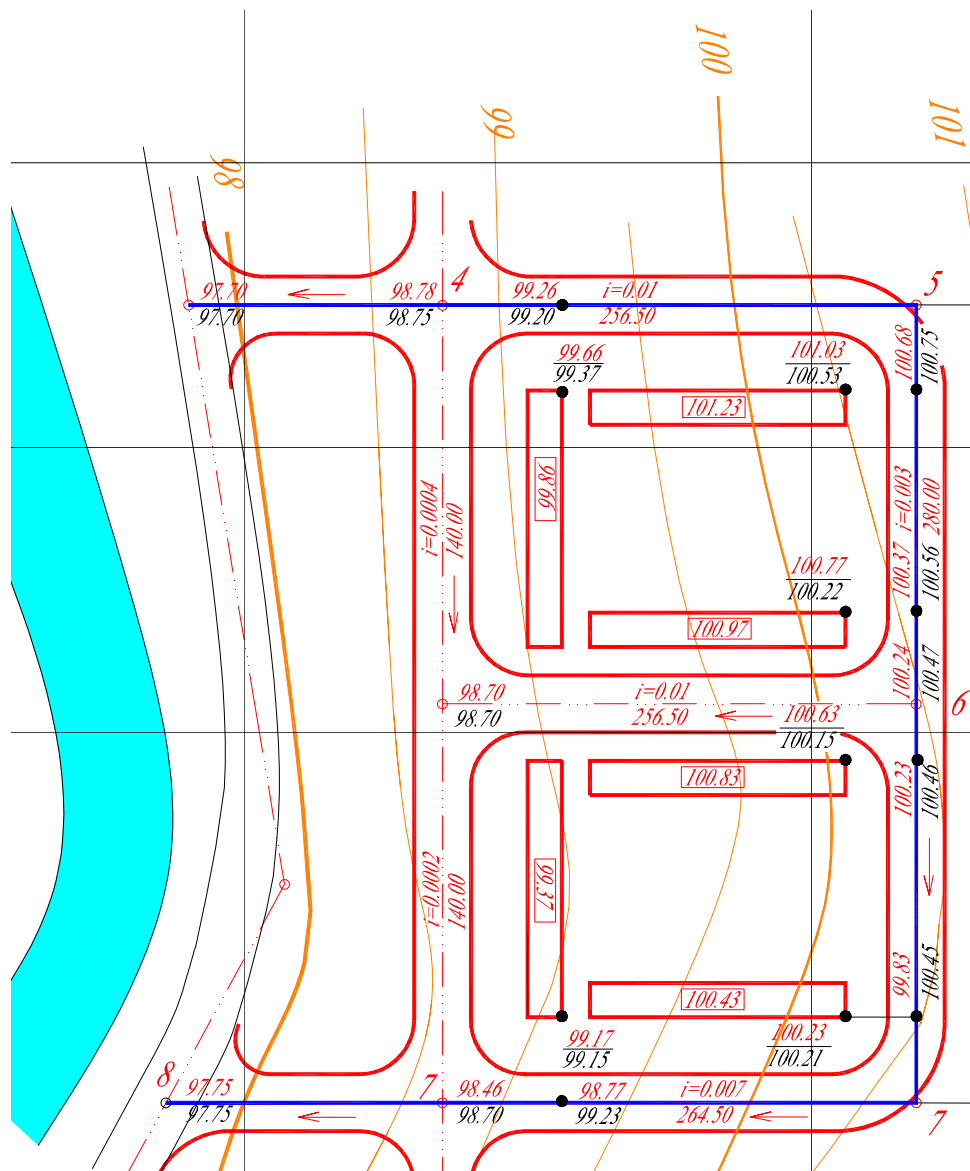


Рис. 10.16 – Высотная часть генерального плана квартала

Для более качественного выполнения вертикальной планировки застройки рекомендуется дополнительно к профилю проезда составлять поперечные профили, пересекающие проектируемую площадку.

10.4 Проектирование горизонтальной площадки

На топографическом плане вычерчивается сетка квадратов в пределах проектируемой площадки. При использовании материалов нивелирования по квадратам в качестве сетки используется сеть квадратов нивелирования. Графически с плана определяются отметки всех вершин квадратов (при использовании материалов нивелирования по квадратам отметки вершин квадратов берутся непосредственно из журнала нивелирования по квадратам).

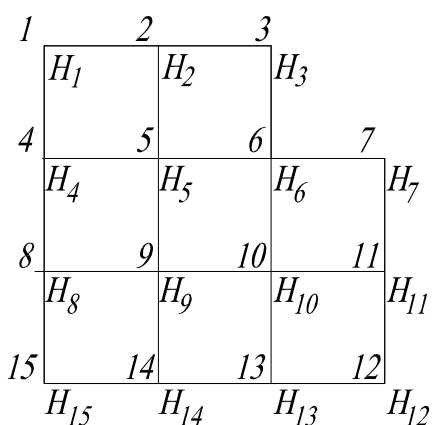


Рис. 10.17 - Заготовка для картограммы земляных работ

иметь три варианта, рис.10.18. В первом варианте, планировочная отметка H_0^1 , находится выше поверхности земли. В этом случае для обеспечения горизонтирования площадки необходим завоз грунта. Во втором случае, планировочная отметка H_0^2 , находится ниже поверхности земли; следовательно, чтобы площадка была горизонтальной

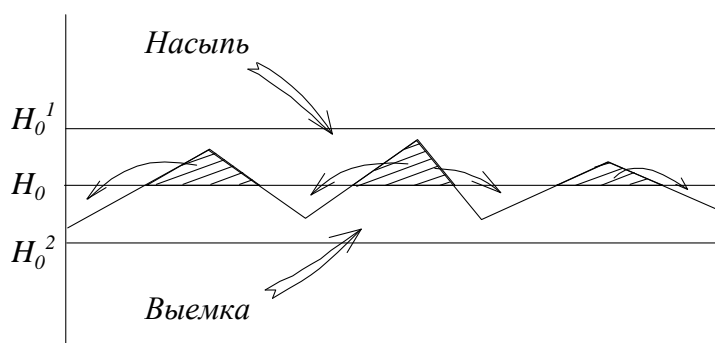


Рис. 10.18 - Варианты вертикальной планировки

грунт необходимо вывезти. Третий случай, планировочная отметка H_0 выбрана с учетом баланса земляных работ, т.е. сумма выемки равна сумме насыпи. В этом случае производство вертикальной планировки осуществляется без вывоза и завоза грунта.

Вычисление планировочной отметки с учетом баланса земляных работ осуществляется по формуле

$$H_0 = \frac{\sum H_1 + 2\sum H_2 + 3\sum H_3 + 4\sum H_4}{4n} \quad (10.2)$$

где H_1 - отметки вершин квадратов, принадлежащих только одному квадрату, на рис. 1.7 это следующие вершины: 1, 3, 7, 12, 15;

H_2 - отметки вершин квадратов, принадлежащих двум квадратам, на рис. 1.7 это вершины: 2, 4, 8, 11, 13, 14;

H_3 - отметки вершин квадратов, принадлежащих трем квадратам, на рис. 1.7 вершина 6;

H_4 - отметки вершин квадратов, принадлежащих четырем квадратам на рис. 1.7 это вершины: 5, 9, 10,

n - число вершин квадратов.

Основным документом вертикальной планировки площадки является картограмма земляных работ, имеющая статус чертежа. Для ее подготовки на листе бумаги, соответствующего размерам площадки формата, строится сетка квадратов, аналогичная сетке на плане или сетке нивелирования по квадратам, рис. 10.17, и в нее вписываются все фактические отметки вершин квадратов.

Для обеспечения горизонтирования площадки необходимо рассчитать ее планировочную отметку H_0 . Расположение проектной горизонтальной плоскости, относительно которой выполняется преобразование рельефа, может

№ вершины	Проектная отметка	На картограмме земляных работ полученная проектная планировочная отметка H_0 записывается выше фактической отметки, рис. 10.19.
Рабочая отметка	Фактическая отметка	Разность проектной H_0 и фактической H_i отметок дает рабочую отметку h_i , которая является числовым значением, показывающим величину насыпи или выемки

$$h_i = H_0 - H_i, \quad (10.3)$$

Рис. 10.19 - Оцифровка вершин квадратов

где H_0 - проектная планировочная отметка;
 H_i - фактическая отметка.

Рабочие отметки вписываются под номерами вершин квадратов, рис. 10.19.

Точки, рабочие отметки которых равны нулю, называются **точками нулевых работ**, рис. 10.20, их положение определяется расстояниями x до ближайших вершин квадратов

$$x = \frac{l}{|h_1| + |h_2|} |h_1|, \quad (10.4)$$

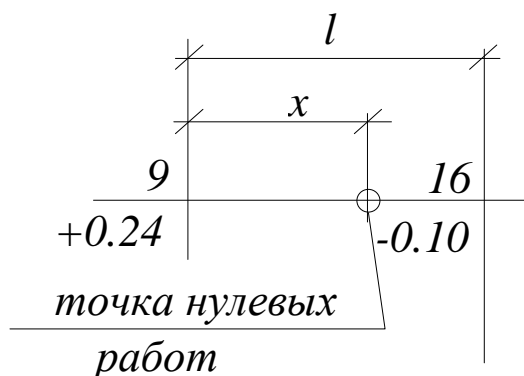


Рис. 10.20 - Точка нулевых работ

где l - размер стороны квадрата;

h_1, h_2 - рабочие отметки вершин квадрата к которому принадлежит данная точка.

Например, при $l = 40\text{м}$, $h_1 = 0.24\text{м}$, $h_2 = -0.10\text{м}$, получим

$$x = \frac{40}{0.34} \cdot 0.10 = 11.76 \text{ м.}$$

Вычисленные расстояния записывают на картограмме земляных работ карандашом.

Соединив точки нулевых работ, получаем линии нулевых работ (проектные горизонтали с отметкой нуль)

Таким образом, проектируемая площадка будет разделена на две зоны - зону выемки и зону насыпи, рис.10.21

Объем каждой из зон вычисляется по формуле

$$V_i = S_i h_{\text{СРЕД}}, \quad (10.5)$$

где S_i - площадь основания;

$h_{\text{СРЕД}}$ - средняя рабочая отметка.

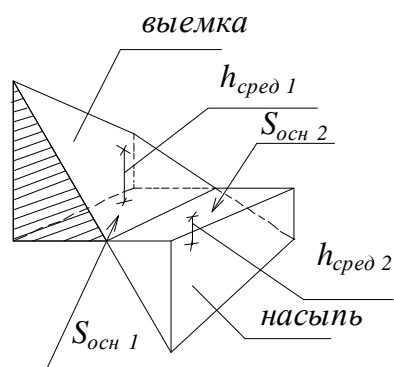


Рис. 10.21 - Вычисление объемов земляных работ

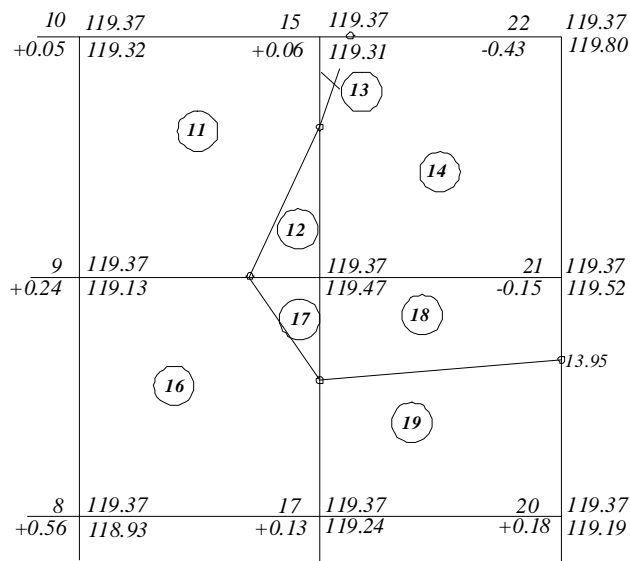


Рис. 10.22 - Расчет объемов земляных работ

Для вычисления объемов, фигуры, полученные линиями нулевых работ, нумеруются и для каждой из них вычисляются площади, $S_{осн}$, и средние рабочие отметки каждой фигуры, $h_{СРЕД}$, рис. 10.22.

Вычисление объемов земляных работ производится в специальной ведомости, образец которой приведен в табл. 10.5.

Таблица 10.5 - Ведомость вычисления объемов

Выемка				Насыпь			
№ фигуры	Площадь фигуры	Средняя рабочая отметка	Объем	№ фигуры	Площадь фигуры	Средняя рабочая отметка	Объем
2	316	0,15	47,4	1	84	0,04	3,36
3	400	0,51	204,00	5	313	0,09	28,17
4	400	0,81	324,00	10	400	0,28	112,00
6	87	0,05	4,35	11	247	0,10	24,70
7	387,5	0,17	65,88	14	400	0,23	52,00
8	400	0,48	192,00	15	319	0,67	213,73
...
$\Sigma =$	3377,9		954		2621,1	947	

$$\frac{954 - 947}{1901} 100\% = 0,4\% < 8\%$$

В процессе вычислений контролируются суммы площадей оснований

$$S_{\text{общ}} = \Sigma S_{\text{НАС}} + \Sigma S_{\text{ВЫЕМ}} \quad (10.6)$$

и вычисленные объемы. Разность объемов зон выемки и насыпи должна удовлетворять следующему условию:

$$\frac{V_{\text{НАС}} - V_{\text{ВЫЕМ}}}{V_{\text{НАС}} + V_{\text{ВЫЕМ}}} 100\% < 8\% . \quad (10.7)$$

10.5 Проектирование наклонной площадки

Для большинства площадок необходимо при проектировании предусматривать отвод поверхностных вод, это достигается путем проектирования наклонной площадки. Направление уклона площадки может быть задано проектно или определяться общим уклоном местности. Имеем площадку, рис.1.23, проектный уклон i направлен от точки A до точки B . Аналогично, как и при проектировании горизонтальной площадки используется сетка квадратов, на которую вписываются отметки вершин квадратов. Наклон площадки осуществляется вокруг центральной точки, называемой центром тяжести (ЦТ). Отметка этой точки вычисляется по формуле (10.8) вычисления проектной планировочной отметки для горизонтальной площадки. Плановое положение точки центра тяжести для прямоугольных площадок определяется пересечением диагоналей площади. Если площадка имеет форму более сложную чем прямоугольник, то точку ЦТ находят по ее вычисленной отметке, интерполируя между точками с отметками наиболее близкими отметке точки ЦТ.

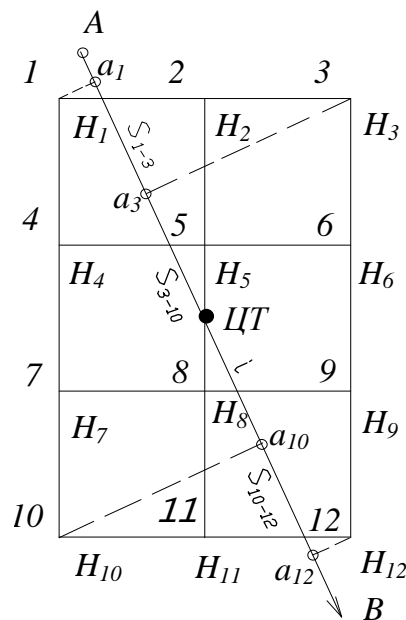


Рис. 10.23 - Вертикальная планировка наклонной

С угловых точек площадки (вершины 1, 3, 10 и 12) опускаются перпендикуляры на линию AB , получив точки a_1, a_3, a_{10} и a_{12} . Графически с плана определяются расстояния по линии AB между полученными точками и точкой $ЦТ$: $a_1 - a_3$ расстояния S_{1-3} , $a_3 - ЦТ$ расстояние $S_{3-ЦТ}$, $ЦТ - a_{10}$ расстояние $S_{ЦТ-10}$, $a_{10} - a_{12}$ расстояние S_{10-12} . По этим расстояниям, используя в качестве исходной от-

метки отметку точки ЦТ и проектный уклон i , вычисляются проектные отметки точек a_1, a_3, a_{10} и a_{12} , которые будут равны проектным отметкам $\bar{H}_1, \bar{H}_3, \bar{H}_{10}$ и \bar{H}_{12} вершин площадки

$$\bar{H} = \bar{H}_0 + iS, \quad (10.8)$$

где \bar{H} - проектная определяемая точка;

\bar{H}_0 - проектная исходная точка; i - проектный уклон, S - расстояние от исходной до определяемой точки.

Получив проектные отметки углов площадки, несложно вычислить проектные уклоны по периметру площадки и по всем ее линиям, и на основе этих уклонов вычислить проектные отметки всех вершин площадки. Дальнейший ход вычислений ни чем не отличается от расчетов по горизонтальной площадке; также вычисляются рабочие отметки, строится линия нулевых работ и вычисляются объемы.

11 ГЕОДЕЗИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СТРОИТЕЛЬСТВА

11.1 Состав работ на этапе строительства

На этапе строительства выделяются три этапа работ: разбивочные работы, геодезические работы по обеспечению геометрических параметров сооружений, контрольные измерения и исполнительные съемки.

11.2 Разбивочные работы

Сущность и виды разбивочных работ

Основной задачей разбивочных работ на любом этапе строительства объектов является вынос проекта в натуру, т.е. нахождение на местности и на сооружении характерных точек элементов проектируемого сооружения.

Разбивочные работы подразделяются на внешние и внутренние. Внешние разбивочные работы это вынос в натуру всего объекта в целом, разбивка отдельных его узлов относится к внутренним разбивочным работам.

Способы разбивки полностью соответствуют системам координат в которых получены разбиваемые параметры. Они следующие.

Створный способ

Положение разбиваемых точек 1 и 2, рис. 11.1, определяется: нахождением их на линии створа AB и расстояниями l_1 и l_2 . Створ формируется теодолитом, установленном на одной из опорных точек. Линейные измерения выполняются, как правило, рулеткой. Данный способ применяется при разбивках линейных элементов объектов.

Способ перпендикуляров

Способ перпендикуляров, рис. 11.2, является продолжением створного способа. Положение точек 3 и 4 определяется створным положением точек 1 и 2 и длинами перпендикуляров b_3 и b_4 . Данный способ применяется при детальной разбивке элементов объектов, когда длины перпендикуляров составляют не более 3м.

Разбивка выполняется при помощи теодолита и рулетки. Створным способом выносятся точки 1 и 2 и затем по перпендикулярам откладываются расстояния b_3 и b_4 .

Способ угловой засечки

Положение проектной точки C определяется углами засечки β_1 и β_2 , рис. 11.3.

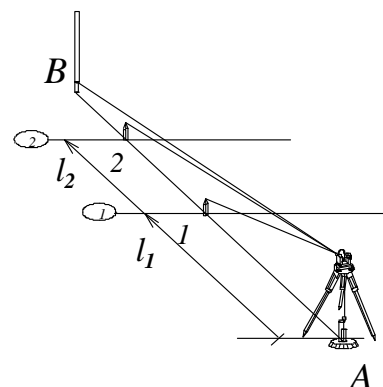


Рис. 11.1 - Створный способ разбивки

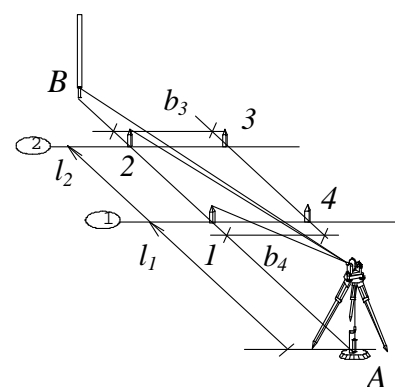


Рис. 11.2 - Способ перпендикуляров

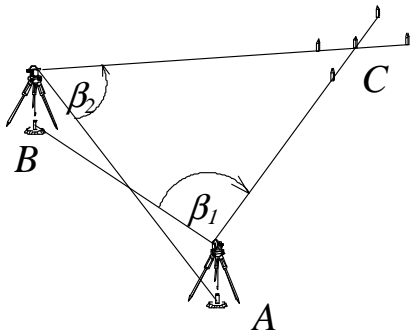


Рис. 11.3 - Угловая засечка

Данный способ применяется в тех случаях, когда линейные измерения между опорными и разбиваемыми точками затруднены или отсутствуют приборы линейных измерений. Разбивка выполняется теодолитом. С точки A разбивочного обоснования откладывается проектный угол β_1 и по полученному направлению закрепляются два колышка. Аналогичные измерения выполняются с точки B , откладывая угол β_2 . Соединив полученные точки шпагатом, получают искомую разбиваемую точку C .

Способ линейной засечки

Положение точки C определяется расстояниями L_A и L_B от опорных точек до определяемой, рис. 11.4. Данный способ применяется при отсутствии приборов угловых измерений и когда выносимая точка C находится от опорных точек на расстоянии меньше длины мерного прибора. Разбивка выполняется при помощи рулетки. От опорных точек делаются по две линейные засечки, закрепляемые колышками. Пересечение линий, образованных этими засечками, дадут искомую точку C .

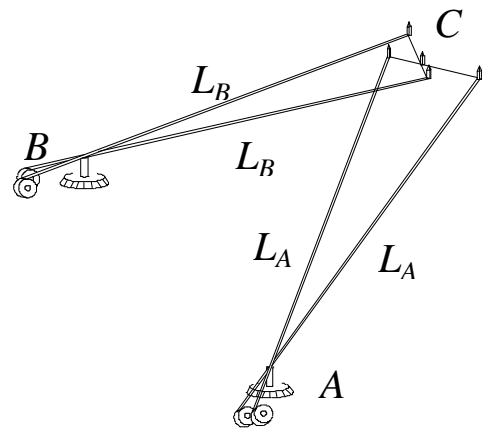


Рис. 11.4 - Способ линейной засечки

Полярный способ

Данный способ, рис. 11.5, наиболее универсален и применяется наиболее часто при выполнении разбивки основных осей объектов.

Положение точки определяется полярным углом β и расстоянием S . Разбивка выполняется теодолитом, который устанавливается на опорную точку и от опорного направления выносится проектный угол β , по полученному направлению откладывается проектное расстояние S .

Способ прямоугольных координат

При строительстве крупных промышленных объектов в качестве разбивочного обоснования применяют строительную сетку. В этом случае вынос в натуру проектируемых объектов выполняется способом прямоугольных координат, рис. 11.6.

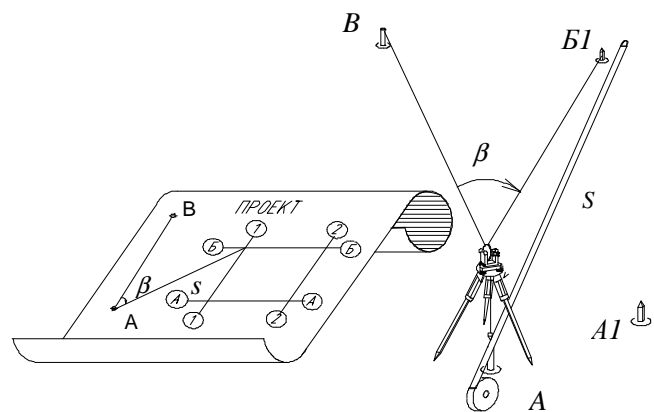


Рис. 11.5 - Полярный способ разбивки

По двум линиям сетки квадратов откладываются значения ординат (величина a), полученные точки временно закрепляются. По полученной линии откладывается значение абсциссы, (величина b).

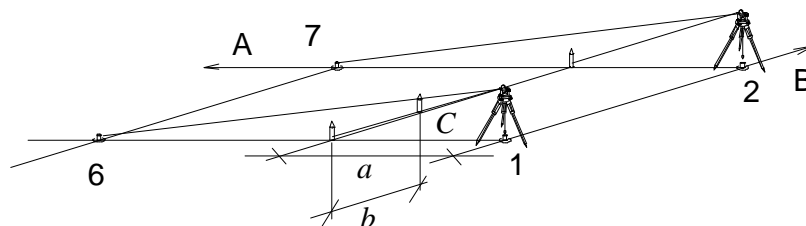


Рис. 11.6 - Способ прямоугольных координат

Если размеры квадратов в сетке в пределах длины мерного прибора, то все измерения выполняются рулеткой; для больших квадратов при провешивании линий используется теодолит.

Вынос проектного угла, способы выноса

Применяются в основном два способа выноса проектного угла: технический – способ приемов и высокоточный – способ редуцирования.

При техническом способе теодолит устанавливается в над точкой А, рис. 11.7.

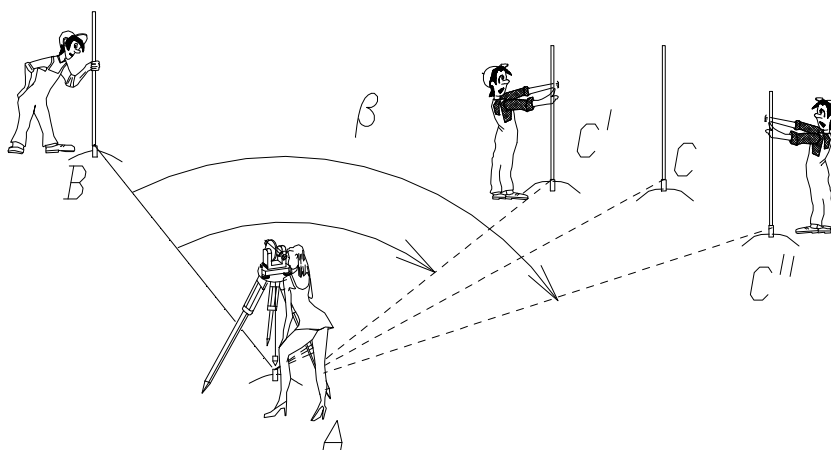


Рис. 11.7 - Вынос проектного угла

Приводится в рабочее положение. При положении теодолита круг лево наводится труба теодолита на точку B и производится отсчитывание по горизонтальному кругу, отсчет O_B^I . Вычисляется проектный отсчет на точку C

$$O_C^I = O_A^I + \beta. \quad (11.1)$$

Вычисленный отсчет устанавливается на лимбе горизонтального круга и по полученному направлению закрепляется точка C' . Открепляется лимб и труба разворачивается на угол порядка 90° и лимб закрепляется. Аналогичные измерения выполняются при круге право, получая отсчет O_B^{II} и вычислив отсчет O_C^{II}

$$O_C^{\Pi} = O_A^{\Pi} + \beta. \quad (11.2)$$

Установив на лимбе полученный отсчет, закрепляется точка C'' . Окончательным будет среднее направление, точка C .

Результаты измерений записываются в журнал, форма которого приведена в табл. 11.1.

Таблица 10.1 Вынос проектного угла

Теодолит Т30 №6788888 Дата 07.03.05 Исполнитель Хоменко Ф.О.

Тчк устан. теод	Точка визирования	Отсчет по горизонтальному кругу	Горизонтальный угол	Средний угол
<i>Вынос проектного угла</i>				
	<i>B</i>	<i>120 25.0</i>		
<i>A кл</i>			<u>19 36.5</u>	
	<i>C</i>	<i>140 01.5</i>		
	<i>B</i>	<i>12 41.5</i>		
<i>A кл</i>			<u>19 36.5</u>	
	<i>C</i>	<i>32 18.0</i>		
<i>Измерение вынесенного угла</i>				
	<i>B</i>	<i>257 36.5</i>		
<i>A кл</i>			<i>19 37.5</i>	
	<i>C</i>	<i>237 59.0</i>		
	<i>B</i>	<i>11 02.5</i>		<i>19 37.0</i>
<i>A кл</i>			<i>19 36.5</i>	
	<i>C</i>	<i>301 26.0</i>		

При выносе проектного угла высокоточным способом работы выполняются в три этапа. На первом этапе выполняется вынос техническим способом. На втором этапе выполняется точное измерение вынесенного угла. Для чего вынесенный угол измеряется несколькими приемами, обычно от 4 до 6 приемов. В результате которого получают фактическое значение вынесенного угла. На третьем этапе выполняется редуцирование вынесенного угла. Для чего вычисляется угловая ошибка выноса $\Delta\beta$

$$\Delta\beta = \beta_o - \beta_f, \quad (11.3)$$

где β_o - проектный угол;

β_f - фактический (измеренный) угол.

По величине угловой ошибки $\Delta\beta$ вычисляется линейный элемент редуциции, равный

$$\Delta l = S \Delta\beta / \rho, \quad (11.4)$$

где S - расстояние до выносимой точки;

$\Delta\beta$ - угловая ошибка;

ρ - число угловых единиц в одном радиане $\rho = 206265''$.

Затем вынесенная точка переносится на величину Δl .

Вынос проектной отметки

Положение проектной точки C определяется расстоянием s от горизонта инструмента, рис. 11.8, до этой точки

$$s = H_{ГИ} - H_C; \quad (11.5)$$

где $H_{ГИ}$ - отметка горизонта инструмента; H_C - проектная отметка.

Отметка горизонта инструмента $H_{ГИ}$ равна сумме отметки точки и отсчета по рейке, установленной на этой точке, следовательно

$$H_{ГИ} = H_A + a, \quad (11.6)$$

где H_A - отметка точки A ; a - отсчет по рейке, установленной на точке A .

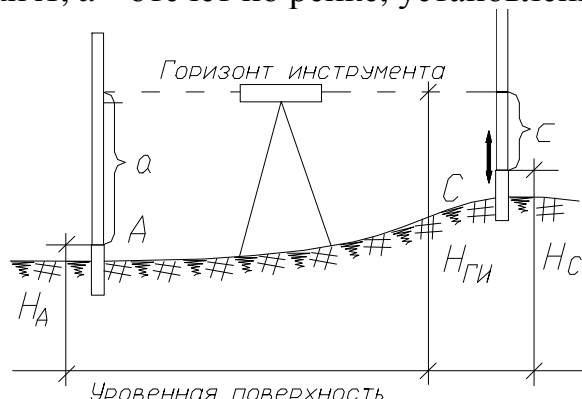


Рис. 11.8 - Вынос проектной отметки

На практике задача решается следующим образом.

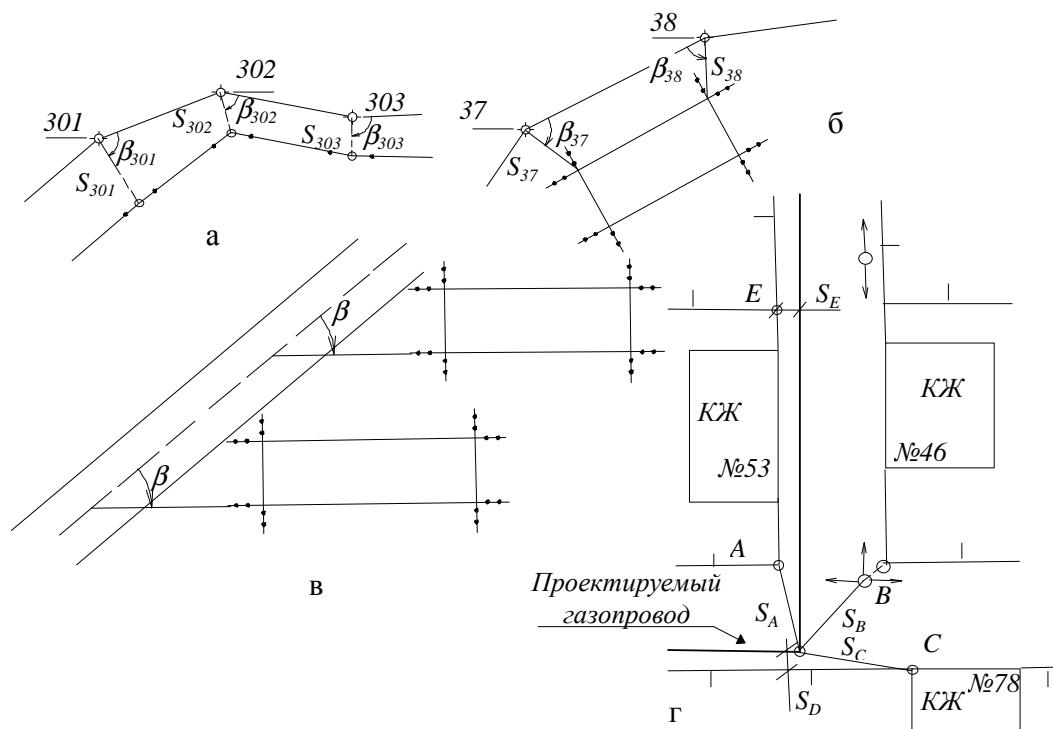
- 1) составляется схема измерений;
- 2) нивелир устанавливается между точкой с известной отметкой и определяемой и приводится в рабочее положение;
- 3) рейка устанавливается на точку с известной отметкой и производится отсчетывание по черной и красной сторонам рейки, контролируя разность пятток;
- 4) по формуле (11.6) вычисляются отметки горизонта инструмента для черной и красной сторонам рейки, разность этих отметок должна быть равна значению постоянной рейки;
- 5) вычисляются по формуле (11.5) проектные отсчеты для определяемой точки C ;
- 6) рейка устанавливается в точку C и, перемещая рейку по вертикали добиваются, чтобы отсчеты по основной и дополнительной шкалам рейки были равны вычисленным отсчетам c ;
- 7) результаты измерений записываются в нивелирный журнал, образец которого приведен в табл. 11.2.

Таблица 11.2 - Вынос проектной отметки

№ станц.	№№ точек	Отсчеты по рейкам			Превышение			Отметки	
		задний	передн.	про- меж.	вычис	средн	испр.	ГИ	точек
	A	1210	0650					121660	120.450
1		5995	5435					126445	
	C	4785	4785					4785	121.010
					<i>Контрольные измерения</i>				
	A	1352	0794		+0558				120.450
2		6133	5577		+0556	+0557			
	C	4781	4783						121.007

Плановым обоснованием разбивочных работ являются геодезические сети, они могут быть специальными (разбивочные сети) и общетехнические - триангуляция, полигонометрия или теодолитные хода.

От пунктов геодезического обоснования, используя рассмотренные способы разбивки, выносят основные оси сооружений, различные варианты разбивки приведены на рис. 11.9.



а - разбивка линейных сооружений на открытых участках; б - разбивка отдельных зданий; в - разбивка от осей магистралей; г - разбивка линейных сооружений от местных предметов

Рис. 11.9 - Варианты разбивки сооружений

11.3 Геодезическое обеспечение геометрических параметров сооружений и конструкций

Состав работ

При выполнении работ по обеспечению геометрических параметров сооружений и конструкций выполняются следующие работы:

- обеспечение геометрических параметров земляных работ;
- монтаж конструкций;
- обеспечение геометрических параметров кирпичной кладки и бетонных работ;
- передача осей и отметок на монтажные горизонты.

Обеспечение геометрических параметров земляных работ;

При проходке котлована контролируются линейными промерами его геометрические параметры, контролируется отметка дна котлована. Контроль отметки дна котлована может осуществляться нивелиром или при помощи простейшей визирки, рис. 11.10.

В процессе проведения земляных работ одной из распространенных задач является вынос линии заданного уклона.

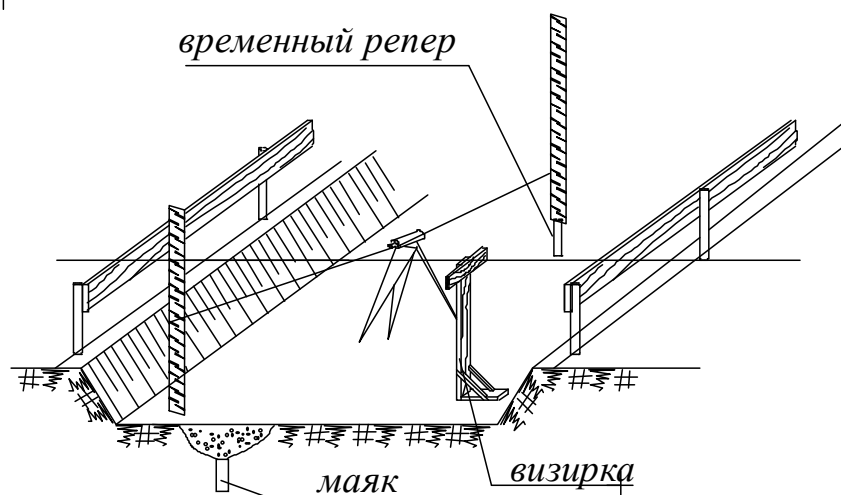


Рис. 11.10 – Контроль отметки дна котлована

Данная задача применяется при выполнении вертикальной планировки, монтаже оборудования, монтаже канализации.

Существуют два способа выноса. Способ горизонтального луча и способ наклонного луча.

Способ горизонтального луча

Данная задача выполняется в такой последовательности:

- 1) по заданному направлению закрепляются точки, контрольные точки, рис. 11.11;
- 2) измеряются расстояния l_i между этими точками;

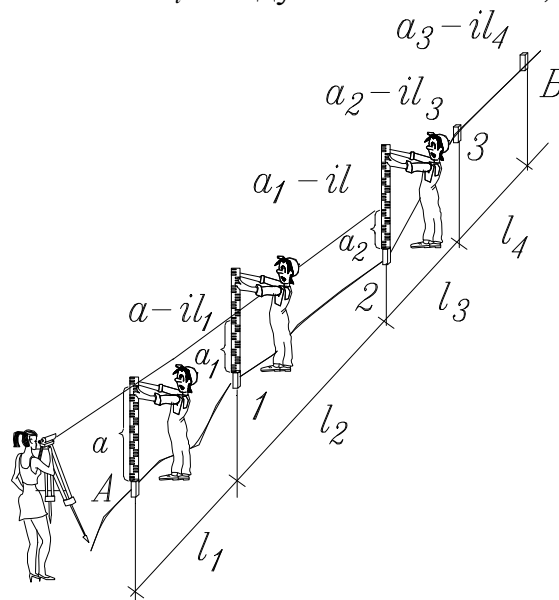


Рис.11.11 - Схема выноса линии заданного уклона способом горизонтального луча

- 3) устанавливается нивелир таким образом, чтобы расстояние от нивелира до ближайшей точки было более 3м, и он приводится в рабочее положение;

4) устанавливается рейка на первую контрольную точку и производится отсчетывание по черной стороне рейке, отсчет a_1 ;

5) вычисляются проектные превышения между точками

$$h_k = l_k i, \quad (11.7)$$

где l_k - расстояние между точками;

i - проектный уклон;

6) вычисляются проектные отсчеты для каждой контрольной точки

$$a_k = a_{k-1} - h_i. \quad (11.8)$$

7) последовательно устанавливается рейка на каждую контрольную точку и, перемещая рейку по вертикали (забивая колышек), добиваются, чтобы отсчет по рейке был равен вычисленному отсчету a_k .

8) результаты измерений записываются в полевой журнал, табл. 11.3.

Таблица 11.3 – Результаты выноса линии проектного уклона

<i>№ тчк</i>	<i>Расстояние, мм</i>	<i>Проектный ук- лон</i>	<i>Превышение, мм</i>	<i>Отсчеты по рейке</i>
1				1265
	3000	+0.015	+0045	
2				1220
	3000	+0.015	+0045	
3				1175
	3000	+0.015	+0045	
4				1130
	3000	+0.015	+0045	
5				1085
	3000	+0.015	+0045	
6				1040
	3000	+0.015	0045	
7				995

Способ наклонного луча

Данный способ применяется в основном при монтаже оборудования, или трубопроводов, при выполнении вертикальной планировки линейных объектов. Для его реализации необходимо предварительно на местности закрепить начальную и конечные точки, на рис. 11.12 это точки A и N , таким образом, чтобы линия AN имела проектный уклон.

Устанавливается теодолит (можно нивелир) над точкой A и измеряется высота инструмента a . На точку N устанавливается рейка. Наводится труба прибора на рейку на отсчет a , равный высоте инструмента. Если измерения выполняются нивелиром, то наклон трубы осуществляется подъемными винтами. Последовательно устанавливая рейку на все промежуточные точки и перемещая рейку по вертикали, добиваются, чтобы отсчеты по рейке были равны величина a .

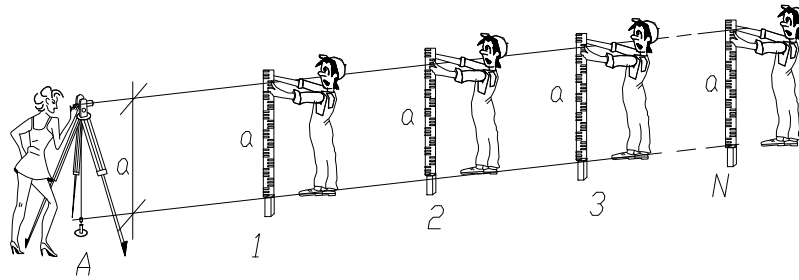
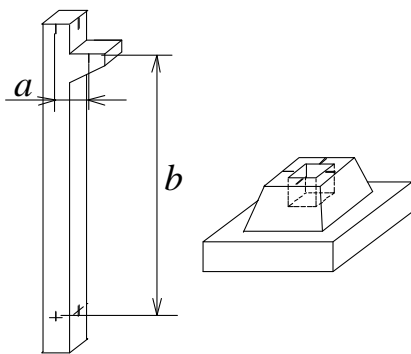


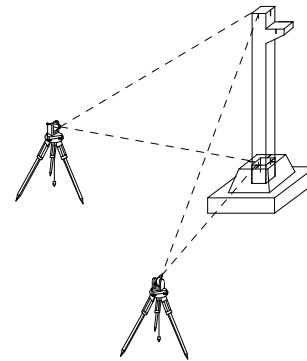
Рис. 11.12 - Вынос линии заданного уклона способом наклонного луча

11.4 Монтаж конструкций

Монтаж конструкций, также как и возведение сооружений в целом осуществляется в три этапа: разбивка, геодезическое обеспечение монтажа, рис. 11.13, и контрольные измерения, рис. 11.14.



Разметка колонн



Установка колонн

Рис. 11.13 – Монтаж колонн

Элементом разбивки конструкций является ее обмер и нанесение осевых меток. Например, на колонне, обмеряются поперечники, маркируя положение осей колонн. В верхней части колонны откладывается проектное расстояние a от оси колонны до середины консоли, намечая ось подкрановой балки. Также откладывается проектное расстояние b от поверхности консоли до хвостовой части колонны, намечая поперечной чертой верхнюю границу установки колонны.

Для монтажа колонн необходимы два теодолита или специальные уровни. Теодолиты применяются когда сооружения относятся к 1-3 классам точности, на остальных сооружениях вертикальность колонн можно обеспечивать упрощенными способами, например отвесом.

Два теодолита устанавливаются в плоскостях взаимно перпендикулярных осей, рис. 11.14. Колонна вставляется в стакан, контролируя ее высотное положение по горизонтальной монтажной метке. Закрепляя колонну в стакане дере-

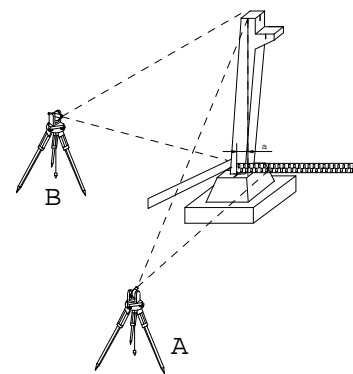


Рис. 11.14 - Контроль вертикальности колонн

ванными клиньями совмещают осевые метки колонны и стакана. Контролируя теодолитами вертикальность, выводится колонна в отвесное положение. После окончательного контроля совпадения монтажных меток и вертикальности колонны она закрепляется окончательно, т.е. закрепляется бетонным раствором.

Работы по монтажу колонны завершаются контрольными измерениями; контролируется положение ее основания по совпадению монтажных меток и вертикальность колонны путем проектирования в двух взаимно перпендикулярных плоскостях верхней осевой метке на рейке, пятки которых совмещены с нижними осевыми метками, рис. 11.14. Допуск на вертикальность колонн согласно нормативным требованиям для зданий 2 класса точности составляет 10мм.

Перед монтажом стеновых панелей на колоннах размечаются горизонтальные и вертикальные монтажные оси и процесс монтажа панелей заключается в совмещении монтажных осей на колоннах и панелях, рис. 11.15.

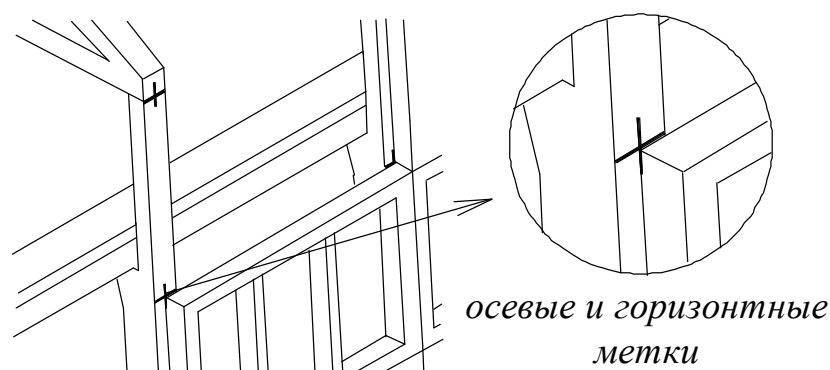


Рис. 11.15 - Монтаж стеновых панелей

Монтаж ферм особых геодезических работ не требует, перед монтажом выполняется обмер поверхностей сопряжений с колоннами и намечаются монтажные метки. При монтаже визуально монтажные метки фермы совмещаются с метками колонн.

В настоящее время в строительстве достаточно распространен метод бетонирования с использованием скользящей опалубки. Высокая скорость и качество бетонирования - основные особенности данного метода. Принцип бетонирования с применением скользящей опалубки показан на рис. 11.16.

Каркас со щитами опалубки устанавливается на фундамент. Через полые винты домкратов пропускаются арматурные стержни. После заливки бетона, используя домкраты и стержни, опалубка поднимается. Процесс повторяется.

При использовании метода скользящей опалубки основной задачей геодезических работ является обеспечение установки опалубки в заданное положение.

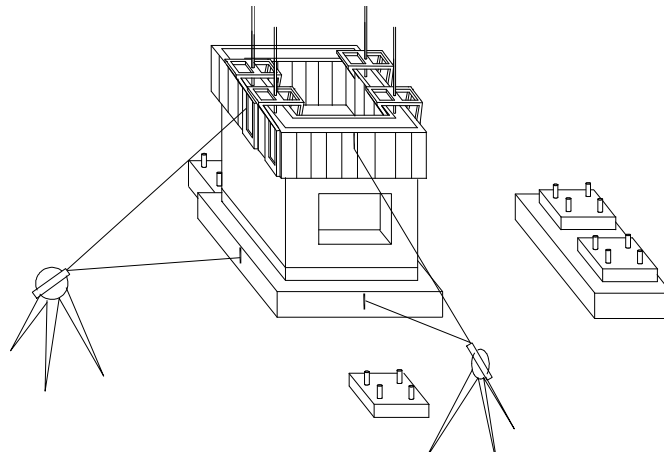


Рис. 11.16 - Геодезическое обеспечение монтажа скользящей опалубки

11.5 Геодезическое обеспечение бетонных работ

Наиболее большие бетонные работы выполняются при возведении фундаментов. Конструкция фундамента зависит от ряда факторов и в первую очередь от несущей способности основания. Наиболее распространены три типа фундаментов: цокольный, ленточный и фундаменты колонного типа. Разбивочные работы для возведения фундамента необходимо выполнять по обноске, которая может быть сплошной, рис. 11.17, или створной, рис. 11.18, 11.19.

Работы по возведению фундамента завершаются его исполнительной съемкой, которая выполняется методом линейных промеров относительно строительных осей.

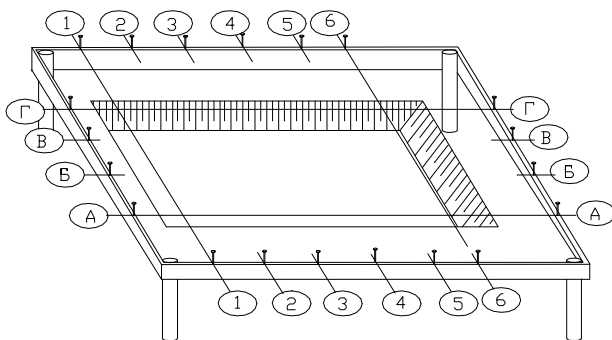


Рис. 11.17 - Сплошная обноска

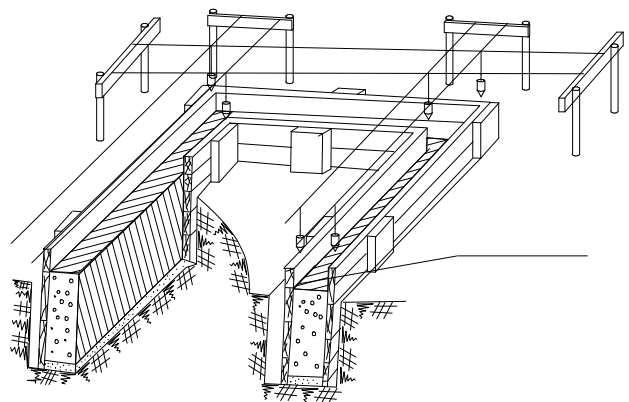


Рис. 11.18 - Створная обноска для ленточного фундамента

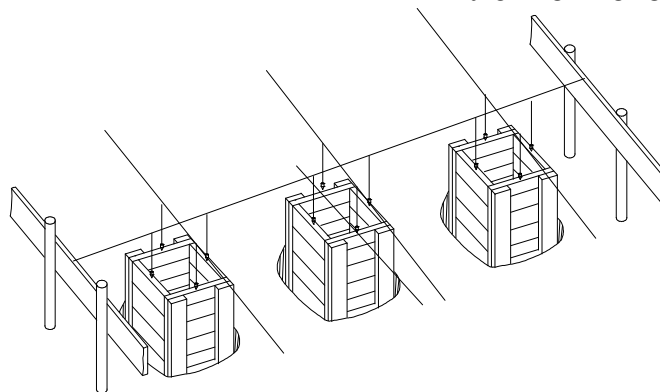


Рис. 11.19 - Створная обноска для фундаментов колонного типа

11.6 Передача отметок на монтажные горизонты

Высотное обеспечение на монтажных горизонтах выполняется от специально заложенных рабочих реперов. Для определения их отметок осуществляется передача отметки с внешнего репера на рабочий. Если отметка передается на дно котлована то, возможно применять метод последовательного нивелирования, рис. 11.20, или при помощи рулетки, рис. 11.21.

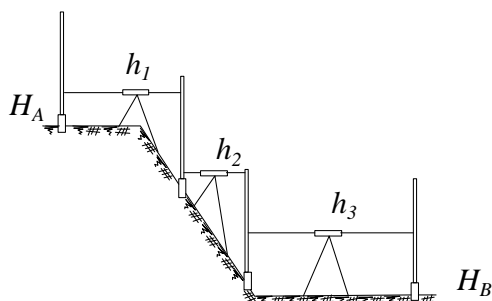


Рис. 11.20 - Передача отметки последовательным нивелированием

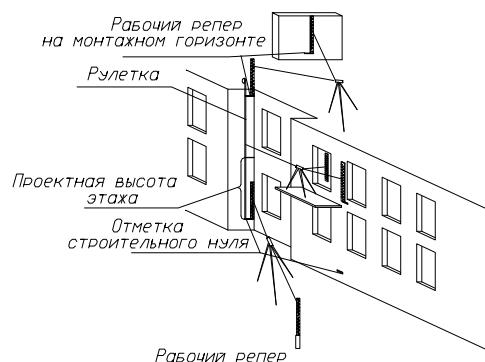


Рис. 11.21 - Передача отметок при помощи рулетки

Отметка рабочего репера в котловане при использовании метода последовательного нивелирования равна:

$$H_B = H_A + \sum h, \quad (11.9)$$

где H_B – отметка рабочего репера в котловане;
 H_A – отметка исходной точки.

Если отметка передается при помощи рулетки, то для ее вычисления используется следующее выражение:

$$H_B = H_A + a + (O_H - O_B) - b, \quad (11.10)$$

Где a – отсчет по рейке, установленной на исходной точке A , O_H, O_B , – отсчеты по рулетке; b – отсчет по рейке, установленной на верхней точке B .

Работы по передаче отметок должны выполняться с обязательным контролем, т.е. нивелирование должны быть в прямом и обратном направлениях.

Передача осей на монтажные горизонты

Обеспечение вертикальности зданий осуществляется за счет жесткой связи его осей на всех монтажных горизонтах. Для чего на каждый монтажный горизонт передаются основные оси сооружения, закрепленные на базовом горизонте или вне здания.

Существует две группы способов передачи осей – наклонным и вертикальным проектированием.

Передача осей способом наклонного проектирования осуществляется при помощи теодолита, рис. 11.22, 11.23.

Передача осей по вертикали методом вертикального проектирования осуществляется при помощи специального отвеса, рис. 11.24 или методом оптического вертикального проектирования при помощи специального зинит-прибора, рис. 11.25.

Наиболее универсальным способом передачи осей по вертикали при использовании теодолита для общегражданских зданий высотой до 40м является

способ бокового нивелирования, рис. 11.23. На некотором расстоянии от строящегося здания закладываются технологические базисы, параллельные основным осям сооружения. Теодолит устанавливается на одну из точек базиса, ориентируя его коллимационную плоскость по второй точке.

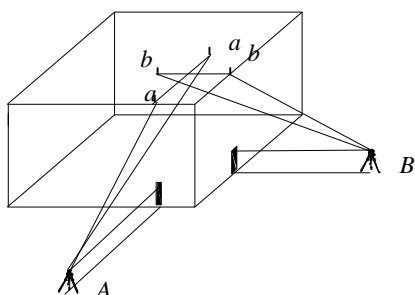


Рис. 11.22 - Передача осей при помощи теодолита

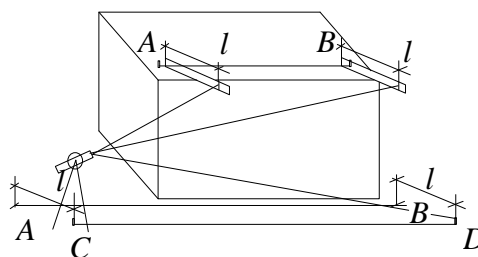


Рис. 11.23 - Передача осей на монтажный горизонт методом бокового нивелирования

На монтажном горизонте горизонтально устанавливается рейка. Перемещая рейку в горизонтальной плоскости, добиваются, чтобы отсчет по рейке был равен расстоянию от технологического базиса до оси.

Наиболее точная передача осей по вертикали осуществляется при помощи специальных приборов вертикального проектирования, рис. 11.24, 11.25.

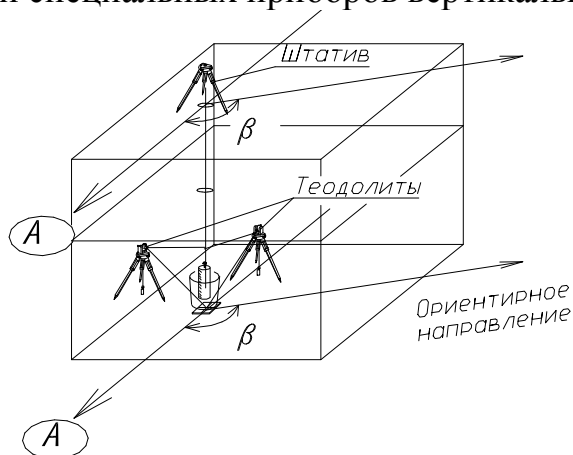


Рис. 11.24 - Передача осей по вертикали при помощи отвеса

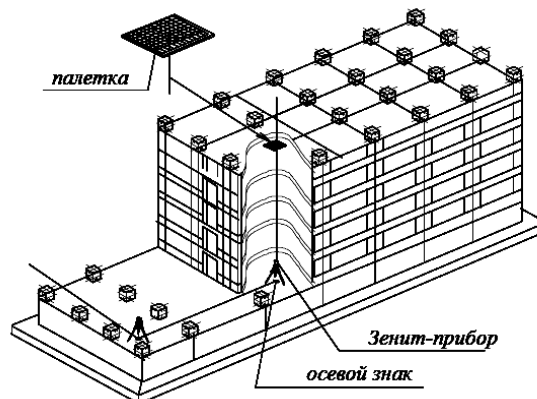


Рис. 11.25 - Передача осей при помощи зенит-прибора

11.7 Исполнительные съемки

Исполнительные съемки - это съемки построенных сооружений, узлов, блоков. Назначение исполнительных съемок следующее.

- 1) контроль качества строительства;
- 2) сопряжение различных этапов строительства;
- 3) составление эксплуатационной документации;
- 4) авторский надзор;
- 5) сопряжение существующих и реконструированных сооружений узлов;
- 6) исходный материал для проектирования.

Также как и разбивочные работы, исполнительные съемки бывают внутренние и внешние. Съемки элементов конструкций, узлов относятся к внутренним исполнительным съемкам, внешние исполнительные съемки это съемки всего сооружения.

Результаты съемок фиксируются в следующих материалах:

акты сдачи отдельных работ;

акты скрытых работ;

исполнительные генпланы.

На рис. 11.26 показаны основные способы внешних исполнительных съемок.

Методы съемки внутри сооружений в основном базируются на линейных, створных измерениях и нивелировании. Образцы исполнительных чертежей (схем) приведены на рис. 11.27, 11.28.

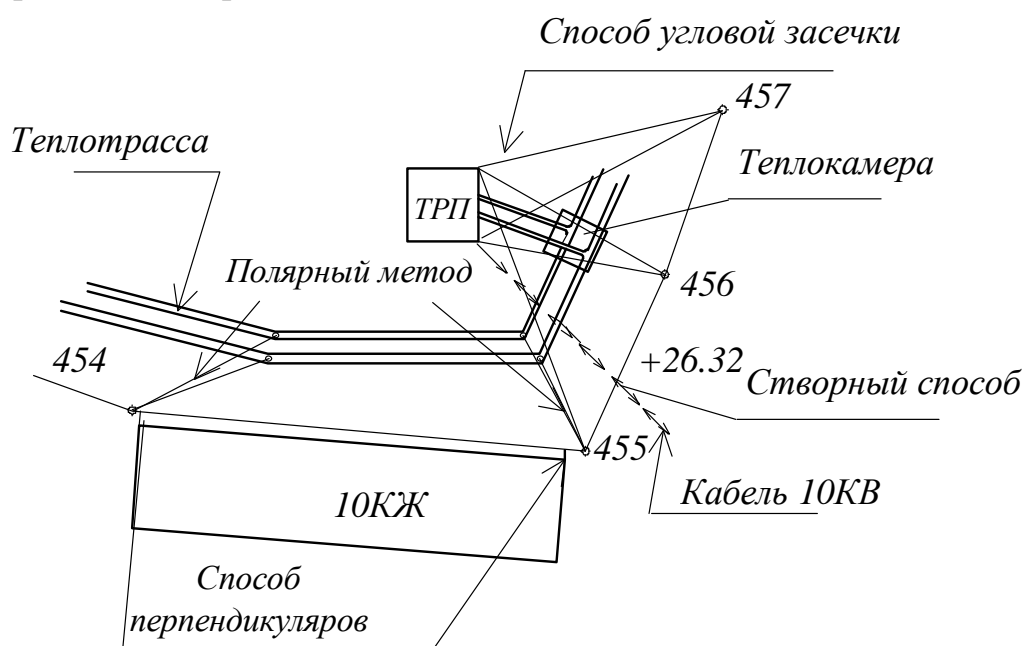


Рис. 11.26 - Способы внешних исполнительных съемок

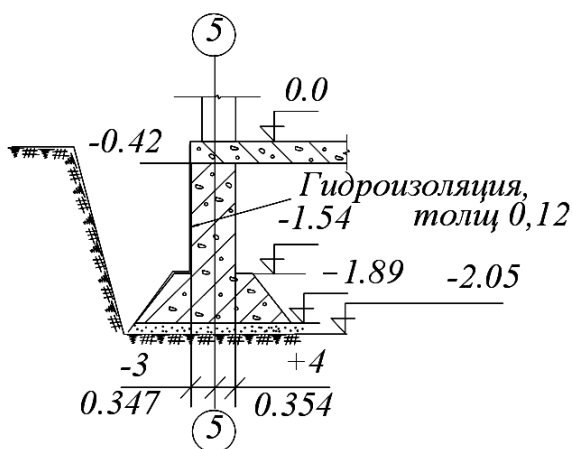


Рис. 11.27 - Фрагмент исполнительной схемы фундамента

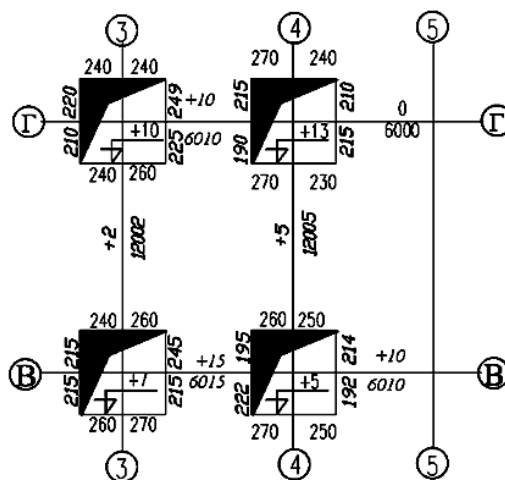


Рис. 11.28 - Фрагмент исполнительной схемы стаканов колонн

11.8 Элементы исполнительных съемок

Определение прямолинейности

Данная задача решается при выполнении исполнительных съемок и при контроле геометрических параметров объектов.

На измеряемом объекте намечаются контрольные точки, рис. 11.29.

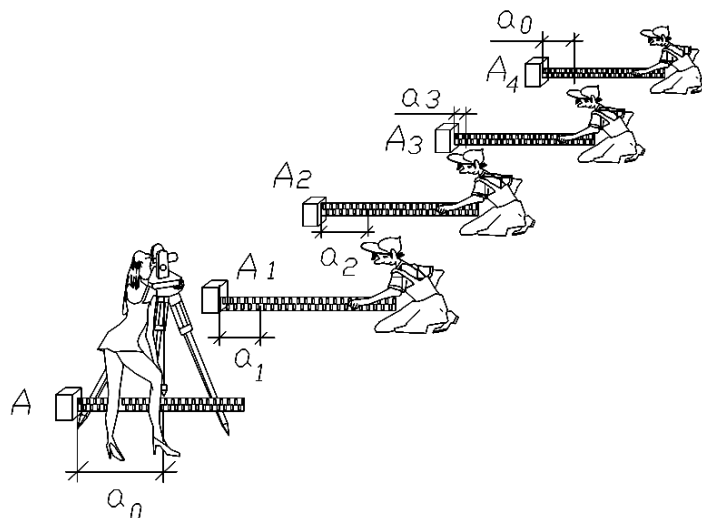


Рис. 11.29 - Схема измерений прямолинейности

Параллельно оси закрепляется базис AB , измеряется расстояние a_0 между осью и базисом. В точку A устанавливается теодолит и ориентируется по точке B . Последовательно устанавливается горизонтально рейка на все контрольные точки и по рейке берутся отсчеты a_i .

Величина отклонения от прямой линии будет равна

$$\Delta a_i = a_i - a_0, \quad (11.11)$$

где a_i - отсчет по рейке;

a_0 - расстояние между осью и базисом.

Результаты измерений записываются в журнал.

Определение высоты объекта

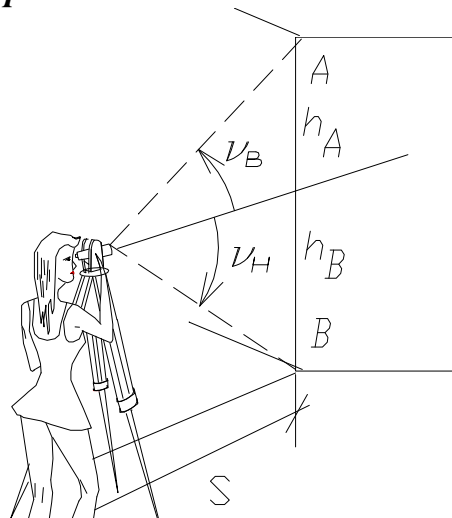


Рис. 11.30 - Определение высоты объекта

На расстоянии 1.5 высоты объекта устанавливается теодолит, рис. 11.30, и измеряется расстояние S от точки установки теодолита (точка C) до сооружения (точка B). Высота объекта H равна:

$$H = h_A + h_B, \quad (11.12)$$

где h_A - расстояние от основания объекта до линии горизонта инструмента;
 h_B - расстояние от линии горизонта инструмента до верхней точки объекта.

Для получения указанных величин необходимо измерить вертикальные углы ν_A и ν_B , тогда высота H вычисляется по формулам

$$H = S(\operatorname{tg} \nu_A + \operatorname{tg} \nu_B); \quad (11.13)$$

$$H = S \operatorname{tg} \nu_A + S \operatorname{tg} \nu_B. \quad (11.14)$$

Определение крена объекта

Данная задача применяется при выполнении контрольных измерений и исполнительных съемок.

На основе предварительно составленной схемы измерений, устанавливается теодолит на расстоянии, порядка 30м от сооружения в створе одной из стен, например, в точке A , рис. 11.31.

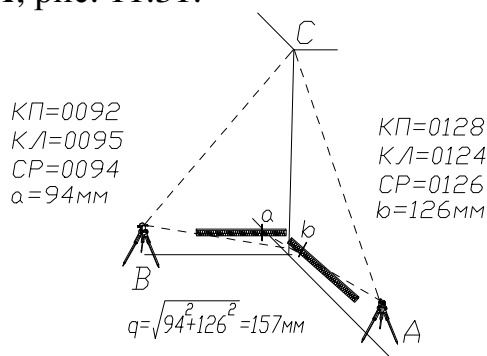


Рис. 11.31 - Определение крена сооружения

Приставляется к стене горизонтально рейка по направлению на теодолит. Последовательно при двух положениях трубы теодолита ($КП$ и $КЛ$) наводится труба на верхнюю точку стены (точка C) и проектируется эта точка на рейку, беря отсчеты a_1, a_2 , вычисляя средний отсчет a .

Устанавливается теодолит в точку B и аналогично, получают отсчеты b_1, b_2 и вычисляется отсчет b .

Определяется значение крена $q = \sqrt{a^2 + b^2}$.

Нивелирование поверхности

В процессе исполнительной съемки котлована возникает необходимость нивелирования его дна. Данная задача также применяется при выполнении вертикальной планировки и контроле горизонтальности поверхностей.

Контролируемая поверхность разбивается на квадраты или прямоугольники, что фиксируется на схеме разбивки. Вершины квадратов или прямоугольников нумеруются. Устанавливается нивелир, таким образом, чтобы расстояния от вершин квадратов до нивелира были одинаковые, и приводится ни-

велир в рабочее положение. Последовательно устанавливается рейка на все контрольные точки, рис. 11.32, и производится отсчитывание по черной стороне рейки, отсчеты c_i . Данные отсчеты записываются в колонку "Промежуточные отсчеты" журнала нивелирования, образец которого приведен в табл. 2.1. Если не предъявляются требования к конкретной отметке поверхности, то принимается условно значение горизонта инструмента, например, $H_{ГИ} = 10.000\text{м}$, которое записывается в колонку «Отметки горизонта инструмента» нивелирного журнала. Вычисляются отметки контрольных точек

$$H_i = H_{ГИ} - c_i; \quad (11.15)$$

вычисленные отметки записываются в колонку «Отметки точек» журнала нивелирования.

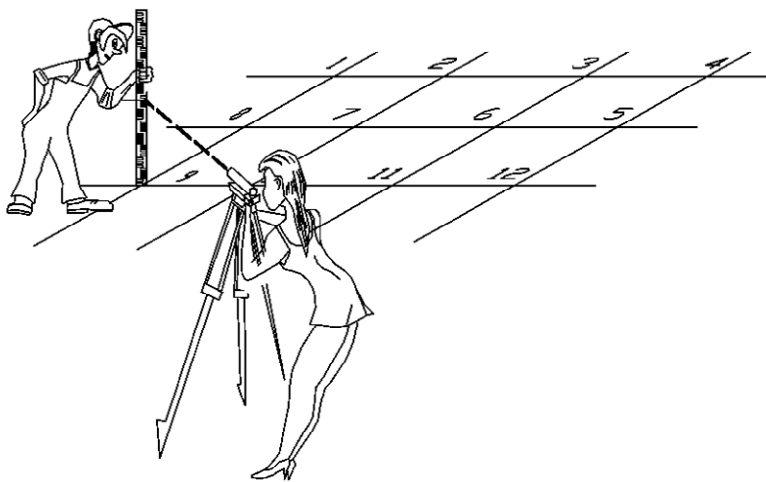


Рис.11.32 - Нивелирование поверхности

Таблица 11.4 - Журнал нивелирования поверхности

Нивелир *Н10* № *985555* Дата *22.04.09* Исполнитель *Коротченко Г.Р.*

№ станц.	№№ точек	Отсчеты по рейкам			Превышение			Отметки	
		задний	перед.	промеж.	вы- числ.	средн	испр.	ГИ	точек
	1			1245				10.000	8.755
1	2			1110					8.890
	3			1325					8.675
	4			1098					8.908
	5			1205					8.797
	6			1323					8.677
	7			1154					8.846
	8			1465					8.535
	9			1305					8.695
	10			0985					9.015
	11			1465					8.535
	12			1454					8.546

На схему измерений вписываются фактические отметки точек, рис. 11.33.

1	8.53	2	8.53	3	8.53	4	8.53
-23	8.76	-36	8.89	-15	8.68	-38	8.91
8	8.53	7	8.53	6	8.53	5	8.53
0	8.53	-32	8.85	-15	8.68	-27	8.80
9	8.53	10	8.53	11	8.53	12	8.53
-17	8.70	-49	9.02	-1	8.54	-2	8.55

Рис. 11.33 - Схема вертикальной планировки

Фактические отметки вписываются в правый нижний угол вершин квадратов. Отметки вписываются с точностью до двух знаков после запятой (с точностью до сантиметра). В верхний левый угол на схеме записываются номера вершин. Выбирается планировочная отметка. Если осуществляется планировка дна котлована, то в качестве планировочной отметки берется минимальная отметка, если же осуществляется горизонтирование бетонной или другой аналогичной поверхности, то в качестве планировочной отметки берется максимальная отметка. В данном примере в качестве планировочной отметки берем минимальную отметку ($H_{МИН} = 8.53\text{м}$). Планировочная отметка записывается красным цветом в верхнем правом углу каждой вершины квадрата. Вычисляются рабочие отметки

$$h_i = H_{ПЛ} - H_i; \quad (11.16)$$

где $H_{ПЛ}$ - планировочная отметка;

H_i - фактическая отметка i - той точки.

Рабочие отметки в сантиметрах записываются на схеме в левом нижнем углу вершины под ее номером.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ ИНФОРМАЦИИ

1. Войтенко С. П. *Инженерная геодезия: учебник*// С.П. Войтенко. - К: Знание, 2009
2. Гайдай С.А., Защипась С.Я. и др. *Условные знаки для топографических планов масштабов 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500.*/Министерство экологии и природных ресурсов Украины, 2001.
3. Криворучко В. Т. *Компьютерный учебно-методический комплекс по инженерной геодезии серия «Геодезия в архитектуре».* Диск CD. - Харьков: ХНУБА, 2017
4. Криворучко В. Т. *Геодезическая практика. Методическое пособие для студентов специальности «Архитектура и градостроительство».* - Харьков: ХНУБА, 2017
5. Криворучко В. Т. *Методическое пособие для выполнения расчетно-графических работ по курсу « Основы геодезии» для студентов специальности «Архитектура и градостроительство».* – Харьков: ХНУБА, 2017.- 72 с.
6. Криворучко В. Т. *Методические указания к проведению лабораторных и практических работ по дисциплине «Основы геодезии» для студентов специальности «Архитектура и градостроительство» /Харьковский национальный университет строительства и архитектуры - Х.: ХНУБА, 2017. - 60 с.*
7. В. Т. Криворучко. *Програма курсу «Інженерна геодезія» для студентів спеціальності «Архітектура й містобудування»:* Нормативний документ. - Харків.: ХНУБА, 2017. - 36с.

Учебное издание

Компьютерный учебно-методический комплекс по инженерной геодезии. Серия «Геодезия в архитектуре». Инженерная геодезия. Серия «Геодезия в архитектуре»: Учебное пособие для студентов специальности «Архитектура и градостроительство». - Харьков: Изд. - ХНУСА, 2017. /Харьковский национальный университет строительства и архитектуры, автор: Криворучко В. Т., - Х.: ХНУСА, 2017. - Харьков: кафедра инженерной геодезии ХНУБА 2017 г.

Автор: Криворучко Владимир Тимофеевич

Копирование и размножение без согласия автора запрещено

Ответственный за выпуск Т. А. Наливайко

Под редакцией автора

План 2017 поз
Электронное издание.

Подп. в печать

Зам. №

Бесплатно

ХНУСА, 61002, Харьков ул. Сумская, 40
