

А.Ю. Михайлов



ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОДЕЗИЯ В ВОПРОСАХ И ОТВЕТАХ



А.Ю. Михайлов

**ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОДЕЗИЯ
В ВОПРОСАХ И ОТВЕТАХ**

Учебное пособие

Инфра-Инженерия
Москва-Вологда
2016

УДК 528.48.(075.8)
ББК 26.1я73
М 69

Рецензент

*В.А. Пименов., к.т.н., доцент кафедры промышленного
и гражданского строительства ФГБОУ ВО «КГТУ»*

Михайлов А.Ю.

М 69 Инженерная геодезия в вопросах и ответах.– М.: Инфра-Инженерия, 2016. –
200 с.

ISBN 978-5-9729-0114-2

Изложена теория и методика выполнения геодезических измерений, вопросы создания съемочного обоснования, производства топографических съемок с использованием традиционных и современных методов. Представлены сведения из теории погрешностей геодезических измерений.

Отражены требования к выполнению инженерно-геодезических изысканий в градостроительной деятельности и при изысканиях в области строительства зданий и сооружений в соответствии с требованиями нормативных документов.

Книга предназначена для студентов, обучающихся по направлению «Строительство» и работникам геодезического производства. Может быть также полезна преподавателям и слушателям курсов повышения квалификации.

*Подписано в печать 27.02.2016. Формат 60x84/16. Бумага офсетная.
Гарнитура «Таймс». Объем 10 печ. л. Тираж 1000 экз. Заказ №1212.*

Издательство «Инфра-Инженерия»

*Тел.: 8(911)512-48-48. Тел./факс: 8(8172)75-15-54. E-mail: infra-e@yandex.ru
Сайт: www.infra-e.ru*

**Издательство
приглашает к сотрудничеству авторов
научно-технической литературы**

© Михайлов А.Ю., автор, 2016

© Издательство «Инфра-Инженерия», 2016

ISBN 978-5-9729-0114-2

Глава 1. ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

1.1. Термины и определения

Т а б л и ц а 1.1

Термины и определения

Абрис	Схематический чертеж участка местности
Астрономические координаты	Компоненты направления отвесной линии в данной точке пространства относительно плоскости, перпендикулярной к оси вращения Земли, и плоскости начального астрономического меридиана.
Базисная сеть	Система треугольников, служащая для перехода от длины геодезического базиса к длине стороны триангуляции тригонометрическим способом.
Базисная сторона	Сторона треугольника триангуляции, длина которой определена из непосредственных измерений и служит исходной для определения длин других сторон.
Вертикальная плоскость	Плоскость, проходящая через отвесную линию данной точки.
Вертикальный угол	Угол, лежащий в вертикальной плоскости.
Высота сечения рельефа	Заданное расстояние между соседними секущими уровнями поверхностями при изображении рельефа горизонталями.
Сторона треугольника триангуляции	Сторона треугольника триангуляции, длина которой определена из базисной сети.

Геодезическая сеть	Сеть закреплённых точек земной поверхности, положение которых определено в общей для них системе геодезических координат.
Геодезический азимут	Двугранный угол, между плоскостью геодезического меридиана данной точки и плоскостью, проходящей через нормаль в ней и содержащей данное направление, отсчитываемый от направления на север по ходу часовой стрелки.
Геодезия	В переводе с греческого языка означает деление земли. В современном понимании геодезия – это наука об определении формы и размеров Земли, об изменениях на земной поверхности для отображения ее на планах и картах для последующего решения различных хозяйственных и оборонных задач. Геодезия подразделяется на: высшую геодезию, топографию, фототопографию, маркшейдерия, космическую и инженерную геодезию.
Высшая геодезия	Изучает форму и размеры Земли, а также методы определения координат точек поверхности Земли (создает государственную геодезическую сеть ГГС).
Топография	Изучает способы создания планов и карт при непосредственном измерении объектов местности.
Фототопография	Занимается созданием планов и карт, измерением модели местности полученной по паре аэрофотоснимков в стереоприборах.
Космическая геодезия	Решает различные геодезические задачи с помощью спутников Земли.

Маркшейдерия	Изучает геодезические измерения в горных выработках и при строительстве подземных сооружений.
Геоид	Фигура Земли, образованная уровенной поверхностью, совпадающей с поверхностью Мирового океана в состоянии покоя и равновесия и продолженной под материками.
Геодезический знак	Устройство или сооружение, обозначающее положение геодезического пункта на местности.
Геодезический базис	Линия, длина которой получена из непосредственных измерений и служит для определения длины стороны геодезической сети.
Геодезическая засечка	Определение координат точки по элементам, измеренным или построенным на ней или на исходных пунктах. Прямая засечка - засечка, выполненная с исходных пунктов. Обратная засечка – засечка, выполняемая на определяемой точке. Комбинированная засечка – засечка, выполняемая на определяемой точке и с исходных пунктов.
Геодезические координаты	Геодезическими координатами точки являются ее широта, долгота и высота. <i>Геодезической широтой</i> точки называется угол, образованный нормалью к поверхности эллипсоида, проходящей через данную точку, и плоскостью экватора. Широта отсчитывается от экватора к северу и югу от 0° до 90° и называется северной или южной. Северную широту считают положительной, а южную – отрицательной. <i>Геодезической долготой</i> точки называется двугранный угол, образованный плоскостями начального (гринвичского) геодезического

	<p>меридиана и геодезического меридиана данной точки. Долготы отсчитывают от начального меридиана в пределах от 0° до 360° на восток, или от 0° до 180° на восток (положительные) и от 0° до 180° на запад (отрицательные). <i>Геодезической высотой</i> точки является ее высота над поверхностью земного эллипсоида.</p>
Геодезический пункт	Пункт геодезической сети (например, пункт триангуляции).
Геодезический ход	Геодезическое построение в виде ломаной линии.
Геодезическая сеть сгущения	Геодезическая сеть, создаваемая в развитие геодезической сети более высокого порядка.
 <p>Географические координаты</p>	<p>Это обобщённое понятие геодезических и астрономических координат. Поверхность эллипсоида изображается на плоскости по частям, представляющие собой сферические четырёхугольники, называемые зонами. Размер зоны по долготе равен 6°, по широте 3°. Центральный меридиан каждой зоны называется осевым.</p>
Географический азимут	Двугранный угол, между плоскостью меридиана на данной точки и вертикальной плоскостью, проходящей в данном направлении, отсчитываемый от направления на север по ходу часовой стрелки.
Горизонтальная плоскость	Плоскость, проходящая через отвесную линию данной точки.
Горизонтальное проложение	Длина проекции линии на горизонтальную плоскость.

Горизонтальный угол	Двугранный угол, ребро которого образовано отвесной линией, проходящей через данную точку.
Государственная геодезическая сеть	Геодезическая сеть, обеспечивающая распространение координат на территории государства и являющаяся исходной для построения других геодезических сетей.
График заложений	График, предназначенный для определения крутизны скатов.
Динамическая высота	Величина, численно равная отношению геопотенциальной величины в данной точке к среднему значению нормальной силы тяжести Земли по отрезку, отложенному от поверхности земного эллипсоида.
Дирекционный угол	Угол между проходящим через данную точку направлением и линией, параллельной оси абсцисс по ходу часовой стрелки.
Задачи инженерной геодезии	<p>- <i>топографо-геодезические изыскания</i>, в ходе которых выполняется создание на объекте работ геодезической сети, топографическая съемка, геодезическая привязка точек геологической и геофизической разведки;</p> <p>- <i>инженерно-геодезическое проектирование</i>, включающее разработку генеральных планов сооружений и их цифровых моделей; геодезическую подготовку проекта для вынесения его в натуру, расчеты по горизонтальной и вертикальной планировке, определению площадей, объемов земляных работ и др.;</p> <p>- <i>геодезические разбивочные работы</i>, включающие создание на объекте геодезической разбивочной сети и последующий вынос в натуру главных осей сооружения и его детальную разбивку;</p>

	<p>- <i>геодезический контроль при установке конструкций и технологического оборудования в проектное положение;</i></p> <p>- <i>наблюдения за деформациями сооружений.</i></p>
Заложение	Расстояние на карте между двумя последовательными горизонталями по заданному направлению.
Заложение ската	Заложение по направлению, нормальному к горизонталям.
Зенит	Точка пересечения отвесной линии или нормали к поверхности земного эллипсоида с небесной сферой.
Зенитное расстояние	Угол между направлением на зенит данной точки и на другую точку.
Исходный геодезический пункт	Геодезический пункт, относительно которого определяются соответствующие характеристики положения других геодезических пунктов.
Исходная сторона геодезической сети	Сторона геодезической сети с заданным направлением и длиной, относительно которой определяются эти характеристики других сторон.
Калька высот	Документ на кальке, предназначенный для хранения полученной в процессе топографической съемки информации о рельефе.
Калька контуров	Документ на кальке, предназначенный для хранения полученной в процессе топографической съемки информации о ситуации.

Карта	Чертеж, на котором с учетом общей кривизны фигуры Земли может быть изображена поверхность всей Земли или любой ее части в обобщенном и уменьшенном виде.
Каталог координат геодезических пунктов	Систематизированный список геодезических пунктов, расположенных на площади, ограниченной листом или листами топографической карты определённого масштаба, где приведены сведения о геодезической сети.
Кронштадский футшток	В России принята <i>Балтийская система высот</i> . Счет абсолютных отметок ведут от уровенной поверхности, проходящей через <i>нуль Кронштадтского футштока</i> , закреплённого на опоре Синего моста.
Марка центра геодезического пункта	Деталь центра геодезического пункта, имеющая метку, к которой относят его координаты.
Масштаб	Уменьшенное отношение длины отрезка линии на чертеже к длине горизонтального проложения соответствующего отрезка линии местности. Масштабы бывают: численные, именованные и графические. Теоретически масштаб во всех точках карты различен, практически он одинаков.
Масштаб численный	Выражается дробью, например, 1:100000, что означает в 1 см на карте соответствует 100 тыс. см на местности, или 1000 м. Численный масштаб наносится в нижней части карты.
Масштаб линейный	Линейный масштаб изображают на планах и картах, он предназначен для более точного определения измерений отрезков с помощью измерителя.

Масштаб поперечный	Представляет собой график, наносимый на металлическую линейку. Отрезок линейки, равный 2 см и разбитый на 10 равных частей, называется основанием поперечного масштаба. Графическая точность определения длин отрезков, на плане с помощью поперечного масштаба составляет 1/100 его основания. Измерение длин линий на плане по поперечному масштабу выполняется с помощью измерителя.
Мензуральная съемка	Топографическая съемка, выполняемая при помощи мензулы и кипрегеля.
Местная система прямоугольных координат	При строительстве различных объектов часто используют условные системы координат, это могут быть главные или основные оси зданий или сооружений.
Нивелирование	Определение превышений.
Нивелирный репер	Геодезический знак. Закрепляющий пункт нивелирной сети.
Ориентирный пункт	Пункт, закрепляющий на местности направление с геодезического пункта.
Осевой меридиан	Меридиан, принятый за ось какой – либо системы координат на поверхности.
Отвесная линия	Прямая, совпадающая с направлением действия силы тяжести в данной точке.
План	Чертеж, на котором в уменьшенном и подобном виде изображена горизонтальная проекция небольшого участка земной поверхности. Если на плане изображена только ситуация, его называют <i>контурным</i> . Если кроме ситуации на план нанесен и рельеф, такой план называют <i>топографическим</i> .
Пикет трассы	Точка оси трассы, предназначенная для закрепления заданного интервала.

Полигонометрия	Метод построения геодезической сети путём измерения расстояний и углов между пунктами хода.
Плоскость начального меридиана	Плоскость меридиана, от которой ведётся счёт долгот.
Потенциал силы тяжести Земли	Величина, численно равная работе по переносу единицы массы в поле силы тяжести Земли из бесконечности в данную точку.
Превышение	Разность высот точек.
Проект вертикальной планировки	Технический документ, определяющий преобразование рельефа местности для инженерных целей.
Проектная отметка	Высота точки относительно исходного уровня.
Профиль	Вертикальный разрез поверхности Земли по заданному направлению.
Разбивочная ось	Ось сооружения, по отношению к которой в разбивочных чертежах указываются данные для выноса в натуру сооружения или отдельных частей.
Разбивочная сеть	Геодезическая сеть, создаваемая для перенесения проекта в натуру.
Разбивочный чертеж	Чертеж, содержащий все необходимые данные для перенесения отдельных элементов сооружения в натуру.
Референц - эллипсоид	Земной эллипсоид, принятый для обработки геодезических измерений и установления системы геодезических координат.

Рельеф	Сочетание неровностей земной поверхности
Сближение меридианов	Угол в данной точке между её меридианом и линией, параллельной оси абсцисс или осевому меридиану.
Система высот	Счёт высот в инженерной геодезии ведут от уровенных поверхностей. Абсолютная высота отсчитывается от поверхности геоида. Если за начало отсчёта выбрана какая-либо другая уровенная поверхность, то высоты называют условными или относительными. Численное значение высоты принято называть отметкой.
Система координат	Для определения положения точки в геодезии применяют пространственные, геодезические и плоские прямоугольные координаты.
Ситуация	Совокупность находящихся на земной поверхности населённых пунктов, лесов, дорог, каналов, рек и инженерных коммуникаций.
Створ	Вертикальная плоскость, проходящая через две данные точки.
Строительная геодезическая сетка	Геодезическая сеть в виде системы квадратов или прямоугольников, ориентированных параллельно большинству разбивочных осей сооружения.
Сфероид земной	Фигура, которую приняла бы Земля, находясь в состоянии гидростатического равновесия и под влиянием только сил взаимного тяготения её частиц и центробежной силы её вращения около неизменной оси.
Съёмочное обоснование	Геодезическая сеть, используемая для обеспечения топографических съёмок.
Съёмочная геодезическая сеть	Геодезическая сеть сгущения, создаваемая для производства топографической съёмки.

Тахеометрическая съемка	Топографическая съемка, выполняемая при помощи тахеометра.
Теодолитная съемка	Топографическая съемка, выполняемая при помощи теодолита и мер длины или дальномеров.
Топографическая съемка	Комплекс работ, выполняемых с целью получения съемочного оригинала топографической карты или плана, а также получения топографической информации в другой форме.
Точка нулевых работ	Точка, в которой проектная и фактическая отметка одинаковы.
Точность масштаба	Горизонтальный отрезок на местности, соответствующий отрезку 0,1 мм на плане, воспринимаемый невооруженным глазом.
Триангуляция	Метод построения геодезической сети в виде треугольников, в которых измерены их углы и некоторые из сторон.
Трилатерация	Метод построения геодезической сети в виде треугольников, в которых измерены все их стороны.
Уклон	Уклон – это есть отношение превышения между точками к горизонтальному заложению между ними: $i = h / d$. Уклоны могут измеряться в долях, процентах и промилях. В тех случаях, когда имеют дело уклонами, измеренными в градусах, обычно называют углами наклона. В строительстве применяются уклоны с различными единицами измерения.

Уровенная поверхность	Поверхность, на которой потенциал силы тяжести Земли всюду имеет одно и то же значение
Эллипсоид земной	Фигура, близкая по форме к геоиду, полученная вращением эллипса вокруг малой оси. Большая полуось – 6378245 м., малая полуось – 6356863 м., вычислены в 1940 г. проф. Ф.Н.Красовским и А.А.Изотовым.

1.2. Линейные измерения

Из истории развития средств линейных измерений

С незапамятных времен человечество столкнулось с необходимостью линейных измерений. В разных частях света в качестве меры линейных измерений пути могли приниматься отрезки, преодолеваемые человеком пешком, верхом на лошади, по водному пути за определённый интервал времени, например световой день. Для измерения более коротких длин, обычно использовались различные части тел человека, например, шаги, локти, обхват руками, толщина пальцев, ладони. Для линейных измерений использовались и другие меры.

Первыми мерами длины Киевской Руси (XI- XII вв.) были локоть, пядь, стопа, ладонь, палец. Неоднозначность и расплывчатость таких мер зачастую приводили к серьёзным конфликтам, поэтому возникла необходимость установления единства мер, или как сейчас говорят – эталона. Примером первого такого эталона в Киевской Руси был «золотой пояс» великого князя Святослава Ярославича, длину которого он определил как «Се мера и основание». Для непосредственных измерений применялись деревянные шаблоны, равные его длине. Отступление от эталона наказывалось.

К концу XII века на Руси сложилась система мер, включающая версту, сажень, локоть, пядь, перст, вершок. Развитие межгосударственных торговых связей, строительство оборонительных сооружений и освоение новых территорий, требовало проведение большого объема картографических работ, а следовательно, и упорядочения линейных мер.

С XVI века в России применяли линейку, равную аршину. Линейки изготавливали длиной 70,9 см металлическими или из древесины. Официально аршин был узаконен лишь в 1899 году.

Первое упорядочение линейных мер было осуществлено в реформах Петра I. По его указу было принято соотношение русских и английских мер. Шаг в направлении включения России в английскую систему мер потребовал не только больших усилий, но и внес определенную путаницу, особенно на первых порах. Эти линейные меры измерения зачастую фигурировали совместно в одном документе. Так в указе Сената от 24 июля 1741 года предписывалось, чтобы сооружавшиеся дома располагались «от земли до нижнего пола на самых низких местах вышиной в 2,5 аршина, а на прочих местах, которые воде не столь подвержены, на 1 фут выше большей прибывлой воды».

Т а б л и ц а 1.2

Соотношение линейных мер

Величина	Наименование единицы и ее доли в до Петровской России	Английская система	СИ
Длина	1 верста = 500 сажень или 1500 аршин	3500 футов	1,0668 км
	1 сажень = 3 аршинам или 48 вершкам	7 футов	2,1336 м
	1 аршин = 16 вершкам	28 дюймов	0,7112 м
	1 вершок	1,75 дюйма	4,445 см
	1 линия	10 точек	2,54 мм
Площадь	1 десятина = 2400 кв. сажен	-	10925,4 м ²

Возрастание объемов геодезических работ требовало совершенствования мер линейных измерений. Для измерения расстояний стали применяться металлические цепи длиной 5-10 сажень, а для измерения превышений – нивелиры. Общее наблюдение за сохранностью мер, и правильность измерений возлагалось на губернаторов вплоть до начала XX века.

Идея связать единицу длины с физической постоянной, например, с длиной дуги меридиана находила все большую поддержку,

как в России, так и в европейских странах. Созданная в 1736 году комиссия Сената поддержала эту идею и рекомендовала перейти к десятичному принципу их деления. Этому способствовали достижения теоретической и практической геодезии, которые позволяли установить размеры Земли.

Для выработки предложений по эталону меры длины 26 мая 1791 года национальное собрание Франции создало специальную комиссию Парижской Академии наук в составе Жана Бора, Жозефа Лагранжа, Пьера Лапласа. Комиссия рекомендовала в качестве такого эталона принять одну десятиллионную часть длины одной четверти земного меридиана. По заданию комиссии академики-геодезисты Ж.Б. Деламбер и П.Ф. Мешеню в течение 6 лет с помощью 115 треугольников выполнили измерение длины дуги меридиана между Дюнкером и Барселоной. По результатам их измерений в 1799 году была изготовлена и утверждена «истинная мера» получившая название метр. Первую линейку изготовили из латуни, получившую наименование «республиканский метр», её длина равнялась одному метру и шириной в 2,5 сантиметра, на линейке были нанесены деления, равные одному сантиметру.

В 1889 году было изготовлено 30 прототипов архивного метра, два из которых №11 и №28 были переданы России. Так было положено начало международной системы линейных мер.

Переход России на международную систему был долгим и трудным. Только в 1916 году русское правительство утвердило положение, первая статья которого гласила: «В Российской империи применяются меры русские и международные метрические». Полностью перейти на метрическую систему линейных мер удалось только в 1924 году, постановлением правительства запрещалось применение всяких других мер, кроме метрических мер.

Проблема хранения архивного метра заставляла ученых искать другие пути его хранения и воспроизведения. К тому же ученых и практиков к середине XX века перестала удовлетворять точность сравнения национального эталона с прототипом. Открытие новых физических явлений позволило найти пути более точного и надежного воспроизведения метра. Так в настоящее время метр воспроизводится с использованием длины волны монохроматического света. 14 октября 1960 года XI Международная конференция мер и весов

приняла решение в качестве метра считать $1650763,73$ длины волны в вакууме излучения соответствующего переходу между уровнями $2p^{10}$ и $2d^5$ атома криптона 86. Это позволило в 100 раз повысить точность воспроизведения эталона.

21 октября 1983 года XVII Генеральная конференция мер и весов в Париже приняла новое определение метра как длины расстояния, которое свет проходит в безвоздушном пространстве за $1/299792458$ сек. Это стало возможным с появлением атомной шкалы времени и развитием лазерных средств измерения расстояний. Точность воспроизведения метра при этом возросла. Абсолютная погрешность воспроизведения метра не превышает 1нм.

Одновременно с развитием мер совершенствовались приборы для измерения длин линий на местности. Так в 30-х годах прошлого столетия был создан сплав инвар, который практически не реагирует на изменение температуры окружающей среды. Мерные инварные проволоки позволяют измерять базисы в триангуляции. К этому же периоду относятся первые опыты по измерению расстояний радиокационными способами.

В 1936 году под руководством академика А.А.Лебедева был создан первый в мире светодальномер. Он послужил началом новой отрасли науки и приборостроения в области физических методов измерения расстояний. Внедрение лазеров, электронных микромодулей и других средств новой техники ознаменовало собой качественный скачок в развитии геодезического приборостроения.

История развития линейных мер неразрывно связана с развитием человеческого общества и является составной частью нашей истории и цивилизации. Особенно важно знать эту историю специалистам, связанным с геодезическими измерениями на местности. Это позволяет более глубоко изучить возможности современных средств линейных измерений, их точностные характеристики, видеть пути дальнейшего развития, ибо каждая вещь известна лишь в той степени, в какой степени ее можно измерить, или описать присущие ей свойства.

Какие приборы используются для линейных измерений?

Приборы и инструменты для линейных измерений подразделяются на:

- механические (рулетки, землемерные ленты, проволоки);
- оптические дальномеры (нитяной дальномер);
- электромагнитные дальномеры (светодальномеры, радиодальномеры, лазерные дальномеры).

Измерение расстояний производят двумя способами: непосредственно или косвенно. При непосредственном измерении мерный прибор или инструмент располагается в створе измеряемого отрезка. При косвенном способе измеряют вспомогательные параметры (углы, базисы), а необходимые расстояния вычисляют с помощью формул планиметрии. Точность измерения зависит от выбранного способа и может колебаться в диапазоне от 1-2 мм. до нескольких сантиметров, в относительных единицах от 1:200 до 1:1000000. Единица измерений, независимо от применяемых приборов и инструментов - метр.

Как измерить длину мерной лентой (рулеткой)?

Перед измерением отрезка линии на его концах устанавливают вехи, если длина линии превышает 100 м., или видимость ограничена, то в створе устанавливают дополнительные вехи (провешивание линии). Провешивание линии обычно ведут «на себя», установка вех в обратном порядке, то есть «от себя», является менее точной, так как ранее выставленные вехи закрывают видимость. В створе линии не должно быть неровностей грунта, растительности и других препятствий. Измерение выполняют два человека в прямом и обратном направлении, относительная величина расхождения между измерениями не должно превышать 1:2000 при нормальных условиях, а при неблагоприятных условиях – около 1:1000.

Мерные ленты типа ЛЗ изготавливают из стальной полосы шириной до 2,5 см. и длиной 20, 24 или 50 м. Наиболее распространены 20-метровые ленты. К ленте прилагается комплект из шести (или одиннадцати) шпилек.

Рулетки – узкие (до 10 мм) стальные ленты длиной 20, 30, 50, 75 или 100 метров, с миллиметровыми делениями. Для высокоточ-

ных измерений служат рулетки, изготовленные из инвара – сплава (64% железа, 35,5% никеля и 0,5% различных примесей), имеющего малый коэффициент линейного расширения. Для измерений пониженной точности применяют тесёмочные и фиброглассовые рулетки. Поправка за наклон вводится для определения горизонтального проложения (проекции) d , при измерении наклонного расстояния D

$$d = D \cos \beta$$

где β - угол наклона. Поправка за наклон имеет знак минус. При измерениях землемерной лентой (ЛЗ) поправку учитывают, когда углы наклона превышают 1° . Если линия состоит из участков с разными уклонами, то находят горизонтальные проложения участков и результаты суммируют. Углы наклона, необходимые для приведения длин линий к горизонту измеряют теодолитом. Поправку за наклон линии можно вычислить, используя нивелир

$$\Delta = -\left(\frac{h^2}{2d}\right) - \left(\frac{h^4}{2d^3}\right)$$

где h - превышение между начальной и конечными точками измеряемой линии, определяемое с помощью нивелира. Относительные погрешности при такой методике измерений расстояний составляют 1:5000 - 1:10000.

Как измерить длину оптическим дальномером?

Измерение расстояний оптическими дальномерами (нитяными дальномерами) основано на свойстве постоянства параллактического угла и переменного базиса. Оптический (нитяной) дальномер имеется во всех современных геодезических приборах. Он представляет собой сетку нитей, на которой имеются три горизонтальные нити. Одна, из которых проходит через центр сетки нитей, а две другие – симметрично средней нити – дальномерные.

В качестве базиса используется нивелирная рейка с сантиметровыми делениями. Дальномер и рейка располагаются на концах измеряемой линии. Могут быть два случая измерения расстояния нитяным дальномером: визирная ось трубы перпендикулярна и не перпендикулярна вертикальной оси рейки.

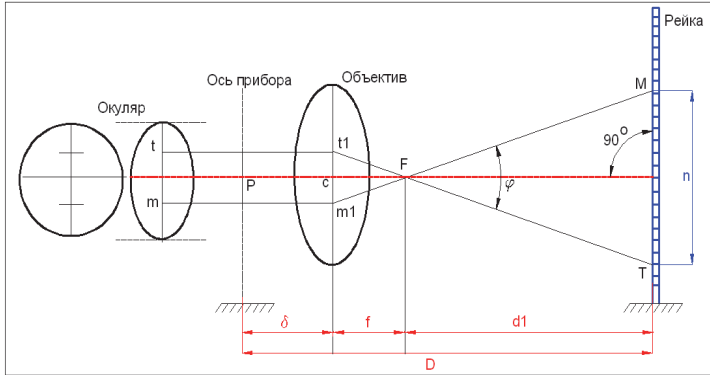


Рис. 1.1. Схема измерения оптическим дальномером с осью трубы, перпендикулярной оси рейки

а) Визирная ось трубы перпендикулярна вертикальной оси рейки (рис.1.1). Лучи от глаза наблюдателя через окуляр, сетку нитей, объектив, проходят через фокус эквивалентной линзы объектива F и отсекают на рейке n делений в см. Из подобия треугольников FMT и Fm_1t_1 имеем:

$$\frac{d_1}{n} = \frac{f}{P}$$

Или $d_1 = (f/P)n$, из рисунка видно, что $D = d_1 + f + \delta$,

где f - фокусное расстояние объектива, δ - расстояние от объектива до оси вращения прибора. $d_1/n = f/P$; $d_1 = (f/P)n$, из рисунка следует, что

$$D = d_1 + f + \delta$$

Обозначив $K = f/P$ и $C = f + \delta$, получим

$$D = Kn + C$$

где K - коэффициент дальномера, C - постоянная дальномера, весьма малая в современных зрительных трубах величина, поэтому ею



обычно пренебрегают, тогда в окончательном виде формула нитяного оптического дальномера имеет вид

$$D = Kn \text{ или } D = 100n$$

Коэффициент дальномера обычно $K=100$. Следовательно, разность отсчетов по рейке n в сантиметрах, дает сразу расстояние от прибора до рейки в метрах.

Рис. 1.2. Поле зрения окуляра зрительной трубы

Пример: Отсчёт по нижнему дальномерному штриху равен 7200, по верхнему штриху – 7300. Разница составляет 80 мм, или 8 см. Что равносильно расстоянию до измеряемого объекта 8,0 м.

б). Визирная ось трубы не перпендикулярна вертикальной оси рейки (рис.1.3).

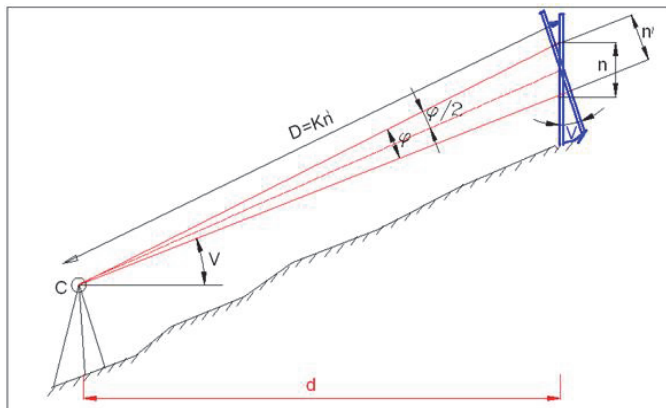


Рис. 1.3. Схема измерения оптическим дальномером с осью трубы, не перпендикулярной оси рейки

На рис. 1.3 V - угол наклона визирной оси к горизонту; n - разность отсчетов по вертикальной рейке n' - то же для рейки, перпендикулярной визирной оси, то есть наклонной к горизонту.

Тогда имеем, $d = (D + C)\cos V$ после преобразований можно получить формулу, которой обычно и пользуются:

$$d = D \cos^2 V$$

Как измерить длину электромагнитным дальномером?



а) Измерение длины светодальномером основано на методе определения времени прохождения излучением расстояния от объекта и обратно. Светодальномеры подразделяются на импульсные и фазовые. В импульсном дальномере источником излучения чаще всего является лазер, излучение которого формируется в виде коротких импульсов. В фазовых дальномерах в качестве источников света применяются накаливаемые или газосветные лампы, светодиоды или лазеры.

Рис. 1.4. Общий вид светодальномера

В зависимости от конструктивных особенностей, светодальномеры позволяют измерять расстояния в диапазоне от нескольких сот метров, до нескольких десятков километров. В настоящее время, в связи с широким внедрением в практику электронных тахеометров, имеющих встроенный дальномер с точностью измеряемых расстояний в диапазоне 1-2 мм, светодальномеры фактически утратили своё практическое применение.

б) Измерение длины радиодальномером основано на измерении скорости и времени прохождения радиоволн вдоль измеряемой линии до объекта и обратно, после их отражения. Радидальномеры по виду излучаемых радиосигналов выпускаются с импульсным и непрерывным излучением, с пассивным и активным отражением.

Основными преимуществами радиодальномеров является возможность измерять достаточно большие расстояния и их относитель-

ная независимость от метеорологических условий. Недостатками являются достаточно большие погрешности измерений (несколько сантиметров) и необходимость работы одновременно двух станций.

в) *Измерение длины лазерным дальномером.* Сегодня лазерным дальномером уже никого не удивишь. Точность измерений лазерным дальномером обычно колеблется в диапазоне $\pm 1-2$ мм, а скорость измерения во многом зависит от модели. Кроме того, с помощью лазерного дальномера можно определять площади и объемы, углы наклона, производить вычисления по теореме Пифагора и многое другое. В зависимости от класса и характеристик изделия, можно измерять различные длины от 20 до 250 метров. Что касается минимума, то зона действия большинства дальномеров колеблется в пределах 5 см от поверхности визирования. Идеальной средой для лазерного луча служит прозрачный воздух.

Первая и самая сильная помеха – солнечный свет. Чем сильнее освещена поверхность визирования, тем хуже видно «точку» от луча. Это попросту означает, что «сигнал», который должен обработать дальномер, слаб. Заявленные при этом точность и дальность в таких условиях, как минимум, не гарантированы. Вторая помеха – загазованность и пыль, также служащие причиной ослабления сигнала. Третья – неустойчивое положение дальномера. Удерживая прибор в руках, большие дистанции измерить вряд ли удастся, в таких случаях понадобится штатив. Четвертая – свойства поверхности визирования. Например, темные и шершавые покрытия хорошо поглощают излучение. В таком случае лучше установить специальную мишень.

Как измерить расстояние косвенным методом?

При измерении расстояний землемерной лентой или рулеткой могут встретиться случаи, когда местные препятствия (река, овраг, здание, дорога и т.п.) делает непосредственное измерение практически невозможным. А другие приборы (светодальномеры, радиодальномеры, лазерные дальномеры или электронные тахеометры) отсутствуют, тогда на выручку могут прийти косвенные методы определения расстояний. В практике определения недоступных расстояний могут быть три случая:

а) При взаимной видимости всех точек, например, при измерении расстояния через озеро, овраг и т.п., разбивают базис b (вели-

чина базиса может составлять от нескольких метров до нескольких сотен метров) и измеряют горизонтальные углы β_1 и β_2 . Тогда расстояние AB можно определить по теореме синусов

$$AB = \frac{b \cdot \sin \beta_2}{\sin(\beta_1 + \beta_2)}$$

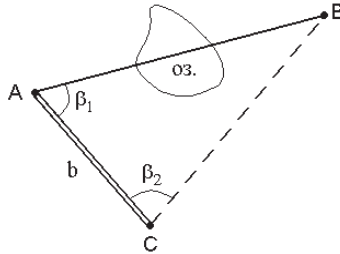


Рис. 1.5. Косвенное измерение расстояния через озеро

б) При взаимной невидимости точек (рис. 1.6) выбирают точку C , из которой видны точки A и B , измеряют расстояния S_1 , S_2 и угол между ними. Тогда искомое расстояние AB находят по теореме косинусов

$$AB^2 = S_1^2 + S_2^2 - 2S_1 \cdot S_2 \cos \beta$$

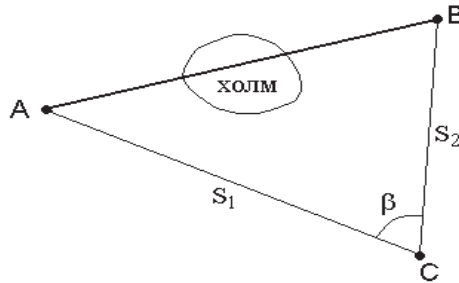


Рис. 1.6. Косвенное измерение расстояния через холм

в) Если обе точки измеряемого расстояния недоступны, то сначала разбивают базис b , и из точек C и D измеряют углы $\beta, \delta, \gamma, \tau$.

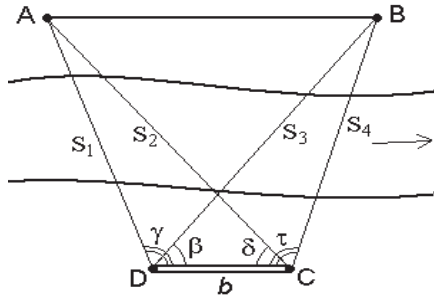


Рис. 1.7. Косвенное измерение расстояния через реку

Затем по теореме синусов вычисляют расстояния S_1, S_2, S_3, S_4 .

$$S_1 = \frac{b \cdot \sin \delta}{\sin(\gamma + \delta)}; \quad S_2 = \frac{b \cdot \sin \gamma}{\sin(\gamma + \delta)};$$

$$S_3 = \frac{b \cdot \sin \tau}{\sin(\beta + \tau)}; \quad S_4 = \frac{b \cdot \sin \beta}{\sin(\beta + \tau)}$$

Тогда искомое расстояние AB можно вычислить как

$$AB^2 = S_1^2 + S_3^2 - 2S_1S_3 \cos(\gamma - \beta) = S_2^2 + S_4^2 - 2S_2S_4 \cos(\tau - \delta)$$

г) Параллактический метод измерения расстояний, это метод определения расстояний с помощью малого базиса. Параллаксом называется угол, под которым от предмета виден базис наблюдателя. Впервые этот метод был применён геодезистом – астрономом В.Я. Струве в 1836 г.

Этот способ основан на решении треугольника ABC , в котором для определения расстояния S с высокой точностью измеряют линию L , перпендикулярную измеряемой линии S , называемой базисом и измеряют параллактический угол β .

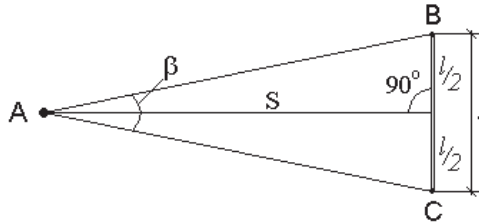


Рис. 1.8. Параллактический метод измерения расстояния

Расстояние S вычисляют по формуле:

$$S = \frac{1}{2} \operatorname{ctg} \frac{\beta}{2}$$

Измеряя расстояние этим способом, сразу получают горизонтальное проложение, поэтому введение поправок за наклон линии не требуется.

С какой точностью выполняют измерения длин линий в строительстве?

Методы и требования к точности линейных измерений на объектах строительства следует принимать по ГОСТ и по своду правил СП 126.13330.2012 Геодезические работы в строительстве. Актуализированная редакция СНиП 3.01.03-84.

Производство геодезических работ в процессе строительства, геодезический контроль точности геометрических параметров зданий (сооружений) и исполнительные съемки входят в обязанности подрядчика. При строительстве крупных и сложных объектов, а также зданий выше 9 этажей следует разрабатывать проекты производства геодезических работ в порядке, установленном для разработки проектов производства работ. Геодезические работы следует выполнять средствами измерений необходимой точности. Относительная погрешность линейных измерений в зависимости от типа и характера сооружений не должна превышать:

- для земляных сооружений 1: 5000;
- для зданий высотой до 5 этажей 1: 5000;
- для зданий от 5 до 15 этажей 1: 10 000;
- для конструкций из дерева 1: 10 000;

- для зданий свыше 15 этажей 1: 15 000;
- для металлических и сборных железобетонных конструкций 1: 15 000.

Какие погрешности сопровождают процесс измерения линии?

а) Погрешности при измерении линии землемерными лентами, рулетками, проволоками. Несмотря на кажущуюся простоту измерения длин линий, на точность результатов оказывают многие факторы, среди них:

- погрешность компарирования мерного прибора;
- погрешность, вызванная неровностями местности, наличием растительности, которые вызывают провисание и изгибы мерного прибора, увеличивающие результат измерения;
- погрешности, вызванные приведением длины линии, измеренной на наклонной поверхности к горизонтальному проложению;
- погрешности, вызванные фиксированием концов мерного прибора;
- погрешности укладывания в створ мерного прибора и различным натяжением мерного прибора;
- погрешности, вызванные в отсчитывании по шкале мерного прибора остатка измеряемой линии;
- погрешности, вызванные состоянием поверхности измеряемой линии (пашня, заболоченность, и т.д.).

б) Погрешности при измерении линии оптическими (нитяными) дальномерами преимущественно связаны с инструментальными погрешностями, к ним можно отнести;

- погрешности коэффициента нитяного дальномера;
 - погрешности нанесения делений на нивелирной рейке;
- Кроме того, другими источниками погрешностей могут быть:
- погрешности снятия отсчётов по рейке;
 - погрешности центрирования прибора;
 - погрешности рефракции визирных лучей.

Наиболее значимое влияние на результат измерения оказывает погрешность снятия отсчёта. Экспериментально установлено, что средняя квадратическая погрешность отсчёта составляет 2,5 мм, а при том, что коэффициент дальномера $K=100$, то в результате погрешность составит 250 мм. С учётом влияния других факторов, от-

носительная погрешность измерения расстояний оптическим (нитяным) дальномером составляет 1:300. Поэтому, использовать оптический (нитяной) дальномер допускается только на стадии подготовительных работ.

в) Погрешности при измерении линии светодальномерами обычно обусловлены инструментальными погрешностями; погрешностями, связанными с внешними условиями; погрешностями связанными с технологией измерений и погрешности, вызванные человеческим фактором.

К инструментальным погрешностям относят:

- нестабильность частоты генератора;
- точность фазоизмерительного блока;
- мощность светового потока.

К внешним условиям формирования погрешностей относятся влияние температуры наружной среды, атмосферного давления, влажности и прозрачности воздуха.

Погрешности, обусловленные выбранной технологией измерений и человеческим фактором, обычно проявляются в точности центрирования прибора и отражателя; в точности наведения прибора на отражатель; в точности снятия отсчётов по шкалам измерительных приборов параметров атмосферы. Оптические центриры при этом должны своевременно проходить проверку и при необходимости юстировку.

Всегда ли необходимо измерять угол наклона?

Нет, не всегда. Это зависит от требуемой точности к измерению длин линии. Как видно из рисунка, горизонтальное проложение может быть определено как

$$d = D \cos \nu$$

Отсюда несложно получить, что угол наклона ν будет равен

$$\nu = \arccos\left[1 / (1 + \Delta d / d)\right]$$

где $\Delta d / d$ - относительная погрешность измерения длины линии.

Подставив в формулу требуемую точность измерения длины линии, можно легко вычислить значение угла наклона линии.

Так, например, при $\Delta d/d=1:1000$, $\nu=2,5^0$; если $\Delta d/d=1:10000$, то $\nu=0,8^0$; если $\Delta d/d=1:100000$, то $\nu=0,2^0$.

Таким образом, измерять или не измерять угол наклона линии зависит от требуемой точности измерения длины линии. При относительной точности измерения длины линии 1:1000, углы наклона менее 2^0 можно не измерять, т.е. линию с таким уклоном на местности можно считать измеренной на горизонтальной плоскости.

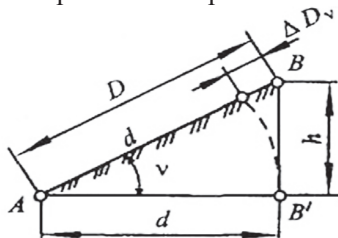


Рис. 1.9. Горизонтальное положение линии

В том случае, если всё же поправка на наклон линии учитывается, то следует иметь в виду, что горизонтальное проложение линии всегда меньше линии, измеренной на наклонной поверхности, без учёта знака за наклон.

Как осуществляется провешивание линии?

Провешивание линии осуществляется с целью сделать отрезок AB на площадке видимым. Это производится маркировкой начальной точки A и конечной точки B с помощью створных вешек. При провешивании различают установку промежуточных точек, удлинение отрезка, провешивание с обеих сторон и определение точки пересечения двух прямых. Установка промежуточных точек производится в том случае, когда необходимо обозначить длинные отрезки или промаркировать определенные точки, например углы поворота.

Установка промежуточных точек в створе прямой линии производится, как правило, одним наблюдателем и одним помощником. Провешивание линии может производиться двумя способами: «от себя» и «на себя». Способ провешивания линии «на себя является более предпочтительным с точки зрения удобства работ, так как в этом случае ранее установленные вешки не перекрывают обзор.

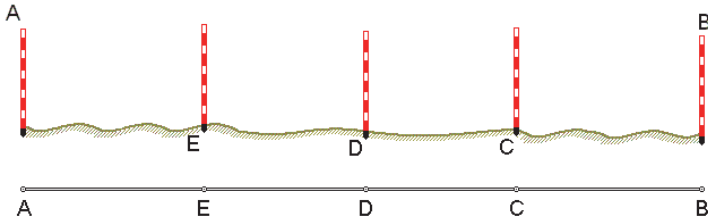


Рис. 1.10. Схема провешивания линии способом «на себя»

Наблюдатель становится в двух-трёх шагах от вешки *A*, а помощник, на необходимом расстоянии от вешки *B* в створе провешиваемой линии. Приближение вешки к створу производится короткими перемещениями по команде наблюдателя (при коротких отрезках) либо по знакам наблюдателя или по радиосвязи (при длинных отрезках). После установки вешки проверяется ее вертикальность с помощью отвеса или уровня. В заключение наблюдатель контролирует створ, причем в необходимых случаях положение вешки может быть изменено с помощью повторного указания. Провешивание линии через естественные препятствия (овраг, холм) имеет свои характерные особенности.

Как закрепляются геодезические знаки на местности?

По назначению геодезические знаки бывают постоянные, к которым относятся все знаки государственных геодезических сетей, и временные, устанавливаемые на период изысканий, строительства, реконструкции и наблюдений. По своему местоположению они бывают грунтовые и стенные, заложенные в стены зданий и сооружений. По материалу, из которого изготавливаются геодезические знаки, они бывают металлическими, железобетонными, деревянными, в виде окраски и т. д.

Постоянные знаки закрепляют подземными знаками - центрами. Конструкции центров обеспечивают их сохранность и неизменность положения в течение длительного периода времени. Как правило, подземный центр представляет собой бетонный монолит, закладываемый ниже глубины промерзания грунта и не в насыпной массив. У поверхности земли в монолите устанавливают чугунную марку, на которой наносят центр в виде креста или точки. Положе-

нию этого центра соответствуют координаты X и Y и во многих случаях отметки H . Над подземными центрами устанавливают наружный знак в виде металлических или деревянных пирамид или сигналов высотой от 3 до 30 м.

Пункты разбивочных сетей и сетей сгущения, как правило, закрепляют подземными центрами, аналогично пунктам государственных сетей. Оформление их наружными знаками не производится. Иногда над ними устанавливают Г-образные металлические или деревянные вехи. В городах геодезические знаки оформляют в виде специальной надстройки на крышах зданий или в стенах капитальных сооружений.

Государственные высотные сети всех классов закрепляют на местности грунтовыми реперами. Стенные реперы (марки) закрепляют в фундаментах устойчивых зданий, каменных устоев мостов и т.д. В стенных реперах высоту определяют для центра отверстия в сферической головке.

Временные знаки. Точки съёмочных, а иногда и разбивочных сетей закрепляют временными знаками - деревянными или бетонными столбами, металлическими штырями, отрезками труб. В верхней части такого знака отмечают местоположение центра или точки с высотной отметкой. В процессе возведения зданий и сооружений на возведенных конструкциях и близко расположенных зданиях высоты и створы осей могут быть зафиксированы окрасками. При продолжительности использования (более полугода) временные знаки закладывают на глубину до 1,0 м. При наличии твёрдого покрытия и отсутствия движения транспорта используют штыри из отрезков арматуры или труб, деревянные столбики и т.п.

Задачи по линейным измерениям

Задача 1.2.1 Линия теодолитного хода измерена дважды, в прямом и обратном направлениях. Результаты измерений: $L_n = 150,65$ м и $L_o = 150,50$ м. Определить относительную погрешность измерений и оценить возможность их дальнейшего использования.

Пример решения

1. Определяем разность результатов измерения длин линии

$$\Delta L = L_n - L_o = 150,65 - 150,50 = 0,15 \text{ м}$$

2. Вычисляем среднее значение измеренного расстояния

$$L_{cp} = \frac{L_n + L_o}{2} = \frac{150,65 + 150,50}{2} = 150,58 \text{ м}$$

3. Вычисляем относительную погрешность измерений

$$f_{om} = \frac{\Delta L}{L_{cp}} = \frac{1}{L_{cp}/\Delta L} = \frac{1}{150,58/0,15} = \frac{1}{1083}$$

4. Полученная относительная погрешность превышает допустимую погрешность, равную 1/2000. Измерения следует повторить.

Т а б л и ц а 1.3

Результаты линейных измерений

№ варианта	Длина линии, м		№ варианта	Длина линии, м	
	L _п	L _о		L _п	L _о
1	179,85	179,70	6	145,75	145,80
2	98,60	98,57	7	210,42	210,47
3	127,35	127,30	8	126,45	126,40
4	160,55	160,40	9	180,34	180,43
5	84,90	84,85	10	234,65	234,55

Примечание: Относительную погрешность в теодолитном ходе принять 1/2000.

Задача 1.2.2 В замкнутом теодолитном ходе протяжённостью 750 м получены невязки в приращении координат $f_x = 0,22 \text{ м}$ и $f_y = -0,10 \text{ м}$. Определить, допустимы ли такие невязки.

Формулы для решения задач данного типа:

$$f = \sqrt{f_{\Delta x}^2 + f_{\Delta y}^2};$$

$$f_{om} = \frac{1}{P/f} \leq \frac{1}{2000}$$

Т а б л и ц а 1.4

Исходные данные к задаче 1.2.2

№ хода	Периметр, Р, м	Невязки, м		№ хода	Периметр, Р, м	Невязки, м	
		$f_{\Delta x}$	$f_{\Delta y}$			$f_{\Delta x}$	$f_{\Delta y}$
1	860	+0,22	-0,10	6	870	+0,12	-0,15
2	567	-0,14	-0,05	7	790	-0,18	-0,15
3	458	+0,20	-0,10	8	658	+0,12	+0,10
4	1270	+0,30	-0,20	9	980	+0,20	+0,12
5	940	+0,20	+0,25	10	580	+0,25	-0,20

Задача 1.2.3 Длина линии теодолитного хода измерена мерной лентой по наклонной поверхности. Определить горизонтальное проложение и длину линии на плане заданного масштаба.

Т а б л и ц а 1.5

Исходные данные к задаче 1.2.3

Измеренные параметры	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$D, м$	150,00	134,25	134,45	68,87	56,45	234,15	216,35	163,56	98,86	114,25
ν^0	5	4	-2	-5	-6	-4	3	4	2	5
Масштаб	1:2000	1:500	1:1000	1:500	1:5000	1:1000	1:500	1:2000	1:1000	1:200

Формулы для решения задач данного типа:

$$d = D \cos \nu; \quad d_{\text{план}} = d \div M$$

Задача 1.2.4 Длина линии измерена мерной лентой по наклонной поверхности. Превышения точек измерены с помощью оптического нивелира, а угол наклона - теодолитом. Определить горизонтальное проложение и уклон линии.

Т а б л и ц а 1.6

Исходные данные к задаче 1.2.4

Измеренные параметры	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$D, м$	150,00	134,25	134,45	68,87	56,45	234,15	216,35	163,56	98,86	114,25
v^0	5	4	-2	-5	-6	-4	3	4	2	5
$h, мм$	526	465	238	98	45	246	358	242	128	254

Задача 1.2.5 Определить длину линии, измеренной нитяным дальномером, если коэффициент дальномера $K=100$.

Т а б л и ц а 1.7

Исходные данные к задаче 1.2.5

Отсчёт по:	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
- верхнему штриху рейки	2642	1245	1854	2167	2764	1346	1543	2034	2346	1008
- нижнему штриху рейки	2010	1030	1246	1342	1478	0925	0845	1234	1568	0658

Тесты по линейным измерениям

1. Поправки за наклон линии при приведении измеренных расстояний к горизонту может иметь следующие знаки:
 - а) только +;
 - б) только –;
 - в) и +, и –;
 - г) принимается абсолютное значение поправки.
2. По нитяному дальномеру с использованием нивелирной рейки получены отсчёты 1580 и 1245, то расстояние до рейки равно:
 - а) 3,35 м;
 - б) 33,5 м;
 - в) 335 м;
 - г) 15,8 м.
3. Точность измерений линий на поверхности земли землемерными лентами в обычных условиях характеризуется относительной погрешностью:
 - а) 1:1000;
 - б) 1:2000;
 - в) 1:5000;
 - г) 1: 10000.
4. Точность измерений линий на поверхности земли землемерными лентами в благоприятных условиях характеризуется относительной погрешностью:
 - а) 1:1000;
 - б) 1:2000;
 - в) 1:5000;
 - г) 1: 10000.
5. По нитяному дальномеру с использованием нивелирной рейки получены отсчёты 2580 и 2245, то расстояние до рейки равно:
 - а) 3,35 м;
 - б) 33,5 м;
 - в) 335 м;
 - г) 25,8 м.
6. База дальномера, это:
 - а) место хранения геодезических приборов;
 - б) расстояние, определяемое до объекта;

- в) основание параллактического треугольника, с помощью которого определяются искомые расстояния по нитяному дальномеру;
- г) расстояние между центрами объектива и окуляра.

7. Вешение линии, это:

- а) выбор точек вдоль измеряемой линии для построения профиля трассы;
- б) обеспечение видимости между начальной и конечной точками линии;
- в) определение горизонта вешних вод;
- г) установка в створе измеряемой линии дополнительных вех.

8. Нитяной дальномер относится к:

- а) дальномерам с переменным параллактическим углом и переменной базой;
- б) дальномерам с постоянной базой;
- в) дальномерам с постоянным параллактическим углом и переменной базой;
- г) к составной части физических дальномеров.

9. Компарирование мерного прибора, это:

- а) определение длины мерного прибора путём сравнения с образцовым мерным прибором или базисом, длина которых известна с высокой точностью;
- б) сравнение длин мерных приборов между собой;
- в) сравнение расстояний, полученных при измерении различными мерными приборами;
- г) сравнение расстояний, полученных разными способами.

10. При определении расстояния до объекта с помощью нитяного дальномера, по нивелирной рейке взяты отсчёты по верхнему штриху 1680, по среднему-1520, по нижнему-1360. Расстояние до объекта составит:

- а) 16,8 м;
- б) 15,2 м;
- в) 13,6 м;
- г) 32,0 м.

11. Радиодальномер, это прибор, позволяющий измерить расстояние:

- а) по наблюдению за спутниками;

- б) по регистрации прохождения пучка света через слои атмосферы с различной плотностью;
- в) и использующий электромагнитные волны радиодиапазона;
- г) при приёме сигналов точного времени по радио.
12. Разность между двумя измерениями линии в 100 м с относительной погрешностью 1:2000 не должна превышать:
- а) 2 см;
- б) 4 см;
- в) 5 см;
- г) 10 см.
13. Расстояние 100 м было измерено с точностью 1:300 прибором:
- а) светодальномером;
- б) нитяным дальномером;
- в) стальной рулеткой;
- г) стальной мерной лентой.
14. Поправка за наклон линии при вычислении горизонтального проложения линии, длина которой измерена на местности, имеет знак:
- а) только +
- б) только –
- в) принимается абсолютное значение поправки;
- г) поправка не учитывается.
15. По нитяному дальномеру с использованием нивелирной реки получены отсчёты 2060 и 1210, то расстояние до рейки равно:
- а) 8,5 м;
- б) 85,0 м;
- в) 850 м;
- г) 16,35 м.

Ответы на тесты:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
б	б	б	в	б	в	г	в	а	г	в	в	б	б	б

1.3. НИВЕЛИРОВАНИЕ

Что означает термин «нивелирование»?

Под термином нивелирование, в геодезии следует понимать определение разности высот двух и более точек земной поверхности относительно условного уровня, то есть определение превышения. По измеренным превышениям вычисляют абсолютные (относительно уровенной поверхности Балтийского моря) или относительные отметки (условно принятые). Существуют следующие способы нивелирования:

- геометрическое, с помощью нивелира и рейки;
- тригонометрическое, с помощью угломерных приборов, таких как, теодолит или тахеометр, посредством измерения угла наклона, расстояния и высота прибора;
- барометрическое, с помощью барометра;
- гидростатическое, основано на свойстве жидкости находиться на одном уровне в сообщающихся сосудах, независимо от того, на какой высоте установлены эти сосуды;
- радиолокационное, производится с помощью радиовысотометров и эхолотов, установленных на воздушных или на водных судах, автоматически вычерчивающих профиль проходимого пути;
- механическое, осуществляемое с помощью специальных приборов, устанавливаемых на транспортных средствах;
- стереофотограмметрическое, основано на измерении превышения модели местности, получаемой с помощью специальных фотограмметрических приборов, рассматривая два перекрывающихся снимка местности;
- космическое, позволяет определять высоты точек местности с помощью спутниковой системы ГЛОНАСС или GPS.

Каким образом осуществляется геометрическое нивелирование?

Геометрическое нивелирование основано на измерении превышения искомых точек с помощью горизонтального визирного луча и нивелирных реек, вертикально установленных на этих точках.

Различают два способа геометрического нивелирования: «вперёд» и «из середины».

а) Геометрическое нивелирование способом «из середины»

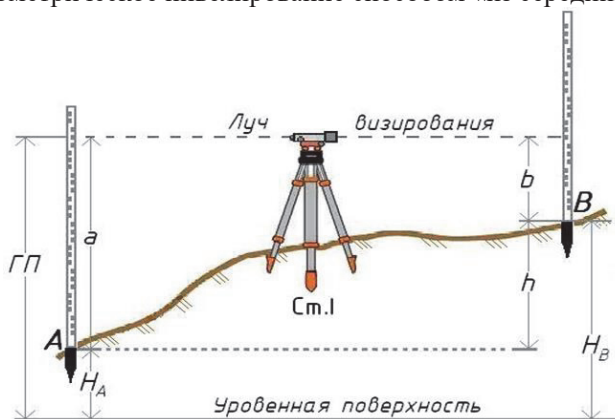


Рис. 1.11. Геометрическое нивелирование способом «из середины»

Для определения превышения одной точки над другой, над ними устанавливаются нивелирные рейки. Нивелир по возможности устанавливается посередине. Последовательно визируя на рейки средней горизонтальной нитью зрительной трубы, берут отсчёты по задней рейке a и b (передней рейке). Тогда превышение равно отсчёту по задней рейке, минус отсчёт по передней рейке. *Например:* $h = a - b = 138 - 57 = 81$ см.

Принято считать, если $a > b$, превышение будет положительным, и наоборот, если $a < b$, то отрицательным. Если отметка точки A известна, то отметка точки B может быть вычислена через горизонт инструмента (ГИ), иногда называют горизонт прибора (ГП).

$$ГИ = H_a + a \quad H_b = ГИ - b$$

Пример: Пусть отметка точка $A = 125\,000$ мм. над уровнем моря. Тогда горизонт инструмента будет равен: $ГИ = 125.000 + 1380 = 126.380$ мм, $H_b = 126380 - 570 = 125810$ мм.

б) Геометрическое нивелирование способом «вперёд»

Иногда нивелир (достаточно редко) устанавливают так, чтобы окуляр зрительной трубы находился над задней точкой A , а на передней точке B устанавливают нивелирную рейку. Затем выполняют отсчёт по рейке b и измеряют рулеткой или с помощью нивелирной рейки высоту прибора i от точки A , до середины окуляра. Тогда искомое превышение будет

$$h = i - b,$$

а горизонт инструмента (ГП) $ГИ = H_a + i$

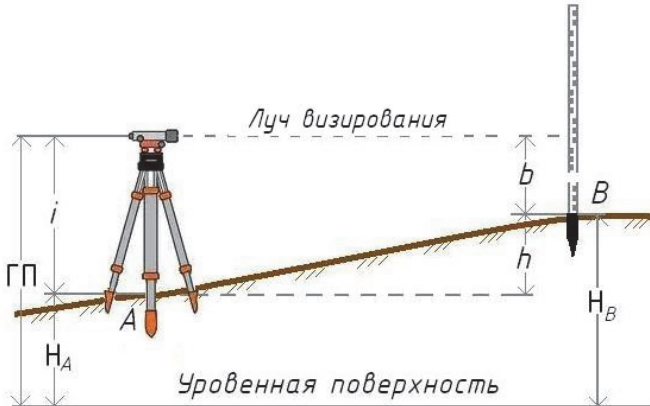


Рис. 1.12. Геометрическое нивелирование способом «вперёд»

Что такое нивелирный ход?

В инженерной геодезии для определения отметок съемочного обоснования, а также при изыскании и строительстве инженерных сооружений значительной протяжённостью, прокладывают нивелирные ходы. Число станций (стоянок) такого хода зависит от протяжённости и сложности рельефа. Нивелирный ход всегда должен начинаться с репера. Точки, общие для двух смежных станций, называются связующими, а остальные – промежуточными. Связующие точки нивелируют по двум сторонам рейки, а промежуточные – по одной. Превышение на каждой станции равно разности отсчётов по рейке на связующих точках

$$h_n = a_n - b_n$$

Если сложить правые и левые части этих равенств, то получим

$$\sum h = \sum a - \sum b,$$

которое обычно и используют для постраничного контроля. Если нивелирный ход опирается в начале и в конце на реперы, то вычисленную сумму сравнивают с теоретической суммой

$$\sum h_i = H_a - H_n$$

где H_a и H_n - отметки начального и конечного репера.

Невязка нивелирного хода определяется как

$$f_h = \sum h - \sum h_m$$

и её сравнивают с допустимой невязкой, которая при техническом нивелировании вычисляется по формуле

$$[f_h] = (50\sqrt{L}) \text{ мм}$$

где L – длина нивелирного хода в км. Если фактическая невязка меньше допустимой, то считается, что полевые измерения выполнены с надлежащим качеством. Распределяют невязку равномерно с противоположным знаком и вычисляют исправленные превышения. Контролем вычисления высотных отметок служит отметка конечного репера. Если фактическая невязка окажется больше допустимой невязки, измерения следует повторить.

По способу исполнения нивелирные ходы могут быть *замкнутыми, разомкнутыми, висячими и свободными*.

Замкнутый ход опирается начальной и конечной точками на один и тот же репер. *Репер* – закрепленная на местности точка с известной абсолютной отметкой.

Разомкнутый ход прокладывается между двумя различными реперами.

Висячий ход опирается только начальной точкой на репер. Нивелирование такого хода обычно выполняется в прямом и обратном направлении (для контроля).

Свободный ход не имеет известных абсолютных отметок.

Для контроля превышений на каждой станции отсчеты берутся по обеим сторонам двухсторонних нивелирных реек (черной и красной). Разность превышений на станции по черной и красной стороне

реек не должна превышать 5 мм., а разность плеч, по возможности, не превышать 5 м.

Как производится нивелирование поверхности по сетке квадратов?

Для составления топографического плана небольших участков местности с равнинным рельефом удобно применять метод съемки и нивелирования по квадратам. Суть этого метода состоит в том, что на местности сначала разбивают сетку квадратов со сторонами от 10 до 50 м (реже до 100 м) и одновременно ведут съемку ситуации, затем производят геометрическое нивелирование точек, расположенных по вершинам углов квадратов. Нивелирование по квадратам представляет собой наиболее простой вид топографической съемки, получаемый при этом план удобен для определения объемов земляных работ при проектировании искусственного рельефа местности. Построение сетки квадратов на местности выполняется с помощью теодолита и мерной ленты.

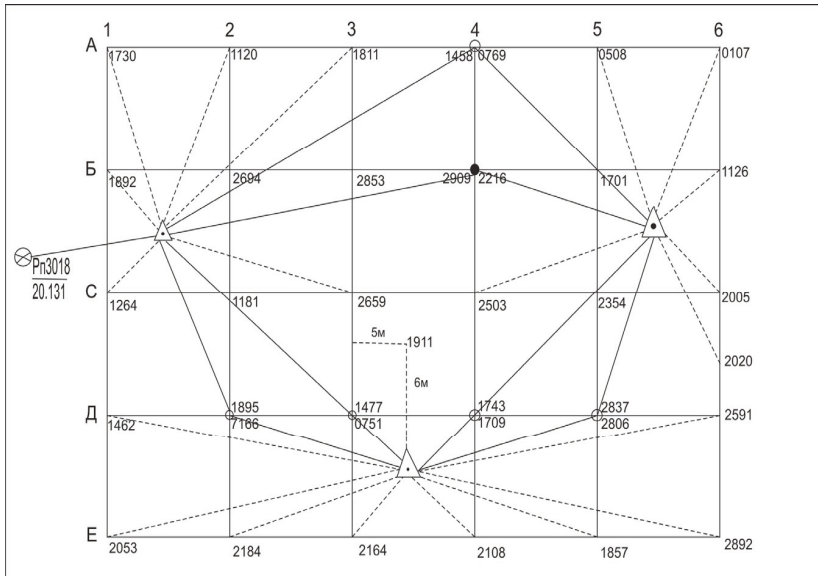


Рис. 1.13. Схема нивелирования по сетке квадратов

В зависимости от условий, существует два способа нивелирования по сетке квадратов: с одной станции или с нескольких.

Какие приборы используются при геометрическом нивелировании?

Нивелир - это геодезический прибор для определения превышений между точками местности с помощью горизонтального визирного луча. Нивелиры различаются по двум основным признакам: по точности и по способу приведения визирной оси в горизонтальное положение.

По точности нивелиры делятся на три типа:

- высокоточные, для нивелирования I и II классов;
- точные, для нивелирования III и IV классов;
- технические, для обоснования топографических съёмок, при проведении инженерно-геологических изысканий и используемые при строительстве зданий и сооружений.

По способу приведения визирной оси в горизонтальное положение нивелиры делятся на два типа:

- нивелиры с уровнем при зрительной трубе;
- нивелиры с компенсатором.

Кроме того, по способу изготовления нивелиры бывают: *оптические, цифровые, и лазерные и гидростатические.*

а) Оптические нивелиры, оборудованные специальными компенсаторами для автоматического удержания визирной оси в горизонтальном положении и лимбами для измерения горизонтальных углов, получили в настоящее время достаточно широкое распространение. Конструктивно нивелиры с компенсаторами снабжаются призмными компенсаторами на подвеске в воздушной среде или в магнитном поле, могут быть выполнены по-разному, и с разным качеством. Поэтому при выборе нивелира большое значение имеют не только конструктивные особенности компенсатора, но и качество изготовления предлагаемых заводом-производителем геодезических приборов.

Например, при проведении работ, требующих технической точности, очень хорошо зарекомендовали себя нивелиры с магнитным демпфером (компенсатором). При проведении работ, требующих использования точных нивелиров, часто отдают предпочтение приборам с воздушным демпфером. «Dampfger» в переводе с немец-

кого языка на русский язык означает «гаситель колебаний», «амортизатор» или «успокоитель». Справедливости ради следует отметить, что первый в мире нивелир с компенсатором был изготовлен в СССР в 1946 году. С точки зрения эксплуатации, нивелиры с компенсаторами достаточно чувствительны к небрежному обращению: падениям, встряскам и т.п. Нивелир с призмным компенсатором изображен на рис.1.14.

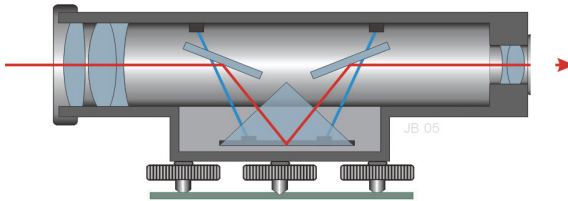


Рис. 1.14. Схема нивелира с компенсатором призмного типа

б) Оптические нивелиры с уровнем при зрительной трубе. Главным конструктивным отличием данного типа нивелиров от нивелиров, оборудованных компенсаторами, является то, что визирную ось зрительной трубы в горизонтальное положение устанавливают вручную. Визирная ось зрительной трубы приводится в горизонтальное положение с помощью элевационного винта, ориентируясь при этом на цилиндрический уровень, связанный со зрительной трубой. Перед каждым взятием отсчета по нивелирной рейке визирную ось нивелира приводят в горизонтальное положение, добиваясь совмещения изображения концов пузырька цилиндрического уровня в поле зрения зрительной трубы (в устаревших моделях типа Н-3, НВ-1 и т.д.) или совмещения концов цилиндрического уровня с нуль-пунктом (более современные модели, типа 4Н-5Л).

С точки зрения эксплуатации нивелиры данного типа надёжны, менее чувствительны к небрежному отношению, ремонтно пригодны в полевых условиях, легко приводятся в рабочее состояние, отличаются невысокой ценой и просты в обращении. И тем не ме-

нее, их доля среди оптических нивелиров стремительно снижается, уступая нивелирам, оборудованными компенсаторами.

в) Цифровые нивелиры являются в некотором роде новинкой в области геодезического приборостроения. Для работы данных приборов используются рейки с нанесенным ВАР-кодом. Цифровые нивелиры не только автоматически снимают отсчет по рейке, но и вычисляют расстояние до нее. Результаты выводятся на экран. Существуют модели, снабженные устройством накопления данных и электронным лимбом для измерения горизонтальных углов. Такие приборы могут применяться для съемки местности «горизонтальным лучом» и при разбивочных работах.

г) Лазерные нивелиры - это приборы, позволяющие строить горизонтальные, вертикальные или наклонные опорные лазерные плоскости. Применяются при планировке местности, монтаже различных конструкций, строительстве и отделке помещений. Лазерные нивелиры используются также для автоматического управления строительной и землеройной техникой. К числу последних разработок можно отнести лазерные нивелиры FG-L3 и FG-VL3 производства Германии.

д) Гидростатические нивелиры - это приборы, действующие по законам гидромеханики равновесия жидкостей под действием применяемых к ним сил. Применяются для решения геодезических задач в геофизических исследованиях, строительстве и эксплуатации различных инженерных сооружений.

Нивелирные рейки изготавливают из выдержанной древесины или алюминиевых сплавов. Они бывают: цельными складными, раздвижными, а также односторонними и двухсторонними длиной 3, 4 или 5 м.

Как проводятся поверки оптического нивелира?

а) Поверки нивелира с цилиндрическим уровнем при зрительной трубе должны удовлетворять следующим геометрическим условиям.

1. Ось круглого уровня должна быть параллельна оси вращения инструмента. Для поверки этого условия подъёмными винтами приводят пузырёк круглого уровня в нуль-пункт и поворачивают

зрительную трубу на 180° . Если после этого пузырёк остаётся в центре, то условие выполнено. В противном случае исправительными винтами круглого уровня пузырёк перемещают к центру на половину отклонения, вторую половину отклонения исправляют подъёмными винтами. Поверку повторяют до полного выполнения требуемого условия.

Достаточно часто у начинающих большие затруднения вызывает приведение пузырька круглого уровня в нуль-пункт. Для того, чтобы данная операция не занимала слишком много времени, следует в строгом соответствии выполнить следующий порядок установки. Подъёмные винты должны находиться в среднем, а площадка штатива – в горизонтальном положении. С ориентировав круглый уровень по направлению двух подъёмных винтов и вращая их в противоположные стороны, как показано на рисунке, необходимо добиться одного из двух положений (рис. слева). Затем вращая третий винт, приводят пузырёк точно в центр. Повернув зрительную трубу на 180° , проверяют положение пузырька. При соблюдении данного порядка, времени на приведение нивелира в рабочее положение потребуется 10-15 с.

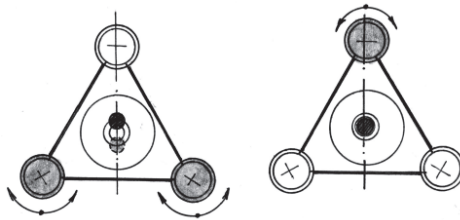


Рис. 1.15. Схема приведения пузырька круглого уровня в нуль-пункт

2. Вертикальная нить сетки должна быть параллельна оси вращения нивелира, а горизонтальная – перпендикулярна к ней. Данная поверка может быть выполнена двумя способами.

1-й способ. На расстоянии 20-25 м от нивелира подвешивают отвес. Зрительную трубу визируют на отвес и совмещают один из концов вертикального штриха с нитью отвеса. Если другой конец

вертикального штриха отходит от нити отвеса более чем на 0,5 мм, то производят исправление положения сетки нитей.

2-й способ. Нивелир наводят на рейку так, чтобы изображение сетки нитей оказалось в первом случае слева от рейки, а во втором случае справа. В обоих случаях следует взять отсчёт по рейке, результат не должен отличаться более чем на 1 мм.

3. Проверка главного геометрического условия. Ось цилиндрического уровня должна быть параллельной визирной оси зрительной трубы.

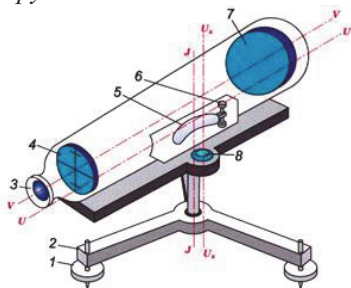


Рис. 1.16. Схема нивелира

На схеме нивелира, представленной на рисунке 1.16,

1-подъёмные винты, 2-подставка (триггер), 3-окуляр, 4-сетка нитей, 5-цилиндрический уровень, 6-регулирующие винты цилиндрического уровня, 7-объектив, 8-круглый уровень, U-U ось цилиндрического уровня, V-V ось зрительной трубы.

Проверка нивелиров с цилиндрическим уровнем при зрительной трубе выполняется двойным нивелированием одной и той же линии длиной 50-70 м способом «вперёд» или «из середины». Предпочтительнее пользоваться способом «из середины». Для этого нивелир устанавливают точно посередине отмеренного участка *AB*. И последовательно производят нивелировку точек *A* и *B*. Полученное при этом превышение (на станции I) будет равно

$$h_1 = a_1 - b_1$$

Затем производят нивелировку этих же точек, предварительно поменяв место положения станции II, установив нивелир в створе, как показано на рисунке 1.17, либо переместив нивелир к одной из точек на расстояние не ближе 3-4 м.

Полученное превышение на станции II будет равно

$$h_2 = a_2 - b_2$$

Совершенно очевидно, то измеренные превышения h_1 и h_2 должны быть равны, либо отличаться не более чем на 3-4 мм. Если условие не выполняется, то необходимо установить исправленный отсчёт

$$a'_2 = a_2 - h_1$$

Более подробно следует смотреть инструкцию по эксплуатации оптического нивелира.

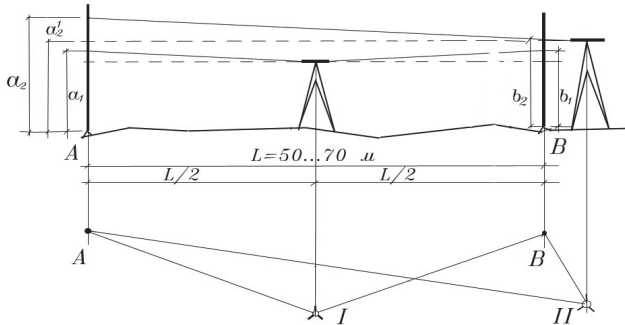


Рис. 1.17. Схема выполнения третьей поверки оптического нивелира

б) Поверки нивелира с самоустанавливающейся линией визирования (оборудованные компенсатором) выполняются аналогично нивелирам с цилиндрическим уровнем при зрительной трубе. При проведении третьей поверки могут быть некоторые незначительные отличия или особенности, с которыми следует ознакомиться в инструкции по эксплуатации данного прибора.

Какие погрешности оказывают влияние на точность геометрического нивелирования?

Погрешности при геометрическом нивелировании в первую очередь обусловлены:

- технологией измерений;
- техническими характеристиками применяемых приборов;
- природными факторами (видимость, температура, атмосферное давление, осадки, ветер и т.п.);
- квалификацией специалиста, выполняющего измерения.

Все перечисленные погрешности имеют как случайный, так и системный характер. Выразить их какой-либо математической зависимостью пока не представляется возможным, да и не нужным.

Так, например, существенные погрешности измерений могут быть при приведении пузырька цилиндрического уровня в нуль-пункт. Точность выполнения этой операции в определённой мере зависит от развития органов чувств наблюдателя (остроты зрения, чувствительности пальцев при вращении элевационного винта) и окружающей внешней среды (температура воздуха, атмосферное давление, ветер). В любом случае максимальная погрешность установки пузырька в нуль-пункт может составить

$$m = 0,5\lambda''$$

где λ'' - цена деления цилиндрического уровня в секундах. Погрешность приведения пузырька в нуль-пункт вызовет отклонение визирной ось от горизонтального положения, а следовательно, и приведёт к погрешности при взятии отсчёта по нивелирной рейке. Чем дальше находится нивелирная рейка, тем ниже окажется точность измерения, которая может быть выражена формулой

$$m_i = \frac{md}{\rho}$$

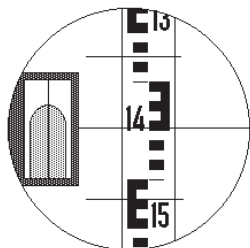
Где m - средняя квадратичная погрешность приведения визирной оси в горизонтальное положение с помощью цилиндрического уровня, d - расстояние от нивелира до рейки, ρ – радианная мера угла. Тогда, например, для нивелира марки ЗН-5Л, при цене деления цилиндрического уровня $\lambda'' = 45''$ и расстоянии до объекта $d = 150\text{ м}$, погрешность составит $m_i = 16,1\text{ мм}$.



Рис. 1.18. Вид цилиндрического и круглого уровней

Так как погрешность установки пузырька уровня в нуль-пункт носит случайный характер, то и погрешность будет случайной, носящая линейный характер удаления нивелира от рейки. Поэтому для её ослабления следует нивелировать на малых расстояниях.

Для более точной установки пузырька в нуль-пункт и удобства в работе применяются контактные уровни.



Когда пузырёк цилиндрического уровня будет в нуль-пункте, то его лепестки совместятся, в этот момент и снимают отсчёт по нивелирной рейке. Точность установки пузырька в нуль-пункт в контактном уровне существенно выше, но, тем не менее, их применение в настоящее время достаточно редко, преимущественно в устаревших моделях нивелиров.

Рис. 1.19. Поле зрения трубы с контактным уровнем

Погрешности снятия отсчётов по нивелирной рейке зависят от многих факторов, к которым могут быть отнесены: острота зрения; увеличение зрительной трубы; удалённость рейки от нивелира; прозрачность атмосферы; температура наружного воздуха; погрешности установки нивелира и рейки; квалификация специалиста; точность нанесения делений на рейке.

Для снижения погрешности отсчёта по нивелирной рейке необходимо нивелировать при нормальных погодных условиях и состоянии атмосферы, тщательно следить за правильностью установки нивелира и рейки. В высокоточных нивелирах для повышения точности снятия отсчётов предусмотрен микрометр, с помощью которого измеряют доли цены деления нивелирной рейки.

Однако, всё же самую значительную погрешность при нивелировании поверхности может давать невыполнение главного геометрического условия (3-ая поверка). При выполнении нивелирования способом «вперёд», такая погрешность носит систематический характер. Кроме того, при нивелировании способом «вперёд», на точность измерения превышения существенное влияние оказывает кривизна Земли.

Если Землю считать за шар, то визирный луч является касательной к поверхности. Если бы визирный луч шёл по дуге окружности земного шара, то формула вычисления превышения

$$h = a - b$$

была бы полностью справедлива. Но так как визирный луч является касательной к этой окружности, то отсчёты по рейке будут содержать погрешности, их величина может быть вычислена как

$$\Delta = \frac{d^2}{2R}$$

где d - расстояние от нивелира до рейки в метрах, $R = 6400 \text{ км}$ - радиус Земли.

Если например, расстояние от нивелира до рейки будет составлять 100 м, то при нивелировании способом «вперёд», погрешность будет составлять $\Delta = 0,8 \text{ мм}$.

Для ослабления влияния этой погрешности на точность измерения превышения, нивелирование следует производить способом «из середины», в этом случае она будет полностью исключена. Допустимую разность длин плеч при заданной точности измерений можно вычислить по формулам, которые приводятся практически в каждом учебнике по геодезии. Для нивелиров, предназначенных для технического нивелирования такая разность длин плеч в среднем составляет 20-30 м.

Ещё одним, не мало важным фактором, оказывающим влияние на точность измерений превышений, является рефракция. Под рефракцией следует понимать искривление визирного луча при прохождении им через слои атмосферы с различной плотностью. Выразить влияние данного фактора какой-либо математической зависимостью пока не удаётся. Но в то же время известно, что при нивелировании способом «вперёд» эта погрешность носит систематический характер (накапливается), а при нивелировании способом «из середины», в значительной мере ослабляется.

Каким образом осуществляется тригонометрическое нивелирование?

Пусть требуется определить превышение h точки B над точкой A . Для этого в точке A устанавливают теодолит, а в точке B нивелирную рейку или вежу. Измеряют рулеткой высоту инструмента i и длину линии AB мерной лентой или дальномером. С помощью вертикального круга теодолита

определяют угол наклона визирной оси зрительной трубы при наведении её на точку V , равную высоте инструмента (можно наводить и на любую произвольную точку).

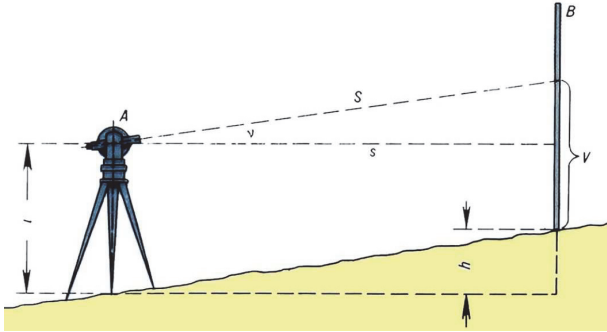


Рис. 1.20. Схема тригонометрического нивелирования

Если $i = v$, то превышение можно определить по формуле:

$$h = d \cdot \operatorname{tg} v$$

Если визирование осуществляется на произвольную точку нивелирной рейки, условно обозначим её как p , то превышение между точками A и B вычисляют по формуле:

$$h = d \cdot \operatorname{tg} v + i - p$$

Превышения, вычисленные по этим формулам, обычно округляют с точностью до 0,01 м. Если расстояние $AB = D$ измерено мерной лентой или дальномером с горизонтальной рейкой, то

$$d = D \cos v \quad \text{или} \quad h = D \sin v$$

Если расстояние между точками измерено дальномером с вертикально установленной нивелирной рейкой, то после некоторых преобразований можно получить формулу:

$$h = \frac{1}{2} Kl \sin 2v \quad \text{или} \quad h = \frac{1}{2} D \sin 2v$$

Формулы в таком виде называют тахеометрическими. При определении превышений h пользуются тахеометрическими таблицами или инженерным калькулятором. Если отметка точки A известна, то отметку точки B можно определить по формуле:

$$H_b = H_a + h$$

Как можно вычислить погрешность измерений при тригонометрическом нивелировании?

Среднюю квадратическую погрешность m_h превышения, определяемого методом тригонометрического нивелирования, можно получить по общим правилам теории погрешностей по формуле:

$$m_h^2 = h^2(m_p / D)^2 + D^2 \cos 2\nu(m_\nu / \rho)^2$$

Расхождение превышения двух соседних точек, вычисленного при тригонометрическом нивелировании допускается в пределах 4 см на каждые 100 м. При малых углах наклона ν можно принять, что

$$\cos 2\nu = \cos^2 \nu - \sin^2 \nu = \cos^2 \nu$$

Можно также приближённо считать, что

$$d = D \cos^2 \nu$$

при этих допущениях формула средней квадратической погрешности примет вид:

$$m_h^2 = h^2(m_p / D)^2 + d^2(m_\nu / \rho)^2$$

При углах наклона до $1^{\circ}30'$ первое слагаемое правой части этого равенства мало по сравнению со вторым, поэтому можно принять:

$$m_h = d \cdot m_\nu / \rho$$

где m_ν - точность измерений угломерным прибором, ρ - радианная мера угла, пересчёт радианов в градусы, минуты и секунды можно выполнить как:

$$1 \text{ рад} = \frac{360^{\circ}}{2\pi} \approx 57^{\circ}17'45'' \text{ в градусах;}$$

$$1 \text{ рад} = \frac{360^{\circ} \cdot 60'}{2\pi} \approx 3437,747' \text{ в минутах;}$$

$$1 \text{ рад} = \frac{360^{\circ} \cdot 60' \cdot 60''}{2\pi} \approx 206265'' \text{ в секундах.}$$

При $d=200$ м и $m_\nu = 30''$ средняя квадратическая погрешность m_h будет равна $m_h = d \cdot m_\nu / \rho = 200 \cdot 30 / 206265 = 2,9 \text{ см}$

В чём заключается физический смысл барометрического нивелирования?

С изменением высоты точки над уровнем моря изменяется давление воздуха. Следовательно, по результатам измерения давления воздуха можно вычислить отметки точек. Для определения отметки точки при барометрическом нивелировании используют следующую эмпирическую зависимость:

$$H = 18470(1 + 0,00366t)(\lg 762 - \lg p),$$

где H – приближённая высота точки, определённая по давлению воздуха, часто называемая приблизительной альтитудой;

t – температура воздуха на точке измерения, где измерено давление p .

Давление воздуха измеряют барометрами, они бывают ртутными, безжидкостными, барометрами-анероидами и дифференциальными. Наиболее точными являются ртутные барометры, но их чаще всего используют для стационарных наблюдений и поверки анероидов. Для приведения показаний анероида к показаниям ртутного барометра пользуются следующей зависимостью:

$$p = A + a + b \cdot t_{ан} + c(760 - A),$$

где $A=760$ мм; a – поправка, равная разности показаний ртутного барометра и анероида при $t = 0^0$; b – температурный коэффициент; $t_{ан}$ – температура анероида; c – коэффициент пропорциональности.

Величины a , b и c указываются в паспорте анероида. Учитывая то обстоятельство, что приведённые формулы выведены эмпирическим путём и содержат различные поправочные коэффициенты, отсюда точность барометрического нивелирования не высока, и составляет от 0,5 м и выше.

В чём заключается физический смысл гидростатического нивелирования?

В сообщающихся сосудах жидкость устанавливается на одном уровне независимо от поперечного сечения сосудов, массы жидкости и превышения. Это свойство и положено в основу устройства гидростатических нивелиров. Определив разность высот столбов жидкости в сосудах, определяют и превышение точек.



Рис. 1.2. Простейший гидростатический нивелир (уровень)

В современном строительстве достаточно широко распространены гидростатические уровни, которые позволяют измерять превышения точек или передавать отметки, например с одной стены на другую с точностью до 1 мм. Имеющиеся конструкции гидростатических электронных нивелиров позволяют производить измерения с точностью до десятых и сотых долей мм.

Как осуществляется радиолокационное нивелирование?

Радиолокационное нивелирование земной поверхности осуществляют с самолета или другого летательного аппарата. Погрешность в определении высот в зависимости от условий съемки достигает от 2 - 5 м до 10 м. Этот вид нивелирования применяют для построения профиля местности и определения высот при аэрофото съемке. Он основан на непрерывном измерении расстояния с самолета до поверхности земли с помощью излучаемого передатчиком электромагнитного сигнала и приема его после отражения от подстилающей поверхности, регистрируя время t прохождения сигналом двойного расстояния s , используя при этом радиодальномер.

Как осуществляется механическое нивелирование?

Механическое нивелирование используют, в основном, для профилирования железнодорожных путей, устанавливаемых в путеизмерительных вагонах, подкрановых наземных и высотных путей и балок. Специальные приборы, нивелиры - автоматы (профилографы) позволяют автоматически регистрировать при перемещении по направляющим (рельсам) пройденное расстояние, высоту и профиль пути, а также уклоны, фиксируя все параметры на фотоленте. Погрешность в определении превышений составляет от 0,15 до 0,30 м на 1 км пройденного расстояния. Из-за низкой точности измерений, применение данного способа ограничено.

Как определить уклон линии на местности?

Уклоном линии i называется отношение превышения h к его заложению I . Уклон i является мерой крутизны ската. Пусть линия BC называется скатом и наклонена к горизонту под углом ϕ . Тогда

$$i = \frac{h}{I} = \operatorname{tg}\phi$$

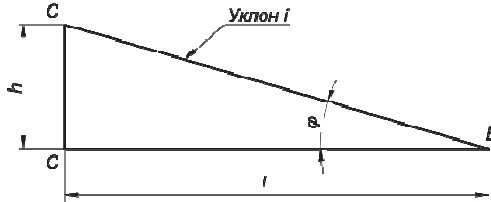


Рис. 1.22. Схема определения уклона линии

Следовательно, уклон линии есть тангенс угла наклона её к горизонту. Уклоны линии выражают в долях, процентах и промилях. Зная уклон линии (тангенс угла наклона) легко вычислить угол наклона линии в градусах, воспользовавшись для этого таблицами В.М. Брадиса или инженерным калькулятором.

На топографических планах и картах крутизну ската и уклоны обычно определяют по графикам заложений: по углам наклона и по уклонам. Из выше приведённой формулы следует, что заложение I можно определить как:

$$I = h \cdot \operatorname{ctg}\phi$$

Подставляя в формулу натуральные значения $\operatorname{ctg}\phi$ для углов, равные $1, 2, 3^0$ и т.д. вычисляют соответствующие им заложения при одной и той же высоте сечения и строят график по углам наклона.

График заложений по уклонам строят подобно графику заложений по углам наклона. Подробно процедура построения графиков заложений приводится практически в каждом учебнике.

В строительстве сложилась определённая практика использования единиц измерения уклонов. Так в архитектуре углы наклона крыши принято отображать в градусах, уклоны инженерных коммуникаций – в долях, а уклоны дорог – в промилях.

Задачи на определение превышений и отметок

Задача 1.3.1 Определите отметку H_b если отсчёт по рейке, установленный в точке A равен 1824, абсолютная отметка $H_a=156,240$ м, а отсчёт по рейке в точке B равен 1260.

Задача 1.3.2 Вычислите превышение, определяемое методом тригонометрического нивелирования, если наклонное расстояние измерено с помощью нитяного дальномера $D=160,25$ м, а угол наклона визирной оси $\nu = 3^{\circ}21'$.

Задача 1.3.3 В результате технического нивелирования сумма измеренных средних превышений $\sum h_{cp} = -4,695$ м. Начальная отметка $H_{нач} = 156.970$ м, $H_{кон} = 152.265$ м. Вычислить невязку нивелирного хода длиной в 1,6 км и определить её допустимость.

Т а б л и ц а 1.8

Исходные данные к задаче 1.3.3

№ варианта	Отметки реперов		Длина хода, L, км	№ варианта	Отметки реперов		Длина хода, L, км
	$H_{нач}$	$H_{кон}$			$H_{нач}$	$H_{кон}$	
1	29,440	22,250	1,6	6	23,640	21,220	1,4
2	29,519	21,680	1,2	7	28,549	25,620	1,3
3	27,120	20,780	1,8	8	27,120	22,880	1,0
4	30,550	25,125	1,0	9	36,560	34,145	1,8
5	32,450	30,250	1,4	10	38,450	32,350	1,6

Пример решения

1. Вычисляем теоретическую сумму превышений:

$$\sum h_{теор} = H_{кон} - H_{нач} = 152,265 - 156,970 = -4,705 \text{ м.}$$

2. Вычисляем полученную невязку нивелирного хода:

$$f = \sum h_{cp} - \sum h_{теор} = -4,695 - (-4,705) = +0,010 \text{ м}$$

3. Вычисляем допустимую невязку нивелирного хода:

$$f_{доп} = 50 \text{ мм} \cdot \sqrt{L} = 50 \cdot \sqrt{1,6} = 63 \text{ мм}$$

Вывод: Полученная невязка (0,010 м) меньше допустимой (63 мм), следовательно измерения выполнены качественно.

Задача 1.3.4 Горизонтальный угол B треугольника ABC равен 60° . Нивелир установлен над точкой B , а в точках A и C установлены нивелирные рейки, по которым взяты отсчёты по средней сетке нитей и по дальномерным штрихам. Определить уклон линии AC .

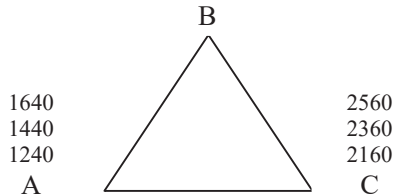


Рис. 1.23 Нивелирование вершин треугольника A и C

Т а б л и ц а 1.9

Исходные данные к задаче 1.3.4

№ варианта	Отсчёты на точку A по сетке нитей			Отсчёты на точку C по сетке нитей		
	верх	сред.	нижн.	верх	сред.	нижн.
1	1620	1420	1220	2540	2340	2140
2	1500	1450	1400	1890	1840	1790
3	2400	2325	2250	1300	1225	1150
4	2300	2250	2200	1200	1150	1100
5	1855	1680	1505	1075	0990	0725
6	1700	1648	1596	1286	1234	1182
7	1125	0990	0675	1420	1195	0970
8	1636	1596	1556	1086	1046	1006
9	1825	1740	1655	2415	2330	2245
10	1600	1475	1350	2600	2475	2350

Пример решения

1. Вычисляем расстояние по нитяному дальномеру:

$$BC=100(2560-2160)=40,0 \text{ м}$$

$$BA=100(1640-1240)=40,0 \text{ м.}$$

Треугольник ABC равносторонний, так как имеет две одинаковые стороны и угол между ними равен 60° . Следовательно, сторона $AC = 40,0 \text{ м}$.

2. Превышение между точками A и C

$$h_{ac} = 1440 - 2360 = -0920 \text{ мм}$$

3. Вычисляем уклон

$$i = h/d = -0,92/40 = -0,023$$

Задача 1.3.5 Горизонтальный угол B треугольника ABC равен 90° . Нивелир установлен над точкой B , а в точках A и C установлены нивелирные рейки, по которым взяты отсчёты по средней сетке нитей и по дальномерным штрихам. Определить уклон линии AC . Варианты заданий принять по таблице 1.9.

Задача 1.3.6 $H_{пр}=121,00 \text{ м}$. Вычислить проектные и рабочие отметки точек, если проектные уклоны по оси OX - $0,01$ (по вертикали), а по оси OY - $0,005$ (по горизонтали) и отметки точек по результатам нивелирования по сетке квадратов со стороной равной 40 м .

	120,35	120,40	120,45	120,56
Ось OX ↑	120,42	120,52	120,60	120,68
	120,54	120,70	120,80	120,85
	120,60	120,65	120,90	$H_{пр}=121,00$
	Ось OY ←			

Тесты по нивелированию

1. Промеры глубин являются одним из видов высотной съёмки. Для этой цели применяют:
 - а) нивелир;
 - б) теодолит;
 - в) экер;
 - г) эхолот.
2. При нивелировании способом «вперёд» высота прибора в точке А равна 1345 мм, передний отсчёт по рейке в точке В равен $b = 0921$. Отметка точки А $H_a = 105,421$ м. Тогда отметка точки В равна:
 - а) 104,076;
 - б) 104,500;
 - в) 105,845;
 - г) 106,342.
3. Если выполняют техническое нивелирование, то расхождение между превышения, вычисленными по чёрной и красной сторонам нивелирной рейки не должны отличаться более:
 - а) ± 3 мм;
 - б) ± 4 мм;
 - в) ± 5 мм;
 - г) ± 6 мм.
4. При тригонометрическом нивелировании не определяется:
 - а) высота прибора;
 - б) горизонт прибора;
 - в) горизонтальное положение;
 - г) угол наклона.
5. Влияние кривизны Земли и рефракции на результаты тригонометрического нивелирования учитывается при расстоянии d , превышающем:
 - а) 100 м;
 - б) 200 м;
 - в) 300 м;
 - г) 400 м.
6. В нивелире с компенсатором есть устройство, называемое демпфером, которое предназначено для:
 - а) максимального перемещения чувствительного элемента;
 - б) приведение визирной оси в горизонтальное положение.

- в) приведение оси вращения прибора в отвесное положение;
 - г) успокоения свободных колебаний чувствительного элемента.
7. При нивелировании высоты промежуточных точек удобно вычислять:
- а) по высоте задней точки и превышению;
 - б) через горизонт прибора;
 - в) по высоте передней точки и превышению;
 - г) по превышениям, определяемым по чёрной и красной сторонам нивелирных реек.
8. Тригонометрическое нивелирование выполняют с помощью:
- а) ватерпаса;
 - б) нивелира;
 - в) теодолита;
 - г) экера.
9. При геометрическом нивелировании превышение определяют при помощи:
- а) нивелира;
 - б) теодолита;
 - в) тахеометра;
 - г) кипрегеля.
10. При геометрическом нивелировании связующими называются:
- а) начальная и конечная точка хода;
 - б) точки перегиба рельефа местности;
 - в) точки стояния прибора;
 - г) точки, через которые последовательно передают отметки при нивелирном ходе.
11. Последовательное нивелирование выполняется:
- а) для установления случайных погрешностей;
 - б) для установления грубых погрешностей;
 - в) для передачи отметок на значительные расстояния;
 - г) при нивелировании поперечников.
12. В инженерной практике наиболее часто применяется:
- а) геометрическое нивелирование;
 - б) тригонометрическое нивелирование;
 - в) физическое нивелирование;
 - г) стереофотограмметрическое нивелирование.

13. В нивелирах с компенсатором, компенсатор предназначен для:
- установления визирной оси в горизонтальное положение;
 - предварительного горизонтирования и центрирования;
 - увеличения зрительной трубы;
 - приведения цилиндрического уровня при зрительной трубе в горизонтальное положение.
14. Горизонт инструмента (ГИ) или горизонт прибора (ГП) это:
- высота инструмента над точкой;
 - высота визирного луча над уровнем Балтийского моря или условной поверхностью;
 - точность, которую можно достичь при использовании данного инструмента;
 - максимальное значения превышения, которое можно измерить с одной станции.
15. Для нивелира с цилиндрическим уровнем при зрительной трубе выполнена проверка главного условия (ось цилиндрического уровня должна быть параллельна визирной оси). Непараллельность осей можно установить по формуле:

$$а) x = \frac{a+b}{2} - \frac{i_1+i_2}{2};$$

$$б) x = \frac{a+b}{2} + \frac{i_1+i_2}{2};$$

$$в) x = \frac{a+b}{2} + \frac{i_1-i_2}{2};$$

$$г) x = \frac{a-b}{2} - \frac{i_1-i_2}{2};$$

Ответы на тесты:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
г	в	в	б	в	г	б	в	а	г	в	а	а	б	а

1.4. Угловые измерения

Назначение теодолитов

Теодолит- это геодезический прибор, предназначенный для измерения горизонтальных и вертикальных углов, длин линий, выполнения тригонометрического, а иногда и геометрического нивелирования. Теодолиты могут применяться на всех стадиях строительства, а также при выполнении инженерных изысканий:

- в создании геодезической сети и разбивочной основы;
- в выносе в натуру осей здания или сооружения;
- в передаче осей на монтажные горизонты;
- в установке строительных конструкций;
- в создании исполнительной съемки;
- в осуществлении геодезического контроля за состоянием несущих конструкций при эксплуатации зданий и сооружений.

Все теодолиты в зависимости от точности измерения горизонтальных углов подразделяются на:

- высокоточные теодолиты, предназначены для измерения углов со средней квадратической погрешностью $0,5 - 2''$;
- точные теодолиты, предназначены для измерения углов со средней квадратической погрешностью $2 - 5''$;
- технические теодолиты предназначены для измерения углов со средней квадратической погрешностью $10 - 30''$.

Кроме классификации по точности, теодолиты подразделяются по области применения (геодезические, астрономические, гидрометеорологические, макшедерские и т.д.), по физической природе носителя информации (механические, оптические, электронные, кодовые) и по конструкции (простые, повторительные, с уровнем при вертикальном круге или с компенсатором).

Маркировка теодолитов включает в себя следующие обозначения, например теодолит 4Т-30П. Цифра «4» перед буквой означает четвертую модификацию прибора данной серии. Цифры после буквы обозначают точность измерения горизонтального угла одним полным приёмом в секундах. Буква «П» означает, что зрительная труба имеет прямое изображение. Если будет присутствовать буква «К», то это означает, что вертикальный круг данного теодолита имеет компенсатор наклона основной оси.

Каковы основные части теодолита и их назначение?

Конструктивно теодолиты имеют примерно одинаковое устройство и состоят из основных частей:

- горизонтального круга;
- вертикального круга;
- зрительной трубы;
- подставки с тремя подъёмными винтами (трегер);
- цилиндрического уровня (иногда есть и круглый уровень).

Горизонтальный и вертикальный круг состоит из лимба и алидады. Лимб представляет собой стеклянный круг с нанесёнными градусными делениями от 0 до 360^0 (лимб вертикального круга имеет градусные деления от 0 до 90^0), а на алидаде нанесена отсчётная шкала. Шкалы лимба и алидады вертикального и горизонтального кругов передаются в поле зрения отсчётного микроскопа.

Зрительная труба состоит из объектива, фокусирующей линзы, плоскопараллельной пластины с нанесённой на неё сеткой нитей и окуляра. Изменение положение фокусирующей линзы изменяет фокусное расстояние. Наименьшее расстояние фокусировки составляет 1,2-1,5 м.

Сетка нитей предназначена для точного наведения визирной оси зрительной трубы на цель (точку). Средняя нить служит для наведения на точку при измерении вертикальных углов, дальномерные штрихи – при определении расстояний при тригонометрическом нивелировании, вертикальная нить может использоваться при наведении на точку при измерении горизонтальных углов. При близоруком или дальнозорком зрении фокусировка может производиться в пределах ± 5 диоптрий.

Визирная ось зрительной трубы теодолита (мнимая ось) – главная ось. К ней предъявляются жёсткие требования в сохранении своего положения при перемещении фокусирующей линзы. Не прямолинейность хода фокусирующей линзы вносит погрешность в результаты измерений горизонтальных и вертикальных углов.

Подставка с тремя подъёмными винтами (трегер) предназначена для установки теодолита в горизонтальное положение. Порядок установки теодолита аналогичен порядку установки нивелира.

Цилиндрический уровень предназначен для приведения в горизонтальное положение плоскости лимба горизонтального круга (оси

вращения теодолита в отвесное положение). Он представляет собой стеклянную ампулу, внутренняя поверхность которой отшлифована по дуге радиуса R . Его величина может принимать размеры от 3 до 200 м. У теодолита 4Т-30П, величина радиуса равна 10 м. Когда пузырёк уровня находится в нуль-пункте, то ось цилиндрического уровня занимает горизонтальное положение, следовательно, и плоскость лимба также занимает горизонтальное положение. Угол, на который отклоняется ось цилиндрического уровня при смещении пузырька на одно деления, называется ценой деления. Это основная метрологическая характеристика уровня.

Связь радиуса кривизны и цены деления уровня имеет вид

$$\lambda = L \cdot \frac{\rho}{R}$$

где, L – линейная величина одного деления уровня (2 мм), R – радиус кривизны внутренней поверхности ампулы, $\rho = 206265''$ – число секунд в радиане. Приведение пузырька цилиндрического уровня в нуль-пункт осуществляется подъёмными винтами трегера (подставки) теодолита. Под чувствительностью уровня понимают минимальное линейное перемещение пузырька, которое можно заметить невооруженным глазом, обычно принимаемое в 0,1 деления, т.е. 0,2 мм.

В чём отличие электронного теодолита от оптического?

Электронный теодолит, работающий по принципу «угол-код», позволяет во время наблюдений получать результаты измерений на цифровом дисплее и автоматизировать процесс угловых измерений. В таких приборах применяют не традиционную систему снятия отчетов по градусам, минутам, секундам, а, например, двоичную систему. То есть, угол представляется в двоичном коде исчислений, при этом лимб делят на чередующиеся черные и белые полосы. При просвечивании этих полос возникает два сигнала (0 и 1), которые автоматически записываются и обрабатываются. Такая система обозначений позволяет уменьшить поток информации и автоматически ввести ее в вычислительное устройство теодолита.

Чтобы получить значения углов, достаточно просто навести зрительную трубу на цель и на дисплее отобразится результат. Та-

ким образом, исключаются ошибки при снятии отсчетов, и, следовательно, повышается эффективность производства и качество работ. Оптические теодолиты имеют цилиндрический уровень, который используется для приведения прибора в рабочее положение, кроме того, большинство из них снабжено датчиком угла наклона, который автоматически компенсирует наклон вертикальной оси. Современные электронные теодолиты имеют прочный водонепроницаемый корпус, что позволяет работать с геодезическими приборами при неблагоприятных погодных условиях и в условиях сильной запыленности.

Температурный диапазон работы электронных теодолитов обычно находится в интервале от -20°C до $+50^{\circ}\text{C}$. Продолжительность работы одного аккумулятора увеличена до 55 часов. Кроме того, некоторые модели приборов комплектуются сменным блоком, с пальчиковыми батарейками.

Как привести теодолит в рабочее положение?

Приведение теодолита в рабочее положение предусматривает:

1) *Центрирование* - установку прибора (центра горизонтального круга) над вершиной измеряемого угла. Выполняется с помощью нитяного отвеса или оптического центрира, перемещением ножек штатива и с последующим передвижением прибора по площадке штатива. Погрешность центрирования зависит от требуемой точности выполняемых работ и не должна превышать 5 мм при измерении горизонтальных углов для решения большинства инженерных задач;

2) *Горизонтирование* - приведение плоскости лимба горизонтального круга в горизонтальное положение, т.е. установку вертикальной оси вращения теодолита в отвесное положение. Для этого устанавливают цилиндрический уровень параллельно двум подъемным винтам и, вращая их одновременно в противоположные стороны, выводят пузырек уровня на середину ампулы. Затем поворачивают прибор на 90° по направлению третьего подъемного винта и, вращая его, опять выводят пузырек в нуль-пункт. Эти действия повторяют до тех пор, пока пузырек не будет отклоняться от центра ампулы более чем на одно деление. При измерении вертикальных

углов отклонение пузырька от середины не должно превышать половины деления;

3) *Подготовку зрительной трубы для наблюдений по зрению* – вращением окуляра (от -5 до +5 диоптрий) до получения четкого изображения сетки нитей на светлом фоне и по предмету, вращением кремальеры до четкого изображения визирной цели.

Какие параметры относятся к метрологическим характеристикам теодолитов?

К основным метрологическим характеристикам теодолитов относят:

- увеличение зрительной трубы;
- угол поля зрения трубы;
- точность измерения горизонтального угла одним приёмом;
- точность измерения вертикального угла полным приёмом;
- наименьшее расстояние визирования;
- цена деления цилиндрического уровня;
- коэффициент нитяного дальномера.

Как определить увеличение зрительной трубы?

Увеличением зрительной трубы называется отношение угла, под которым изображение предмета видно в трубу, к углу, под которым предмет виден невооружённым глазом.

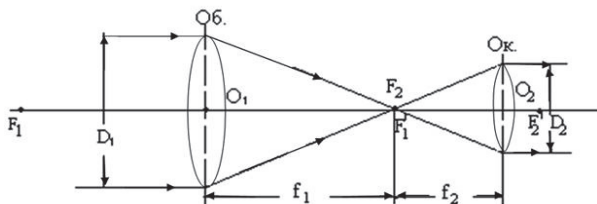


Рис. 1.24. Схема определения увеличения зрительной трубы

Увеличение зрительной трубы можно определить посредством измерения диаметров объектива и его изображения в окуляре, а также измерением фокусных расстояний объектива и окуляра.

$$\eta = \frac{f_1}{f_2} = \frac{D_1}{D_2}$$

где f_1 и f_2 - фокусные расстояния, D_1 и D_2 - диаметры объектива и окуляра. На практике увеличение зрительной трубы чаще всего определяют с помощью нивелирной рейки, устанавливаемой на расстоянии до 10 м от теодолита. Наблюдая рейку одним глазом в трубу, а другим – мимо трубы, подсчитывают, сколько делений n_1 видно в трубу и n_2 - невооружённым глазом. Тогда увеличение зрительной трубы равно

$$\eta = n_1/n_2$$

Определение увеличения зрительной трубы первым способом является менее точным, поэтому может применяться только для приближённых вычислений.

Как определить угол поля зрения трубы?

Поле зрения трубы называется видимое пространство при неподвижном положении зрительной трубы. Количественной характеристикой поля зрения трубы является угол поля зрения, который можно определить различными способами. Но наиболее распространены два из них: способ непосредственного измерения и с помощью нивелирной рейки.

Т а б л и ц а 1.10

Основные метрологические характеристики теодолита 4Т-30П

Наименование характеристики	Величина
Средняя квадратическая погрешность при измерении углов: - горизонтальных; - вертикальных	20" 30"
Предельные отклонения измерения вертикальных углов	от + 60° до - 55°
Кратность увеличения зрительной трубы	20
Угол поля зрения	2°
Коэффициент дальномера	100

Как определить цену деления цилиндрического уровня?

Ценой деления цилиндрического уровня λ называют угол, на который наклонится ось уровня, если пузырёк сместится на одно деление. На практике цену деления обычно определяют следующим образом. На расстоянии 15-20 м от теодолита устанавливают нивелирную рейку, расстояние должно быть измерено с погрешностью не более 0,1 м. Вращая подъёмный винт, перемещают пузырёк уровня к одному видимому концу ампулы. Производят отсчёты a_1 и a_2 по концам пузырька уровня и по рейке (по средней нити). Затем следует переместить пузырёк уровня в противоположный видимый конец ампулы, и также снимают отсчёты. Результаты измерений записывают в таблицу, деления справа от нуля – пункта условно считают с «+», а слева – с «-».

Т а б л и ц а 1.11

Пример записи результатов по определению цены деления цилиндрического уровня

Отсчёты по рейке	Отсчёты по концам пузырька		$(a_1 + a_2)/2$
	a_1	a_2	
1125	- 4,6	+ 0,4	- 2,1
1138	- 0,5	+ 4,5	+ 2,0

Цена деления цилиндрического уровня в этом случае может быть вычислена как

$$\lambda'' = \rho \cdot h / n \cdot d$$

где $\rho = 206265''$ (число секунд в радиане), h – разность отсчётов по рейке, n – число делений, на которое переместился пузырёк, d – расстояние от теодолита до нивелирной рейки, измеренной рулеткой.

Связь радиуса кривизны и цены деления уровня имеет вид

$$\lambda = L \cdot \frac{\rho}{R}$$

где, L – линейная величина одного деления уровня (2 мм), R – радиус кривизны внутренней поверхности ампулы, $\rho = 206265''$.

Как проводятся поверки оптического теодолита?

Основные геометрические условия, которые необходимо соблюдать при использовании теодолита, следуют из принципиальной схемы измерения горизонтального угла и заключаются в следующем: вертикальная ось инструмента должна быть отвесна; плоскость лимба должна быть горизонтальна, а визирная плоскость – вертикальна. Для соблюдения этих условий, на примере теодолита 4Т-30П, рассмотрим, как выполняются эти поверки.

1. *Ось цилиндрического уровня при алидаде горизонтального круга должна быть перпендикулярна оси вращения инструмента.* В отвесное положение основную ось (ось вращения) теодолита приводят следующим образом. Цилиндрический уровень устанавливается параллельно любым двум подъёмным винтам, вращая их в противоположные стороны, пузырёк уровня приводят в нуль-пункт. После чего теодолит поворачивается на 90^0 , вращая третьим винтом, пузырёк уровня снова приводят в середину. Такие действия обычно повторяют 2-3 раза. Если пузырёк остаётся на месте, или отклонился не более чем на 0,5 деления уровня, значит условие выполнено. Если условие не выполнено, то необходимо провести юстировку согласно методике, изложенной в паспорте изделия.

2. *Вертикальная нить сетки должна быть параллельна оси вращения теодолита.* Данная поверка может быть выполнена следующим способом. На расстоянии 10-20 м от теодолита подвешивают отвес. Зрительную трубу визируют на отвес и совмещают один из концов вертикального штриха с нитью отвеса. Если другой конец вертикального штриха отходит от нити отвеса более чем на 0,5 мм, то производят юстировку сетки нитей. Для этого снимают предохранительный колпачок сеточной диафрагмы и, ослабив винты, крепящие окуляр к корпусу зрительной трубы, поворачивают диафрагму на требуемый угол. После чего необходимо закрепить крепёжные винты и повторить поверку

3. *Визирная ось должна быть перпендикулярна горизонтальной оси вращения зрительной трубы.* Угол отклонения визирной оси вращения зрительной трубы от перпендикуляра к горизонтальной оси вращения называют *коллимационной погрешностью трубы*. Для проверки данного условия выбирают удалённую, хорошо видимую

точку. Визируют на неё зрительную трубу и поочерёдно при круге лево (КЛ) и при круге право (КП), снимают отсчёты по горизонтальному лимбу. Если коллимационная погрешность имеет место, то отсчёты по лимбу должны отличаться на некоторую величину, но не более чем на удвоенную точность теодолита. Если данное условие соблюдается, то истинное значение измеренного угла будет равно среднему арифметическому двух измерений. При не соблюдении данного условия необходимо выполнить юстировку теодолита.

4. *Определение места нуля вертикального круга.* Место нуля (МО) – отсчёт по вертикальному кругу, который соответствует горизонтальному положению зрительной трубы и положению пузырька уровня при алидаде вертикального круга в нуль-пункте, или горизонтальности отсчётного индекса у теодолитов с компенсатором при вертикальном круге. МО должно равняться нулю или быть близкой к нему величиной, но теоретически может иметь любое значение. Важно чтобы МО при измерении вертикальных углов оставалось постоянным. Выполняется данная поверка следующим образом. На хорошо видимую удалённую точку визируют зрительную трубу и поочерёдно снимают отсчёты при КЛ и КП по вертикальному лимбу, вычисляют место нуля

$$МО = \frac{КЛ + КП}{2}$$

МО учитывается при вычислении вертикальных углов. Порядок исправления МО следует смотреть в инструкции теодолита.

Как следует измерить горизонтальный угол?

Под горизонтальным углом в геодезии понимают двугранный угол, образованный вертикальными плоскостями, проходящие через стороны ab и bc . Если двугранный угол рассечь плоскостью, проходящей по направлению AB и BC , то полученная проекция на горизонтальную плоскость MN и будет являться горизонтальным углом β (рис. 1.25).

Он может иметь значения от 0° до 360° . Для измерения горизонтального угла необходимо иметь градуированный круг, который должен располагаться горизонтально и быть неподвижным.

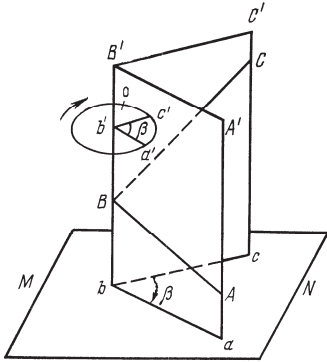


Рис. 1.25. Схема измерения горизонтального угла

затем, при помощи наводящего винта производят точную установку перекрестия сетки нитей на визирную точку и по горизонтальному лимбу, наблюдая в микроскоп, снимают отсчёт. При измерении горизонтальных углов допускается на визирную точку наводить вертикальную нить сетки. Положение вертикального круга, при начале измерений принципиальной роли не играет, обычно принято начинать измерения при круге лево (КЛ). Результаты измерений углов обычно записывают в журнал теодолитной съёмки.

Измерение горизонтального угла начинается с установки теодолита над точкой (вершиной угла) и приведения его в рабочее состояние. Для этого необходимо выполнить центрирование и горизонтирование прибора.

Непосредственно процесс измерения горизонтального угла сводится к наведению зрительной трубы на точку, расположенную правее – А. Наведение сначала производится по визиру от руки, а

Т а б л и ц а 1.12

Пример записи измерений горизонтальных углов в журнал теодолитной съёмки

№ станции	№ точки наблюдения	Положение круга	Отсчёт по горизонтальному	Значение угла по луприёму	Значение угла из приёма
В	А	КЛ	88°25'	-	
	С	КЛ	35°13'	53°12'	
В	А	КП	268°27'	-	53°12'30"
	С	КП	215°14'	53°13'	

Далее необходимо навести зрительную трубу на визирную точку C , при этом же положении вертикального круга (КЛ) и снять отсчёт. Разница отсчётов a и c - это и есть горизонтальный угол β . Данный способ измерения горизонтального угла называется способом приёмов.

Для исключения влияния коллимационной погрешности теодолита необходимо тот же угол измерить ещё один раз, но при другом положении вертикального круга (КП). Порядок работы на станции остаётся прежним.

Контролем правильности измерений углов является расхождение значений, вычисленных в отдельных полуприёмах. Расхождение не должно превышать двойной точности теодолита. Если данное условие не выполнено, то необходимо сначала проверить правильность вычисления углов, и если ошибка не выявлена, то провести повторные измерения при других значений лимба. При $\Delta\beta \leq 2t$ за окончательное значение угла принимают среднее из двух полуприёмов.

Каким образом осуществляется измерение горизонтальных углов способом круговых приёмов?

Установив теодолит над точкой, визируют последовательно на все направления по ходу часовой стрелки и производят отсчёты. Последнее наведение выполняют на начальное направление, чтобы убедиться в неподвижности лимба. Эти действия составляют первый полуприём.

Во втором полуприёме смещают лимб, переводят трубу через зенит и последовательно визируют на все направления против хода часовой стрелки.

Как производят измерение вертикальных углов?

В вертикальной плоскости теодолитом можно измерять углы наклона или зенитные расстояния. Принято различать положительные и отрицательные углы наклона.

Так, например, при использовании теодолита 4Т-30П при КЛ (при круге лево) положительный угол образуется разностью между направлением на точку, расположенную выше горизонтальной оси вращения зрительной трубы, и направлением, соответствующим горизонтальному положению визирной оси. Отрицательный угол об-

разуется между горизонтальным положением визирной оси зрительной трубы и направлением на точку, расположенную ниже горизонтальной оси вращения трубы.

При измерении вертикальных углов при положении КП (круг право), значения углов меняются на прямо противоположные.

Для вычисления значений углов наклона необходимо знать МО (место нуля), порядок определения которого рассмотрен выше.

Измерение вертикальных углов основано на конструктивной особенности теодолита, лимб вертикального круга которого жёстко скреплён со зрительной трубой. Разность отсчётов между направлением и горизонтальным отсчётным индексом даёт значение вертикального угла или угла от горизонта до измеряемого направления. Несмотря на то, что оцифровка делений на вертикальных кругах теодолитов различна, правила придания знаков вертикальным углам общие. Для теодолита 4Т-30П формула измерения вертикального угла при КЛ будет:

$$v = КЛ - МО$$

При круге право (КП) соответственно $v = МО - (-КП)$ или

$$v = МО + КП$$

Какие погрешности сопровождают процесс угловых измерений?

Как и при любых измерениях, основным источником погрешностей угловых измерений являются:

- инструментальные погрешности;
- погрешности, обусловленные человеческим фактором;
- погрешности, обусловленные влиянием окружающей среды;
- погрешности, обусловленные методикой измерений.

Приведённая классификация погрешностей угловых измерений в определённой степени носит условный характер. Поэтому при анализе погрешностей угловых измерений рекомендуется рассматривать их в соответствии с технологией измерительного процесса.

Инструментальные погрешности можно подразделить на две группы. К первой группе относятся погрешности, связанные со сборкой прибора, которые не могут быть устранены в процессе его эксплуатации, но которые могут быть ослаблены применением соответствующих методик измерений. Это погрешности:

- нанесения штрихов на лимбе;

- отклонение от сферической формы внутренней поверхности ампулы цилиндрического уровня;
- качества изготовления оптики зрительной трубы, в том числе прямолинейности хода фокусирующей линзы;
- несовпадение центров лимба и алидады (эксцентриситет алидады);
- отклонение действительной точности отсчётных приспособлений от точности, заданной конструктивно;
- качество работы закрепительных и наводящих винтов;
- наличие люфта подъёмных винтов и осевых соединений.

Ко второй группе относят погрешности, связанные с невыполнением геометрических условий взаимного расположения основных осей теодолита. Этот вид погрешностей может быть ослаблен тщательной юстировкой расположения осей по результатам проверок. Но в любом случае остаётся частичное несоответствие взаимного расположения геометрических осей, которое обязательно окажет влияние на точность измерений.

Основной задачей пользователя является прогнозирование погрешностей и принятие решений о возможности и необходимости её ослабления. Критерием к точности конечных результатов угловых измерений служат требования заказчика и нормативных документов по строительству зданий и сооружений.

Погрешности, обусловленные человеческим фактором, обычно проявляются при невыполнении условия визирования на наблюдаемую точку, с ошибками, связанными с остротой зрения наблюдателя и ошибками, допускаемыми при снятии отсчётов.

Зависимость погрешности визирования проявляется от многих факторов, и выразить эту зависимость математически пока не представляется возможным. Обычно погрешность визирования представляют в виде, зависящем только от одного фактора – увеличения зрительной трубы k

$$\eta = 60'' / k$$

Одним из наиболее распространённых видов погрешности является оценка на глаз доли деления шкалы алидады. Она зависит от остроты зрения наблюдателя, освещённости поля зрения шкалы микроскопа, толщины градусных штрихов лимба и других факторов.

Так как у теодолитов технической точности шкала алидады имеет цену деления равную 5 минутам, то при отсчитывании на глаз, погрешность составит, $\eta = 0,1t$ т.е. равна $30''$.

Это одна из самых существенных погрешностей, обусловленная человеческим фактором. Она определяет класс точности прибора. На неё ориентируются при определении значимости других погрешностей. Так считается, что любая другая погрешность не окажет существенного влияния на конечный результат измерений, если её величина меньше либо равна $0,3\eta$.

Погрешности, обусловленные человеческим фактором, могут носить как случайный, так и систематический характер.

Ослабить влияние погрешностей данного вида можно увеличением числа приёмов измерений и повышением уровня квалификации наблюдателя.

Погрешности, обусловленные влиянием окружающей среды, проявляются в изменяющихся внешних условиях: наружной температуры воздуха и атмосферного давления, прозрачности воздуха и колебания воздушных масс.

Наиболее существенное влияние на точность измерений оказывает боковая составляющая рефракции. Она является следствием прохождения визирного луча через воздушные слои с различной плотностью, зависящей от распределения температуры. Поэтому рефракционное поле отождествляется с температурным полем и значением частного угла рефракции, определяемого как

$$\delta'' = 10,9 \frac{P}{T^2} \cdot S \frac{dt}{dy}$$

где P – давление воздуха, T – абсолютная температура, S – расстояние между прибором и визирной целью, dt/dy – горизонтальный градиент температуры. Для ослабления влияния рефракции измерения необходимо проводить в часы спокойной атмосферы, а стороны угла не располагать близко к стенам зданий или других сооружений, обладающих локальным температурным полем.

Для чего предназначен экер?



Экер предназначен для построения на местности прямых углов (реже углов в 45°). Они бывают зеркальные и призмённые. Зеркальные экеры в настоящее время промышленностью не выпускаются. Исправленный зеркальный экер даёт погрешность в построении прямого угла, не превышающую $\Delta = \pm 5'$. Если погрешность оказывается выше, то экер юстируют. Призмённый экер имеет прямоугольную трёхгранную призму, два других угла по 45° . Неисправности экера устраняются в мастерской.

Рис. 1.26. Общий вид призмённого экера производства фирмы Bosch.

Задачи на угловые измерения

Задача 1.4.1 Вычислить коллимационную погрешность теодолита 4Т-30П и сделать заключение о техническом состоянии прибора, если при выполнении поверки получены следующие отсчёты по лимбу горизонтального круга: $КЛ = 1^{\circ}00'$, $КП = 181^{\circ}17'$.

$$c = \frac{(КЛ - КП \pm 180^{\circ})}{2} = \frac{(1^{\circ} - 181^{\circ}17' \pm 180^{\circ})}{2} = -0^{\circ}8'30''$$

Допустимость коллимационной погрешности определяется двойной точностью измерения горизонтального угла, т.е. $1'$. Следовательно, данный теодолит требует юстировки или ремонта.

Т а б л и ц а 1.14

Исходные данные к задаче 1.4.1

Отсчёты	Варианты				
	1	2	3	4	5
КЛ	$2^{\circ}10'$	$27^{\circ}37'$	$270^{\circ}15'$	$32^{\circ}24'$	$81^{\circ}51'$
КП	$182^{\circ}12'$	$207^{\circ}39'$	$90^{\circ}20'$	$212^{\circ}26'$	$261^{\circ}54'$
Отсчёты	6	7	8	9	10
КЛ	$14^{\circ}35'$	$62^{\circ}05'$	$44^{\circ}02'$	$21^{\circ}46'$	$62^{\circ}15'$
КП	$194^{\circ}37'$	$242^{\circ}08'$	$125^{\circ}58'$	$201^{\circ}24'$	$242^{\circ}17'$

Задача 1.4.2 Вычислить место нуля (МО) для теодолита 4Т-30П, если при визировании на точку сняты отсчёты при $КЛ = 3^018'$, при $КП = -3^019'$ и сделать заключение о его техническом состоянии.

Пример решения:

$$МО = \frac{КЛ + КП}{2} = \frac{3^018' - 3^019'}{2} = -0^030''$$

МО находится в пределах нормы, теодолит технически исправен.

Т а б л и ц а 1.15

Исходные данные к задаче 1.4.2

Отсчёты	Варианты				
	1	2	3	4	5
КЛ	$2^010'$	$27^037'$	$-4^021'$	$-3^026'$	$5^023'$
КП	$-2^011'$	$-27^039'$	$4^022'$	$3^026'$	$-5^028'$
Отсчёты	6	7	8	9	10
КЛ	$14^035'$	$-4^006'$	$3^028'$	$21^046'$	$-2^011'$
КП	$-14^035'$	$4^007'$	$-3^029'$	$-21^046'$	$2^010'$

Задача 1.4.3 Вычислить угловую невязку замкнутого теодолитного хода и определить её допустимость, если измеренные углы равны:

$$\beta_1 = 89^052'; \quad \beta_2 = 94^033'; \quad \beta_3 = 104^013'; \quad \beta_4 = 71^018'.$$

Пример решения:

1. Вычисляем сумму измеренных углов

$$\sum \beta_{изм} = \beta_1 + \beta_2 + \beta_3 + \beta_4 = 89^052' + 94^033' + 104^013' + 71^018' = 359^056'$$

2. Вычисляем сумму внутренних углов многоугольника

$$\sum \beta_{теор} = 180^0 \cdot (n - 2) = 180^0 \cdot (4 - 2) = 360^000'$$

3. Вычисляем полученную угловую невязку

$$f_{\beta} = \sum \beta_{изм} - \sum \beta_{теор} = 359^056' - 360^000' = -0^004'$$

4. Сравняем полученную и допустимую невязки

$$[f] = 2t \cdot \sqrt{n} = 2 \cdot 30'' \cdot \sqrt{4} = 0^002'$$

Фактическая невязка больше допустимой невязки, измерения углов следует повторить

Т а б л и ц а 1.16

Исходные данные к задаче 1.4.3

Варианты	Измеренные углы					
	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5	β_6
1	51°42'	124°16'	85°36'	124°45'	153°35'	-
2	79°54'	94°33'	109°13'	76°18'	-	-
3	93°12'	126°48'	124°32'	150°28'	114°58'	110°03'
4	98°12'	121°48'	124°34'	145°08'	119°58'	110°15'
5	97°12'	124°32'	76°18'	89°52'	152°04'	-
6	104°13'	136°48'	120°15'	99°54'	78°52'	-
7	152°40'	130°46'	92°16'	24°14'	-	-
8	161°15'	83°50'	103°22'	22°31'	-	-
9	121°17'	114°21'	132°36'	61°42'	110°02'	-
10	93°24'	128°14'	130°54'	119°27'	139°28'	108°31'

Задача 1.4.4 В замкнутом теодолитном ходе число станций (углов) n , а сумма измеренных углов - $\sum \beta_{изм}$. Сделать заключение о качестве угловых измерений и сформулировать предложения.

Т а б л и ц а 1.17

Исходные данные к задаче 1.4.4

Варианты измеренных углов						
№	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5	β_6
1	153°35'	85°36'	124°45'	124°45'	51°42'	-
2	109°13'	76°18'	79°54'	94°33'	-	-
3	93°12'	126°48'	124°32'	150°28'	114°58'	110°03'
4	121°48'	119°58'	124°34'	110°15'	145°08'	98°12'
5	89°52'	97°12'	152°04'	124°32'	76°18'	-

6	120 ⁰ 15'	136 ⁰ 48'	99 ⁰ 54'	78 ⁰ 52'	104 ⁰ 13'	-
7	92 ⁰ 16'	24 ⁰ 14'	152 ⁰ 40'	130 ⁰ 46'	-	-
8	103 ⁰ 22'	22 ⁰ 31'	83 ⁰ 50'	161 ⁰ 15'	-	-
9	61 ⁰ 42'	132 ⁰ 36'	110 ⁰ 02'	121 ⁰ 17'	114 ⁰ 21'	-
10	139 ⁰ 28'	128 ⁰ 14'	108 ⁰ 31'	119 ⁰ 27'	93 ⁰ 24'	130 ⁰ 54'

Задача 1.4.5 Определить расстояние через трудно доступное место, если выполнены измерения базиса L и углы при базисе - α и β .

Т а б л и ц а 1.18

Исходные данные к задаче 1.4.5

Вариант	L , м	α , град	β , град	Вариант	L , м	α , град	β , град
1	30	86 ⁰ 25'	44 ⁰ 16'	6	50	69 ⁰ 31'	91 ⁰ 32'
2	20	66 ⁰ 31'	57 ⁰ 19'	7	30	94 ⁰ 15'	66 ⁰ 31'
3	40	72 ⁰ 46'	69 ⁰ 31'	8	70	57 ⁰ 19'	72 ⁰ 46'
4	60	77 ⁰ 04'	59 ⁰ 12'	9	80	86 ⁰ 25'	75 ⁰ 06'
5	100	91 ⁰ 32'	75 ⁰ 06'	10	20	44 ⁰ 16'	77 ⁰ 04'

Задача 1.4.6 Определить погрешность измерений горизонтальных углов, выполненных методом приёмов с помощью теодолита 4Т-30П

Т а б л и ц а 1.19

Исходные данные к задаче 1.4.6

Отсчёт		Варианты					
		1	2	3	4	5	
2	КЛ	1	62 ⁰ 53'	87 ⁰ 02'	94 ⁰ 56'	51 ⁰ 20'	32 ⁰ 16'
	КП		42 ⁰ 41'	35 ⁰ 49'	62 ⁰ 19'	134 ⁰ 58'	17 ⁰ 14'
	КЛ	3	38 ⁰ 10'	58 ⁰ 17'	36 ⁰ 15'	13 ⁰ 10'	19 ⁰ 06'
	КП		17 ⁰ 57'	07 ⁰ 04'	03 ⁰ 40'	96 ⁰ 50'	04 ⁰ 05'

Тесты по угловым измерениям

1. В настоящее время в теодолитах применяются зрительные трубы:
 - а) с внешней фокусировкой;
 - б) с внутренней фокусировкой;
 - в) с самоустанавливающейся визирной осью;
 - г) перископические.
2. В теодолите положение фокусирующей линзы меняется:
 - а) автоматически;
 - б) при вращении кремальеры;
 - в) при вращении наводящего винта алидады;
 - г) при вращении наводящего винта зрительной трубы.
3. Угол наклона, измеряемый теодолитом 4Т-30П, вычисляется как:
 - а) $\nu = MO - KL$;
 - б) $\nu = KP - MO$;
 - в) $\nu = KL + MO$;
 - г) $\nu = KL - MO$.;
4. При тригонометрическом нивелировании не определяется:
 - а) высота прибора;
 - б) горизонт прибора;
 - в) горизонтальное проложение;
 - г) угол наклона.
5. Основной осью теодолита является:
 - а) визирная ось;
 - б) ось вращения зрительной трубы;
 - в) ось вращения теодолита;
 - г) ось цилиндрического уровня.
6. Кремальера – это:
 - а) специальное устройство зрительной трубы служащее для перемещения фокусирующей линзы;
 - б) устройство для наведения на цель;
 - в) устройство для оптического центрирования;
 - г) устройство для определения расстояния по дальномеру.
7. Коллимационная погрешность возникает при невыполнении одного из условий:
 - а) визирная ось зрительной трубы не перпендикулярна её оси вращения;

б) горизонтальная нить сетки не перпендикулярна оси вращения теодолита;

в) ось вращения зрительной трубы не перпендикулярна оси вращения теодолита;

г) ось цилиндрического уровня при алидаде горизонтального круга не перпендикулярна оси вращения теодолита.

8. Тригонометрическое нивелирование выполняют с помощью:

а) ватерпаса;

б) теодолита;

в) нивелира;

г) экера.

9. Геометрическое нивелирование с помощью теодолита можно выполнить если:

а) определён угол наклона;

б) определено и установлено МО (место нуля);

в) определён вертикальный угол при визировании на точку;

г) определён горизонтальный угол при визировании на точку.

10. Горизонтальный угол - это:

а) проекция двугранного угла, образованного вертикальными плоскостями, проходящими через заданные направления на горизонтальную плоскость;

б) угол между заданными направлениями;

в) проекция двугранного угла, образованного вертикальными плоскостями, проходящими через заданные направления на вертикальную плоскость;

г) дирекционный угол.

11. Угол наклона – это:

а) угол между отвесной линией и направлением на предмет;

б) дирекционный угол;

в) угол между направлением на заданную точку и проекцией данного направления на горизонтальную плоскость;

г) зенитное расстояние.

12. Место нуля (МО) – это:

а) отсчёт по вертикальному кругу, соответствующий горизонтальному положению зрительной трубы;

б) отсчёт по вертикальному кругу при КЛ;

в) отсчёт по вертикальному кругу при КП;

г) отсчёт по горизонтальному кругу при КЛ.

13. При измерении угла наклона теодолитом 4Т-30П отсчёты по вертикальному кругу составили $KЛ = 3^0 15'$ и $КП = -3^0 16'$, МО равно:
- $1'$;
 - $-1'$;
 - $30''$;
 - $-30''$
14. Ориентир – буссоль теодолита 4Т-30П служит для:
- точной наводки на цель;
 - измерения магнитного азимута;
 - центрирования над точкой;
 - горизонтирования теодолита.
15. Теодолит 4Т-30П горизонтируют по:
- уровню при алидаде горизонтального круга вращением подъёмных винтов;
 - уровню при зрительной трубе вращением подъёмных винтов;
 - уровню при алидаде горизонтального круга и уровню при зрительной трубе вращением подъёмных винтов;
 - уровню с помощью ножек штатива.
16. Цена деления лимба горизонтального и вертикального кругов теодолита 4Т-30П равна:
- 1^0 ;
 - $30'$;
 - $10'$;
 - $5'$.
17. Эксцентриситет алидады вызван:
- дефектом закрепительного винта алидады;
 - дефектом наводящего винта алидады;
 - несовпадением центров лимба и алидады;
 - дефектом изготовления алидады.
18. Визирная ось зрительной трубы – это:
- прямая, соединяющая оптический центр объектива и окуляра;
 - прямая, соединяющая оптический центр объектива с центром сетки нитей;

в) прямая, соединяющая оптический центр фокусирующей линзы с центром сетки нитей;

г) прямая, соединяющая оптический центр окуляра с центром сетки нитей.

19. Определите положение теодолита 4Т-30П относительно снимаемой точки, если отсчёт по вертикальному кругу $KЛ = 5^025'$ и $МО = 0^000'$:

а) на уровне станции;

б) ниже уровня станции;

в) выше уровня станции;

г) определить положение невозможно.

20. Определите положение теодолита 4Т-30П относительно снимаемой точки, если отсчёт по вертикальному кругу $KП = -5^025'$ и $МО = 0^000'$:

а) на уровне станции;

б) выше уровня станции;

в) ниже уровня станции;

г) определить положение невозможно.

21. Определите угол наклона, измеренный теодолитом 4Т-30П, если отсчёты по вертикальному кругу равны $KЛ = 5^025'$ и $KП = -5^024'$:

а) $5^025'$;

б) $-5^024'$;

в) $5^024'30''$;

г) $-5^024'30''$.

22. Определите угол наклона, измеренный теодолитом 4Т-30П, если отсчёт по $KЛ = 5^026'$, а место нуля $МО = 1'$:

а) $5^025'$;

б) $5^027'$;

в) $-5^025'$;

г) $-5^027'$.

23. Отсчёт по вертикальному кругу теодолита 4Т-30П равен $KП = -5^{\circ}26'$, $МО = -1'$, чему будет равен угол наклона:
- а) $5^{\circ}25'$;
 - б) $5^{\circ}27'$;
 - в) $-5^{\circ}25'$;
 - г) $-5^{\circ}27'$.
24. Отсчёт по горизонтальному кругу равен $КЛ = 28^{\circ}15'$ и $КП = 246^{\circ}39'$. Значение горизонтального угла при измерении одним полуприёмом равно:
- а) $218^{\circ}24'$;
 - б) $141^{\circ}36'$;
 - в) $274^{\circ}54'$;
 - г) $38^{\circ}24'$.
25. Ось вращения зрительной трубы теодолита 4Т-30П должна быть перпендикулярна:
- а) оси вращения теодолита;
 - б) оси цилиндрического уровня при алидаде горизонтального круга;
 - в) визирной оси;
 - г) оси цилиндрического уровня зрительной трубы.
26. Коллимационную погрешность теодолита 4Т-30П устраняют:
- а) перемещением линз объектива;
 - б) юстировкой коллиматора визира;
 - в) перемещением сетки нитей горизонтальными юстировочными винтами;
 - г) перемещением сетки нитей вертикальными юстировочными винтами.
27. Коллиматорный визир теодолита 4Т-30П предназначен для:
- а) грубой наводки зрительной трубы на цель;
 - б) точной наводки зрительной трубы на цель;
 - в) подсветки поля зрения;
 - г) устранения коллимационной погрешности теодолита.
28. Ось цилиндрического уровня – это:
- а) отвесная линия;

б) касательная к внутренней поверхности ампулы цилиндрического уровня в нуль-пункте;

в) линия, перпендикулярная визирной оси зрительной трубы;

г) линия параллельная оси вращения алидады горизонтального круга.

29. Величина коллимационной погрешности при отсчётах по горизонтальному кругу теодолита 4Т-30П при $KL = 0^{\circ}31'$ и $KП = 180^{\circ}37'$ равна:

а) $3'$;

б) $6'$;

в) $-3'$;

г) $-6'$.

30. Для того, чтобы определить место нуля (МО) вертикального круга теодолита 4Т-30П, необходимо:

а) снять отсчёты по вертикальному кругу при двух крайних положениях пузырька уровня;

б) визировать на одну и ту же точку при двух положениях вертикального круга, чтобы при этом пузырёк уровня находился в нуль – пункте;

в) с помощью наводящего винта зрительной трубы установить отсчёт равный нулю;

г) определить цену деления лимба вертикального круга.

Ответы на тесты:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
б	б	г	в	б	а	а	б	б	а	в	а	г	б	а
16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
г	в	а	в	б	в	а	г	б	а	в	а	б	в	б

1.5. Теория погрешностей измерения

Какие бывают виды измерений?

Различают *прямые* (непосредственные) и *косвенные* (посредственные) измерения. При непосредственных измерениях значение измеряемой величины получают из опытных результатов. Так, например, прямыми измерениями считаются длины линий, полученные с помощью рулетки, углы – измеренные с помощью теодолита, превышения точек – измеренные с помощью нивелира. Прямые измерения являются основой для более сложных измерений и являются наиболее точными.

При косвенных измерениях значение искомой величины определяют на основании известных математических или физических зависимостей. Примером косвенного измерения служит определение расстояния до объекта через препятствия, или определение его высоты, используя формулы планиметрии.

Если одна и та же величина измерена n раз, то одно из этих измерений является необходимым, а остальные измерения ($n - 1$) являются избыточными или добавочными. Избыточные измерения выполняют с целью контроля правильности полученных результатов измерений и более надёжного значения искомой величины. При достаточно большом количестве измерений можно судить о точности выполненных измерений.

Какие факторы оказывают влияние на точность измерений?

Из практики измерений установлено, что выполняя многократные измерения одной и той же величины, мы практически не получаем одинаковых результатов, как бы тщательно не производились измерения. Это обстоятельство указывает на то, что получаемые результаты не являются точными значениями измеряемой величины, а имеют некоторые отличия от него. В таких случаях имеет место погрешности Δ :

$$\Delta = L_i - X$$

где L_i - результат измерений; X - истинное значение измеряемой величины. Источниками возникновения погрешностей являются все

участники процесса измерения: наблюдатель (человеческий фактор), измерительный прибор (инструментальные погрешности), внешняя среда (внешние условия) при которых производятся измерения и применяемая методика (погрешности, обусловленные несовершенством принятого метода измерения).

В теории погрешностей измерений на основе теории вероятностей с использованием методов математической статистики решают следующие задачи:

- изучение видов, причин возникновения и законов распределения погрешностей измерений и их свойств;
- нахождение по результатам измерений наиболее надёжного значения измеряемой величины из результатов её многократных измерений;
- установление критериев требуемой точности;
- оценка точности результатов измерений и функций измеренных величин.

Как классифицируются погрешности?

В зависимости от условий, в которых происходят измерения какой-либо величины, они подразделяются на равноточные и неравноточные измерения. Если в процессе измерения все перечисленные выше четыре фактора остаются неизменными, то такие измерения называют равноточными. В случае, если изменяется хотя бы одно условие, имеет место неравноточное измерение. Каждый из перечисленных факторов в процессе измерения порождает множество элементарных погрешностей (ошибок). Суммарное действие элементарных погрешностей образует погрешность результата измерения, в связи с чем, результат измерения никогда не совпадает с истинным значением измеряемой величины. Различают три вида погрешностей: грубые, систематические и случайные

Грубые погрешности - это такие погрешности, которые по своей абсолютной величине превосходят некий установленный предел измерений, это погрешности – резко отклоняющие результат измерения от истинного значения измеряемой величины. Они происходят чаще всего из-за неисправности измерительного прибора или ошибок, допускаемых наблюдателем. Такие погрешности обнаруживаются и устраняются путём повторных измерений, поэтому

они не рассматриваются при анализе точности выполненных измерений.

Систематические погрешности являются составной частью общей погрешности измерения, проявляющиеся по строго определённым законам. Они или остаются постоянными при повторных измерениях одной и той же величины, или закономерно изменяются. Источником систематических погрешностей чаще всего являются инструментальные погрешности. Они должны быть выявлены, изучены и исключены из результатов наблюдений путём введения соответствующих поправок.

Случайные погрешности носят случайный характер, их возникновение не подчиняется определённым математическим законам, они связаны между собой статистической закономерностью, т.е. проявляются в массовых явлениях. Случайные погрешности неизбежны, они всегда сопровождают процесс измерения. Влияние случайных погрешностей на результат измерений может быть ослаблено повышением качества и числа измерений, а также их математической обработкой. Таким образом, погрешность измерения является суммарной погрешностью, слагаемыми которой являются систематическая λ и случайная ε .

$$\Delta = \lambda + \varepsilon$$

Обычно под случайной погрешностью принято считать разницу между измеренным результатом L_i и истинным значением измеряемой величины X

$$\Delta = L_i - X$$

приняв это условие, можно сформулировать основные свойства случайных погрешностей.

Какие свойства проявляются у случайных погрешностей?

Случайные погрешности представляют собой совокупность элементарных погрешностей, величины которых не могут быть выявлены и учтены в виде поправок к измеренным величинам. Примерами случайных погрешностей могут быть:

- погрешности снятия отсчётов по шкалам приборов;

- погрешности, вызываемые небольшими отклонениями расположения геометрических осей прибора от конструктивных;
- погрешности, вызываемые изменением параметров приборов из-за малых изменений внешних условий.

Несмотря на то, что случайные погрешности не известны ни по абсолютной величине, ни по направлению, они не могут быть исключены из вычислений результатов измерений, они подчиняются определённым закономерностям и обладают свойствами:

- случайные погрешности по абсолютной величине не могут превышать известного предела;
- малые по абсолютной величине погрешности в данном ряду измерений появляются чаще больших;
- одинаковые по абсолютной величине положительные и отрицательные погрешности в данном ряду измерений возможны с одинаковой вероятностью;
- среднее арифметическое из всех случайных погрешностей данного ряда равнозначных измерений одной и той же величины при неограниченном возрастании числа n измерений стремится к нулю.

Приведённые свойства случайных погрешностей основываются на гипотезе: погрешности подчиняются нормальному закону распределения и их математическое ожидание равно нулю.

Какие количественные характеристики применяются для оценки точности измеренной величины?

Для оценки точности результатов измерений используют следующие качественные характеристики:

- средняя арифметическая погрешность (принцип арифметической середины);
- средняя квадратическая погрешность, вычисляемая по формуле Гаусса;
- средняя квадратическая погрешность, вычисляемая по формуле Бесселя;
- вероятная погрешность, которая является случайной погрешностью, больше или меньше которой по абсолютной величине погрешности равновозможны, т.е. они находятся в середине ряда погрешностей, если их абсолютные значения расположить по степени возрастания.

Из названных четырёх критериев наибольшее распространение получили первые два. И в то же время, средняя квадратическая погрешность обладает целым рядом положительных свойств по сравнению с другими:

- является устойчивым критерием для оценки точности даже при небольшом количестве измерений;
- наиболее полно характеризует качество измерений;
- существенное влияние на её величину оказывают большие по абсолютной величине погрешности, которые, по существу и определяют точность измерений;
- имеется возможность определить, с какой степенью доверия получается сама средняя квадратическая погрешность.

Что означает принцип арифметической середины?

Если при равноточных измерениях, некоторая величина имеет истинное значение X и измерена n раз, и при этом получены некоторые значения $l_1, l_2, l_3, \dots, l_n$, то на основании определения погрешности $\Delta = L_i - X$ имеем:

$$\begin{aligned}\Delta_1 &= l_1 - X; \\ \Delta_2 &= l_2 - X; \\ &\dots\dots\dots \\ \Delta_n &= l_n - nX,\end{aligned}$$

Откуда

$$X = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n l_i - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta_i$$

или окончательно

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n l_i$$

Из этого выражения следует, что при бесконечно большом числе измерений средняя арифметическая величина будет равна истинному значению, а при конечном числе измерений она является вероятнейшим значением искомой величины. Таким образом, за вероятное значение измеряемой величины при равноточных измерениях следует принимать среднюю арифметическую величину из ряда результатов измерений - арифметическую середину.

Что означает термин средняя квадратическая погрешность?

При выборе критерия для оценки результатов измерений важно понимать, что на практике результат считается одинаково ошибочным, будь он больше или меньше истинного значения. Поэтому необходимо установить такой критерий оценки точности наблюдений, который не зависел бы от знаков отдельных погрешностей и отображал бы наибольшие из них.

Таким требованиям в определённой степени удовлетворяет такое понятие, как средняя квадратическая погрешность. Формула, по которой определяют среднюю квадратическую погрешность отдельного результата измерений, когда известно истинное значение X измеряемой величины называют формулой Гаусса

$$m = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta_i^2} \quad (i = 1, 2, \dots, n)$$

В противном случае, среднюю квадратическую погрешность отдельного результата измерений определяют через отклонения от арифметической середины δ по формуле Бесселя:

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

Для определения средней квадратической погрешности арифметической середины известную формулу

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n l_i$$

можно представить в виде:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} l_1 + \frac{1}{n} l_2 + \dots + \frac{1}{n} l_n$$

А так как величина погрешности i -го измерения характеризуется средней квадратической погрешностью m_i , то квадрат средней квадратической погрешности арифметической середины будет

$$M^2 = \frac{1}{n^2} m_1^2 + \frac{1}{n^2} m_2^2 + \dots + \frac{1}{n^2} m_n^2$$

Принимая во внимание, что выполненные измерения являются равноточными, то можно предположить, что

$$m_1 = m_2 = \dots = m_n = m$$

тогда
$$M = \frac{m^2}{n} \quad \text{или} \quad M = \frac{m}{\sqrt{n}}$$

Следовательно, средняя квадратическая погрешность арифметической середины в \sqrt{n} раз будет меньше средней квадратической погрешности отдельного измерения.

Как определить среднюю квадратическую погрешность результатов измерений, если эталонное значение измеряемой величины отсутствует?

Предположим, что в результате измерения длины линии на местности, получены результаты, которые сведены в таблицу.

Т а б л и ц а 1.20

Результаты измерения длины линии, и её обработки

Измеренное значение длины линии, м	Отклонение от арифметической середины δ , см	Отклонение от арифметической середины в квадрате δ^2 , см
56,25	+1	1
56,23	-1	1
56,24	0	0
56,26	+2	4
56,23	-1	1
56,23	-1	1
$\bar{x} = 56,24$	$\sum x = 0$	$\sum = 8$

Решение:

- по результатам измерения длины линии находим значение арифметической середины

$$\bar{x} = \frac{1}{n}l_1 + \frac{1}{n}l_2 + \dots + \frac{1}{n}l_n = \frac{\sum l_n}{n} = 56,24 \text{ м.}$$

- определяем отклонение от арифметической середины δ

$$\delta = l_i - \bar{x}, \text{ например, } \delta = l_1 - \bar{x} = 56,25 - 56,24 = +1 \text{ см.}$$

- определяем квадрат отклонение от арифметической середины δ^2
- по формуле Бесселя вычисляем среднюю квадратическую погрешность

$$m = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \delta_i^2} \text{ или } m = \sqrt{\frac{8}{6-1}} = 1,26 \text{ см.}$$

- определяем значение средней квадратической погрешности арифметической середины

$$M = \frac{m}{\sqrt{n}} = \frac{1,26}{\sqrt{6}} = 0,52 \text{ см.}$$

- определяем предельную погрешность

$$\Delta_{np} = 3m = 3 \cdot 1,26 = 3,78 \text{ см.}$$

- вычисляем относительную погрешность

$$\Delta_{om} = \frac{m}{l_{cp}} = \frac{1}{\frac{l_{cp}}{m}} = \frac{1}{\frac{56,24}{1,26}} = \frac{1}{4463} \approx \frac{1}{4500}$$

Что означают термины предельная, абсолютная и относительная погрешности?

Применительно к конкретным результатам измерений следует указывать критерии по их отбраковке. В качестве такого критерия принимают предельную погрешность Δ_{np} . При выполнении ответственных измерений предельная погрешность $\Delta_{np} = 2m$,

для менее ответственных измерений такая погрешность будет составлять $\Delta_{np} = 3m$. Погрешность, определяемая по формуле

$\Delta = L_i - X$, является абсолютной погрешностью. В практике геодезических измерений точность измерений принято характеризовать не только по абсолютному значению (истинному, средней квадратической). Но и её относительной величиной. В качестве относитель-

ной погрешности принимают отношение абсолютной погрешности к значению измеряемой величины $\Delta_{\text{отн}} = 1/(l/m)$.

Пример. Дано $m = 0,11$ м., $l = 212,43$ м. Определить предельную и относительную погрешности при выполнении ответственных измерений.

Решение

Определяем $\Delta_{\text{пр}} = 2m$ $\Delta_{\text{пр}} = 2m = 2 \cdot 0,11 = 0,22$ м.

$$\Delta_{\text{отн}} = 0,11/212,43 \approx 1/2000$$

Как определить среднюю квадратическую погрешность результатов измерений при наличии эталонного значения измеряемой величины?

Предположим, что на местности было выполнено измерение длины линии базиса с высокой точностью, равное $X = 283,567$ м. Полученные результаты измерения линии, выполненного десятью приёмами, сведены в таблицу.

Т а б л и ц а 1.21

Результаты измерения длины линии и результаты её обработки

Измеренное значение длины линии, м	Абсолютная погрешность Δ , мм	Систематическая погрешность λ , мм	Случайная погрешность ε , мм
283,562	-5	-2,6	-2,4
283,568	+1	-2,6	+3,6
283,570	+3	-2,6	+5,6
283,560	-7	-2,6	-4,4
283,555	-12	-2,6	-9,4
283,565	-2	-2,6	+0,6
283,568	+1	-2,6	+3,6
283,572	+5	-2,6	+7,6
283,561	-6	-2,6	-3,4
283,563	-4	-2,6	-1,4
$l_{\text{ср}} = 283,564$	$\sum \Delta = -26$	$\lambda = \sum \Delta / n$	$\varepsilon_i = \Delta_i - \lambda$

Решение:

- определяем абсолютную погрешность, разницу между измеренным и истинным значением длины линии по формуле:

$$\Delta = L_i - X$$

и проверяем принадлежность ряда к случайным погрешностям. В данном случае количество погрешностей с положительным знаком равно 4, а количество отрицательных – 6. Следовательно, первое свойство выполняется вполне удовлетворительно, так как количество измерений невелико $n=10$.

Второе условие не выполняется, так как сумма погрешностей не равна нулю. Следовательно, ряд содержит систематическую погрешность, которую необходимо исключить. Для этого вычислим её значение

$$\lambda = \sum \Delta / n$$

и исключаем из всех членов ряда Δ , тем самым получаем ряд случайных погрешностей

$$\varepsilon_i = \Delta_i - \lambda$$

- вычисляем среднюю квадратическую погрешность по формуле Гаусса, тогда в нашем случае

$$m = \sqrt{\sum \varepsilon^2 / n} = \sqrt{242,4/10} = 4,9 \text{ мм.}$$

- вычисляем значение погрешности самой погрешности

$$m_m = m\sqrt{2n} = 4,9 / \sqrt{2 \cdot 10} = 1,1 \text{ мм.}$$

- определяем предельную погрешность

$$\Delta_{np} = 3m = 3 \cdot 4,9 = 14,7 \text{ мм.}$$

- определяем относительную погрешность

$$\Delta_{отн} = 1/(X/m) = 1/(283,657 \cdot 1000/4,9) = 1/60000.$$

Пример: Длина линии измерена мерной лентой 15 раз. Эта же линия измерена светодальномером, длина линии составила $X = 181,216$ м. Определить систематическую погрешность и оценить её значимость, среднюю квадратическую погрешность одного измерения m , оценить точность вычисления средней квадратиче-

ской погрешности m_m , определить предельную и относительную среднюю квадратическую погрешности измерений.

Т а б л и ц а 1.22
Результаты измерения длины линии и результаты её
обработки

Измеренное значение длины l_i линии, м	Абсолютная погрешность Δ , см	Системат., погрешность λ , см $\lambda = \sum \Delta / n$	Случайная погрешность ε , см $\varepsilon_i = \Delta_i - \lambda$	ε^2
181,22	+0,4	+2,93	-2,53	6,4
181,23	+1,4	+2,93	-1,53	2,4
181,28	+6,4	+2,93	+3,43	12,0
181,24	+4,4	+2,93	+1,43	2,2
181,27	+5,4	+2,93	+2,47	6,1
181,28	+6,4	+2,93	+3,43	12,0
181,21	-0,6	+2,93	-3,53	12,5
181,25	+3,4	+2,93	+0,47	0,2
181,28	+6,4	+2,93	+3,47	12,0
181,25	+3,4	+2,93	+0,47	0,2
181,20	-1,6	+2,93	-4,53	20,6
181,27	+5,4	+2,93	+2,47	6,1
181,23	+1,4	+2,93	-1,53	2,4
181,21	-0,6	+2,93	-3,53	12,5
181,24	+2,4	+2,93	-0,53	0,3
$l_{cp} = 181,25$	$\sum = 44,0$	+2,93	$\varepsilon_i = \Delta_i - \lambda$	107,7

Решение:

- определяем среднее значение измеренной длины линии $l_{cp} = 181,25$;
- определяем абсолютную погрешность $\Delta = L_i - X$;
- оцениваем систематическую погрешность $\lambda = \sum \Delta / n$;
- определяем случайные погрешности $\varepsilon_i = \Delta_i - \lambda$;

- определяем сумму квадрата абсолютной погрешности $\sum \Delta_i^2 = 236,8 \text{ см}^2$;
- определяем среднюю квадратическую погрешность отдельного измерения

$$m = \sqrt{\frac{\sum \varepsilon_i^2}{n}} = \sqrt{\frac{107,7}{15}} = 2,68 \text{ см}$$

или с учётом совместного влияния ошибок случайного и систематического характера

$$m = \sqrt{\frac{\sum \Delta^2}{n} - \left(\frac{\sum \Delta}{n} \right)^2} = 2,68 \text{ см.}$$

- надёжность полученной средней квадратической погрешности

$$m_m = \frac{m}{\sqrt{2n}} = \frac{2,68}{\sqrt{2 \cdot 15}} = 0,49 \text{ см.}$$

- предельную среднюю квадратическую погрешность рассчитывают, приняв $\Delta_{np} = 3m$ или $\Delta_{пред} = 3 \cdot 2,68 = 8,04 \approx 8,0 \text{ см.}$
- относительная средняя квадратическая погрешность будет равна

$$f_{отн} = \frac{m}{l} = \frac{1}{l/m} = \frac{1}{181,2/0,027} \approx \frac{1}{6700}$$

Можно ли обеспечить заданную точность измерения прибором с более низкой точностью?

Да, можно. Например, сколько измерений необходимо выполнить с помощью теодолита 4Т-30П, чтобы получить точность измерения угла равного $10''$? Данные расчёты справедливы при отсутствии систематических погрешностей.

$$n = \frac{m^2}{M^2} = \frac{(30'')^2}{(10'')^2} = 9 \text{ раз.}$$

Как можно вычислить арифметическую середину при неравноточных измерениях?

Ранее уже упоминалось, что к неравноточным измерениям относят те, в которых изменён хотя бы один параметр. Например, результаты измерений одной и той же величины получены приборами различной точности, различным числом приёмов, в различных условиях и т.п., т.е. неравноточные измерения имеют разные средние квадратические погрешности. Для совместной обработки таких измерений вводят понятие веса. Весом называют величину, обратно пропорциональную квадрату средней квадратической погрешности

$$p = \frac{c}{m^2}$$

где c - коэффициент пропорциональности, постоянный для данной группы измерений. Вес характеризует степень надёжности или степень доверия к результату измерения и чем он больше, тем выше доверие по отношению к другим результатам того же ряда.

Допустим, имеются результаты неравноточных измерений одной и той же величины $l_1, l_2, l_3, \dots, l_n$ и их средние квадратические погрешности $m_1, m_2, m_3, \dots, m_n$. Необходимо вычислить среднее арифметическое из этого ряда измерений. При решении задач такого типа сначала вычисляют веса

$$p_1 = c/m_1^2, p_2 = c/m_2^2, p_3 = c/m_3^2 \dots p_n = c/m_n^2$$

Тогда формула общей средней арифметической середины с учётом веса измерений будет

$$l_{cp} = \frac{l_1 p_1 + l_2 p_2 + l_3 p_3 + \dots + l_n p_n}{p_1 + p_2 + p_3 + \dots + p_n}$$

Средняя квадратическая погрешность μ , соответствующая результату измерения, вес которого принят равным единице, или так называемая средняя квадратическая погрешность единицы веса определяют по формуле

$$\mu = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n p_i \cdot v_i^2}$$

где $v_i = l_i - l_{cp}$.

При обработке ряда равноточных измерений, точность арифметической середины выше, чем точность любого отдельно взятого результата, входящего в вычисления. Средняя квадратическая погрешность M весового среднего или общей арифметической середины определяется как $M_o = \mu / \sqrt{p}$.

Пример: Один и тот же угол измерен теодолитом 4Т-30П с результатом $\beta_1 = 35^0 15' 30''$ и точным теодолитом Т5 с результатом $\beta_2 = 35^0 15' 10''$. Вычислить значение угла.

Решение:

Так как приборы имеют различную точность, то необходимо сначала установить веса результатов.

Примем c - коэффициент пропорциональности постоянной $c=100$. В отдельных случаях в качестве константы целесообразно принимать не обезличенное число, а квадрат средней квадратической погрешности одного из результатов измерений.

Средняя квадратическая погрешность при измерении горизонтальных углов данными приборами составляет $30''$ и $5''$ соответственно. Тогда их веса соответственно будут равны

$$p_1 = \frac{c}{m_1^2} = \frac{100}{(30'')^2} = 0,11 \quad \text{и} \quad p_2 = \frac{c}{m_2^2} = \frac{100}{(5'')^2} = 4$$

Тогда значение средней арифметической середины с учётом веса измерений будет равно

$$\beta_{cp} = 35^0 15' 00'' + \frac{(30'') \cdot 0,11 + (5'') \cdot 4}{4 + 0,11} = 35^0 15' 6''$$

Как видно из решения примера, измерение угла теодолитом 4Т-30П никак не оказало влияние на среднее значение угла $35^0 15' 20''$, т.е. по сути, оно было бесполезным. Но, в то же время, если при этом не учитывать веса измеренных углов, то разница оказывается существенной.

Веса измерений удобно выражать не через средние квадратические погрешности, которые обычно не известны, а через другие числовые характеристики, например, число измерений, число приёмов и т.д.

Пример: Определить весовое среднее значение, среднюю квадратическую погрешность единицы веса и среднюю квадратическую погрешность весового среднего значения по данным угловых измерений, выполненных n раз и приведённым в таблице 1.23.

Т а б л и ц а 1.23

Исходные данные и результаты вычислений к примеру

Значение измеренного угла β	Число измерен., n	$p = \frac{n}{3}$	$v = \beta_i - \beta_{cp}$	v^2	$p v^2$
$78^{\circ}08'10''$	3	1	+6	36	36
$78^{\circ}08'06''$	9	3	+2	4	12
$78^{\circ}08'08''$	6	2	+4	16	32
$78^{\circ}08'00''$	15	5	-4	16	80
$78^{\circ}08'04''$	12	4	0	0	0
$\beta_{cp} = 78^{\circ}08'04''$		$\Sigma = 15$			$\Sigma = 160$

Решение:

- Определяем среднее арифметическое значение угла с учётом веса измерений

$$\beta_{cp} = 73^{\circ}08'00'' + \frac{10'' \cdot 1 + 6'' \cdot 3 + 8'' \cdot 2 + 0'' \cdot 5 + 4'' \cdot 4}{1 + 3 + 2 + 5 + 4} = 73^{\circ}08'04''$$

для удобства вычислений общая часть $73^{\circ}08'00''$ вынесена за знак операций, а веса p получили делением на 3.

- Средняя квадратическая погрешность единицы измерения будет равна

$$\mu = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n p_i \cdot v_i^2} \text{ или } \mu = \pm \sqrt{\frac{160}{5-1}} = 6'',3$$

- Средняя квадратическая погрешность общей арифметической середины будет равна

$$M_o = \mu / \sqrt{p} \quad \text{или} \quad M_o = \pm \frac{6'',3}{\sqrt{15}} = \pm 1'',6$$

Как обрабатываются результаты, компонентами которых являются средние арифметические, полученные при разном количестве измерений?

В таком случае за вес может быть принято число измерений, на основе которых получена арифметическая середина. Если в значении веса $p = c/m^2$ вместо средней квадратической погрешности i -го измерения подставить среднюю квадратическую погрешность арифметической середины $M = m/\sqrt{n}$, то получим значение веса

$$p = \frac{c \cdot n}{m^2}$$

Принимая $c = m^2$, будем иметь $p = n$.

Пример: Одну и ту же линию измерили 4 бригады. Первая бригада измерила линию 4 раза, вторая – 10 раз, третья – 6 раз, а четвёртая – 2 раза. Найти общую арифметическую середину из всех измерений. Результаты измерений и вычислений представлены в табл. 1.24

Т а б л и ц а 1.24

Результаты измерений и вычислений

№ бригады	Длина линии l , м	$p = n$	$\delta = l_i - l_{приб}$ мм	$\nu = l_i - l_{приб}$ мм
1	118,354	4	4	-4
2	118,362	10	12	+4
3	118,358	6	8	0
4	118,350	2	0	-8
	$l_{приб} = 118,350$	$\sum p = 22$	-	-

Решение задач подобного типа можно производить по традиционной методике через вычисление и оценку общей арифметической середины. Однако в отдельных случаях может быть оправдано использование более экономичной схемы вычислений.

Решение:

- принимаем $l_{приб} = 118,350$ наименьшее число из измеренных;

- определяем уклонение результатов измерений от приближённого значения $\delta = l_i - l_{\text{приб}}$;

- определяем поправку к приближенному значению

$$\Delta = \frac{\sum \delta_i p_i}{\sum p} = \frac{4 \cdot 4 + 12 \cdot 10 + 8 \cdot 6 + 0 \cdot 2}{22} = 8,4 \text{ мм};$$

- определяем арифметическую середину линии

$$l_{\text{ср}} = l_{\text{приб}} + \Delta = 118,350 + 0,0084 = 118,358 \text{ м};$$

- определяем уклонение от арифметической середины

$$v = l_i - l_{\text{ср}} \text{ мм};$$

- оценку точности определяем по формуле Бесселя применительно к неравноточным измерениям

$$\mu = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n p_i \cdot v_i^2} \text{ или } \mu = 10,8 \text{ мм};$$

- определяем предельную погрешность

$$M_o = \mu / \sqrt{p} \text{ или } M_o = 10,8 / \sqrt{22} = 2,3 \text{ мм}.$$

А предельная погрешность будет составлять $3M_o = 3 \cdot 2,3 \approx 7,0 \text{ мм}$.

Могут ли считаться равноточными измерениями, если были измерены и вычислены разнородные величины?

Поясним на примере. При ориентировании линии, нам необходимо знать направление (угол) и расстояние до точки. Если точность угловых измерений ниже точности линейных или наоборот, то в результате точность одних может совершенно не оказывать влияния на конечный результат.

Однако, при уравнивательных вычислениях, выполняемых на основе линейных уравнений высокого порядка, такая ситуация приводит к потере точности. Поэтому проблема установления весов разнородных измерений является актуальной и желательной.

Пример: При тригонометрическом нивелировании с помощью теодолита 4Т-30П длина линии между точками *A* и *B* была измерена рулеткой по наклонной поверхности и составила $D_{AB} = 100 \text{ м}$. Угол наклона составил $\nu = 10^0$. Превышение в данном случае определяется как

$$h = D_{AB} \sin \nu = 100 \cdot 0,1735 = 17,35 \text{ м.}$$

С какой точностью необходимо измерить длину линии, чтобы влияние угловых и линейных измерений на точность превышения было одинаковое?

Решение:

В соответствии с принципом оценки точности функции измеренных величин

$$m_h = \sin^2 \nu \cdot m_d^2 + (D^2 \cos^2 \nu) \cdot m_\nu^2 / p^2$$

Очевидно, что погрешности угловых и линейных измерений окажут одинаковое влияние на точность определения превышения, т.е. если

$$\sin \nu \cdot m_d = (D \cdot \cos \nu) \cdot m_\nu / p$$

То $m_d = (D / \operatorname{tg} \nu) \cdot m_\nu / p$. Подставив исходные данные, получим $m_d = 82 \text{ мм}$ или в относительной мере $m_d / D = 1 \div 1200$. Средняя квадратическая погрешность измеренного превышения при таких параметрах составит $m_h = 20 \text{ мм}$. В этом случае, каждое слагаемое вносит погрешность в определение превышения 14 мм.

Средняя квадратическая погрешность угловых измерений $m_\nu = 30''$ определяется точностью теодолита.

Можно ли оценить точность положения точки на плоскости?

Как известно, положение точки на плоскости определяется двумя координатами (x, y) . Средняя квадратическая погрешность

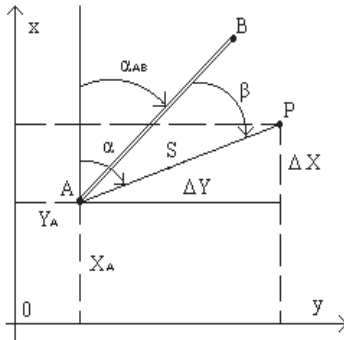


Рис. 1.27. Схема определения положения точки по координатам

Зная погрешности m_s и m_β можно легко вычислить погрешности по любому другому направлению, в частности по осям прямоугольных координат (x, y) . Функция перехода от полярных координат к прямоугольным координатам выглядит

$$X = s \cdot \cos \alpha$$

$$Y = s \cdot \sin \alpha$$

После соответствующих преобразований, получим

$$m_x = \cos^2 \alpha \cdot m_s^2 + (s/p)^2 \sin^2 \alpha \cdot m_\alpha^2$$

$$m_y = \sin^2 \alpha \cdot m_s^2 + (s/p)^2 \cos^2 \alpha \cdot m_\alpha^2$$

Где p – число секунд (206264,8") или минут (3437,747') в радиане в зависимости от размерности m_α . Длина линии должна быть выражена в той же размерности что и m_s .

Применяя принцип равных влияний погрешности измерения расстояний и полярного угла, т.е. полагая что

$$m_s = (s/p) \cdot m_\alpha$$

и зная величину M (задаётся по проекту) можно определить требуемую точность построения угла

$$m_\alpha = \frac{pM}{2s}$$

Данный подход оценки точности положения широко используется для расчёта погрешностей при выносе осей здания полярным способом, когда точность пересечения осей здания задана нормативным документом.

Что необходимо знать о невязке?

Невязка – это отклонение суммы измеренных величин от теоретической суммы измерений. В общем случае она равна

$$f = \sum l_{изм} - \sum l_{теор}$$

В геодезии обычно кроме необходимых измерений выполняют и избыточные измерения. Например, для решения треугольника, достаточно измерить два угла и сторону, но чаще всего измеряют и третий угол, поэтому одно измерение оказывается избыточным.

Избыточные измерения позволяют контролировать выполненные измерения, осуществлять оценку точности. Контроль измерений осуществляется вычислением невязки и сравнением её с допустимой невязкой. Если вычисленная невязка больше допустимой невязки, то измерения бракуются, т.е.

$$f \leq [f]$$

Пример: Допустим, сумма измеренных внутренних углов треугольника теодолитом 4Т-30П составила $\sum \beta_{изм} = 180^{\circ}00'20''$. Теоретическая сумма углов треугольника, как известно, равна $180^{\circ}00'00''$. Следовательно, фактическая невязка составила $+ 0^{\circ}00'20''$. Допустимая невязка определяется по формуле

$$[f] = 2t \cdot \sqrt{n} = 2 \cdot 30'' \sqrt{3} = 1'44''$$

Фактическая невязка меньше допустимой, следовательно, она должна быть распределена равномерно с противоположным знаком. Полученная точность измерений соответствует точности прибора данного класса. При выполнении различных измерений и вычислении невязок полезно будет пользоваться следующими формулами:

- теоретическая сумма внутренних углов в замкнутом теодолитном ходе равна $\sum \beta_{теор} = 180^{\circ}(n - 2)$, а превышений и приращений координат - равна нулю;

- теоретическая сумма в разомкнутых теодолитных ходах, опирающихся на твёрдые точки, вычисляется как

$$\sum \beta_{теор} = (\alpha_n - \alpha_k + 180^{\circ}n)$$

превышений $\sum h_{теор} = H_k - H_n$ и приращений координат

$$\sum \Delta X_{теор} = X_k - X_n$$

$$\sum \Delta Y_{теор} = Y_k - Y_n$$

Как следует правильно записывать результаты вычислений?

При обработке результатов измерений их следует записывать с таким числом значащих цифр, сколько их содержится при снятии отсчёта по измерительной шкале. При определении алгебраической суммы, когда слагаемые имеют разное количество десятичных знаков, необходимо придрерживаться следующего порядка действий:

- выбрать компоненту с наименьшим количеством десятичных знаков;
- все остальные компоненты округлить, оставив в них на один десятичный знак больше, чем их имеется в компоненте с наименьшим количеством десятичных знаков;
- выполнить арифметические операции.

При выполнении операций по умножению, делению, возведению в степень или извлечения корня, необходимо: выбрать компоненту с наименьшим количеством значащих цифр; произвести требуемые вычисления. Полученный результат следует округлить до числа значащих цифр, сколько их имеется в компоненте с наименьшим числом цифр.

Как осуществляется уравнивание вычислений?

Рассмотрим процесс уравнивания простейших функций на отдельном примере без его математического обоснования.

Пример: Допустим, сумма измеренных внутренних углов треугольника теодолитом 4Т-30П составила $\sum \beta_{изм} = 180^{\circ}00'20''$, измерения равноточные. $\alpha = 63^{\circ}20'20''$, $\beta = 58^{\circ}34'46''$ и $\gamma = 57^{\circ}05'14''$. Теоретическая сумма углов треугольника, как известно, равна $180^{\circ}00'00''$. Следовательно, фактическая невязка составила $+0^{\circ}00'20''$. Допустимая невязка равна

$$[f] = 2t \cdot \sqrt{n} = 2 \cdot 30'' \sqrt{3} = 1'44''$$

т.е. условие $f \leq [f]$ выполнено. Следовательно, невязка должна быть распределена равномерно с противоположным знаком

$$\delta = -\frac{f}{n} = -\frac{20}{3} = -7, -7, -6''$$

Вычисляем исправленные углы

$$\alpha = 63^{\circ}20'20'' - 07'' = 63^{\circ}20'13''$$

$$\beta = 58^{\circ}34'46'' - 06'' = 58^{\circ}34'40''$$

$$\gamma = 57^{\circ}05'14'' - 07'' = 57^{\circ}05'07''$$

Задачи по теории погрешностей измерений

Задача 1.5.1 Две линии измерены с результатом $l_1 = 317,2$ м. и $l_2 = 528,1$ м. Истинные значения длин линий соответствуют $X_1 = 317,8$ м. и $X_2 = 528,9$ м. Определить абсолютные и относительные погрешности выполненных измерений. Сделать вывод о том, какая линия измерена точнее?

Задача 1.5.2 Выполнить анализ ошибок, если при многократных линейных измерениях получены результаты +3, +2, +6, -2, -3, -1, +1, -4, +2, -4, -2, +4, -2, +3 см. Определить среднее арифметическое из ошибок по абсолютным величинам и с учётом знака. Установить свойство случайных ошибок из представленного ряда измерений.

Задача 1.5.3 Определить значение арифметической середины из чисел 408,5; 407,9; 408,1; 408,6; 408,4.

Задача 1.5.4 Определить среднюю квадратическую погрешность угловых измерений, выполненных 9 раз, если истинное значение угла известно и составляет $X = 152^{\circ}18'40''$. Вычислить предельно допустимую ошибку по данным, приведённых в таблице.

Т а б л и ц а 1.25

Исходные данные к задаче 1.5.4

Результаты измерений	$\Delta = L_i - X$	Δ^2
$152^{\circ}18'46''$	+ 6	36
$152^{\circ}18'37''$	- 3	9
$152^{\circ}18'24''$	- 16	256
$152^{\circ}18'41''$	+ 1	1
$152^{\circ}18'52''$	+ 12	144
$152^{\circ}18'27''$	- 13	169
$152^{\circ}18'36''$	- 4	16
$152^{\circ}18'52''$	+ 12	144
$152^{\circ}18'27''$	- 13	169
$X = 152^{\circ}18'40''$	+31 -49	944

Задача 1.5.5 При измерении двух линий мерной стальной лентой были получены следующие результаты $l_1 = 312,60$ м. и $l_2 = 142,84$ м., точное значение которых 312,7 и 142,8 м. Какая из линий измерена более точно?

Задача 1.5.6 При измерении угла были получены случайные ошибки: -0,4; +1,0; 0; -0,5; -0,7. Определить предельную ошибку измерения угла.

Задача 1.5.7 Линия измерялась 6 раз. Результаты измерений: 91,65; 91,60; 91,74; 91,58; 91,69; 91,62 м. Определить среднюю квадратическую погрешность одного измерения и арифметической середины.

Задача 1.5.8 Вычислить предельное значение невязки нивелирного хода длиной 10 км, если средняя квадратическая погрешность нивелирования 1 км равна $m = \pm 10$ мм.

Задача 1.5.9 Определить предельное значение угловой невязки в замкнутом теодолитном ходе с количеством углов $n=14$, если измерения равноточны и средняя квадратическая погрешность одного угла равна $\pm 20''$.

Задача 1.5.10 Вычислить относительную погрешность площади трапеции на местности, если основания равны 60,6 м. и 80,4 м., а высота – 26,2 м. Измерения выполнены с относительной погрешностью $\pm 1/2000$.

Задача 1.5.11 Средняя квадратическая погрешность измерения одного угла составляет $m_1 = \pm 30''$, а другого $m_2 = 20''$. Вычислить вес первого угла, если вес второго принять за единицу.

Задача 1.5.12 Средняя квадратическая погрешность однократного измерения угла составляет $30''$. Сколько раз необходимо измерить угол, чтобы средняя квадратическая погрешность арифметической середины не превышала $5''$.

Задача 1.5.13 Получены веса трёх углов: $p_1 = 0,12$; $p_2 = 1,00$; $p_3 = 0,25$. Какова средняя квадратическая погрешность первого и второго углов, если при измерении третьего угла погрешность составляет $m_3 = \pm 10''$.

Задача 1.5.14 Определить значение арифметической середины из чисел 58,5; 57,9; 58,1; 58,6; 58,4.

Тесты по теории погрешностей измерений

1. Истинной погрешностью называют:
 - а) погрешность измерительного прибора;
 - б) наибольшую погрешность;
 - в) разность между результатом измерения и истинным значением определяемой величины;
 - г) среднюю погрешность при многократных измерениях.
2. При равноточных измерениях по формуле $M = m/\sqrt{n}$:
 - а) выявляют постоянно действующую погрешность;
 - б) оценивают точность среднего арифметического;
 - в) оценивают точность измерительного прибора;
 - г) оценивают точность отдельного измерения.
3. Наиболее предпочтительным критерием оценки точности является:
 - а) средняя погрешность;
 - б) вероятная погрешность;
 - в) предельная погрешность;
 - г) средняя квадратическая погрешность.
4. Предельная средняя квадратическая погрешность вычисляется как:
 - а) $\Delta_{пред} = m$;
 - б) $\Delta_{пред} = 2m$;
 - в) $\Delta_{пред} = 3m$;
 - г) $\Delta_{пред} = 4m$;
5. Вероятная погрешность – это:
 - а) значение случайной погрешности, по отношению к которой одинаково возможна погрешность как больше этого значения, так и меньше по абсолютному значению;
 - б) постоянно действующая погрешность;
 - в) предельное значение погрешности;
 - г) разница между наибольшим и наименьшим результатами измерений.
6. Вычисления с использованием результатов геодезических измерений ведутся, как правило:
 - а) с числами, имеющими то же число знаков, что получено при измерениях;
 - б) с числами, на один десятичный знак большими, чем получены измерения;

в) с числами, на два десятичных знака большими, чем полученные измерения;

г) с числами, на три десятичных знака большими, чем полученные измерения.

7. При равноточных измерениях за наилучшее приближение к истинному значению измеряемой величины принимают:

- а) наибольшее значение;
- б) наименьшее значение;
- в) среднее арифметическое;
- г) последний результат.

8. Выражение $m = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \delta_i^2}$ называется формулой:

- а) Красовского;
- б) Гаусса;
- в) Крюгера;
- г) Бесселя.

9. Вес измерения характеризует:

- а) степень надёжности результата измерений;
- б) вес приборов, применяемых при измерениях;
- в) вес груза, применяемого для натяжения инварной проволоки;
- г) величину провисания инварной проволоки.

10. По формуле $M_o = \mu_0 / \sqrt{p}$ оценивают:

- а) среднюю квадратическую погрешность единицы веса;
- б) точность весового среднего;
- в) точность измерительного прибора;
- г) точность отдельного измерения.

11. При неравноточных измерениях по формуле

$\mu = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n p_i \cdot v_i^2}$ определяют:

- а) точность отдельного измерения;
- б) точность среднего арифметического;
- в) среднюю квадратическую погрешность единицы веса;
- г) точность измерительного прибора.

12. По формуле $m = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \delta_i^2}$ определяют:

- а) точность среднего арифметического;
- б) точность измерительного прибора;
- в) постоянно действующую погрешность;
- г) точность отдельного измерения.

13. Радиус земного шара 6371 км, погрешность определения его радиуса $m_R = 100$ м. С какой средней квадратической погрешностью может быть определена длина экватора:

- а) $m_L = \pi \cdot m_R$;
- б) $m_L = 2\pi \cdot m_R$;
- в) $m_L = \pi^2 \cdot m_R$;
- г) $m_L = 2\pi^2 \cdot m_R$;

14. В девятиугольнике все углы измерены с одинаковой средней квадратической погрешностью, равной $20''$. Суммарная средняя квадратическая погрешность многоугольника равна:

- а) $1'$;
- б) $1,5'$;
- в) $2'$;
- г) $3'$.

15. Из выражения $\bar{\chi} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n l_i$ при бесконечно большом числе

измерений средняя арифметическая величина будет стремиться к значению:

- а) вероятному;
- б) случайному;
- в) истинному;
- г) наибольшему.

Ответы на тесты:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
в	б	г	в	а	б	в	г	а	б	в	г	б	а	в

Глава 2. ТОПОГРАФИЧЕСКИЕ ПЛАНЫ, КАРТЫ. ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ СЕТИ

2.1. Азимуты. Дирекционные углы. Румбы. Прямая и обратная геодезические задачи

Что собой представляет фигура Земли с геометрической точки зрения?

По материалам гравиметрических измерений (начало XX века) было установлено, что фигура Земли представляет собой трёхосный эллипсоид, являющейся математической моделью геоида, фигуры, в каждой точке которой ускорение силы тяжести постоянно. Это поверхность Мирового океана. До сравнительно недавнего времени считалось, что эта поверхность имеет выпуклую форму, но на самом деле это не так. По данным космической геодезии, поверхность геоида чрезвычайно сложна, имеет выпуклости и впадины.

Так, например в Атлантическом океане у берегов Исландии имеется выпуклость до 67 м, в районе Бермудского треугольника впадина до 64 м. В Индийском океане у о. Шри –Ланка находится впадина до 112 м, и выпуклость до 50 м к юго-востоку от Африки.

На основе изучения гравитационного поля Земли были вычислены основные параметры эллипсоида применительно к своей территории. Такой эллипсоид носит название *референц-эллипсоида*. В России применяется референц-эллипсоид, размеры которого были вычислены выдающимся советским геодезистом профессором Ф.Н. Красовским. При выполнении инженерно-геодезических работ в строительной отрасли в качестве геометрической фигуры Земли чаще всего принимают шар с радиусом 6371,11 км, эквивалентный по объёму референц-эллипсоиду.

Что собой представляют системы координат, применяющиеся в инженерной геодезии?

Геодезическая система координат позволяет определять положение любой точки, расположенной на эллипсоиде. Геодезическая система координат включает геодезическую долготу, широту и

высоту. В инженерно-геодезических работах различие между астрономической и геодезической системой не учитывается.

Пространственная система прямоугольных координат применяется для определения положения космических объектов и в практике инженерной геодезии пока не применяется.

Прямоугольная система координат представляет собой плоское изображение сферической поверхности, применяющейся при создании топографических планов и карт. Общая теория поперечно-цилиндрической проекции была разработана немецким математиком Карлом Гауссом, а формулы проекции в применении к эллипсоиду немецкого геодезиста Иоганна Луиса Крюгера.

В 1928 г на III геодезическом совещании для всех геодезических работ в СССР была принята проекция Гаусса-Крюгера на эллипсоиде астронома Фридриха Вильгельма Бесселя. В качестве оси абсцисс (X) принят осевой меридиан, а в качестве оси ординат (Y) экватор.

Частная система прямоугольных координат применяется в отдельных случаях при выполнении изыскательских работ, если размеры участка позволяют не принимать во внимание сферичность Земли. Эту систему координат образуют две взаимно перпендикулярные прямые линии, лежащие в горизонтальной плоскости. Одну из линий обычно совмещают с магнитным меридианом и принимают её за ось абсцисс с положительным направлением на север. Вторую линию принимают за ось ординат с положительным направлением на восток. Пересечение осей принимают за начало координат. Четверти нумеруют по ходу часовой стрелки, положение точки определяется координатами x и y .

При произвольном выборе осей подобная система координат называется частной. Она находит применение в том случае, когда нет возможности или нет необходимости выполнить привязку к государственной геодезической сети.

Что следует понимать под термином ориентирование линии?

Ориентированием линии называется определение её направления на местности относительно некоторого направления, принимаемого за начальное направление. За начальное принимают направления истинного, магнитного меридианов или направление,

параллельное осевому меридиану оси x зональной системы прямоугольных координат.

Направление истинного меридиана в данной точке определяется с помощью астрономических наблюдений, магнитного – с помощью магнитной стрелки, которая под действием земного магнетизма устанавливается в направлении магнитного меридиана.

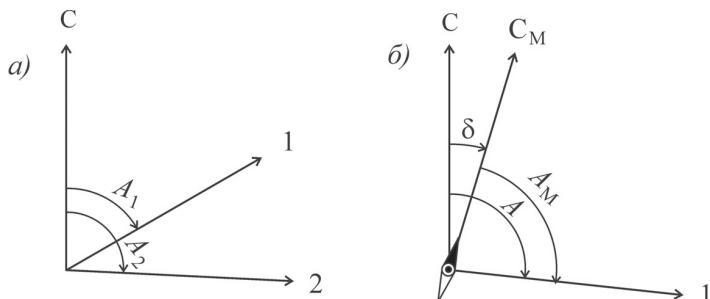


Рис. 2.1. Углы ориентирования: а) – азимуты географические; б) – магнитный азимут

Что следует понимать под термином азимут?

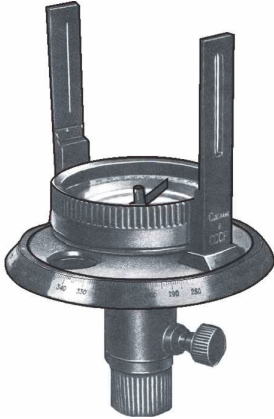
Азимут - угол, измеряемый по ходу часовой стрелки от северного направления меридиана до заданного направления. Если исходным направлением служит геодезический меридиан, то азимут называется геодезическим. Если исходным направлением служит астрономический меридиан, то азимут называется астрономическим. Обобщением обоих понятий служит термин – географический азимут или просто – азимут. Значения азимута лежат в пределах от 0^0 до 360^0 . Азимут заданного направления на местности можно определить астрономическим методом. Зная азимут светила, вычисляемый с использованием астрономического ежегодника, и измеренный угол, вычисляют азимут заданного направления.

Магнитный азимут - угол, отсчитываемый от северного направления магнитной стрелки до заданного направления. Магнитная стрелка компаса отклоняется от направления истинного меридиана на угол δ , который называется *склонением магнитной стрелки*. Если северный конец магнитной стрелки отклоняется от меридиана к востоку, то склонение называют восточным и считают положи-

тельным, а если – к западу, то склонение называют западным и считают отрицательным. Азимут и магнитный азимут связывает зависимость:

$$A = A_m + \delta;$$

где A – азимут, A_m – магнитный азимут, δ – склонение магнитной стрелки. Магнитные азимуты в геодезии измеряют буссолью.



Точность этих измерений невысока (несколько минут), так как склонение магнитной стрелки непостоянно. На территории России оно меняется от места к месту в пределах от -15° до 25° . В аномальных районах (например, в районе Курской магнитной аномалии) эти изменения так велики, что магнитной стрелкой пользоваться нельзя. Кроме того, склонение изменяется во времени, испытывая суточные, годовые и вековые изменения.

Рис. 2.2. Общий вид буссоли БГ-2

Углом ориентирования, применяемым при использовании системы плоских прямоугольных координат Гаусса-Крюгера, является дирекционный угол.

Что следует понимать под термином дирекционный угол?

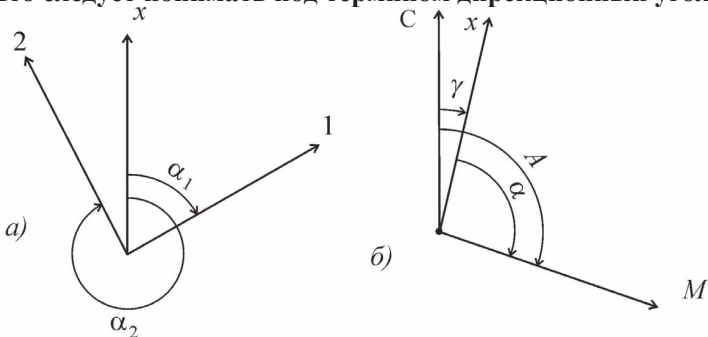


Рис. 2.3. Углы ориентирования: а) – дирекционные углы α_1 , α_2 ; б) – азимут A и дирекционный угол α

Дирекционный угол - угол между северным направлением осевого меридиана или линии ему параллельной и заданным направлением. Угол γ между северным направлением меридиана и направлением оси абсцисс x в прямоугольной системе координат называется *сближением меридианов*. Дирекционный угол от истинного азимута отличается на величину гауссова сближения меридианов γ . При отклонении оси абсцисс от меридиана к востоку, сближение меридианов принято считать положительным, а при отклонении к западу – отрицательным. При этом справедлива формула: $A = \alpha + \gamma$. Где α – дирекционный угол, γ - сближение меридианов. Приблизительно сближение меридианов равно

$\gamma = \Delta\lambda \sin\varphi$, где $\Delta\lambda = \lambda - \lambda_0$, причем λ – долгота географического данной точки и λ_0 – долгота осевого меридиана; φ - широта точки.

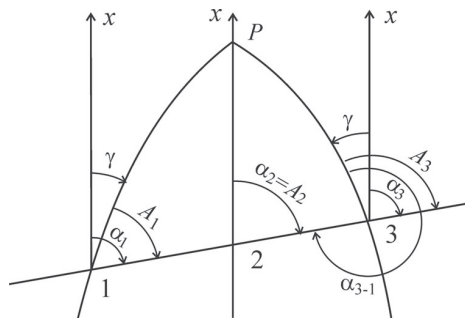


Рис. 2.4. Связь между азимутами и дирекционными углами

На рис. 2.4 показано соотношение между азимутами и дирекционными углами в пределах одной координатной зоны. Где 1 – в западной половине зоны; 2 – на осевом меридиане; 3 – в восточной половине зоны; P – полюс; $1P$, $3P$ – меридианы; $2P$ – осевого меридиан. Легко заметить, что для точек, расположенных к востоку от осевого меридиана зоны, сближение меридианов положительное, а к западу – отрицательное. При этом дирекционные углы в разных точках прямой линии равны $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3$. Поэтому обратный дирекционный угол в точке 3 отличается от прямого дирекционного угла в

точке 1 ровно на 180° , т.е. $\alpha_{1-3} = \alpha_{3-1} \pm 180^\circ$. Азимуты же в разных точках прямой различаются: $A_1 \neq A_2 \neq A_3$, что обусловлено различием сближения меридианов.

При использовании местной системы прямоугольных координат направление оси абсцисс x не связано с направлением осевого меридиана координатной зоны, и тогда дирекционные углы отсчитывают от положительного направления оси абсцисс x .

В практике вычислений находят применение также вспомогательные углы ориентирования – *румбы*.

Что следует понимать под термином румб?

Румб - острый угол, измеряемый от ближайшего направления меридиана (северного или южного). Румбу приписывают название координатной четверти (СВ, ЮВ, ЮЗ, СЗ), в которой расположено заданное направление. Следовательно, румбы могут принимать значения от 0 до 90° . Румбы, как и азимуты, бывают истинные и магнитные. Зависимость между дирекционными углами и румбами представлена в табл. 2.1.

Т а б л и ц а 2.1

Зависимость между дирекционными углами и румбами

Четверть	Дирекционный угол α^0	Румб r^0
I - (СВ)	0-90	α
II - (ЮВ)	90-180	$180^\circ - \alpha$
III - (ЮЗ)	180-270	$\alpha - 180^\circ$
IV - (СЗ)	270-360	$360^\circ - \alpha$

Например, для $\alpha = 240^\circ 36'$ румб равен $r = \text{ЮЗ}: 60^\circ 36'$.

Какие существуют способы определения положения точки на местности?

Точки, обозначенные на местности, для последующих геодезических измерений называют *исходными*. Точки, положение которых на местности необходимо определить, называют *определяемыми*.

ми. Исходные и определяемые точки могут располагаться в горизонтальной и вертикальной плоскости.

Для определения планового положения точки необходимо измерить два элемента. Для контроля, кроме необходимых измерений, выполняют избыточные измерения. В геодезии наиболее распространены шесть способов, применяемых для определения положения точки в плане:

- способ перпендикуляров;
- прямой угловой засечки;
- способ боковой засечки;
- способ линейной засечки;
- способ створной засечки;
- способ полярных координат.

Определение положения точки *способом перпендикуляров* достаточно широко применяется в строительстве при выносе проекта в натуру и выполнении исполнительной съёмки. Суть метода заключается в том, что чтобы определить положение определяемой точки, необходимо из этой точки опустить перпендикуляр на прямую линию и измерить это расстояние, а также измерить расстояние до основания прямой линии. Измеренные расстояния отрезков прямой линии и будут координатами данной точки.

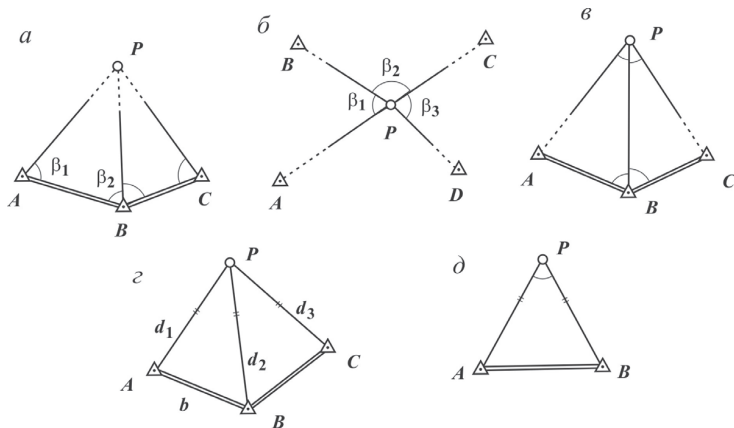


Рис. 2.5. Схемы засечек

Засечкой называется метод определения координат отдельной точки измерением элементов, связывающих ее положение с исходными пунктами. Засечки различают прямые, обратные и комбинированные. В прямой засечке измерения выполняют на исходных пунктах (рис. 2.5 а, з). В обратной засечке – на определяемом пункте (рис. 2.5 б, д). В комбинированной засечке – на исходном и определяемом пунктах (рис. 2.5 в).

В зависимости от вида измерений засечки бывают угловые (рис. 2.5 а, б, в), линейные (рис. 2.5 з), линейно-угловые (рис. 2.5 д). Измеренные углы отмечены дугами, измеренные расстояния – двумя штрихами.

Прямая угловая засечка. На исходных пунктах A и B с координатами x_A, y_A, x_B, y_B измеряют углы β_1 и β_2 . При обработке измерений сначала вычисляют дирекционные углы направлений AP и BP :

$$\begin{aligned}\alpha_{AP} &= \alpha_{AB} - \beta_1; \\ \alpha_{BP} &= \alpha_{BA} + \beta_2.\end{aligned}$$

Дирекционные углы с координатами связаны формулами обратной геодезической задачи:

$$\begin{aligned}\operatorname{tg} \alpha_{AP} &= \frac{y_P - y_A}{x_P - x_A}; \\ \operatorname{tg} \alpha_{BP} &= \frac{y_P - y_B}{x_P - x_B}\end{aligned}$$

Решая эти уравнения относительно x_P и y_P , получим формулы, по которым вычисляют координаты определяемой точки P (формулы Гаусса):

$$x_P = \frac{x_A \cdot \operatorname{tg} \alpha_{AP} - x_B \cdot \operatorname{tg} \alpha_{BP} + y_B - y_A}{\operatorname{tg} \alpha_{AP} - \operatorname{tg} \alpha_{BP}};$$

$$y_P = y_A + (x_P - x_A) \cdot \operatorname{tg} \alpha_{AP}.$$

Для контроля ординату y_P вычисляют вторично по формуле:

$$y_P = y_B + (x_P - x_B) \cdot \operatorname{tg} \alpha_{BP}.$$

Если один из дирекционных углов α_{AP} или α_{BP} близок к 90^0 или 270^0 , то вычисления выполняют по формулам:

$$y_P = \frac{y_A \operatorname{ctg} \alpha_{AP} - y_B \operatorname{ctg} \alpha_{BP} + x_B - x_A}{\operatorname{ctg} \alpha_{AP} - \operatorname{ctg} \alpha_{BP}};$$

$$x_P = x_A + (y_P - y_A) \cdot \operatorname{ctg} \alpha_{AP} = x_B + (y_P - y_B) \cdot \operatorname{ctg} \alpha_{BP}.$$

Для контроля аналогичные измерения и вычисления выполняют, опираясь на другую исходную сторону BC . За окончательные значения координат определяемой точки принимают средние. Существуют и иные формулы решения прямой угловой засечки, например, формулы котангенсов углов треугольника (формулы Юнга):

$$x_P = \frac{x_A \operatorname{ctg} \beta_2 + x_B \operatorname{ctg} \beta_1 + y_B - y_A}{\operatorname{ctg} \beta_1 + \operatorname{ctg} \beta_2};$$

$$y_P = \frac{y_A \operatorname{ctg} \beta_2 + y_B \operatorname{ctg} \beta_1 + x_A - x_B}{\operatorname{ctg} \beta_1 + \operatorname{ctg} \beta_2}.$$

Обратная угловая засечка. На определяемой точке P (рис. 2.5 б) измеряют углы β_1 и β_2 между направлениями на исходные пункты A, B и C . При этом исходные пункты выбирают такие, чтобы они с точкой P не оказались на одной окружности или вблизи нее. Координаты точки P вычисляют по формулам Гаусса, предварительно вычислив дирекционные углы:

$$\operatorname{tg} \alpha_{BP} = \frac{y_A \operatorname{ctg} \beta_1 - y_B (\operatorname{ctg} \beta_1 + \operatorname{ctg} \beta_2) + y_C \operatorname{ctg} \beta_2 + x_A - x_C}{x_A \operatorname{ctg} \beta_1 - x_B (\operatorname{ctg} \beta_1 + \operatorname{ctg} \beta_2) + x_C \operatorname{ctg} \beta_2 - y_A + y_C}$$

$$\alpha_{AP} = \alpha_{BP} - \beta_1.$$

Для контроля измеряют избыточный угол β_3 и вычисляют координаты, используя другую пару измеренных углов.

Линейная засечка. Для определения координат точки P (рис. 2.5 з) измеряют расстояния d_1, d_2 . По формуле косинусов находят углы треугольника APB . Вычисляют дирекционный угол $\alpha_{AP} = \alpha_{AB} - \angle A$, а затем по формулам прямой геодезической задачи – искомые координаты:

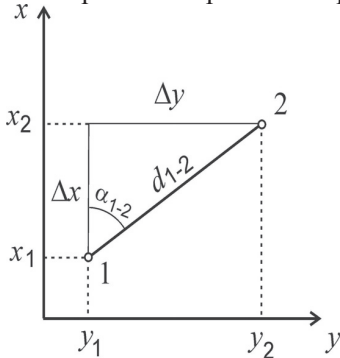
$$x_P = x_A + d_1 \cdot \cos \alpha_{AP}; \quad y_P = y_A + d_1 \cdot \sin \alpha_{AP}.$$

Для контроля измеряют избыточное расстояние d_3 и вычисляют координаты из другого треугольника BPC .

Положение определяемой точки можно установить, если измерить угол направления из исходной точки и расстояние до неё, данный способ называется *способом полярных координат*. Способ полярных координат достаточно широко используется при ориентировании на местности и прокладывании маршрутов по топографическим картам и планам.

Что означает решить прямую и обратную геодезические задачи?

При вычислительной обработке выполненных на местности измерений, а также при проектировании инженерных сооружений и расчетах для перенесения проектов в натуру возникает необходимость решения прямой и обратной геодезических задач.



Прямая геодезическая задача. По известным координатам x_1 и y_1 точки 1, дирекционному углу α_{1-2} и расстоянию d_{1-2} до точки 2 требуется вычислить ее координаты x_2, y_2 . Координаты точки 2 вычисляют по формулам:

$$x_2 = x_1 + \Delta x;$$

$$y_2 = y_1 + \Delta y;$$

где $\Delta x, \Delta y$ – приращения координат

$$\Delta x = d_{1-2} \cdot \cos \alpha_{1-2};$$

$$\Delta y = d_{1-2} \cdot \sin \alpha_{1-2}.$$

Рис. 2.6. Схема к решению прямой и обратной геодезических задач

Обратная геодезическая задача. По известным координатам x_1, y_1 точки 1 и x_2, y_2 точки 2 требуется вычислить расстояние между ними d_{1-2} и дирекционный угол α_{1-2} .

Очевидно, что $\operatorname{tg} \alpha_{1-2} = \Delta y / \Delta x = y_2 - y_1 / x_2 - x_1$.

Для определения дирекционного угла α_{1-2} воспользуемся функцией арктангенса. При этом учтем, что компьютерные программы и микрокалькуляторы выдают главное значение арктангенса

$$\omega = \arctg\left(\frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}\right)$$

лежащее в диапазоне $-90^0 \leq \omega \leq +90^0$, тогда как искомый дирекционный угол α может иметь любое значение в диапазоне от 0^0 до 360^0 . Формула перехода от ω к α зависит от координатной четверти, в которой расположено заданное направление или, другими словами, от знаков разностей

$$\Delta y = y_2 - y_1 \text{ и } \Delta x = x_2 - x_1 \quad (\text{см. таблицу 2.2 и рис. 2.7}).$$

Т а б л и ц а 2.2

Значения дирекционного угла в зависимости от приращения координат

	I четверть	II четверть	III четверть	IV четверть
Δx	+	-	-	+
Δy	+	+	-	-
ω	+	-	+	-
Формулы	$\alpha = \omega$	$\alpha = \omega + 180^\circ$	$\alpha = \omega + 180^\circ$	$\alpha = \omega + 360^\circ$

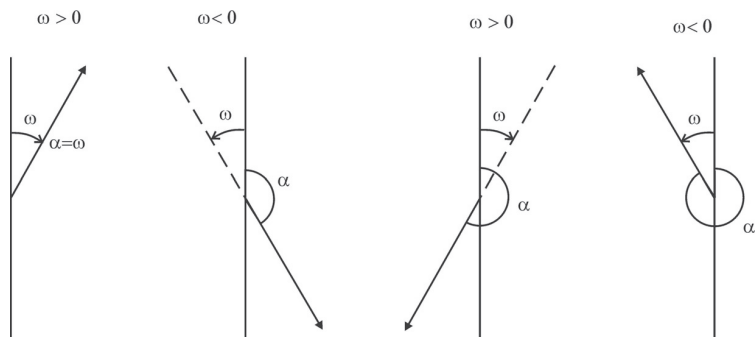


Рис. 2.7. Дирекционные углы и главные значения арктангенса в I, II, III и IV четвертях

Расстояние между исходной точкой и определяемой точкой, вычисляют по формуле:

$$d_{1-2} = \sqrt{(x_2 - x_1)^2} + \sqrt{(y_2 - y_1)^2}$$

или
$$d_{1-2} = \frac{y_2 - y_1}{\sin \alpha_{1-2}} = \frac{x_2 - x_1}{\cos \alpha_{1-2}}$$

Программами решения прямых и обратных геодезических задач снабжены, в частности, электронные тахеометры, что дает возможность в ходе непосредственных измерений определять координаты наблюдаемых точек, вычислять углы и расстояния.

Какая существует зависимость между горизонтальными и дирекционными углами сторон хода?

На рис. 2.8 представлена схема определения дирекционных углов сторон теодолитного хода AB . α_0 - дирекционный угол исходной стороны, $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ - углы теодолитного хода, лежащие справа по ходу от A к B , измеренные геодезическим прибором.

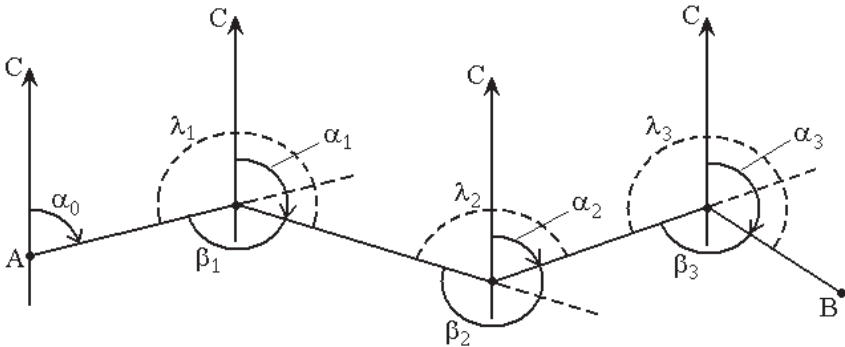


Рис. 2.8. Схема определения дирекционных углов сторон теодолитного хода

Необходимо определить дирекционные углы $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ остальных сторон хода. На основании зависимости между прямыми и обратными дирекционными углами можно записать: $\alpha_1 + \beta_1 = \alpha_0 + 180^0$

из данного выражения следует, что $\alpha_1 = \alpha_0 + 180^0 - \beta_1$. Аналогично вычисляются дирекционные углы последующих сторон теодолитного хода:

$$\begin{aligned}\alpha_2 + \beta_2 &= \alpha_1 + 180^0 \quad \text{или} \quad \alpha_2 = \alpha_1 + 180^0 - \beta_2; \\ \alpha_3 + \beta_3 &= \alpha_2 + 180^0 \quad \text{или} \quad \alpha_3 = \alpha_2 + 180^0 - \beta_3 \\ \alpha_n + \beta_n &= \alpha_{n-1} + 180^0 \quad \text{или} \quad \alpha_n = \alpha_{n-1} + 180^0 - \beta_n\end{aligned}$$

Т.е. дирекционный угол последующей стороны равен дирекционному углу предыдущей стороны плюс 180^0 и минус угол, лежащий справа по ходу. Для получения контрольной формулы после некоторых преобразований можно получить выражение:

$$\alpha_2 = \alpha_0 + 2 \cdot 180^0 - (\beta_1 - \beta_2)$$

Если продолжить аналогичные действия для последующих сторон теодолитного хода, то получим

$$\alpha_n = \alpha_0 + n \cdot 180^0 - (\beta_1 + \beta_2 + \beta_3 + \dots + \beta_n)$$

или

$$\alpha_n - \alpha_0 = n \cdot 180^0 - \sum \beta$$

Эта формула может служить для контроля при вычислении дирекционных углов по увязанным углам β . Если же вместо суммы исправленных углов подставить сумму измеренных углов $\sum \beta$, то та же формула позволит определить невязку f_β измеренных углов теодолитного хода. Если дирекционные углы α_0 и α_n начальной и конечной сторон хода известны, то

$$f_\beta = \sum \beta - n \cdot 180^0 - (\alpha_0 - \alpha_n)$$

Иногда дирекционные углы вычисляют по углам, лежащим слева по ходу от A и B ($\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$).

$$\beta_1 = 360^0 - \lambda_1$$

$$\beta_2 = 360^0 - \lambda_2$$

$$\beta_n = 360^0 - \lambda_n$$

После определённых преобразований получают формулы:

$$\alpha_n = \alpha_{n-1} - 180^0 + \lambda_n$$

$$\alpha_n - \alpha_0 = \sum \lambda - n \cdot 180^0 \quad \text{или} \quad \alpha_n - \alpha_0 = \sum \lambda + n \cdot 180^0$$

$$f_{\beta} = \sum \lambda + n \cdot 180^{\circ} - (\alpha_n - \alpha_o).$$

Задачи по определению азимутов, дирекционных углов и румбов. Решение прямой и обратной геодезических задач

Задача 2.1.1 Вычислить сближение меридианов, если $\varphi = 60^{\circ}$ и разность долгот составляет $\Delta\lambda = 30'$.

Задача 2.1.2 Вычислить дирекционный угол и румб стороны теодолитного хода, если дирекционный угол предыдущей стороны равен $\alpha_{n-1} = 48^{\circ}20'$ а углы между ними измерены по ходу справа и слева $\beta_{П} = 243^{\circ}15'$, $\beta_{Л} = 104^{\circ}07'$.

Задача 2.1.3 Вычислить координаты точек B и C в прямоугольной системе координат, если координаты точки A составляют $x_A = 4175,243$ м, $y_A = 2181,152$ м. Горизонтальные проложения сторон равны $S_{AB} = 54,123$ м, $S_{BC} = 46,143$ м, дирекционный угол $\alpha_{AB} = 65^{\circ}20'$ и горизонтальный угол между ними измерен по ходу справа $\beta_{П} = 148^{\circ}13'$.

Задача 2.1.4 Вычислить горизонтальное расстояние $AB = d$ и дирекционный угол α_{AB} , если координаты точек A и B равны соответственно $x_A = 5271,245$ м, $y_A = 3825,148$ м, $x_B = 4728,101$ м, $y_B = 4002,025$ м.

Задача 2.1.5 Вычислить дирекционные углы и румбы по данным, приведённым в табл. 2.3

Т а б л и ц а 2.3

Исходные данные к задаче 2.1.5

№ варианта	Вычислить румб по дирекционному углу	Вычислить дирекционный угол по румбу
1	$124^{\circ}25'$	СВ $34^{\circ}18'$
2	$156^{\circ}39'$	ЮВ $65^{\circ}47'$
3	$67^{\circ}54'$	ЮЗ $44^{\circ}51'$
4	$256^{\circ}35'$	СЗ $78^{\circ}10'$
5	$280^{\circ}16'$	СВ $74^{\circ}45'$

**Тесты по определению азимутов, дирекционных углов и румбов.
Решению прямой и обратной геодезических задач**

1. Если дирекционный угол линии равен $\alpha = 45^{\circ}25'$ то значение румба будет соответствовать углу, находящемуся в Четверти.
 - а) I;
 - б) II;
 - в) III;
 - г) IV.
2. Для вычисления значения магнитного азимута по известному дирекционному углу необходимо знать:
 - а) горизонтальный угол;
 - б) магнитное склонение;
 - в) угол сближения меридианов;
 - г) магнитное склонение и угол сближения меридианов.
3. Магнитный азимут – это:
 - а) горизонтальный угол, отсчитываемый от северного направления магнитного меридиана против хода часовой стрелки до заданного направления;
 - б) горизонтальный угол, отсчитываемый от северного направления магнитного меридиана по ходу часовой стрелки до заданного направления;
 - в) горизонтальный угол, отсчитываемый от северного направления истинного меридиана по ходу часовой стрелки до заданного направления;
 - г) горизонтальный угол, отсчитываемый от северного направления осевого меридиана по ходу часовой стрелки до заданного направления;
4. Дирекционный угол – это:
 - а) горизонтальный угол, отсчитываемый от северного направления истинного меридиана по ходу часовой стрелки до заданного направления;
 - б) горизонтальный угол, отсчитываемый от северного направления магнитного меридиана по ходу часовой стрелки до заданного направления;
 - в) горизонтальный угол, отсчитываемый от северного направления осевого меридиана по ходу часовой стрелки до заданного направления;

г) горизонтальный угол, отсчитываемый от ближайшего меридиана до заданного направления;

5. Если дирекционный угол α линии равен $150^{\circ}30'$, то обратный дирекционный угол равен:

- а) $+180^{\circ}$;
- б) -180° ;
- в) $180^{\circ}00' - \alpha$;
- г) $29^{\circ}30'$.

6. Румб – это:

а) горизонтальный угол, отсчитываемый от северного направления магнитного меридиана против хода часовой стрелки до заданного направления;

б) горизонтальный угол, отсчитываемый от ближайшего меридиана до заданного направления;

в) горизонтальный угол, отсчитываемый от северного направления истинного меридиана по ходу часовой стрелки до заданного направления;

г) горизонтальный угол, отсчитываемый от северного направления осевого меридиана по ходу часовой стрелки до заданного направления;

7. Если румб линии находится в III четверти (ЮЗ), то дирекционный угол определяется по формуле:

- а) $\alpha = r$;
- б) $\alpha = 180^{\circ} + r$;
- в) $\alpha = 180^{\circ} - r$;
- г) $\alpha = 270^{\circ} - r$.

8. Если румб линии находится во II четверти (ЮВ), то дирекционный угол определяется по формуле:

- а) $\alpha = r$;
- б) $\alpha = 90^{\circ} + r$;
- в) $\alpha = 180^{\circ} + r$;
- г) $\alpha = 180^{\circ} - r$.

9. Если дирекционный угол линии равен $\alpha = 154^{\circ}40'$, то линия направлена на:

- а) северо-восток;
- б) юго-восток;
- в) юго-запад;
- г) северо-запад.

10. Дирекционный угол линии AB равен $\alpha = 28^{\circ}45'$, дирекционный угол линии BA будет равен:

- а) $28^{\circ}45'$;
- б) $118^{\circ}45'$;
- в) $171^{\circ}15'$;
- г) $208^{\circ}45'$.

11. Дирекционный угол линии AB равен $\alpha = 128^{\circ}50'$, дирекционный угол линии BA будет равен:

- а) $308^{\circ}50'$;
- б) $128^{\circ}50'$;
- в) $71^{\circ}10'$;
- г) $38^{\circ}50'$.

12. Румб линии равен ЮВ $r = 28^{\circ}30'$, тогда дирекционный угол будет равен:

- а) $61^{\circ}30'$;
- б) $118^{\circ}30'$;
- в) $171^{\circ}30'$;
- г) $208^{\circ}30'$.

13. При прокладке теодолитного хода углы между сторонами измерялись справа по ходу β_n , тогда дирекционные углы последующих сторон вычисляются по формуле:

- а) $\alpha_n = \alpha_{n-1} + 180^{\circ} + \beta_n$;
- б) $\alpha_n = \alpha_{n-1} + 180^{\circ} - \beta_n$;
- в) $\alpha_n = \alpha_{n-1} - 180^{\circ} + \beta_n$;

г) $\alpha_n = \alpha_{n-1} - 180^0 - \beta_n$;

14. При прокладке теодолитного хода углы между сторонами измерялись слева по ходу β_n , тогда дирекционные углы последующих сторон вычисляются по формуле:

а) $\alpha_n = \alpha_{n-1} + 180^0 + \beta_n$;

б) $\alpha_n = \alpha_{n-1} + 180^0 - \beta_n$;

в) $\alpha_n = \alpha_{n-1} - 180^0 + \beta_n$;

г) $\alpha_n = \alpha_{n-1} - 180^0 - \beta_n$;

15. Прямой дирекционный угол соответствует значению $\alpha = 310^030'$, соответственно румб равен:

а) СЗ $40^030'$;

б) СЗ $49^030'$;

в) ЮВ $40^030'$;

г) ЮВ $49^030'$.

Ответы на тесты:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
а	г	б	в	а	б	б	г	б	г	а	в	б	а	б

2.2. Топографические планы и карты

В чём отличие топографического плана от карты?

Различие топографического плана от карты заключается в применяемых проекциях при их составлении. Планы составляют в ортогональной проекции, поэтому изображаемые на них объекты местности подобны их образам на горизонтальной плоскости. Топографические карты строят в поперечно-цилиндрической проекции К. Гаусса, в которой углы передаются без искажений, а длины имеют искажение, достигающие по краю зоны 1/1 000.

План – уменьшенное и подобное изображение на плоскости горизонтальных проекций небольших участков местности. Планы подразделяются на топографические и контурные. На топографических планах изображают контуры и рельеф местности, а на контурных планах – только ситуацию местности. Наивысшей точностью при измерении расстояний на земной поверхности, является относительная погрешность, равная 1/1 000 000. Следовательно, участки местности с размерами до 20 × 20 км во всех случаях можно считать расположенными не на сфере, а на плоскости.

Карта – уменьшенное и искажённое вследствие сферичности Земли изображение на плоскости всей земной поверхности или отдельных её частей. Искажение связано с картографической проекцией, применяемой при составлении карты.

В условиях применения компьютерных технологий, наряду с изображениями местности на бумажных носителях – картами и планами, используются их цифровые аналоги.

Цифровой картой называют модель значительного участка земной поверхности, сформированную с учётом генерализации изображаемых объектов и принятой картографической проекции. Цифровая модель местности содержит информацию о координатах и высотах точек, очертания объектов, их свойства.

Электронной картой называется изображение местности на экране дисплея, полученное на основе цифровой карты.

Стандартными масштабами топографических планов в России являются: 1:200; 1:500; 1:1000; 1:2000; 1:5000, а топографических карт – 1:10000; 1:25000; 1:50000; 1:100000 и 1:1000000.

Что такое масштаб карты (плана)?

Масштабом называется отношение длины отрезка на плане к длине горизонтальной проекции соответствующего отрезка местности. Численный масштаб записывают в виде дроби с числителем, равным единице, и знаменателем, показывающим, во сколько раз уменьшены на плане длины линий, например

$$1:100\ 000 \text{ или } 1:25000$$

т.е. 1 см топографической карты соответствует 100000 см или 25000 см на местности. Кроме численной записи масштаба, пользуются именованным масштабом, т.е. его словесным описанием, например:

«в 1 сантиметре 250 метров»,

Кроме того, при измерении расстояний на плане или по карте, под его нижней рамкой, помещают линейный масштаб, на котором несколько раз отложено одно и то же расстояние, называемое основанием масштаба и равное обычно 2 см. Крайнее левое основание делят на более мелкие отрезки. Деления линейного масштаба оцифровывают в метрах. Линейный масштаб используют для более точного измерения расстояний с помощью измерителя.



1:1000

Рис. 2.9. Линейный масштаб

Есть ещё один вид масштаба, достаточно широко применявшегося до недавнего времени – поперечный масштаб. Но в настоящее время его использование практически прекратилось, а линейки и транспортиры с нанесённым на них поперечным масштабом промышленностью не выпускаются.

При использовании масштаба, следует иметь в виду такое понятие, как точность масштаба, под которым понимают длину горизонтального отрезка на местности, соответствующего 0,1 мм на плане. Данная величина связана с физиологическими особенностями восприятия предметов с помощью зрения.

Например, в масштабе 1:25000 нельзя изобразить объекты, имеющие в реальности размеры менее 25 м, а в масштабе 1:100000 – объекты менее 100 м.

Как определить координаты в плоской прямоугольной системе координат?

Для решения задач инженерной геодезии от пространственных и геодезических координат переходят к более простым – плоским координатам, позволяющим изображать местность на плоскости и определять положение точек двумя координатами x и y .

Поскольку выпуклую поверхность Земли изобразить на плоскости без искажений нельзя, введение плоских координат возможно только на ограниченных участках, где искажения так малы, что ими можно пренебречь. В России принята система прямоугольных координат, основой которой является равноугольная поперечно-цилиндрическая проекция К.Гаусса. Поверхность эллипсоида изображается на плоскости по частям, называемым зонами. Зоны представляют собой сферические двуугольники, ограниченные меридианами, и простирающиеся от северного до южного полюса. Размер зоны по долготе равен 6° . Нумерация зон идет от Гринвича к востоку.

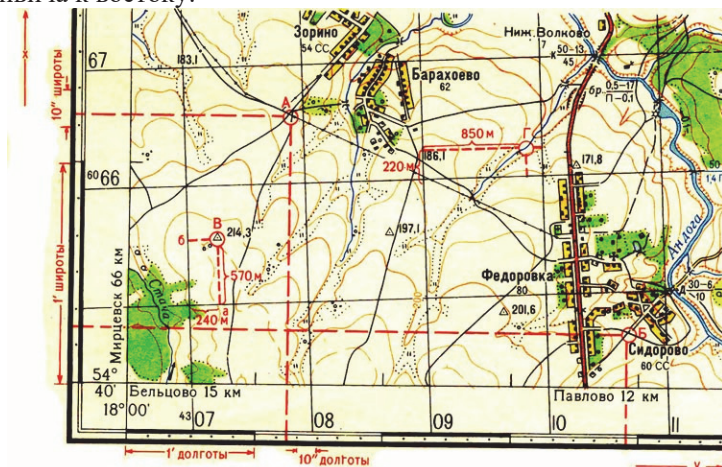


Рис. 2.10. Схема определения географических и прямоугольных координат по топографической карте

Листы топографических карт имеют три рамки: внутреннюю, минутную и внешнюю. Система прямоугольных координат на карте представлена километровой сеткой, образованной проведенными через 1 км координатными линиями x и y . Значения x и y , выраженные в километрах, надписаны на выходах линий за внутреннюю рамку карты. Осевой меридиан принимают за ось абсцисс x , а экватор – за ось ординат y . Их пересечение служит началом координат данной зоны. Например, координаты точки Γ имеют вид:

$$x_{\Gamma} = 6066220 \text{ м}$$

$$y_{\Gamma} = 4309850 \text{ м}$$

Для пространственных прямоугольных, геодезических и плоских прямоугольных координат в России принята единая система координат СК-95, закрепленная на местности пунктами государственной геодезической сети и построенная по спутниковым и наземным измерениям по состоянию на 1995 г.

Как определить по карте географические координаты?

Значения широт и долгот на линиях внутренней рамки связаны с номенклатурой карты и написаны в каждом её углу. Между внутренней и внешней рамками помещена минутная рамка, на которой нанесены деления, соответствующие одной минуте широты (слева и справа) и долготы (наверху и внизу). Точками на рамке отмечены десятки секунд. Например, координаты точки A имеют вид: $A - 54^{\circ}41'14''\text{с.ш.}$ и $18^{\circ}01'15''\text{в.д.}$

Что собой представляет номенклатура карт и планов?

Номенклатурой называется система обозначения (нумерации) отдельных листов топографических карт и планов. В основу номенклатуры топографических карт различных масштабов положена карта масштаба 1:1000000. Границами листов карт являются меридианы и параллели.

Для получения одного листа карты этого масштаба весь земной шар делят делят меридианами и параллелями на колонны и ряды. Меридианы проводят через каждые 6° в восточном и западном направлениях, начиная от Гринвического меридиана. Параллели

проводят через каждые 4^0 к югу и северу от экватора. Номенклатура каждого листа данного масштаба состоит из двух групп цифр: первая определяет широтный ряд - пояс, а другая – номер колонны. Так, например, Москва находится на листе 14-37.

Для получения карты масштаба 1:500000 лист карты масштаба 1:1000000 делят на четыре части и обозначают цифрами 1,2,3,4. Лист карты масштаба 1:200000 получает соответственно делением на 36 частей, и обозначают римскими цифрами от I до XXXVI. Для получения карт масштаба, миллионную карту делят соответственно на 144 части и обозначают от 001 до 144. Листы карт масштабов 1:50000, 1:25000 и 1:10000 получают последовательным делением листа карты масштаба 1:100000 на четыре части из предыдущего более мелкого масштаба и обозначают цифрами 1,2,3,4. Границами листов карт являются меридианы и параллели, в плане представляющие трапецию. Пример номенклатуры и размеры трапеции карт масштабов 1:1000000...1:10000 приведена в табл. 2.4.

Т а б л и ц а 2.4

Номенклатура топографических карт и размеры трапеций

Масштаб	Номенклатура листа	Размеры листа в $^{\circ}$ $'$ $''$ по	
		широте	долготе
1:1000000	13-38	4°	6°
1:500000	13-38-3	2°	3°
1:200000	13-38-31	$40'$	$60'$
1:100000	13-38-73	$20'$	$30'$
1:50000	13-38-73-2	$10'$	$15'$
1:25000	13-38-73-2-2	$5'$	$7'30''$
1:10000	13-38-73-2-2-2	$2'30''$	$3'45''$

Трапецию масштаба 1:5000 получают путём деления каждого листа масштаба 1:100000 на 256 частей и обозначают их арабскими цифрами. Для получения трапеции масштаба 1:2000 лист масштаба 1:5000 делят на девять частей и обозначают арабскими цифрами. Для создания топографических планов используют прямоугольную разграфку с размерами рамок 40×40 см, М1:5000.

Какие условные знаки применяются для изображения ситуации на топографических картах и планах?

На планах и картах объекты местности изображают условными знаками, являющиеся едиными для всей России и различных ведомств. Некоторую особенность в начертании имеют условные знаки при выполнении разбивочных и исполнительных чертежей. Условные знаки принято делить на контурные (масштабные), внемасштабные и линейные.

Контурными (масштабными) условными знаками изображают объекты, форма и размеры которых могут быть переданы в масштабе плана (карты). К ним относятся земельные угодья (леса, сады, пашни, луга), водоёмы, а для более крупных масштабов – здания, сооружения. Очертания объектов (контур) на плане показывают точечным пунктиром или линиями определённой толщины и цвета. Внутри контура помещают знаки, указывающие характер объекта.

Внемасштабными условными знаками изображают объекты, которые необходимо нанести на план, но невозможно изобразить в масштабе (колодцы, пункты геодезической сети и др.).

Линейными условными знаками изображают объекты, длина которых выражается в масштабе плана, а ширина не выражается (линии электропередач и связи, трубопроводы, ограды, тропы).

Для отображения характеристик изображаемых объектов многие условные знаки сопровождаются пояснительными подписями. Так, например, при изображении шоссе указывают его ширину и материал покрытия; при изображении линий связи – число проводов и их назначение; при изображении лесов – породу деревьев, среднюю высоту, толщину стволов и расстояние между деревьями.

Как изображается рельеф местности?

Рельеф местности – совокупность неровностей земной поверхности. В зависимости от характера рельефа, местность подразделяется на горную, холмистую и равнинную. На топографических картах и планах рельеф местности изображают с помощью горизонталей, высотных отметок и условных знаков.

Горизонталь – это замкнутая кривая линия, все точки которой имеют одну и ту же высоту над поверхностью, принятой за начальную. Разность h высот смежных горизонталей, равная рассто-

янию между секущими поверхностями, называется *высотой сечения рельефа*. Значение высоты сечения подписывают у нижней рамки плана.

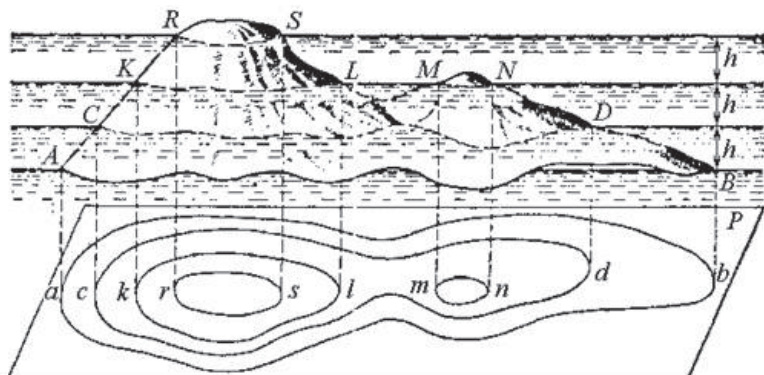


Рис. 2.11. Изображение рельефа с помощью горизонталей

Горизонтальное расстояние между соседними горизонталями называется *заложением*. Минимальным в данном месте является заложение, перпендикулярное к горизонталям, – *заложение ската*. Чем меньше заложение ската, тем круче скат. Направление ската указывают *бергштрихами* – короткими штрихами у некоторых горизонталей, направленными в сторону спуска. На отдельных горизонталях в их разрывах пишут их высоту так, чтобы верх цифр указывал в сторону подъёма.

Горизонтали с круглыми значениями высот делают утолщёнными, а для отражения деталей рельефа используют *вспомогательные горизонтали* с короткими штрихами, проводимые на произвольной высоте. Изображение рельефа горизонталями дополняется вписыванием на план отметок высот около характерных точек рельефа и специальными условными знаками, изображающими обрывы, скалы, овраги и т. п. Основными формами рельефа являются гора, котловина, хребет, лощина и седловина. *Гора* (возвышенность) изображается замкнутыми горизонталями с бергштрихами, обращёнными наружу. Характерными точками горы являются вершина и подшва.

Котловина (впадина) изображается замкнутыми горизонталями с бергштрихами, обращёнными внутрь. Характерными точками котловины являются точки на дне и вдоль бровки.

Хребет – вытянутая возвышенность, изображается вытянутыми горизонталями. Бергштрихи обращены наружу. Характерной линией хребта является его *водораздельная линия*.

Лощина (долина, ущелье, овраг, балка) – вытянутое в одном направлении углубление. Изображается вытянутыми, горизонталями с бергштрихами, обращёнными внутрь. Характерной линией лощины является *водосливная линия* (тальвег) – линия.

Седловина (перевал) – понижение между двумя возвышенностями. По обе стороны к седловине примыкают лощины. Седловина – это место пересечения водораздельной и водосливной линий.

Какие задачи решаются на топографической карте и плане?

Измерение расстояний на картах и планах производят с помощью циркуля - измерителя. Измеряемый отрезок переносят на помещённый под южной рамкой карты линейный масштаб.

Более точные измерения расстояний выполняются с использованием поперечного масштаба. Измеренное расстояние равно сумме расстояний, охваченных раствором циркуля целых, десятых и сотых долей основания.

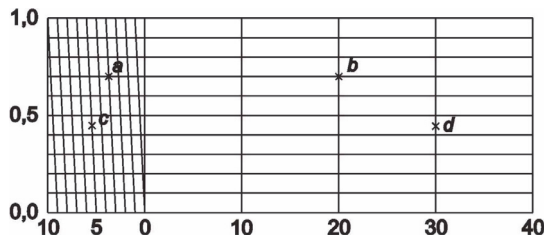


Рис. 2.12. Схема измерения расстояния

На рисунке отрезок ab имеет длину $20+3+0,7=23,7$ м. Длина отрезка cd равна $30+5+0,45=35,45$ м. Из второго примера видно, что длину отрезка удастся измерить с точностью половины наименьше-

го деления (в данном случае 0,05 м). Оцифровка на рисунке соответствует масштабу 1:500.

Для измерения длин извилистых линий применяется специальный прибор - курвиметр, снабжённый колёсиком, которое прокатывают вдоль измеряемой линии. Вращение передаётся на стрелку циферблата, по которому прочитывают измеренное расстояние. Измерение расстояний осуществляется в метрической системе и в дюймовой (английской).

Определение координат точек в географической и в прямоугольной системе координат рассмотрено нами подробно чуть ранее. Для определения географических координат служит минутная рамка карты. Через круглые значения минут широты на западной и восточной рамках южнее определяемой точки прочерчивают линию. Взяв на циркуль-измеритель расстояние от определяемой точки до прочерченной линии, откладывают его на рамке карты и, по десятисекундным делениям определяют число секунд. Для определения долготы через одинаковые значения минут на северной и южной рамках прочерчивают вертикальную линию. Расстояние от точки до линии переносят измерителем на северную или южную рамку и определяют число секунд.

Прямоугольные координаты определяют, пользуясь километровой сеткой, линии которой параллельны координатным осям x и y . Повысить точность определения координат точки можно следующим образом. Измеряя расстояния a и b до ближайшей южной и северной линий сетки, а также расстояния c и d - до ближайшей западной и восточной линий сетки, затем по формулам вычисляют отрезки Δx и Δy :

$$\Delta x = 1000 \frac{a}{a+b}, \quad \Delta y = 1000 \frac{c}{c+d},$$

где множитель 1000 – длина стороны квадрата километровой сетки в метрах. Дополнительный эффект измерения отрезков состоит в ослаблении погрешностей, вызванных деформацией бумаги.

Определение углов ориентирования. Дирекционный угол направления отрезка на карте измеряют транспортиром как угол, отсчитываемый по направлению часовой стрелки от северного

направления линии километровой сетки до направления отрезка. При необходимости перед измерением отрезок удлиняют до пересечения с линией сетки.

Для определения азимута A направления сначала измеряют его дирекционный угол α . Затем вычисляют азимут: $A = \alpha + \gamma$, где γ – сближение меридианов, значение которого подписано под южной рамкой карты и показано на помещённой там же схеме. Азимут можно измерить и непосредственно. Через одноименные значения минут долготы проводят вертикальную линию – меридиан. Угол между северным направлением меридиана и направлением отрезка и есть азимут. Под южной рамкой карты на схеме указано склонение магнитной стрелки δ , позволяющее вычислить магнитный азимут направления по формуле

$$A_M = A - \delta$$

Определение высот точек. Высота точки, лежащей на горизонтале, равна высоте горизонтали. Высоты отдельных горизонталей подписаны в их разрыве. Высоты других горизонталей легко определить, зная высоту сечения рельефа, а также высоты подписанных горизонталей и высоты тех характерных точек рельефа, у которых подписаны их отметки. При этом учитывают, что высоты горизонталей кратны высоте сечения рельефа.

Высота точки M , расположенной между двумя горизонталями определяется по формуле

$$H_M = H_r + h \cdot b / a$$

где H_r – высота меньшей горизонтали, h – высота сечения рельефа, а отрезки a и b – заложение ската и расстояние от точки до горизонтали, измеряемые по карте при помощи циркуля – измерителя.

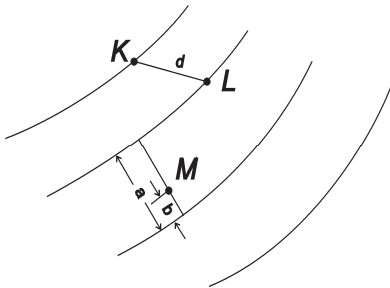


Рис. 2.13. Схема определения высоты точки, расположенной между горизонталями

Построение профиля. Для построения профиля по линии, проведённой на карте, определяют высоты точек в местах её пересече-

ния с горизонталями, водораздельными и водосливными линиями. Измеряют горизонтальные расстояния до них от начальной точки линии. При построении профиля по горизонтальной оси откладывают расстояния, а по вертикальной – высоты. Для наглядности вертикальный масштаб принимают крупнее горизонтального (в 10, реже в 50 раз).

Определение уклонов и углов наклона. Отрезки линий на земной поверхности обычно имеют наклон, отчего начало и конец отрезка находятся на разных высотах. Разность их высот – превышение, а проекция отрезка на горизонтальную плоскость – его горизонтальное проложение. Уклоном i линии называется отношение превышения h к горизонтальному проложению d :

$$i = h / d.$$

Для определения по карте уклона линии на участке KL между двумя горизонталями (рис. 2.13) измеряют его горизонтальное проложение – заложение d . Поскольку концы отрезка лежат на смежных горизонталях, превышение h между ними равно высоте сечения рельефа, подписанного под южной рамкой карты.

Например, сечение горизонталей $h = 1$ м, $d = 50$ м, тогда уклон линии равен

$$i = \frac{h}{d} = \frac{1}{50} = 0,02 \text{ или } 2\%, \text{ или } 20\text{‰}.$$

В то же время, отношение превышения h к горизонтальному проложению d равно тангенсу угла ν наклона линии. Поэтому

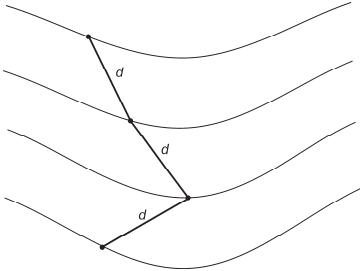
$$i = \operatorname{tg} \nu,$$

что позволяет вычислив уклон, определить по нему угол наклона. Обычно, при пользовании картой углы наклона не вычисляют, а определяют их с помощью графика заложений, расположенного под южной рамкой карты. По горизонтальной оси графика откладывают углы наклона, а по вертикальной – соответствующие этим углам заложения d , выраженные в масштабе карты.

При необходимости многократного определения уклонов пользуются графиком уклонов, построенным аналогично графику заложений, но с отложением по горизонтальной оси не углов наклона, а уклонов.

Проведение линии с уклоном, не превышающим заданного предельного уклона. Необходимость решения такой задачи возникает, например, при выборе трассы будущего линейного сооружения. Для этого необходимо вычислить соответствующее заданному предельному уклону i_{np} заложение, выраженное в масштабе карты

$$d = \frac{h}{M \cdot i_{np}}$$



Чтобы уклон линии не превосходил i_{np} , ни одно заложение на ней не должно быть меньше, чем рассчитанное d . Если расстояние между горизонталями больше рассчитанного, то направление линии можно выбирать произвольно.

Рис. 2.14. Схема выбора трассы линейного сооружения по карте

Определение границ водосборной площади (бассейна). Водосборной называют площадь, с которой дождевые и талые воды поступают в данное русло. Определение водосборной площади необходимо, например, при проектировании автомобильной или железной дороги для расчёта мостов или перепусков воды.

Определение площадей по картам и планам. Определение площадей участков можно выполнить аналитическим способом, графическим способом и с помощью планиметра (механического или электронного).

Суть определения площадей участков аналитическим способом заключается в том, чтобы определить прямоугольные координаты его вершин, тогда площадь участка вычисляют по формуле:

$$S = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{i=n} x_i (y_{i+1} - y_{i-1}) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{i=n} y_i (x_{i-1} - x_{i+1}),$$

где i - номера вершин многоугольника, пронумерованных по ходу часовой стрелки.

По этой же формуле можно вычислить площадь с криволинейными границами, если координаты точек границы сняты так часто, что отрезки между точками можно считать прямыми. В последнем случае съёмка координат выполняется с помощью специального прибора – дигитайзера, а вычисления выполняют с помощью компьютерных программ.

Графические способы определения площадей участков. Участок на плане разбивают на простые геометрические фигуры, элементы которых измеряют с помощью измерителя и поперечного масштаба, а площади вычисляют по известным формулам и суммируют. Разбиение площади на простые фигуры выполняют также, применяя палетки. Палетка – лист прозрачного материала (восковки, лавсана, пластика), на который нанесена сетка квадратов размером 2×2 мм или система равноотстоящих параллельных линий. Наложив палетку с квадратами на план, подсчитывают число квадратов, уместившихся в измеряемой площади, оценивая дробные части квадратов на краях участка на глаз. Результат подсчёта умножают на площадь одного квадрата. Палеткой с параллельными линиями площадь делится на трапеции, в каждой из которых измеряют длину средней линии. Суммируя площади трапеций, равные произведению длины средней линии на расстояние между линиями, определяют площадь участка. Точность определения площади с помощью палеток – 1:50.

Определение площадей участков с помощью планиметра. Планиметрами называются приборы для измерения площадей. В недалёком прошлом наиболее распространены были полярные планиметры, которые в настоящее время практически не используются. Точность определения площади планиметром 1:300. На смену механическим полярным планиметрам пришли электронные планиметры.

Электронный полярный планиметр устроен подобно механическому планиметру. Электронный планиметр – дигитайзер имеет электронное счетное устройство и жидкокристаллический дисплей, который позволяет, кроме измерения площади, снимать координаты точек и решать некоторые другие задачи – определение радиуса окружности, длины дуги, площади сегмента и др. Возможна связь с компьютером через стандартный интерфейс.

Задачи по топографическим картам и планам

Задача 2.2.1 Отрезок, измеренный на местности, равен 5 м. В каком масштабе этот отрезок невозможно построить на бумаге?

Задача 2.2.2 Какова длина отрезка на местности, соответствующая графической точности построения плана $t = 2$ мм, если необходимо составить план в масштабе 1:500; 1:1000; 1:2000; 1:5000; 1:10000.

Задача 2.2.3 На плане масштаба 1:5000 отрезок имеет длину 5,26 см. Определить горизонтальное проложение линии на местности.

Задача 2.2.4 На местности измерена линия $D = 688$ м. Определить её длину на плане в масштабе 1:10000.

Задача 2.2.5 Определить длину линии на местности по исходным данным, представленных в табл. 2.5.

Т а б л и ц а 2.5

Исходные данные к задаче 2.2.5

№ варианта	Масштаб плана	Длина линии, мм	№ варианта	Масштаб плана	Длина линии, мм
1	1:50	125,0	6	1:2000	35,4
2	1:100	134,4	7	1:5000	65,2
3	1:200	116,8	8	1:10000	32,8
4	1:500	68,5	9	1:25000	28,6
5	1:1000	83,4	10	1:50000	24,4

Задача 2.2.6 На карте масштаба 1:10000 определены отметки смежных точек A и B , расстояние между которыми известно. Вычислить уклон и угол наклона линии, соединяющей эти точки.

Т а б л и ц а 2.5

Исходные данные к задаче 2.2.6

Отметки, расстояния	Варианты								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
H_A , м	83,0	47,3	45,1	45,3	35,3	34,2	23,1	45,2	23,1
H_B , м	46,5	42,4	39,2	42,1	34,6	32,5	22,0	44,3	22,5
d_{AB} , м	65	56,8	87,9	50,0	60,0	68,5	50,0	40,0	20,0

Тесты по топографическим картам и планам

1. Какому значению равна широта на полюсе:
 - а) 0^0 ;
 - б) 90^0 ;
 - в) 180^0 ;
 - г) 360^0 .
2. Какому значению равна широта на экваторе:
 - а) 0^0 ;
 - б) 90^0 ;
 - в) 180^0 ;
 - г) 360^0 .
3. В какой зоне расположена точка, прямоугольные координаты которой $X = 6\ 065\ 250$ м, $Y = 6\ 458\ 120$ м:
 - а) 6;
 - б) 60;
 - в) 64;
 - г) 6064.
4. В какой зоне расположена точка, прямоугольные координаты которой $X = 6\ 065\ 250$ м, $Y = 126\ 458\ 120$ м:
 - а) 6;
 - б) 60;
 - в) 126;
 - г) нет такой зоны.
5. К востоку или западу от осевого меридиана расположена точка с координатами $X = 6\ 065\ 250$ м, $Y = 6\ 458\ 120$ м:
 - а) к востоку;
 - б) к западу;
 - в) находится на осевом меридиане;
 - г) нет такой зоны.
6. Параллель, это:
 - а) линия равных высот;
 - б) линия равных расстояний от экватора;
 - в) линия равных расстояний от полюса;
 - г) координатная линия постоянной широты.

7. Полярное сжатие референц – эллипсоида Красовского определяется по формуле:

а) $e = \frac{a^2 - b^2}{a^2}$;

б) $\alpha = \frac{a - b}{a}$;

в) $\alpha = \frac{a^2 - b^2}{1 - a^2}$;

г) $e^2 = 1 - \frac{b^2}{a^2}$;

8. Полярное сжатие референц – эллипсоида Красовского имеет значение:

а) 1:300,1;

б) 1:298,3;

в) 1:280,7;

г) 1:270,9.

9. Прямоугольные координаты точки $X = 6\ 065\ 250$ м, $Y = 5\ 458\ 120$ м соответствуют зоне:

а) 5;

б) 6;

в) 54;

г) 60.

10. Надпись 6067 на горизонтальной линии километровой сетки означает, что:

а) это 60 - ая зона, а расстояние от меридиана равно 67 км;

б) широта этой линии соответствует $60^{\circ}06'07''$;

в) эта линия находится на расстоянии 6067 км к северу от экватора;

г) эта линия находится на расстоянии 6067 км от северного полюса.

11. Надпись 4309 на вертикальной линии километровой сетки означает, что:

а) это расстояние от Гринвичского меридиана, равное 4309 км;

б) долгота этой линии соответствует $43^{\circ}09'$ в.д.;

- в) широта этой линии соответствует $43^{\circ}09'$ с.ш.;
- г) вертикальная линия находится в 4 –ой зоне на расстоянии 309 км от осевого меридиана.
12. Какой широты не существует:
- 0° ;
 - 60° ;
 - 90° ;
 - 95° .
13. Какой долготы не существует:
- 0° ;
 - 90° ;
 - 180° ;
 - 270° .
14. Точка имеет прямоугольные координаты $X = 6\,065\,200$ м, и $Y = 25\,345\,110$ м, расположена в зоне:
- 6;
 - 25;
 - 60;
 - 62.
15. В прямоугольной системе координат точка по оси OX имеет координату $X = 6\,065\,200$ м, что означает:
- точка находится на расстоянии 6 065 200 м от экватора;
 - точка находится на расстоянии 6 065 200 м от полюса;
 - точка находится в 60 – й зоне на расстоянии 65 200 м от осевого меридиана к востоку;
 - точка находится в 60 – й зоне на расстоянии 65 200 м от осевого меридиана к западу.

Ответы на тесты:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
б	а	а	г	а	г	б	б	а	в	а	г	г	б	а

2.3. Геодезические сети

Что понимают под термином геодезическая сеть?

Геодезической сетью называют совокупность пунктов на земной поверхности, закрепленных специальными центрами, положение которых определено в общей для них системе координат и высот. Различают плановые, высотные и пространственные сети.

В *плановых сетях* определяются плановые координаты (плоские – x, y или геодезические – широта B и долгота L) пунктов.

В *высотных сетях* определяют высоты пунктов относительно отсчетной поверхности, например, поверхности геоида.

В *пространственных сетях* определяют пространственные координаты пунктов, например, прямоугольные геоцентрические X, Y, Z или геодезические B, L, H .

Как классифицируются плановые сети?

Началом единого отсчёта плановых координат в России служит центр круглого зала Пулковской обсерватории в Санкт – Петербурге. Геодезические сети по назначению подразделяются на государственные геодезические сети, геодезические сети сгущения, геодезические сети специального назначения и съемочные сети.

Государственная геодезическая сеть покрывает всю территорию Российской Федерации и служит ее главной геодезической основой. Государственная геодезическая сеть (ГГС) предназначена для решения задач, имеющих хозяйственное, научное и оборонное значение:

- установление и распространение единой системы координат на всю территорию страны и поддержание ее на уровне современных и перспективных требований;
- геодезическое обеспечение картографирования территории страны и акваторий окружающих ее морей;
- геодезическое обеспечение изучения земельных ресурсов и землепользования, кадастра, строительства, разведки и освоения природных ресурсов;
- обеспечение геодезическими данными средств наземной, морской и аэрокосмической навигации, аэрокосмического мониторинга природной и техногенной среды;

- изучение поверхности и гравитационного поля Земли и их изменений во времени;
- изучение геодинамических явлений;
- метрологическое обеспечение высокоточных технических средств определения местоположения и ориентирования.

Государственные плановые сети подразделяются на четыре класса. Сеть 1-го класса имеет наивысшую точность и охватывает всю территорию страны. Сеть каждого последующего класса строится на основе сетей высших классов.

По мере совершенствования средств измерений и накопления новых данных ГГС модернизируется. Создаваемая в настоящее время сеть согласно “Основным положениям о государственной геодезической сети Российской Федерации” включает: фундаментальную астрономо-геодезическую сеть, высокоточную геодезическую сеть, спутниковую геодезическую сеть 1 класса, а также астрономо-геодезическую сеть и геодезические сети сгущения.

Положение пунктов ГГС определено сочетанием методов триангуляции, полигонометрии, астрономических и спутниковых измерений. Каталоги координат пунктов в системе СК-95 (координатная система 1995 года) хранятся в территориальных аэрогеодезических предприятиях Федерального Агентства «Роскартография».

В настоящее время для построения государственных сетей используются спутниковые методы измерений. С этой целью принята концепция построения трёх уровней государственной геодезической спутниковой сети, которая предусматривает построение:

- фундаментальной астрономо – геодезической сети (ФАГС);
- высокоточной астрономо – геодезической сети (ВАГС);
- спутниковой геодезической сети 1-го класса (СГС-1).

Фундаментальная астрономо – геодезическая сеть реализуется в виде системы закреплённых на всей территории России 50...70 пунктов со средними расстояниями 700...800 км. Часть этих пунктов (10...15) должна стать постоянно действующими астрономическими обсерваториями, оснащённых телескопами для наблюдений удалённых источников радиоизлучения и спутниковыми приёмниками GPS–ГЛОНАСС. Взаимное положение этих пунктов будет определяться с погрешностью 1...2 см.

Высокоточная геодезическая сеть (ВГС) должна обеспечить распространение на всю территорию страны геоцентрической системы координат и уточнение параметров связи геоцентрической системы с действующей системой координат СК-95. ВГС заменит звенья триангуляции 1-го класса и представляет собой однородные по точности пространственные построения с расстоянием между смежными пунктами 150...300 км. Количество таких пунктов должно составить 500...700 с относительной погрешностью планового положения 2...3 см.

Спутниковая геодезическая сеть 1 класса (СГС-1) должна заменить триангуляцию 1, 2 - го классов со средними расстояниями между пунктами 30...35 км, с погрешностью взаимного положения 2...3 см. Работы по построению такой сети предполагается завершить в ближайшие пять лет.

Характеристики точности рассмотренных выше сетей представлены в табл. 2.6

Т а б л и ц а 2.6

Характеристики государственной спутниковой системы

Сеть	Расстояния между смежными пунктами, км	Погрешность взаимного положения, см	
		в плане	по высоте
ФАГС	700...800	2	3
ВАГС	150...300	2...3	$0,5 \pm 0,7 D$
СГС-1	30...35	2...3	$0,5 \pm 0,2 D$

Примечание: D – расстояние между смежными пунктами в км.

Сети сгущения строят, опираясь на государственную геодезическую сеть 1 и 2 разряда, там, где требуется их дальнейшее сгущение (в населенных пунктах), чем достигается плотность на 1 км² не менее 4 пунктов на застроенной территории и 1 пункт на незастроенной территории.

Геодезические сети специального назначения создают в тех случаях, когда требуется особо высокая точность геодезической сети. Геодезическую сеть специального назначения строят в государ-

ственной или в местной системе координат. Примерами таких сетей являются создаваемые на железных дорогах реперные системы, которые должны служить основой для всех съёмочных и разбивочных геодезических работ, возникающих при проектировании, строительстве и текущем содержании железных дорог, а также для мониторинга пути и сооружений, межевания земель и кадастровой съёмки в пределах полосы отвода.

Съёмочную сеть создают при выполнении съёмки местности. Она развивается от пунктов государственной геодезической сети и сетей сгущения 1 и 2 разрядов. Но при съёмке отдельных участков съёмочная сеть может быть и самостоятельной, построенной в местной системе координат. В съёмочных сетях, как правило, одновременно определяют положение пунктов в плане и по высоте. Координаты пунктов съёмочных сетей определяют проложением теодолитных ходов, построением триангуляции, засечками, спутниковым методом и др.

Какие существуют методы построения плановых сетей?

При построении плановых сетей отдельные пункты сети служат исходными – их координаты должны быть известны. Координаты остальных пунктов определяют с помощью измерений, связывающих их с исходными пунктами.

Плановые геодезические сети создают следующими методами.

Спутниковый метод определения координат геодезических пунктов основан на измерениях по сигналам спутников навигационных систем ГЛОНАСС (Россия) и GPS (США), выполняемых двумя (и более) наземными приемниками. По результатам измерений с высокой точностью определяют разности ΔX , ΔY , ΔZ геоцентрических координат между пунктами. Если координаты одного из пунктов известны, то, прибавив к ним измеренные разности, находят координаты остальных пунктов. Затем вычисленные координаты преобразуют в геодезические или плоские прямоугольные координаты.

Триангуляция – метод определения планового положения геодезических пунктов путем построения на местности сети треугольников, в которых измеряют углы, а также длины некоторых сторон, называемых базисными сторонами. Допустим, что в треугольнике

ABP известны координаты пунктов $A(x_A, y_A)$ и $B(x_B, y_B)$. Решая обратную геодезическую задачу можно определить длину стороны $AB = b$ и дирекционный угол α_{AB} направления с пункта A на пункт B . Длины двух других сторон треугольника ABP могут быть вычислены по теореме синусов

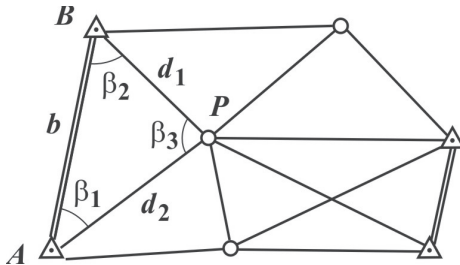


Рис. 2.15. Схема триангуляционной сети

$$d_1 = b \cdot \sin \beta_1 / \sin \beta_3$$

$$d_2 = b \cdot \sin \beta_2 / \sin \beta_3$$

Продолжая подобным образом, вычисляют длины всех сторон геодезической сети. Дирекционные углы сторон вычисляют как:

$$\alpha_{AP} = \alpha_{AB} + \beta_1;$$

$$\alpha_{BP} = \alpha_{AB} \pm 180^\circ - \beta_2.$$

Координаты пункта P определяются по формулам при решении прямой геодезической задачи:

$$x_P = x_A + d_2 \cos \alpha_{AP};$$

$$y_P = y_A + d_2 \sin \alpha_{AP}.$$

Аналогично вычисляют координаты всех остальных пунктов.

Трилатерация – метод определения планового положения геодезических пунктов путем построения на местности сети треугольников, в которых измеряют длины их сторон. Если в треугольнике ABP (рис. 2.15) известен базис b и измерены стороны $BP = d_1$ и $AP = d_2$, то на основе теоремы косинусов, можно вычислить углы треугольника;

$$\cos \beta_1 = (b^2 + d_2^2 - d_1^2) / 2b \cdot d_2;$$

$$\cos \beta_2 = (b^2 + d_1^2 - d_2^2) / 2b \cdot d_1;$$

$$\cos \beta_3 = (d_1^2 + d_2^2 - b^2) / 2d_1 d_2.$$

Аналогичным образом вычисляются углы всех треугольников, а затем, как и в триангуляции, – координаты всех пунктов.

Линейно-угловая сеть строится, как правило, как сеть треугольников, в которых измеряют углы и длины сторон. Такие сети имеют большое число избыточных измерений и поэтому отличаются высокой надежностью.

Полигонометрия – метод определения планового положения геодезических пунктов путем прокладывания теодолитного хода или системы связанных между собой ломаных линий (сети полигонометрии), в которых измеряют углы поворота и длины сторон. Точки полигонометрической сети, где сходятся разные ходы, называются узловыми.

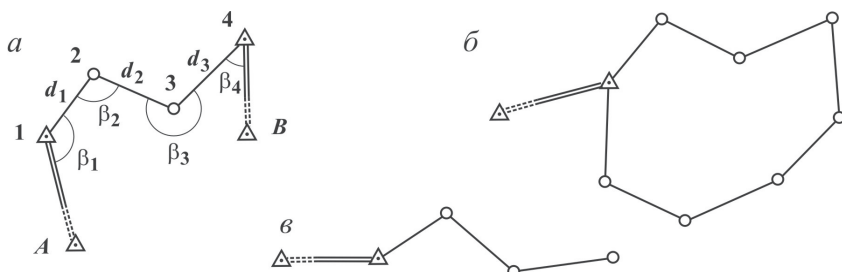


Рис. 2.16. Схемы теодолитных ходов: *a* – разомкнутого; *б* – замкнутого; *в* – висячего.

По форме теодолитный ход может быть разомкнутым – опирающимся на два исходных пункта и два исходных направления (рис. 2.16 *a*); замкнутым – опирающимся на один исходный пункт и одно направление (рис. 2.16 *б*); висячим – разомкнутым ходом, опирающимся на один исходный пункт и одно направление (рис. 2.16 *в*). Проект съемочной сети составляют на топографической карте или плане. Но часто положение ходов выбирают непосредственно на местности в процессе рекогносцировки. Длины ходов, опирающихся на узловые точки, уменьшают на 30%. Места для точек хода выбирают так, чтобы обеспечить взаимную видимость между ними, благоприятные условия для съемки окружающей местности, удобства установки геодезических приборов и сохранность точек. При этом

учитывают ограничения на длину хода между исходными пунктами, приведенные в табл. 2.7.

Т а б л и ц а 2.7

Масштаб съемки	Допустимые длины теодолитных ходов				
	Открытая местность			Закрытая местность	
	Допустимые относительные невязки				
	1:3000	1:2000	1:1000	1:2000	1:1000
	Допустимая длина теодолитного хода, км				
1:5000	6,0	4,0	2,0	6,0	3,0
1:2000	3,0	2,0	1,0	3,6	1,5
1:1000	1,8	1,2	0,6	1,5	1,5
1:500	0,9	0,6	0,3	-	-

Точки ходов закрепляют деревянными кольями, костылями, металлическими трубами и т.п. Часть точек закрепляют знаками долговременной сохранности – столбами, бетонными монолитами.

Углы поворота теодолитного хода измеряют электронным тахеометром или теодолитом. При этом следят, чтобы на всех точках хода измерялись только правые, или только левые по ходу углы. Для измерения угла в его вершине устанавливают прибор, а в соседних точках – визирные цели. Угол измеряют одним приемом.

Длины сторон измеряют электронным тахеометром или светодальномером, а при их отсутствии – землемерной лентой.

Результаты измерения углов и расстояний записывают в журналы установленной формы. При выполнении измерений тахеометром запись результатов измерений выполняется автоматически – в памяти прибора, откуда в последующем они вводятся для обработки в компьютер.

Как осуществляется обработка результатов разомкнутого теодолитного хода?

Исходными данными в разомкнутом теодолитном ходе (рис. 2.16. а) являются координаты начального и конечного пунктов 1 и 4 $x_{нач}$, $y_{нач}$, $x_{кон}$, $y_{кон}$ и дирекционные углы начального $A-1$ и конечного $4-B$ направлений $(\alpha_{нач}, \alpha_{кон})$. При обработке результатов изме-

рений вручную записи ведут в ведомость установленной формы. В соответствующие строки граф вписывают названия или номера точек, начальный и конечный дирекционные углы, координаты начального и конечного пунктов, измеренные углы и горизонтальные проложения сторон хода.

Уравнивание углов. Подсчитывают сумму измеренных углов. Теоретическая сумма углов при этом должна быть равна:

$$\text{для правых углов} - \sum \beta_{теор} = \alpha_{нач} - \alpha_{кон} + n \cdot 180^0;$$

$$\text{для левых углов} - \sum \beta_{теор} = \alpha_{кон} - \alpha_{нач} + n \cdot 180^0$$

где n – число измеренных углов. Разница между фактически измеренной суммой углов и теоретической представляет угловую невязку хода:

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

Вычисленную угловую невязку сравнивают с допустимой невязкой

$$[f_{\beta}] = 30'' \sqrt{n}$$

Если угловая невязка меньше допустимой, что указывает на качество угловых измерений и правильность вычислений, то невязку f_{β} распределяют поровну во все измеренные углы со знаком, противоположным знаку невязки. Полученные при этом поправки

$$\delta_{\beta} = -\frac{f_{\beta}}{n}$$

вписывают над измеренными углами. Так как невязка редко делится на число углов без остатка, поэтому поправки округляют, вводя большие поправки в углы с более короткими сторонами.

Вычисление дирекционных углов. Дирекционные углы вычисляют, используя начальный дирекционный угол $\alpha_{нач}$ и измеренные углы β_i , исправленные поправками δ_{β} , по формулам:

$$\text{для правых углов} - \alpha_i = \alpha_{i-1} \pm 180^0 - (\beta_i + \delta_{\beta});$$

$$\text{для левых углов} - \alpha_i = \alpha_{i-1} \pm 180^0 + (\beta_i + \delta_{\beta}).$$

Здесь индексы $i = 1, 2, \dots, n$ соответствуют номерам углов и сторон.

Вычисление приращений координат выполняют по дирекционным углам и длинам сторон хода:

$$\Delta x_i = d_i \cos \alpha_i;$$

$$\Delta y_i = d_i \sin \alpha_i$$

Вычислив суммы приращения абсцисс $\sum \Delta x$ и ординат $\sum \Delta y$, находят координатные невязки:

$$f_x = \sum \Delta x - (x_{\text{кон}} - x_{\text{нач}});$$

$$f_y = \sum \Delta y - (y_{\text{кон}} - y_{\text{нач}})$$

Вычисляют абсолютную невязку:

$$f = \sqrt{f_x^2} + \sqrt{f_y^2}$$

и относительную невязку хода:

$$f/P$$

где $P = \sum d$ – длина хода.

Если относительная невязка не превосходит допустимой (обычно, 1/2000), то невязки f_x и f_y распределяют в виде поправок к приращениям координат, пропорционально длинам сторон, и со знаками, противоположными знакам невязок:

$$\delta x_i = -\frac{f_x d_i}{P}$$

$$\delta y_i = -\frac{f_y d_i}{P}$$

Суммы поправок должны равняться невязкам с обратным знаком. Если из-за выполненных округлений равенства нарушаются, поправки несколько изменяют, добиваясь соблюдения равенств.

Вычисление координат точек теодолитного хода выполняют по формулам:

$$x_{i+1} = x_i + \Delta x_i + \delta x_i;$$

$$y_{i+1} = y_i + \Delta y_i + \delta y_i$$

Контролем правильности вычислений служит совпадение вычисленных и заданных координат последней точки теодолитного хода.

Как осуществляется обработка результатов замкнутого теодолитного хода?

Последовательность обработки замкнутого хода такая же, как и разомкнутого хода. Исходными данными в замкнутом теодолитном ходе служат координаты одного из пунктов хода и дирекционный угол одной из сторон. Это накладывает на обработку замкнутого хода следующие особенности. Угловая невязка вычисляется по формуле $f_{\beta} = \sum \beta - \sum \beta_{теор}$, в которой в отличие от разомкнутого хода:

$$\sum \beta_{теор} = 180^0(n - 2)$$

где n – число углов в полигоне.

После распределения угловой невязки и вычисления дирекционных углов сторон хода контролируют правильность вычислений – в конце должно быть получено такое же значение дирекционного угла, которое было исходным. Невязки в координатах находят по формулам:

$$f_x = \sum \Delta x;$$

$$f_y = \sum \Delta y.$$

Распределив невязки f_x и f_y , и вычислив координаты точек хода, контролируют правильность вычислений. Вычисленные координаты начальной точки хода должны равняться исходным данным.

Как осуществляется закрепление пунктов плановых геодезических сетей?

Пункты геодезических сетей закрепляют на местности специальными знаками – центрами, призванными обеспечить устойчивость и длительную сохранность пунктов. Вид центра зависит от назначения сети и характера грунта. Нормативными документами установлены типовые конструкции центров, зависящие от класса пункта и местных условий. Они различны для районов с сезонным промерзанием грунтов, для районов с многолетней мерзлотой и для районов с подвижными грунтами.

Центры пунктов государственной геодезической сети 1-4 классов для районов с сезонным промерзанием грунтов представляют собой железобетонный пилон сечением 16×16 см и скрепленный с ним цементным раствором якорь. Основание центра располагают на 50 см ниже границы промерзания грунта, но не менее 1,5 м от поверхности земли. На верху пилона крепится чугунная марка, на верхней поверхности которой отмечена точка, к которой относятся координаты пункта. В 1,5 м от центра устанавливают опознавательный знак – железобетонный столб с укрепленной на нем металлической охранной плитой, обращенной в сторону центра.

До внедрения в геодезическое производство спутниковых технологий над центрами геодезических пунктов устанавливались наружные геодезические знаки – деревянные или металлические сооружения, служащие объектом визирования на пункт и для подъема геодезических приборов над землей. Основными типами наружных знаков являлись пирамида и сигнал.

Как устраиваются высотные геодезические сети?

Государственные высотные геодезические сети создают для распространения по всей территории страны единой системы высот. За начало отсчёта высот в России и в некоторых других странах принят средний уровень Балтийского моря, определение которого проводилось, начиная с 1825 г.

Государственная высотная геодезическая сеть подразделяется на классы. Главной высотной основой для установления единой системы высот на территории России являются нивелирные сети I и II классов. Нивелирные сети III и IV классов служат для обоснования топографических съемок и решения инженерно-строительных задач. На территориях геодезической съемки в масштабах 1:25000 средняя плотность пунктов высотной и плановой сети должна составлять 1 пункт на 50 км^2 . Для съемок в масштабе 1:5000 один пункт триангуляции или полигонометрии плановой основы должен приходиться на 25 км^2 , а высотной основы – 15 км^2 . При более крупных масштабах съемки один пункт плановой триангуляционной основы должен приходиться на 10 км^2 , а высотной – на $5 - 7 \text{ км}^2$. На линиях I, II, III и IV классов закладывают вековые, фундаментальные, грунтовые, скальные, стенные и временные реперы.

2.4. Спутниковые геодезические измерения

Что собой представляет спутниковая навигационная система?

Спутниковые геодезические измерения выполняются с помощью аппаратуры, работающей по сигналам спутников навигационных систем GPS (*Global Positioning System*, США) и ГЛОНАСС (Глобальная навигационная спутниковая система, Россия). В Европейском союзе ведутся работы по созданию еще одной системы – GNSS-2 "GALILEO". Краткие сведения об этих системах приведены в табл. 2.8.

Таблица 2.8

Основные характеристики спутниковых навигационных систем

Основные характеристики	ГЛОНАСС	GPS	GALILEO
Число ИСЗ (резерв)	24 (3)	24 (3)	27 (3)
Число орбитальных плоскостей	3	6	3
Число ИСЗ в орбитальной плоскости	8	4	9
Орбиты	Близкие к круговой		
Высота орбит, км	19100	20145	23200
Наклонение орбит, град.	64,8	55	56
Система координат	ПЗ-90	WGS-84	–

Спутниковая навигационная система включает в себя: подсистему космических аппаратов; подсистему контроля и управления; подсистему аппаратуры потребителей.

Подсистема космических аппаратов состоит из 24 искусственных спутников Земли, обращающихся вокруг Земли по орбитам, близким к круговым, на высоте около 20000 км. У спутников системы GPS период обращения равен половине звездных суток. В любом месте Земли на высоте более 15° над горизонтом одновременно видны от 4 до 8 спутников.

Каждый спутник оснащен измерителем времени – водородным стандартом частоты, генерирующим опорную частоту $f_0 = 10,23$ МГц с суточной нестабильностью $10^{-14} - 10^{-15}$. Спутник излучает радиосигналы на частотах $L_1 = 154f_0 = 1575,42$ МГц (длина волны 19 см) и $L_2 = 120f_0 = 1227,60$ МГц (длина волны 24 см). Сигнал на частоте L_1 модулирован дальномерным кодом свободного доступа *С/А* (от англ. *clear acquisition*), точным кодом *Р* (от англ. *precise*) и навигационным сообщением. Частота L_2 модулирована только кодом *Р*. Коды представляют собой непрерывно излучаемые, образующие по определенным алгоритмам синхронизированные псевдо-случайные последовательности значений нулей и единиц.

Навигационное сообщение представляет собой файл, включающий следующие данные: коэффициенты полинома для вычисления ошибки часов спутника, элементы орбиты для вычисления пространственных прямоугольных координат спутника, параметры для вычисления ионосферной поправки, приближенные элементы орбит всех спутников и др.

Подсистема контроля и управления состоит из главной контрольной станции, станций слежения, управляющих станций. Подсистема предназначена для управления, информационного обеспечения спутников и контроля правильности их функционирования.

Станции слежения, наблюдая за движением спутников, выполняют траекторные измерения, результаты которых сообщают на главную контрольную станцию. На главной контрольной станции по данным, полученным со станций слежения, вычисляют прогнозируемые параметры орбит спутников и другие элементы, входящие в текст навигационного сообщения.

Управляющие станции загружают подготовленную информацию на спутники.

Подсистема аппаратуры потребителей – это множество средств, выполняющих прием информации со спутников, измерение параметров, связывающих положение аппаратуры пользователя с расположением спутников, и их обработку.

В результате обработки получают координаты аппаратуры потребителя и, если требуется, и вектор скорости движения. Аппаратура, входящая в состав геодезического спутникового приемника, имеет общую массу от 4 до 8 кг, рабочий диапазон температур от -20° до $+60^{\circ}$, продолжительность непрерывной работы аккумулятора 6 – 8 часов. Измерения в геодезии выполняют комплектом, состоящим из двух и более геодезических спутниковых приемников. При этом с высокой точностью определяют разности координат приемников, то есть их положение относительно друг друга.

Как производятся кодовые и фазовые измерения?

Кодовые измерения. В приемнике спутниковых сигналов, как и на спутнике, есть датчик частоты и времени, в нем также вырабатываются частоты L_1 и L_2 (в одночастотном приемнике – только L_1). Частота L_1 модулируется копиями кодов C/A и P , частота L_2 – только кодом P .

Интервал времени между появлением на приемнике собственного кода и аналогичного кода, пришедшего от спутника, измеряют. Если бы часы приемника были точно синхронизированы с часами спутника, то формирование кодов на спутнике и в приемнике происходило бы одновременно. В этом случае измеренный интервал времени между появлениями на приемнике собственного кода и кода, пришедшего от спутника, был бы равен времени прохождения сигнала от спутника до приемника, что позволило бы вычислить расстояние до спутника. Однако показания часов спутника и приемника расходятся на некоторую величину, равную ошибке часов спутника и ошибке часов приемника. Поэтому измеренное расстояние существенно отличается от истинного расстояния и носит название – псевдорасстояние.

Координаты объекта, определяемые по результатам кодовых измерений, имеют точностью около 3 м. Для повышения точности пользуются дифференциальным методом. На контрольном пункте с известными координатами устанавливают приемник спутниковых сигналов и, определив его координаты по спутникам, вычисляют расстояния до спутников. Сравнив эти расстояния с вычисленными расстояниями по известным координатам, определяют поправки и

по радио сообщают их потребителям. Поправками исправляют псевдорасстояния, измеряемые потребителями, при этом ошибки определения места относительно контрольного пункта не превышают 1 м.

Кодовые измерения применяются при решении задач навигации. В геодезических работах кодовые измерения играют вспомогательную роль – служат для определения приближенных координат пунктов сети.

Фазовые измерения. Точные геодезические измерения выполняются на несущих частотах L_1 и L_2 (в одночастотных приемниках – только на частоте L_1). При этом измеряют разности фаз между колебаниями, принятыми от спутника, и колебаниями такой же частоты, выработанными в приемнике.

Расстояние между спутником и приемником непрерывно изменяется, отчего изменяется и сдвиг по фазе $N + \Phi$. В приемнике спутниковых сигналов предусмотрено измерение непрерывно изменяющейся разности фаз Φ и подсчет числа переходов ее через ноль, изменяющих целое число волн в расстоянии. Это число прибавляется к измеряемой величине Φ , отчего суммарный сдвиг по фазе оказывается неправильной дробью, а неизвестное число N остается постоянным для всех расстояний от пункта p до спутника s . Определение целого числа N называется разрешением его неоднозначности.

Разности фаз измеряют с высокой точностью, соответствующей долям миллиметра. Однако вычислить координаты приемника с указанной точностью не удастся из-за ошибок орбиты, влияния ионосферы и других причин. Точность фазовых измерений реализуют, применяя метод относительного определения положения пунктов. Результаты одновременных наблюдений одного и того же спутника в двух пунктах содержат значительные, но общие, близкие по величине погрешности. Поэтому разности результатов измерений от них практически свободны и позволяют с высокой точностью определять разности координат X , Y , Z двух пунктов, то есть трехмерный вектор ΔX , ΔY , ΔZ , их соединяющий. Следовательно, зная

координаты X , Y , Z одного пункта, можно, определить разности координат ΔX , ΔY , ΔZ до другого и вычислить его координаты.

Фазовые измерения в геодезических работах являются основными, обеспечивая возможность построения геодезических сетей высокой точности.

В каких режимах производятся спутниковые геодезические измерения?

Спутниковая геодезическая аппаратура обеспечивает возможность работы в различных режимах.

В режиме "Статика" одновременные измерения на двух или нескольких пунктах выполняются неподвижными приемниками. Один из приемников принимают за базовый. Положение остальных приемников определяется относительно базового. Измерения в режиме "Статика" выполняют, как правило, на больших расстояниях между пунктами (свыше 15 км). Время наблюдений зависит от расстояния между пунктами, числа спутников, состояния ионо- и тропосферы, требуемой точности и составляет обычно не менее 1 ч.

Режим "Быстрая статика" позволяет сократить продолжительность измерений, благодаря возможности применения на линиях до 15 км активных алгоритмов разрешения неоднозначности. Продолжительность наблюдения в этом режиме составляет 5–20 мин.

Режим "Реокупация" используется, когда нет одновременной видимости на необходимое число спутников. Тогда измерения выполняют за несколько сеансов, накапливая нужный объем данных. На этапе компьютерной обработки все данные объединяют для выработки одного решения.

Режим "Кинематика" служит для определения координат передвижной станции в ходе ее перемещения. При работе в этом режиме необходимо, чтобы приемники на базовой и передвижной станциях поддерживали непрерывный контакт со спутниками в течение всего времени измерений. До начала движения выполняют инициализацию – разрешение неоднозначности фазовых измерений.

Режим "Стой-иди" – такая разновидность кинематического режима, когда передвижную станцию перемещают с точки на точку, делая на каждой точке остановку и выполняя для повышения точно-

сти несколько эпох измерений в течение 5–30 с. Значения средних квадратических погрешностей определения положения, мм, принято характеризовать формулой

$$m = a + b \cdot D$$

где D – расстояние между базовым и подвижным приемниками, км. Значения параметров a и b приведены в табл. 2.9.

Т а б л и ц а 2.9

Параметры, характеризующие точность определения
положения

Режим измерений	Аппаратура			
	двухчастотная		одночастотная	
	a , мм	b , мм/км	a , мм	b , мм/км
Статика	5	1	10	2
Быстрая статика	5...10	1	10	2
Реокупация	10...20	1	10...20	2
Кинематика	10...20	1	20...30	2
Стой-иди	5...10	1	10...20	2

Возможные схемы построения геодезической сети с помощью спутниковых измерений показаны на рис. 2.1. Каждая линия на схеме указывает, что на концах линии установлены спутниковые приемники, с помощью которых выполняют синхронные измерения, определяющие приращения координат ΔX , ΔY , ΔZ по данной линии.

Какие методы используются для построения геодезических сетей при спутниковых измерениях?

Геодезическая сеть может быть построена с применением лучевого и сетевого методов.

При *лучевом методе* координаты определяемого пункта получают, измеряя вектор, соединяющий его с опорным пунктом. Для контроля координаты определяют дважды, т.е. по результатам

измерений, связывающих определяемый пункт с двумя опорными пунктами.

При *сетевом методе* определяемые пункты связывают измерениями не только с опорными пунктами, но и между собой. Возможны сети, где одну часть пунктов сети определяют сетевым, а другую – лучевым методом.

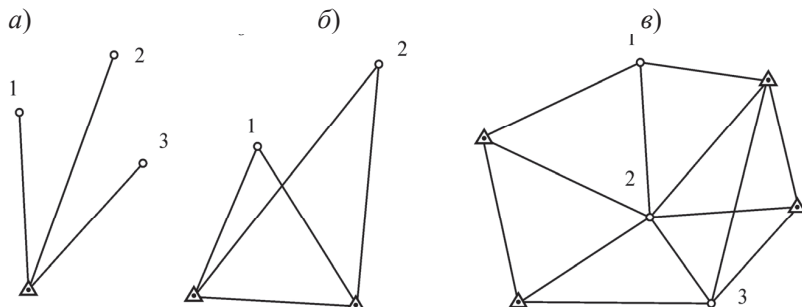


Рис. 2.17. Схемы построения спутниковых геодезических сетей:
 а, б – лучевой метод, в – сетевым методом.

Спутниковые технологии координатных определений имеют существенные преимущества перед традиционными методами. Им свойственны высокая точность, независимость от погоды и времени суток, оперативность, возможность определения координат при отсутствии взаимной видимости между пунктами. В то же время в закрытой и полужакрытой местности (лес, городские кварталы) применять их довольно трудно. В таких случаях спутниковые методы сочетают с традиционными методами. При этом возможны следующие варианты:

- развитие сети традиционными методами от пунктов, определенных спутниковыми приемниками;
- развитие сети спутниковыми методами от пунктов, определенных традиционными методами;
- ступенчатое развитие сетей, при котором спутниковые и традиционные измерения чередуются.

Для определения координат пунктов с помощью спутниковой аппаратуры необходимо выполнить следующий комплекс работ: подготовительные работы, непосредственные измерения и их обработку с использованием программных пакетов, прилагаемых к спутниковой аппаратуре.

Какие погрешности оказывают влияние на точность спутниковых измерений?

Влияние атмосферы. К числу основных источников погрешностей спутниковых измерений относится неточное знание скорости радиосигнала на пути от спутника к приемнику. Наибольшее влияние на эту скорость оказывает состояние ионосферы – верхних слоев атмосферы, где газ содержит большое число свободных электронов и положительных ионов. Ионизация происходит в основном за счет энергии Солнца. Ионосфера окружает Землю в виде ионизированных слоев, расположенных на высотах от 60 – 90 до 500–1000 км.

В ионизированной среде показатель преломления для радиодиапазонов, используемых в системах GPS и ГЛОНАСС, зависит от частоты. При этом скорость распространения колебаний одной частоты (фазовая скорость) отличается от скорости распространения результирующей энергии колебаний нескольких близких частот (групповая скорость). Поэтому результаты фазовых и кодовых измерений искажаются различно. Измеренные кодовые псевдорасстояния оказываются длиннее, а фазовые – короче геометрических дальностей. Величина ионосферных ошибок измеренных псевдорасстояний зависит от многих причин (солнечной активности, времени суток, места, направления трассы сигнала) и может иметь значения до 50 м.

Ионосферные ошибки кодовых измерений уменьшают комбинированием результатов измерений на двух частотах, а в одночастотных приемниках – введением поправок.

Ионосферные ошибки фазовых измерений ослабляют, применяя метод относительных определений. Результаты одновременных фазовых измерений в двух пунктах сигнала одного и того же спутника содержат практически одинаковые погрешности, вызванные влиянием ионосферы. Поэтому разность результатов таких измерений от них практически свободна.

На распространение сигнала влияет также *тропосферная рефракция*, под которой понимают задержку радиосигналов в нейтральных слоях атмосферы – стратосфере и тропосфере, где показатель преломления радиоволн с частотами до 15 ГГц от частоты радиосигнала не зависит и потому одинаков для обеих несущих частот L_1 , L_2 и кодовых сигналов.

Многопутность. В ряде случаев спутниковым приемником, кроме полезного прямого сигнала, могут быть приняты сигналы, отраженные земной поверхностью или близлежащими объектами (например, зданиями), а также сигналы, обогнувшие вследствие дифракции мелкие предметы. Меры по исключению искажению дальностей при влиянии многопутности:

- установка антенны в местах, где отсутствуют отражающие поверхности;
- использование антенн, на которых установлены экраны, отсекающие отраженные от земной поверхности лучи.

2.5. Топографические съёмки

Что означает понятие «топографическая съёмка»?

Топографическая съёмка – это комплекс геодезических работ, выполняемых на местности для составления топографических карт и планов. Различают съёмки для составления топографических планов крупных масштабов (1:500, 1:1000, 1:2000, 1:5000) и мелких (1:10000, 1:25000). В инженерной геодезии выполняют в основном съёмки крупных масштабов.

Съёмке и отображению на топографических планах подлежат все элементы ситуации местности, существующей застройки, благоустройства, подземных и наземных коммуникаций, а также рельеф местности. Точки, определяющие положение на плане контуры ситуации условно делят на твёрдые и нетвёрдые. К твёрдым точкам относят чётко определяемые контуры сооружений, построенные из долговременных материалов. Контуры, не имеющие чётких границ, например луга, леса, пашни, относят к нетвёрдым точкам.

Топографическую съёмку выполняют с точек местности, положение которых в принятой системе координат известно. При по-

строении съёмочного обоснования одновременно определяют положение точек в плане и по высоте. Плановое положение точек съёмочного обоснования определяют: проложением теодолитных и тахеометрических ходов, построением аналитических сетей. Высоты точек съёмочного обоснования чаще всего геометрическим и тригонометрическим нивелированием.

Для составления топографических планов применяют: тахеометрическую, аэрофототопографическую, теодолитную, аналитическую, мензольную съёмки, а также производят нивелирование поверхности и съёмку с помощью спутниковых приёмников. Применение того или иного метода зависит от масштаба съёмки и имеющегося оборудования, причём применение некоторых методов съёмки, например, мензольной, в настоящее время практически утрачено.

Как выполняется тахеометрическая съёмка?

Тахеометрической называют топографическую съёмку местности, выполняемую с помощью тахеометров. Съёмке подлежат и ситуация, и рельеф. Тахеометром называют прибор, сочетающий теодолит – для измерения углов и дальномер – для измерения расстояний. Простейшим тахеометром является любой теодолит, снабженный нитяным дальномером.

Тахеометрическую съёмку применяют при съёмке в крупных масштабах небольших участков местности, особенно незастроенных или малозастроенных. Ее применяют также при съёмке трасс существующих и проектируемых линейных сооружений (автомобильных и железных дорог, ЛЭП, трубопроводов и т. п.).

Съёмочной основой тахеометрической съёмки чаще всего служат теодолитно - высотные ходы, т.е. теодолитные ходы, в которых измеряют ещё и вертикальные углы, что позволяет методом тригонометрического нивелирования вычислить высоты пунктов хода. Другой вид съёмочной основы – теодолитно-нивелирные ходы, т.е. теодолитные ходы, в которых высоты пунктов определяют геометрическим нивелированием, ходы которого прокладывают по сторонам теодолитных ходов. Применяют также тахеометрические ходы, в которых длины линий измеряют нитяным дальномером, а превышения – методом тригонометрического нивелирования.

Съемку ситуации и рельефа местности в современных условиях в основном производят электронными тахеометрами преимущественно полярным способом.

Электронным тахеометром называется прибор, объединяющий в себе светодальномер, электронный теодолит и микро-ЭВМ. Светодальномер прибора измеряет расстояние до отражателя. Датчики горизонтального и вертикального кругов электронного теодолита выдают отсчеты по кругам. Отсчеты расстояния и углов передаются на индикацию и регистрацию. Микро-ЭВМ обеспечивает возможность решения целого ряда стандартных геодезических задач, для чего прибор снабжен набором необходимых прикладных программ. Полученная в результате измерений и вычислений информация высвечивается на цифровом табло, а также регистрируется во внутренней памяти прибора для последующего ввода в компьютер для дальнейшей обработки.

Электронный тахеометр имеет, как правило, две панели управления, расположенные с обеих сторон прибора. На панели управления расположены дисплей и клавиатура для управления процессом измерений и ввода информации вручную. Ввод информации и управление возможны и с дистанционного пульта управления (контроллера). Тахеометр может иметь световой указатель створа, облегчающий установку вехи с отражателем на линию, по которой направлена труба прибора.

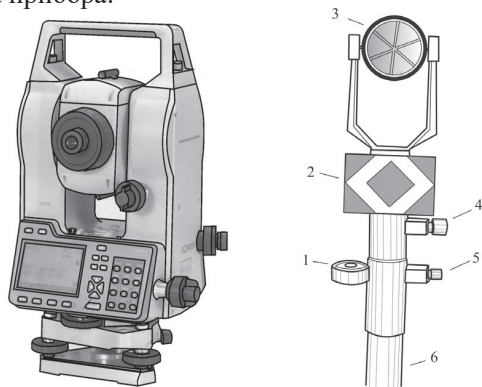


Рис.2.18. Электронный тахеометр и однопризменный отражатель

Где, 1 - уровень; 2 – визирная марка; 3 – призма;
4, 5 – закрепительные винты; 6 - штанга.

При съемке местности электронный тахеометр устанавливают на точке съемочной основы, вводят в память координаты и высоту точки стояния, высоту прибора и отражателя, температуру воздуха и атмосферное давление. Наведя трубу на соседнюю точку хода, устанавливают отсчет по горизонтальному кругу, равный $0^{\circ} 00'$.

Реечник ставит вежу с отражателем поочередно на съемочных пикетах. Тахеометром измеряют горизонтальный и вертикальный углы и расстояние до отражателя. Горизонтальный угол и вычисленные по результатам измерений горизонтальное расстояние d , превышение h и высота пикета $H_{п}$ высвечиваются на табло и регистрируются в памяти прибора. Предусмотрена возможность высвечивания и регистрации и иных данных.

Собранную информацию экспортируют в память компьютера и обрабатывают, используя такие пакеты программ, как "CREDO", "Топаз" и др. При этом получают электронную версию топографического плана. При необходимости ее можно распечатать на плоттере и получить план на бумаге.

Программное обеспечение электронных тахеометров поддерживает решение достаточно широкого круга задач. Обычно бывает предусмотрен ввод и сохранение данных о станции: ее координат, номера точки, высоты прибора, имени оператора, даты, времени, сведений о погоде (ветре, температуре, давлении). По результатам измерений выполняется вычисление горизонтальных и вертикальных углов, дирекционных углов линий, горизонтальных проложений, превышений, высот точек, где установлен отражатель, приращений координат, плоских и пространственных координат наблюдаемых точек. Предусмотрена возможность вычисления координат по результатам засечек, вычисления расстояния до недоступной для установки отражателя точки и координат недоступной точки, определения высоты недоступного объекта. Для обеспечения разбивочных работ служат программы вычисления угла и расстояния для выноса точки с заданными координатами. При решении задач учитывается рефракция световых лучей в атмосфере.

В настоящее время на рынке имеется достаточно широкий выбор электронных тахеометров, выпускаемых разными фирмами, в числе которых Уральский оптико-механический завод (Россия), *Sokkia* (Япония), *Trimble* (США), *Leica* (Швейцария) и др. Характе-

ристики приборов разных марок различаются. Средние квадратические погрешности измерения углов тахеометров лежат в пределах от 1" до 6". Максимальные дальности измерения расстояний на однопризменный отражатель различаются от 1600 до 5000 м. При этом, точность измерений в среднем характеризуется ошибкой $2 \text{ мм} + 2 \times 10^{-6} D$, где D – расстояние. Многие из электронных тахеометров позволяют измерять расстояния без отражателя. Дальность таких измерений меняется в разных приборах в пределах 70 – 350 м.

Использование электронных тахеометров значительно повышает производительность труда, упрощает и сокращает время на обработку результатов измерений, исключает такие ошибки исполнителя, которые имеют место при визуальном взятии отсчетов, при записи результатов измерений в журналы, в вычислениях. При работе с электронным тахеометром отпадает необходимость иметь калькулятор для выполнения полевых вычислений.

Отражатели бывают призменные и плёночные. Основным элементом призменного отражателя является стеклянная трипельпризма отражающая световые лучи в тех направлениях, откуда они пришли. Для увеличения дальности измерений изготавливают многопризменные отражатели.

Плёночный отражатель представляет собой отражающую свет пластиковую плёнку размером 1×1 см и больше, на которую нанесены штрихи (например, вертикальный и горизонтальный). Дальность измерений с плёночными отражателями меньше, чем с призменным. Но зато плёночный отражатель можно закрепить там, где установить призменный отражатель невозможно, например – приклеить в нужном месте на сооружение. Кроме того, плёночные отражатели гораздо дешевле призменных. При выполнении угловых измерений центр штрихов на отражателе служит визирной целью. Составление плана местности включает:

- вычисление координат x , y и высот H точек хода;
- разбивку на планшете сетки прямоугольных координат;
- нанесение на план точек хода по координатам x , y ;
- нанесение точек и рисовку контуров, используя записи в журнале и абрис;

- рисовку горизонталей с заданной высотой сечения рельефа с использованием вычисленных высот точек и абриса;
- оформление плана в соответствии с указаниями руководства «Условные знаки»

Как выполняется фототопографическая съёмка?

Съёмку больших территорий для создания топографических карт и планов, в том числе и крупных, преимущественно производят аэрофототопографическим методом. Изображения местности получают с помощью специальной аппаратуры, устанавливаемой на авиационных или космических аппаратах. Для аэросъёмки используют самолеты (например, Ан-26, Ан-30, Ту-134, Ил-18 и др.) и вертолеты. Космическая съёмка выполняется с искусственных спутников Земли, пилотируемых космических кораблей и орбитальных станций. Среди аэрокосмических различают съёмки фотографические, сканерные, тепловые инфракрасные, радиолокационные и др. Основным видом аэрокосмической съёмки является аэрофотосъёмка.

Возможность отдельно различать на снимке мелкие близко расположенные детали изображения называется разрешающей способностью снимка. В настоящее время аэрофотоснимки имеют разрешающую способность 10–40 линий на миллиметр. При фотографировании на аэроснимке фиксируется изображение местности, а также координатные метки, которые определяют плоскую систему координат снимка. Для съёмок применяют аэрофотоаппараты с высокой разрешающей способностью и минимальным искажением, размерами снимков 18×18 и 23×23 см. Лучшее время для выполнения аэрофотосъёмки – ранняя весна или поздняя осень. На застроенных территориях аэрофотосъёмка может производиться при сплошной облачности, когда тени меньше закрывают сооружения.

Аэрофотоснимок, угол наклона которого при фотографировании был равен нулю, называется горизонтальным, при угле наклона, не превышающем 3° , – плановым, при угле наклона более 3° – перспективным.

Различают аэрофотосъёмку одинарную – это съёмка отдельных объектов, маршрутную – фотографирование полосы местности

вдоль заданной линии и площадную – фотографирование местности несколькими параллельными маршрутами. Фотографирование выполняют так, чтобы смежные снимки одного маршрута имели продольное перекрытие не менее 60%, а снимки соседних маршрутов – поперечное перекрытие не менее 30%.

Наряду с аэрофотоаппаратами при аэросъемке стали применять цифровые электронные камеры, сканеры и другие съемочные системы, создающие цифровые изображения местности.

Цифровая электронная камера снабжена ПЗС-приемником (прибором с зарядовой связью). ПЗС-приемник представляет собой многоэлементный фотоэлектрический приемник излучения, состоящий из миниатюрных фотодиодов, соединенных в линейку или двумерную матрицу. Размер отдельного чувствительного элемента – меньше 0,01 мм. Лучи света от разных участков местности попадают на разные фотодиоды, создавая в совокупности изображение местности.

Сканеры бывают оптико-механические и оптико-электронные. В оптико-механическом сканере сканирующее устройство – быстрокачающееся зеркало, которое, просматривая местность поперек движения носителя, посылает лучистый поток в объектив и далее на точечный фотоприемник.

В оптико – электронном сканере для регистрации излучения используется ПЗС - линейка, располагаемая перпендикулярно к направлению движения носителя аппаратуры. Периодически ПЗС-линейкой фиксируется строка изображения местности. Последовательное соединение строк формирует изображение полосы местности.

Лазерный сканер – сканирующий лазерный дальномер. Местность и расположенные на ней объекты отображаются множеством точек, для каждой из которых получают пространственные координаты и которые при визуализации на мониторе образуют объемное изображение объекта.

Сканерный метод позволяет выполнять съемку местности в течение длительного времени, передавая собираемую информацию по радиоканалам на Землю.

Съемка местности сопровождается определением координат аэросъемочной аппаратуры с помощью спутникового приемника

GPS/ГЛОНАСС, а также измерением высоты съемки радиовысотометром.

Разрешающую способность цифровых снимков принято характеризовать числом точек на дюйм – *dpi* (от англ. *dots per inch*) и размером пикселя на местности – *PIX*. В частности, размер пикселя в системе *TM*, установленной на ИСЗ *Landsat*, равен 30 м, а МСУ-Э / Ресурс-О – 45 м.

Полученные при аэрокосмической съемке снимки необходимо дешифровать, то есть опознать изображенные на них объекты и определить их количественные и качественные характеристики. Дешифрирование различают топографическое и тематическое. *Топографическое* дешифрирование – получение информации о местности, необходимой для составления топографических карт и планов.

Тематическое дешифрирование – получение специальной информации (например, экологической). Дешифрирование снимков бывает камеральное и полевое.

Камеральное дешифрирование выполняется в стационарных условиях путем анализа изображений на снимках и сопоставления их с имеющимися эталонами. При этом используют прямые и косвенные дешифровочные признаки. Первые описывают изображение самого объекта (форму, размер, тон, цвет и др.), вторые дают информацию о не изобразившемся на снимке объекте (или не дешифрируемом по прямым признакам) на основе анализа его взаимосвязей с другими объектами.

Иногда по снимку невозможно получить достаточные характеристики объектов, например, количество проводов на столбах линии связи, скорость течения реки, отличить луг от болота и др. Тогда камеральное дешифрирование дополняется более дорогим – *полевым* дешифрированием. При полевом дешифрировании специалист, обходя местность, непосредственно сравнивает изображения на снимке с объектами и устанавливает их характеристики.

Изображение местности на снимке имеет искажения, обусловленные непостоянством высоты фотографирования, рельефом местности, наклоном снимка, кривизной земной поверхности. Изменение высоты фотографирования вызывает изменение масштаба аэрофотоснимков. На космических снимках эти искажения незначитель-

ны и учитывают их только в высокогорных районах. Угол наклона снимка вызывает смещения точек относительно соответствующих точек горизонтального снимка. Влияние кривизны Земли на положение точек на снимке аналогично влиянию рельефа.

Искажения снимков, полученных сканером, кроме названных причин, вызваны еще тем, что изображение сканерного снимка по направлению полета и направлению сканирования строится в различных проекциях: в направлении полета – в ортогональной проекции, в перпендикулярном направлении – в перспективной проекции. Например, на сканерном снимке круг на плоской местности изображается овалом, а квадрат – прямоугольником.

Преобразование плановых или перспективных снимков в горизонтальные снимки заданного масштаба называется трансформированием. Различают фотомеханическое и компьютерное трансформирование.

Фотомеханическое трансформирование выполняется на фото-трансформаторах. Для трансформирования должны быть известны координаты четырех изображенных на снимке опорных точек. Планшет с нанесенными на него опорными точками помещают на экран и проецируют на него негатив снимка, изменяя масштаб изображения и поворачивая экран и негатив, добиваются совмещения опорных точек на планшете с соответствующими точками проекции негатива. Полученное на экране трансформированное изображение фиксируют на фотобумаге. Однако при этом не устраняются искажения, обусловленные рельефом местности, которые для горных районов весьма существенны. Такие искажения устраняют, трансформируя снимок по зонам, имеющим разную высоту, или с помощью щелевых трансформаторов.

Для *компьютерного* трансформирования аэрофотоснимок преобразуют в цифровую форму, после чего преобразования выполняют по стандартным компьютерным программам. По компьютерным программам выполняется трансформирование и сканерных снимков.

Фотоплан монтируют из трансформированных аэрофотоснимков. Основой фотоплана служит бумага, наклеенная на лист алюминия или картона. На основу наносят координатную сетку и по их координатам – опорные точки. На трансформированных снимках опорные точки прокалывают пуансоном, после чего, совмещая от-

верстия на снимках с опорными точками на основе, середину снимков приклеивают к основе. Наклеив два соседних снимка, разрезают их по середине перекрытия и подклеивают края на стыке снимков. Покрыв снимками всю площадь, получают единое фотографическое изображение местности, соответствующее по точности топографическим планам того же масштаба. Обычно на фотоплан наносят координатную сетку и подписывают названия населенных пунктов, рек и других объектов.

Фотосхему монтируют без использования опорных точек. Смежные снимки совмещают методом «мигания». На снимок, закрепленный на основе, накладывают смежный снимок и быстрыми отгибаниями его в зоне перекрытия совмещают контуры снимков. Закрепив середину смежного снимка, оба снимка разрезают по середине перекрытия. Продолжая, получают фотографическое изображение местности – фотосхему, менее точную, но требующую меньше времени для ее составления.

Планы местности по снимкам составляют, применяя *стереофотограмметрический метод*, заключающийся в совместной обработке пар перекрывающихся аэрофотоснимков, полученных фотографированием местности из двух разных точек. Два снимка одного участка местности, полученные фотографированием из разных точек, называют *стереопарой*.

При взаимном ориентировании двух смежных снимков получают пространственную модель местности. Масштаб такой модели равен отношению расстояния между центрами снимков к расстоянию между центрами проектирования – *базису* фотографирования. Обработку стереопар выполняют с помощью цифровых фотограмметрических станций представляющих собой программно-аппаратные комплексы. Для обработки снимков служат такие программные продукты, как ERDAS Imagine, ENVI, PHOTOMOD, Талка и др.

Как выполняется теодолитная съёмка?

Теодолитная съёмка относится к одному из видов наземных съёмок местности, и включает: создание съёмочной сети; съёмку ситуации; обработку результатов измерений и составление плана.

Основной теодолитной съемки служат, как правило, теодолитные ходы (замкнутые и разомкнутые). При необходимости сгущение съемочной сети может быть выполнено путем определения координат дополнительных точек засечками.

Съемочная сеть представляет собой совокупность закрепляемых на местности точек, положение которых в плане и по высоте определяют в принятой для съемки системе координат и высот.

В теодолитных ходах длиной до 1,2 км относительные невязки не должны превышать 1:2000, а угловые невязки – $1'\sqrt{n}$, где n – число углов в ходе. Съемочная сеть должна опираться не менее чем на два исходных пункта высшего класса.

Высоты пунктов съемочной сети определяют, как правило, методом геометрического нивелирования. Сеть должна быть привязана не менее чем к двум реперам высшего класса. При этом сумма превышений в замкнутом теодолитном ходе должна равняться нулю, а для разомкнутого хода, вычисляться по формуле:

$$f_h = \sum h - (H_k - H_n).$$

Допустимую невязку в ходах или полигонах нивелирования IV класса определяют по формулам:

$$f_h = 20\sqrt{L} \text{ или}$$

$$f_h = 5\sqrt{n}$$

для технического нивелирования:

$$f_h = 50\sqrt{L} \text{ или}$$

$$f_h = 10\sqrt{n}$$

где L – длина хода, км. n – число станций.

При съемке с сечением рельефа через 2 и 5 м, а также при съемке всхолмленной местности с сечением рельефа через 1 м высотное съемочное обоснование можно создавать методом тригонометрического нивелирования. В этом случае высотные невязки в ходах не должны превышать допуска $0,0004P/\sqrt{n}$, где P – длина хода и n – число линий в ходе.

Если выполняется условие:

$$f_h \leq [f_h]$$

то превышения уравнивают. Полученную невязку распределяют с обратным знаком на все измерения прямо пропорционально по числу станций хода.

Для съемки небольших участков местности съёмочная сеть может быть построена в местной системе координат и высот без привязки к пунктам высшего класса. Часть пунктов съёмочной сети (2–3 пункта на съёмочный планшет) закрепляют на местности знаками долговременной сохранности – бетонными пилонами, заложёнными в землю на глубину до 80 см. Остальные пункты закрепляют временными знаками – металлическими трубами, деревянными столбами, кольями. Опираясь на пункты съёмочной сети, выполняют съёмку контуров и рельефа местности, определяют положение точек, расположенных в характерных местах контуров или рельефа местности.

Съёмку ситуации выполняют путем измерений, связывающих положение характерных контурных точек объектов с пунктами съёмочной основы. Результаты выполненных в ходе съёмки измерений записывают в полевой журнал. Одновременно составляют *абрис* – схематический чертёж, на котором в произвольном масштабе показывают расположение пунктов съёмочной сети и снимаемых объектов, характеристики снимаемых объектов и результаты измерений.

Обработку результатов и составление топографического плана выполняют в следующем порядке:

- вычисляют координаты пунктов съёмочной основы (вершин теодолитных ходов и точек, полученных засечками);
- разбивают на планшете сетку прямоугольных координат и оцифровывают ее;
- наносят на план пункты съёмочной сети;
- наносят на план съёмочные пикеты и вычерчивают контуры.
- оформляют план в соответствии с руководством «Условные знаки».

Какие существуют способы съёмки аналитическим методом?

Горизонтальную съёмку выполняют в масштабах 1:2000; 1:1000 и 1:500. Съёмке подлежат фасады зданий и ситуация проездов, а также внутриквартальная застройка и ситуация. Съёмку производят с линий и точек теодолитных ходов съёмочного обоснования. Результаты съёмки отображают на схематическом чертеже – абрисе в произвольном масштабе. Съёмку выполняют следующими способами.

Способ перпендикуляров обычно применяют при съёмке объектов с четкими контурами. Так, при съёмке здания из каждой характерной точки его контура на сторону теодолитного хода опускают перпендикуляр и измеряют расстояние по стороне хода до основания перпендикуляра (координата x) и длину перпендикуляра (координата y). Расстояния измеряют рулеткой или лентой. Для контроля выполняют обмер здания.

Способ перпендикуляров применяют тогда, когда съёмочный ход проходит на расстоянии от фасада не далее 8 м при съёмке масштаба 1:2000, не далее 6 м – в масштабе 1:1000 и не далее 4 м при съёмке в масштабе 1:500. Если длины перпендикуляров больше указанных размеров, то применяют угломерные инструменты, например, зеркальный или призмный экер.

Способ линейной засечки. Способ удобен, когда расстояния не превышают длины применяемого мерного прибора. При способе линейных засечек, ленту укладывают в створе съёмочной линии. От двух точек на ленте, соответствующих целым метрам и составляющих основание приблизительно равностороннего треугольника, рулеткой измеряют расстояние до определяемой точки контура.

Способ угловой засечки применяют при съёмке удаленных или недоступных объектов. Засечки выполняют не менее чем с трёх направлений.

Способ полярных координат применяют для съёмки точек ситуации, удалённых от съёмочного хода. Наиболее широкое применение данный способ находит при съёмке внутриквартальной застройки, а также нетвёрдых контуров. Для определения положения точки измеряют горизонтальный угол β и расстояние d .

Глава 3. ИНЖЕНЕРНЫЕ ИЗЫСКАНИЯ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬНОЙ И ГРАДОСТРОИТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

3.1. Инженерно-геодезические изыскания для строительства

Какие задачи решаются при инженерных изысканиях?

Проектирование и строительство зданий и сооружений осуществляется на основе комплекса работ, называемых *инженерными изысканиями*. К основным задачам, решаемым при инженерных изысканиях, относятся:

- изучение природных и экономических условий района предполагаемого строительства;
- прогнозирование взаимодействия объектов строительства с окружающей средой;
- обоснование инженерной защиты и безопасности населения.

Состав материалов инженерных изысканий должен обеспечить соответствующую стадию проектирования, поэтому различают следующие их виды:

- предварительные изыскания на стадии технико-экономического обоснования или техноко-экономического расчёта;
- изыскания на стадии проекта;
- изыскания на стадии рабочей документации.

Инженерные изыскания подразделяются на экономические и технические изыскания.

Какие задачи решаются при экономических и технических изысканиях?

Экономические изыскания проводят для определения экономической целесообразности строительства зданий или сооружений в конкретном месте с учётом обеспеченности его строительными материалами, сырьём, транспортом, рабочей силой, энергией и т.п. Экономические изыскания, как правило, предшествуют техническим изысканиям. Технические изыскания проводятся с

целью получения сведений о природных условиях участка для строительства.

Для оценки участка предполагаемого строительства проводится комплекс следующих изысканий: инженерно-геодезические, инженерно-геологические, гидрологические, метеорологические, климатологические и др. Основные изыскания проводятся в первую очередь на всех этапах проектирования.

Инженерно-геодезические изыскания позволяют получить информацию о рельефе и ситуации местности, служат основой для проектирования и выполнения других видов изысканий. В процессе выполнения инженерно-геодезических изысканий выполняют работы по созданию геодезического обоснования и топографической съёмке в разных масштабах на участке строительства, производят трассирование линейных сооружений, геодезическую привязку геологических выработок, гидрологических створов и др.

Инженерно-геологические и гидрологические изыскания дают возможность получить представление о геологическом строении местности, прочности грунтов, составе и характеристике подземных вод и т.п. Эти сведения позволяют выполнить правильную оценку условий строительства сооружения. К инженерным изысканиям также относятся: геотехнический контроль, оценка опасности и риска от природных и техногенных процессов; обоснование мероприятий по инженерной защите территорий; кадастровые и другие сопутствующие работы и исследования. Содержание и объём инженерных изысканий определяется типом, видом и размерами проектируемого сооружения, местными условиями и степенью их изученности, а также стадией проектирования. Различные виды сооружений, технология строительства которых имеет много общего, могут быть объединены в группы: линейные и площадные сооружения. К линейным сооружениям можно отнести автомобильные и железные дороги, линии электропередач, трубопроводы и т.п. К площадным сооружениям относятся: населённые пункты, промышленные предприятия, аэропорты и т.п.

Гидрометеорологические изыскания дают сведения о водном режиме рек и водоёмов, основных характеристиках климата района. В процессе гидрометеорологических изысканий определяют харак-

тер изменения уровней, уклоны, направление и скорости течений, вычисляют расходы воды, производят промеры глубин, ведут учёт наносов и т.п.

Какие нормативные документы регламентируют инженерно-геодезические изыскания для строительства?

Основными нормативными документами, регламентирующие порядок проведения инженерно-геодезических изысканий, разработки, согласования и утверждения проектной документации на строительство зданий и сооружений, являются:

- СНиП 10-01-94 «Система нормативных документов в строительстве. Основные положения».

- СНиП 11-01-95 «Инструкция о порядке разработки, согласования, утверждения и составе проектной документации на строительство предприятий, зданий и сооружений».

- СНиП 11-02-96 «Инженерные изыскания для строительства. Основные положения».

- СП 11-104-97 «Свод правил по инженерным изысканиям для строительства».

СНиП 10-01-94 «Система нормативных документов в строительстве. Основные положения» является федеральным нормативным документом и устанавливает общие технические требования и правила производства инженерно-геодезических изысканий, состав и объем отдельных видов изыскательских работ, выполняемых на соответствующих этапах (стадиях) освоения и использования территории (проектирования, строительства, эксплуатации и ликвидации предприятий, зданий и сооружений).

СНиП 11-02-96 «Инженерные изыскания для строительства. Основные положения» и СП 11-104-97 «Свод правил по инженерным изысканиям для строительства» устанавливают порядок проведения инженерно-геодезических изысканий в соответствии с действующими законодательными и нормативными актами Российской Федерации.

Инженерно-геодезические изыскания для строительства должны выполняться юридическими или физическими лицами, получившими в установленном порядке лицензию на их производство в соответствии с «Положением о лицензировании строительной дея-

тельности» (постановление Правительства Российской Федерации от 25 марта 1996г. № 351). В выдаваемой лицензии может быть предусмотрено выполнение: топографо-геодезических и картографических работ при осуществлении строительной деятельности (по перечню работ, согласованному с Федеральной службой геодезии и картографии России); инженерно-геодезических изысканий для строительства зданий и сооружений I и II уровней ответственности, геодезических работ в строительстве, а также инжиниринговых услуг.

Геодезические приборы, используемые при инженерно-геодезических изысканиях должны быть аттестованы и поверены в соответствии с требованиями Госстандарта России (ПР 50.2.002-94) и на основании закона Российской Федерации «Об обеспечении единства измерений». Организации, выполняющие инженерно-геодезические изыскания для строительства, должны разрабатывать перечни средств измерений, подлежащих поверке, с учетом специфики проводимых работ.

При инженерно-геодезических изысканиях должны соблюдаться требования нормативных документов по охране труда, окружающей природной среды и об условиях соблюдения пожарной безопасности (ПТБ-88 и др.).

Технический отчет по результатам выполненных инженерно-геодезических изысканий должен составляться в соответствии с требованиями пп. 4.22-4.24, 5.13-5.19 СНиП 11-02-96 «Инженерные изыскания для строительства. Основные положения».

Какой перечень работ выполняется при инженерно-геодезических изысканиях?

Инженерно-геодезические изыскания выполняются, как правило, в три этапа: подготовительный, полевой и камеральный.

На *подготовительном этапе* должно быть выполнено:

- оформление соответствующих лицензий на право производства инженерных изысканий для строительства;
- получено техническое задание и подготовлена договорная документация;

- сбор и обработка материалов инженерных изысканий прошлых лет на район изысканий, а также топографо-геодезических, картографических, аэрофотосъемочных и других материалов и данных, находящихся в государственных и ведомственных фондах;

- подготовка программы инженерно-геодезических изысканий с учетом опасных природных и техногенных условий территории;

Выдачу разрешений на производство инженерно-геодезических изысканий осуществляют в установленном порядке органы архитектуры и градостроительства исполнительной власти субъектов Российской Федерации или местного самоуправления.

В *полевом этапе* должны быть произведены рекогносцировочные обследования территории и комплекс полевых работ в составе инженерно-геодезических изысканий, а также необходимый объем вычислительных и других работ по предварительной обработке полученных материалов и данных для обеспечения контроля их качества, полноты и точности.

В камеральном этапе должны быть выполнены:

- окончательная обработка полевых материалов и данных с оценкой точности полученных результатов;

- подготовлена необходимая информация для проектирования и строительства об объектах, элементах ситуации и рельефа местности, о подземных и надземных сооружениях с указанием их технических характеристик, а также об опасных природных и техноприродных процессах;

- составлен и передан заказчику технический отчет по результатам выполненных инженерно-геодезических изысканий;

- осуществлена передача в установленном порядке отчетных материалов выполненных инженерно-геодезических изысканий в государственные фонды.

Какие объекты используются в качестве геодезической основы при инженерно-геодезических изысканиях?

В качестве геодезической основы при производстве инженерно-геодезических изысканий на площадках строительства используются:

- пункты государственных геодезических сетей (плановых и высотных), в том числе пункты спутниковых геодезических определений координат;

- пункты опорной геодезической сети, в том числе геодезических сетей специального назначения для строительства;

- пункты геодезической разбивочной основы;

- точки (пункты) планово-высотной съемочной геодезической сети и фотограмметрического сгущения.

Точность определения планово-высотного положения, плотность и условия закрепления пунктов (точек) геодезической основы должны удовлетворять требованиям производства крупно масштабных топографических съемок (по ГОСТ21.101-93 и ГОСТ21.508-93), выноса проекта в натуру, выполнения специальных инженерно-геодезических работ и стационарных наблюдений за опасными природными техноприродными процессами, а также обеспечения строительства, эксплуатации и ликвидации объектов.

Плотность пунктов опорной и съемочной геодезической сети должна составлять на незастроенной территории не менее 4 пунктов для масштаба 1:5000, 12 - для масштаба 1:2000 и 16 пунктов для масштаба 1:1000 на 1 км^2 . Для съемки в масштабе 1:500 плотность пунктов (точек) должна устанавливаться в программе изысканий.

При производстве инженерно-геодезических изысканий линейных сооружений в качестве геодезической основы могут быть точки планово-высотной геодезической сети, прокладываемой вдоль трассы (магистральные ходы). Магистральные ходы съемочной геодезической сети изысканиях линейных сооружений привязываются в плане и по высоте к пунктам государственной или опорной геодезической сети не реже чем через 30 км.

При удалении пунктов государственной или опорной геодезической сети от трассы на расстояние более 5 км допускается вместо плановой привязки определять не реже чем через 15 км истинные азимуты сторон магистрального хода. Методы определения истинных азимутов и требования к точности измерений должны устанавливаться в программе изысканий. При изысканиях линейных сооружений на территориях населённых пунктов, а также промышленных и горнодобывающих предприятий плановая и высотная привязка

съемочной геодезической сети к пунктам государственной или опорной геодезической сети обязательна.

Системы координат и высот должны устанавливаться при выдаче разрешения на производство инженерных изысканий соответствующими органами архитектуры и градостроительства исполнительных власти субъектов Российской Федерации или местного самоуправления. На геодезические пункты, принятые за исходные, должны составляться выписки из каталогов координат и высот, заверенные организациями, выдавшими эти данные.

Какие требования необходимо соблюдать при изысканиях площадных сооружений?

Состав и объем инженерных изысканий зависят от размеров площадного сооружения. Состав изысканий на небольших площадках ограничивается основными изысканиями.

Для больших площадных сооружений выполняют все инженерные изыскания: инженерно-геологические, инженерно-геодезические; гидрометеорологические и др. Для земельно-хозяйственного устройства, озеленения и вертикальной планировки территории: по инженерным сетям, транспорту, строительным материалам и т. п.

Каждая площадка, которая предназначается для строительства сооружения, должна отвечать определенным техническим требованиям, удовлетворяющим условиям нормальной эксплуатации и минимальных затрат на подготовительные работы и освоение. Поэтому одна из важнейших задач изысканий - выбор в данном районе площадки с заданными техническими требованиями.

Площадку выбирают по возможности в малопересеченной, малопригодной для сельского хозяйства местности с благоприятными для строительства геологическими и гидрогеологическими условиями. Размеры площадки и ее конфигурация должны соответствовать размерам проектируемого сооружения и расположению коммуникаций с учетом перспективы его расширения в будущем. Площадка должна располагаться таким образом, чтобы ее можно было соединить с ближайшими железнодорожными и автодорожными магистралями без большого объема земляных работ и возведения

больших мостовых переходов, которые не только удорожают строительство, но и удлиняют сроки освоения площадки.

Рельеф площадки должен быть спокойным, с уклоном в одну сторону или от середины к краям, обеспечивающим быстрый сток поверхностных вод. Желательно, чтобы общее направление горизонталей было вдоль длинной стороны площадки, чтобы вертикальная планировка не требовала большого объема земляных работ, т. е. минимальные уклоны местности должны составлять 0,003...0,005, максимальные - 0,06...0,08.

Грунты площадки должны выдерживать такое давление, чтобы при строительстве зданий и сооружений можно было обойтись без устройства дорогостоящих фундаментов. Уровень грунтовых вод должен быть ниже отметок дна подвалов и галерей. Участок не должен затопляться высокими паводковыми водами.

Промышленные предприятия, города и населенные пункты нуждаются в больших количествах воды, поэтому при выборе места для таких сооружений важно предусмотреть наличие водных источников. Кроме того, эти объекты в периоды строительства и эксплуатации должны обеспечиваться хорошими подъездными дорогами, снабжением газом, электроэнергией, топливом, водой в бассейнах для сброса технических вод.

Вблизи отдельно расположенных промышленных объектов, аэропортов, гидроузлов должен быть участок свободной территории для строительства жилого поселка. Наличие вблизи площадки карьеров строительных материалов значительно удешевляет и ускоряет строительство.

Выбор площадки начинают в камеральных условиях. Путем сравнения вариантов выбирают наиболее выгодную площадку для полевого обследования. В натуре в первую очередь уточняют инженерно-геологические и гидрогеологические условия площадки; обследуют возможные подходы подъездных железных и шоссежных дорог, намечаемые выпуски канализационных коллекторов; определяют примерные расходы на подготовительные работы по освоению площадки; согласовывают возможность отвода территории, присоединения трасс и ряд других организационных вопросов.

Для разработки проекта намеченную площадку и часть прилегающей к ней территории снимают в масштабе 1:2000 с сечением рельефа через 1 м. Дополнительно по имеющимся планам и картам, обновленным и дополненным на местности, составляют ситуационный план района строительства в масштабе 1:10000 - 1:25000. На этот план наносят контуры площадок промышленного предприятия, жилого поселка, водозаборных и очистных сооружений, существующие автомобильные и железные дороги, реки, населенные пункты, лесные массивы, карьеры и месторождения строительных материалов, подсобные предприятия, а также намечают трассы подъездных дорог, водоводов, выпусков канализации и др.

Одновременно с топографической съемкой производят крупномасштабную инженерно-геологическую съемку площадки. Для составления рабочих чертежей площадку для основных сооружений снимают в масштабе 1:1000 - 1:500 с сечением рельефа через 0,5 м и проводят на ней детальную инженерно-геологическую и гидрогеологическую разведку. Съемку площадки производят топографическими или фотограмметрическими методами. На стадии изысканий под проект наиболее целесообразно проводить аэрофотосъемку в масштабе 1:7000 - 1:10000, с тем чтобы можно было ее использовать для составления подробного плана площадки в масштабе 1:2000 и карты района строительства в масштабе 1:10000.

При изысканиях площадки на стадии рабочей документации основные сооружения и участок жилого поселка снимают в масштабе 1:1000 - 1:500.

В таких же масштабах снимают застроенные территории, с густой сетью подземных коммуникаций. Съемка так же может быть выполнена как фотограмметрическими, так и геодезическими методами. При слабо выраженном рельефе часто производят нивелирование поверхности по квадратам 20×20 или 30×30 м. Независимо от метода съемки на площадке должен быть изображен рельеф, заординированы углы капитальных зданий и сооружений и узловые точки коммуникаций, занивелированы полы зданий и складских площадок, бровки дорог, колодцы и т. д.

Какие требования необходимо соблюдать при изысканиях линейных сооружений?

В ходе изысканий для линейных сооружений, в первую очередь, решают вопрос о плане и высотном положении трассы.

Трасса - линия, определяющая ось проектируемого линейного сооружения, обозначенная на местности, топоплане, или нанесенная на карту, или обозначенная системой точек в цифровой модели местности. Основные элементы трассы: план - ее проекция на горизонтальную плоскость и продольный профиль - вертикальный разрез по проектируемой линии сооружения. В плане трасса должна быть по возможности прямолинейной, так как всякое отклонение от прямолинейности приводит к ее удлинению и увеличению стоимости строительства, затрат на эксплуатацию. В продольном профиле трассы должен обеспечиваться определенный допустимый уклон.

В условиях реальной местности одновременно трудно соблюсти требования к плану и профилю, так как приходится искривлять трассу для обхода препятствий, участков с большими уклонами рельефа и неблагоприятных в геологическом и гидрогеологическом отношении. Таким образом, план трассы состоит из прямых участков разного направления, которые сопрягаются между собой кривыми с различными радиусами. Продольный профиль трассы состоит из линий различных уклонов, соединяющихся между собой вертикальными кривыми. На некоторых трассах (электропередач, канализации) горизонтальные и вертикальные кривые не проектируют, и трасса представляет собой пространственную ломаную линию.

В зависимости от назначения трасса должна удовлетворять определенным требованиям, которые устанавливаются техническими условиями на ее проектирование. Так, для дорожных трасс основные требования - плавность и безопасность движения с расчетными скоростями. Поэтому на дорожных трассах устанавливают минимально допустимые уклоны и максимально возможные радиусы кривых. На самотечных каналах и трубопроводах необходимо выдержать проектные уклоны при допустимых скоростях течения воды.

Степень искривления трассы определяется значениями углов поворота. Углом поворота трассы называют угол с вершиной, обра-

званный продолжением направления предыдущей стороны и направлением последующей стороны. На трассах магистральных железных дорог, трубопроводов и линий электропередачи (ЛЭП) углы поворота не должны превышать 15...20°. Это приводит к незначительному удлинению линии будущей дороги или трубопровода.

Прямолинейные участки трасс железных и автомобильных дорог, трубопроводов сопрягаются в основном круговыми кривыми, представляющими собой дугу окружности определенного радиуса. На железных дорогах минимально допустимые радиусы - от 200 до 400 м, на автомобильных в зависимости от категории дороги – от 60 до 600 м, на каналах - не меньше пятикратной ширины канала (ирригационные каналы) или шестикратной длины судна (судоходные каналы), на трассах трубопроводов - $1000 d$, где d - диаметр трубопровода.

На железных и автомобильных дорогах при радиусах кривых, соответственно меньших 3000 и 1500 м, для более плавного и безопасного движения устраивают сложные кривые - круговые с переходными.

Важнейший элемент профиля трассы - ее продольный уклон. Чтобы соблюсти определенный допустимый уклон особенно в сложной пересеченной местности, приходится не только отступать от прямолинейного следования трассы, но и увеличивать длину трассы (развивать трассу). Необходимость развития трассы чаще всего возникает в горной и предгорной местности.

На трассах магистральных железных дорог I и II категорий уклон не должен превышать 0,012; а на дорогах местного значения 0,020; на горных дорогах, где применяется транспорт с усиленной тягой, уклоны могут достигать 0,030; на автомобильных дорогах уклоны колеблются от 0,040 до 0,090. На трассах ирригационных и водопроводных каналов уклоны, которые назначают из расчета получения так называемых неразмываемых и незаиляемых скоростей течения воды по каналу, составляют 0,001...0,002. На трассах напорных трубопроводов уклоны могут быть весьма значительными, а для ЛЭП они практически не имеют значения.

Радиусы вертикальных кривых в зависимости от вида сооружения и направления кривой (выпуклая, вогнутая) колеблются в широких пределах - от 200 до 10000 м.

Комплекс инженерно-изыскательских работ по прокладке трассы, отвечающей всем требованиям технических условий и требующей наименьших затрат на ее возведение и эксплуатацию, называется *трассированием*.

Оптимальную трассу находят путем технико-экономического сравнения различных вариантов. Если трассу определяют по топографическим планам или аэрофотоматериалам, то трассирование называют камеральным, если ее выбирают непосредственно на местности, то - полевым.

При трассировании различают плановые и высотные (профильные) параметры. К плановым параметрам относятся углы поворота, радиусы горизонтальных кривых, длины переходных кривых, прямые вставки. К высотным параметрам - продольные уклоны, длины элементов в профиле («шаг проектирования»), радиусы вертикальных кривых. Для одних сооружений (самотечные трубопроводы, каналы) наиболее важно выдержать продольные уклоны, для других (напорные трубопроводы, линии электропередачи и связи) уклоны местности мало влияют на проект трассы и ее стремятся выбрать наиболее краткой, расположенной в благоприятных условиях. При трассировании дорожных трасс необходимо соблюдать как плановые, так и профильные параметры. Независимо от характера линейных сооружений и параметров трассирования все трассы должны вписываться в ландшафт местности, не нарушая природной эстетики. По возможности трассу располагают на землях, которые имеют наименьшую ценность для народного хозяйства. Технология изысканий линейных объектов определяется стадиями изысканий.

На стадии ТЭО проводят рекогносцировочные работы. Их выполняют главным образом камеральным путем, изучая имеющиеся на район изысканий топографические карты, материалы инженерно-геологических съемок, данные изысканий прошлых лет. По этим данным намечают на карте несколько вариантов трасс и по каждому из них составляют продольный профиль. Путем технико-экономического сравнения выбирают наиболее выгодные варианты

для дальнейшего обследования и разрабатывают техническое задание на проектирование.

На стадии изысканий под проект по заданному в техническом задании направлению трассы выполняют детальное камеральное и полевое трассирование, в процессе которого выбирают наилучшую трассу и собирают материалы для разработки технического проекта этого варианта трассы и сооружений на ней.

Для составления рабочего проекта трассы производят предпроектные полевые изыскания. В процессе полевых изысканий на основании проекта трассы и рекогносцировки местности определяют в натуре положение углов поворота и производят трассировочные работы.

3.2. Инженерно-геодезические изыскания для градостроительства

Какие задачи должны быть решены при проведении инженерно-геодезических изысканий для разработки предпроектной документации?

Инженерно-геодезические изыскания для градостроительной документации должны обеспечивать разработку на основе топографических карт и планов:

- схем районной планировки в масштабах 1:100000 - 1:500000;
- проектов районной планировки в масштабах 1:25000 - 1:50000;
- генерального плана города или другого поселения, в масштабах 1:2000 - 1:10000;
- проектов детальной планировки в масштабах 1:1000 - 1:2000;
- проектов застройки - 1:500 - 1:1000.

Инженерно-геодезические изыскания для разработки предпроектной документации должны обеспечивать реализацию следующих этапов инвестиционно-строительной деятельности:

- определение цели инвестирования;
- ходатайство (декларация) о намерениях инвестирования;
- обоснование инвестиций в строительство объекта.

На этапе определения *цели инвестирования* материалы инженерно-геодезических изысканий должны обеспечивать оценку природно-хозяйственных условий конкурентных районов возможного размещения объекта инвестирования (в том числе трасс линейных сооружений) с учетом возможных затрат на развитие внешних коммуникаций и инженерную защиту объекта от опасных природных и техноприродных процессов.

На этапе разработки декларации о *намерениях инвестирования* в строительстве инженерно-геодезические изыскания должны обеспечивать данными для определения стоимости строительства объекта в выбранном районе строительства с учетом протяженности внеплощадочных инженерных коммуникаций, схемы инженерной защиты объекта и природоохранных мероприятий.

Инженерно-геодезические изыскания на этапе разработки *обоснований инвестиций* в строительство объекта должны обеспечивать топографо-геодезическими данными для определения стоимости строительства объекта на площадках, предварительно согласованных с органами исполнительной власти субъектов Российской Федерации или органами местного самоуправления и обоснования возможного влияния хозяйственной деятельности на окружающую среду. Инженерно-геодезические изыскания для разработки обоснований инвестиций в строительство следует осуществлять по всем вариантам размещения строительных площадок (трасс).

Состав материалов и масштабы топографических (инженерно-топографических) планов для разработки градостроительной документации следует устанавливать в соответствии с «Инструкцией о составе, порядке разработки, согласования и утверждения градостроительной документации». Материалы топографо-геодезической картографической изученности для выбора пункта (площадки) строительства должны содержать информацию в соответствии с требованиями СНиП 11-02-96 (п. 5.16 и приложения Б и В).

Какие задачи должны быть решены при проведении инженерно-геодезических изысканий для разработки проекта?

Инженерно-геодезические изыскания для проекта строительства должны обеспечивать разработку:

- уточненного ситуационного плана предприятия в масштабах 1:25000-1:10000 с указанием на нем существующих и проектируемых внешних коммуникаций, инженерных сетей селитебных территорий;

- проекта инженерной подготовки строительной площадки с указанием существующих и подлежащих сносу зданий и сооружений;

- генерального плана объекта;
- проекта вертикальной планировки территории;
- проекта инженерной защиты объекта;
- проекта природоохранных мероприятий;
- проекта геодезическо гообеспечения строительства.

При инженерно-геодезических изысканиях для разработки проекта должны выполняться:

- сбор и анализ дополнительных топографо-геодезических материалов, включая материалы и данные изысканий прошлых лет:

- построение (развитие) опорной геодезической сети;
- создание плано-высотной съемочной геодезической сети;
- топографические съемки в масштабах 1:5000-1:500;
- инженерно-гидрографическиеработы и др.

При разработке проекта реконструкции объекта дополнительно собираются сведения:

- о системах координат и высот опорных геодезических сетей;

- связи строительной сетки с городской (местной) системой координат, типах центров и наружных знаков государственных и опорных геодезических сетей и их конструкций, о времени и методах выполнения топографических съемок, их масштабах, высоте сечения рельефа;

- схемы и планы инженерных сооружений (коммуникаций);
- материалы технической инвентаризации подземных коммуникаций (сетей) по данным эксплуатирующихсяорганизаций;
- ведомости координат углов зданий (сооружений) и других точек по проекту и по исполнительной съемке.

Топографическая съемка для разработки проекта должна выполняться, как правило ,в масштабах 1:2000-1:500 с высотами сечения рельефа через 1-0,5 м.

Для разработки проекта (схемы) реконструкции (расширения) промышленных предприятий, железнодорожных станций и узлов топографическая съемка должна выполняться в масштабах 1:1000-1:500 с высотой сечения рельефа через 1-0,5 м.

Инженерно-геодезические изыскания новых трасс линейных сооружений выполняются по направлениям, установленным на стадии разработки проектной документации.

Для камерального трассирования линейных сооружений используют инженерно-топографические планы в масштабах 1:5000-1:500. При полевом обследовании (рекогносцировке) надлежит уточнять намеченное положение трассы.

По результатам инженерно-геодезических изысканий, выполненных для разработки проекта, заказчику представляется отчетная документация в соответствии с требованиями п. 5.17 СНиП 11-02-96.

Какие задачи должны быть решены при проведении инженерно-геодезических изысканий для разработки рабочей документации?

Инженерно-геодезические изыскания для разработки рабочей документации должны обеспечить получение дополнительных топографо-геодезических материалов и данных для доработки генерального плана, уточнения и детализации проектных решений.

При изысканиях на площадках под новое строительство, как правило, выполняются:

- развитие опорной и съемочной геодезических сетей;
- топографические съемки в масштабах 1:1000-1:500;
- инженерно-гидрографические работы;
- составление и размножение топографических планов;
- геодезическое обеспечение других видов изысканий;
- камеральная обработка материалов;
- составление технического отчета.

При проведении изысканий на площадках, предназначенных под реконструкцию и расширение действующих предприятий, выполняются:

-определение координат углов капитальных зданий (сооружений), центров стрелочных переводов, основных элементов путевого

развития и вершин углов железнодорожных путей, колодцев (камер), опор инженерных коммуникаций и других точек;

- детальное обследование и детальная съемка инженерных коммуникаций (сооружений), подлежащих реконструкции или переустройству, а также опор и колодцев (камер) в местах подключения проектируемых коммуникаций, составление их технологических схем;

- съемка существующих железных и автомобильных дорог;

- наружные обмеры зданий;

- геодезическое наблюдение за деформациями зданий;

- геодезическое обеспечение инженерно-геологических и инженерно-гидрогеологических наблюдений и исследований.

При реконструкции зданий и сооружений по дополнительному заданию по данным наружных обмеров могут составляться обмерные чертежи в масштабах 1:500-1:50. Расхождения длин стен зданий, олученных из обмеров и вычисленных по координатам, не должны превышать 10 см при длинах менее 100 м и 1/1000 при длинах свыше 100 м. При этом расстояния и координаты, выписанные на обмерные чертежи, должны быть увязаны между собой. По результатам детального обследования подземных и надземных сооружений составляют эскизы колодцев (камер) в масштабах 1:50-1:20 и эскизы типовых опор в масштабах 1:200-1:20 или представляют фотографии обследованных опор с их размерами.

При изысканиях новых трасс линейных сооружений, как правило, производится анализ и доработка материалов, выполненных на предшествующих стадиях проектирования. По трассам магистральных трубопроводов (прокладываемых в не сложных условиях), электрических кабелей 6-20 кВ, кабелей связи, ЛЭП выполняется съемка ситуации. Под карьеры грунтовых строительных материалов выполняется топографическая съемка площадок их разработки.

При реконструкции существующих линейных сооружений следует выполнять съёмку их основных элементов: поперечных и продольных профилей. Состав работ при полевом трассировании:

- проложение теодолитных ходов по оси трассы, разбивка и ведение пикетажа с разбивкой горизонтальных кривых;

- нивелирование трассы и установка реперов;

- съемка поперечников на пикетных точках;
- закрепление трассы (углов поворота и створных точек, мостовых переходов и др.).

На территории населенных пунктов и промышленных предприятий вместо полевого трассирования выполняется крупномасштабная топографическая съемка полосы местности шириной до 100 м на незастроенных территориях, а на застроенных - ограничивается шириной проезда (улицы). Для существующих железных дорог ширина полосы съемки ограничивается полосой отвода железной дороги. На участках сближений трасс с существующими коммуникациями и другими сооружениями ширину полосы съемки принимают с учетом обеспечения требований проектирования по их переносу.

Технический отчет по результатам изысканий для разработки рабочей документации представляется заказчику в соответствии с требованиями п. 5.18 СНиП 11-02-96.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 22268-76 «Геодезия. Термины и определения».
2. ГОСТ 22651 «Картография. Термины и определения».
3. СНиП 3.01.03-84 «Геодезические работы в строительстве».
4. СНиП10-01-94 «Система нормативных документов в строительстве. Основные положения».
5. СНиП11-01-95 «Инструкция о порядке разработки, согласования, утверждения и составе проектной документации на строительство предприятий, зданий и сооружений».
6. СНиП11-02-96 «Инженерные изыскания для строительства. Основные положения».
7. СП 11-104-97 «Свод правил по инженерным изысканиям для строительства».
8. СП 126.13330.2012 Свод правил. Геодезические работы в строительстве. Актуализированная редакция СНиП 3.01.03-84.
9. Большаков В.Д., Маркузе Ю.И. Практикум по теории математической обработки геодезических измерений. — М.: Недра, 1983.
10. Инженерная геодезия. Учебное пособие, часть 1 / Е.С.Богомолова, М.Я.Брынъ, и др.; под ред.В.А.Коугия. СПб.: Петербургский гос. ун-т путей сообщений, 2006. – 86 с.
11. Киселев М.И., Михеев Д.Ш. Геодезия.— М.: Академия, Высш. шк., 2009. - 384 с.
12. Ключин Е.Б., Михелев Д. Ш. Инженерная геодезия. — М.: Недра, 1990.
13. Ларченко М.П., Миловатская Т.Н., Седельникова И.А. Тесты и задачи по курсу инженерной геодезии. – М.: изд. Ассоциация строительных вузов, 2013.- 188 с.
14. Практикум по геодезии / под ред. Г.Г.Поклада. – М.: Академический проект, 2012.-488 с.
15. Фельдман В. Д., Михелев Д. Ш. Основы инженерной геодезии. — М.: Высш. шк., 1998.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Глава 1. Геодезические измерения	
1.1. Термины и определения	3
1.2. Линейные измерения	14
1.3. Нивелирование	38
1.4. Угловые измерения	63
1.5. Теория погрешностей измерений	87
Глава 2. Топографические планы, карты.	
Геодезические сети	
2.1. Азимуты. Дирекционные углы. Румбы. Прямая и обратная геодезические задачи	113
2.2. Топографические планы и карты	131
2.3. Геодезические сети	148
2.4. Спутниковые геодезические измерения	159
2.5. Топографические съёмки	167
Глава 3. Инженерные изыскания для строительной и градостроительной деятельности	
3.1. Инженерно-геодезические изыскания для строительства	180
3.2. Инженерно-геодезические изыскания для градостроительства	192
Список литературы	197

Книги почтой

Заказ можно сделать на сайте издательства

www.infra-e.ru

№ п/п	Наименование книги	Кол-во
1	Англо-русский словарь дорожника	
2	Англо-русский словарь по мостам и тоннелям	
3	Бетоны с эффективными добавками	
4	Защита зданий, сооружений и конструкций от огня и шума. Материалы, технологии, инструменты и оборудование.	
5	Защита зданий, сооружений, конструкций и оборудования от коррозии. Биологическая защита. Материалы, технологии, инструменты и оборудование	
6	Иновации в строительстве: организация и управление	
7	Испытания бетонов и растворов. Проектирование их составов	
8	Компьютерные технологии в подготовке и управлении строительством объектов	
9	Нелинейная инкрементальная строительная механика	
10	Организация строительства. Стройгенплан	
11	Прикладная геодезия: технологии инженерно-геодезических работ	
12	Производство бетонных работ в зимних условиях. Обеспечение качества и эффективность	
13	Расчетное прогнозирование свойств и проектирование составов бетонов	
14	Специальные бетоны	
15	Справочник дорожного мастера. Строительство, эксплуатация и ремонт автомобильных дорог.	
16	Справочник инженера по отоплению, вентиляции и кондиционированию	
17	Справочник мастера строительного-монтажных работ	
18	Справочник по строительному материаловедению	
19	Строительное материаловедение	
20	Строительные минеральные вяжущие материалы	