

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное агентство по образованию
Южно-Уральский государственный университет
Филиал в г.Златоусте
Кафедра промышленного и гражданского строительства

528.4(07)
Т525

З.Я. Толмеев, К.П. Панова

ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОДЕЗИЯ

Курс лекций

Челябинск
Издательство ЮУрГУ
2005

УДК 528.4(075.8)

Толмеев З.Я., Панова К.П. Инженерная геодезия в строительстве: Курс лекций. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2005. – 103 с.

Курс лекций написан в соответствии с рабочей программой ОПД 08 «Инженерная геодезия» для специальности 290300 — «Промышленное и гражданское строительство». Объем дисциплины и виды учебной работы определяются современными требованиями к профессиональной подготовке инженера-строителя ОСТом, утвержденным в 2000 г. Министерством образования Российской Федерации.

Ил. 96, табл. 7, список лит. – 9 назв.

Одобрено учебно-методической комиссией филиала ЮУрГУ в г. Златоусте.

Рецензенты: Соловьев В.В., Шуров В.Е.

ВВЕДЕНИЕ

Курс лекций написан в соответствии с рабочей программой ОПД 08 «Инженерная геодезия» для специальности 290300 – «Промышленное и гражданское строительство». Объем дисциплины и виды учебной работы определяются современными требованиями к профессиональной подготовке инженера-строителя ОСТом, утвержденным в 2000 г. Министерством образования Российской Федерации.

Основными видами инженерно-геодезических работ являются топографо-геодезические изыскания, инженерно-геодезическое проектирование, геодезические разбивочные работы, исполнительные съемки наблюдения за деформациями оснований и сооружений.

Современные промышленные и гражданские сооружения отличаются большой степенью сложности и размерами. Процесс их строительства основан на высоких требованиях к точности размещения на больших территориях и к соблюдению геометрических параметров всех элементов сооружения, определяемых проектом и строительными документами.

Уровень современных геодезических знаний строителя должен позволять ему правильно решать ряд геодезических задач на топографических планах и картах.

Так как инженер-строитель в своей повседневной работе должен уметь выполнять различные геодезические измерения, то задачей курса обучения студентов специальности «Промышленное и гражданское строительство» является заложение основ знаний по инженерной геодезии:

- выполнение топографических съемок и метрологических измерений;
- математическая обработка результатов геодезических измерений;
- составление исполнительной документации законченного строительного объекта.

Материал курса рассчитан на то, что студент, приступая к его изучению, владеет основами географии, элементарной математики, такими разделами физики как механика, колебания и волны, оптика.

Конспект лекций предназначен для студентов всех форм обучения (дневной, вечерней, заочной) специальности «Промышленное и гражданское строительство».

РАЗДЕЛ ПЕРВЫЙ

ПРЕДМЕТ ГЕОДЕЗИИ

Глава 1. ЗЕМНАЯ ПОВЕРХНОСТЬ И СПОСОБЫ ЕЕ ИЗОБРАЖЕНИЯ

§ 1. Основы геодезии

Геодезия – одна из древнейших наук. Слово «геодезия» образованно из двух слов – «земля» и «разделяю», а сама наука возникла как результат практической деятельности человека по установлению границ земельных участков, строительству оросительных каналов, осушению земель.

Современная геодезия – многогранная наука, решающие сложные научные и практические задачи. Главной научной задачей геодезии является определение формы и размеров Земли и ее внешнего гравитационного поля. Эта наука об измерениях на земной поверхности для отображения ее на планах и картах. При решении хозяйственных и научных вопросов, связанных с поверхностью земли, часто возникают такие задачи:

- каково расстояние между двумя пунктами;
- насколько одна точка выше или ниже дугой заданной точки;
- чему равна площадь некоторого участка местности;
- как направлена (ориентирована) данная линия относительно сторон света и т.д.

Все эти вопросы связаны с изучением поверхности земли в геометрическом отношении, а их решение сводится к определению относительного (взаимного) положения точек этой поверхности.

При организации территории и осуществлении всякого рода строительных работ приходится решать и другие задачи:

- как на местности построить прямую заданной длины или круговую кривую заданного радиуса;
- как отбить (наметить) на местности площадь определенной величины и формы и т.д.

Геодезия подразделяется на высшую космическую, топографию, фотограмметрию и инженерную (прикладную) геодезию.

Каждый из этих разделов имеет свой предмет изучения, свои задачи и методы их решения, т.е. является самостоятельной научно-технической дисциплиной.

Высшая геодезия изучает форму Земли, ее размер, внешнее гравитационное поле и методы определения координат точек земной поверхности в единой системе.

Топография (геодезия) рассматривает способы изучения в деталях земной поверхности и отображения ее на картах и планах.

Фотограмметрия решает задачи измерений по аэрофото- и космическим снимкам для различных целей, в том числе: для получения карт и планов, обмеров зданий и сооружений и т.п.

Инженерная геодезия разрабатывает методы геодезических работ, выполненных при изысканиях, проектировании, строительстве и эксплуатации разнообразных инженерных сооружений, установке и монтаже специального оборудования, с целью разведки использования и эксплуатации природных богатств.

Несколько иные задачи инженерной геодезии заключаются в следующем:

а) получении геодезических материалов, необходимых для составления проекта работ по строительству сооружения, путем выполнения полевых геодезических измерений и вычислительно-графических работ;

б) определении на местности положения основных осей и границ сооружений в соответствии с проектами строительства;

в) обеспечении геометрических форм и размеров элементов сооружения на местности в соответствии с его проектом в процессе строительства;

г) обеспечении геометрических условий установки и наладки специального оборудования;

д) установлении отклонений сооруженного объекта от его проекта («исполнительные съемки»);

е) изучении деформаций оснований и тела сооружения, происходящих под действием различных нагрузок, под влиянием внешних факторов.

Результаты геодезических измерений представляют аналитически каталогами координат и высот точек, а также графически – различными чертежами, отображающими по определенному закону местность на плоскости.

Чтобы рационально организовать измерения на поверхности земли и правильно изображать Землю на бумаге, нужно иметь достаточное и четкое понятие о форме и размерах Земли.

§ 2. Форма и размер Земли

Мысль о том, что Земля имеет форму шара, впервые высказал в VI в. до н.э. древнегреческий ученый Пифагор, а доказал это и определил радиус Земли египетский математик и географ Эратосфен, живший в III в. до н.э. Впоследствии ученые уточнили, что Земля сплюснута у полюсов. Такая фигура называется эллипсоидом вращения, она получается от вращения эллипса вокруг малой оси. В земном эллипсоиде полярная ось меньше экваториальной.

Говорить о форме Земли как о сфероиде, т.е. шаре, сплюснутом по направлению полюсов, можно лишь с большим обобщением.

Во-первых, при сравнении Земли с шаром берется невидимая (дневная) поверхность Земли, а ее уровенная поверхность. *Уровенной поверхностью* Земли называют воображаемую ось, которая получается, если мысленно продолжить поверхность океана в его спокойном состоянии под сушей (т.е. как бы срезать сушу до уровня океана).

Во-вторых, суша занимает всего около $1/3$ всей поверхности Земли. К тому же она незначительно возвышается над уровнем океана: лишь отдельные вершины высочайших гор Земли несколько превышают $0,001$ ее радиуса. Все это позволяет приближенно принять и общий вид ее физической (видимой) поверхности за уровенную поверхность, перпендикулярную в каждой точке направлению силы тяжести. Линию, совпадающую с направлением силы тяжести, называют *отвесной линией*.

Фигура, образованная уровенной поверхностью, называется *геоидом* (рис. 1). Эта поверхность не может быть представлена достаточно простым уравнением и неудобна для обработки результатов геодезических измерений. Поэтому за математическую фигуру Земли принимают эллипсоид вращения, наиболее приближенный к геоиду.

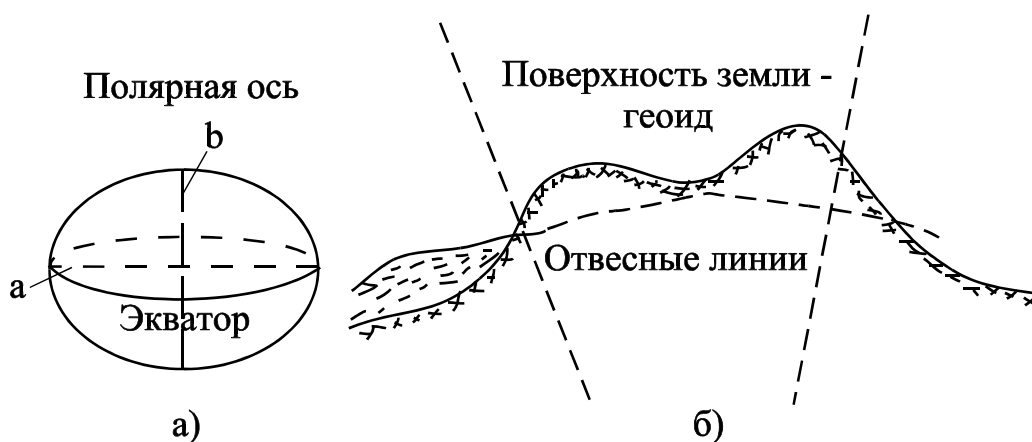


Рис. 1. Земной эллипсоид (а) и геоид (б)

Земной эллипсоид с определенными размерами и ориентированный определенным образом называют *референц-эллипсоидом*. В нашей стране размеры референц-эллипсоида были получены под руководством геодезиста Ф.Н. Красовского. Эти размеры утверждены для использования в работах по высшей геодезии и картографии. Размеры референц-эллипсоида Красовского: большая полуось $a=6\,378\,245$ м, малая полуось $b=6\,356\,863$ м [9].

В некоторых случаях при геодезических измерениях, выполняемых на довольно значительных участках поверхности Земли, геоид заменяют шаром (радиусом $6371,11$ км), эквивалентным по объему референц-эллипсоиду.

§ 3. Изображение земной поверхности на плоскости (план, карта, профиль)

Поверхность Земли изображают на плоскости в виде планов, карт, профилей.

При составлении планов сферическую поверхность Земли проецируют на горизонтальную плоскость и полученное изображение уменьшают. В геодезии применяют метод ортогонального проецирования.

Топографическим планом называют уменьшенное и подобное изображение ортогональной проекции участка местности, в пределах которого кривизна уровенной поверхности не учитывается. Длина ортогональной проекции линии на горизонтальную плоскость называется *горизонтальным проложением*.

Отношение длины линии на плане к длине линии горизонтального проложения этой линии на местности называется численным масштабом топографического плана. Его обычно представляют в виде правильной дроби, числитель которой равен единице, а знаменатель некоторому числу N , показывающему, во сколько раз расстояние на плане « ab » уменьшено по сравнению с соответствующим горизонтальным положением A_0B_0 линии на местности.

Так при $ab=5$ см и $A_0B_0=250$ м имеем

$$M=1/N=5/25\ 000=1/5000.$$

Чем больше знаменатель численного масштаба, тем больше степень уменьшения, т.е. тем меньше масштаб. Используя значение $1/N$ численного масштаба и зная длину S положения линии на местности, можно по формуле определить ее длину на плане

$$s=S/N, \quad (1)$$

отсюда

$$S=s \cdot N. \quad (2)$$

При решении задач по карте или плану с помощью численного масштаба приходится выполнять много вычислений. Чтобы избежать этого используют графические масштабы.

Графические масштабы бывают линейные и поперечные.

Линейный масштаб используют для измерения с небольшой точностью длин отрезков на плане. Он представляет собой шкалу с делением, соответствующим данному численному масштабу. Для построения линейного масштаба на прямой линии откладывают несколько раз расстояние, называемое *основанием масштаба*. Оно соответствует определенному числу метров на горизонтальном положении. На рис. 2,а основание принято равным 2 см, что при численном масштабе 1:5000 соответствует 100 м на горизонтальном проложении. Первое основание делят на 10 равных частей и на первом конце его пишут нуль, а на левом – то число метров, которому на горизонтальном проложении соответствует в данном масштабе основание. Вправо от нуля над каждым делением надписывают значения соответствующих расстояний на горизонтальном положении.

Поперечный масштаб применяют для более точных измерений длин линий на планах. Его гравировать на специальных металлических линейках, называемых масштабными. Он позволяет измерять расстояния с точностью цены наименьшего деления.

Поперечный масштаб строят следующим образом (рис. 2,б). На прямой линии, как и при построении линейного масштаба, откладывают несколько раз основание

масштаба и первый отрезок делят на 10 равных частей. Деления подписывают так же, как и при построении линейного масштаба. Из каждой точки подписанного деления восстанавливают перпендикуляры, на которых откладывают 10 отрезков, равных десятой доле основания. Через точки, полученные на перпендикулярах, проводят прямые линии, параллельные основанию. Верхнюю линию первого основания делят также на десять равных частей. Полученные точки верхних и нижних делений на первом отрезке соединяют, как показано на рис. 2,б. Полученные линии называют трансверсалиями. Расстояние между смежными трансверсалиями составляют десятую долю основания, а между нулевой вертикальной линией и смежной с ней трансверсалью от одной сотой доли до десятой.

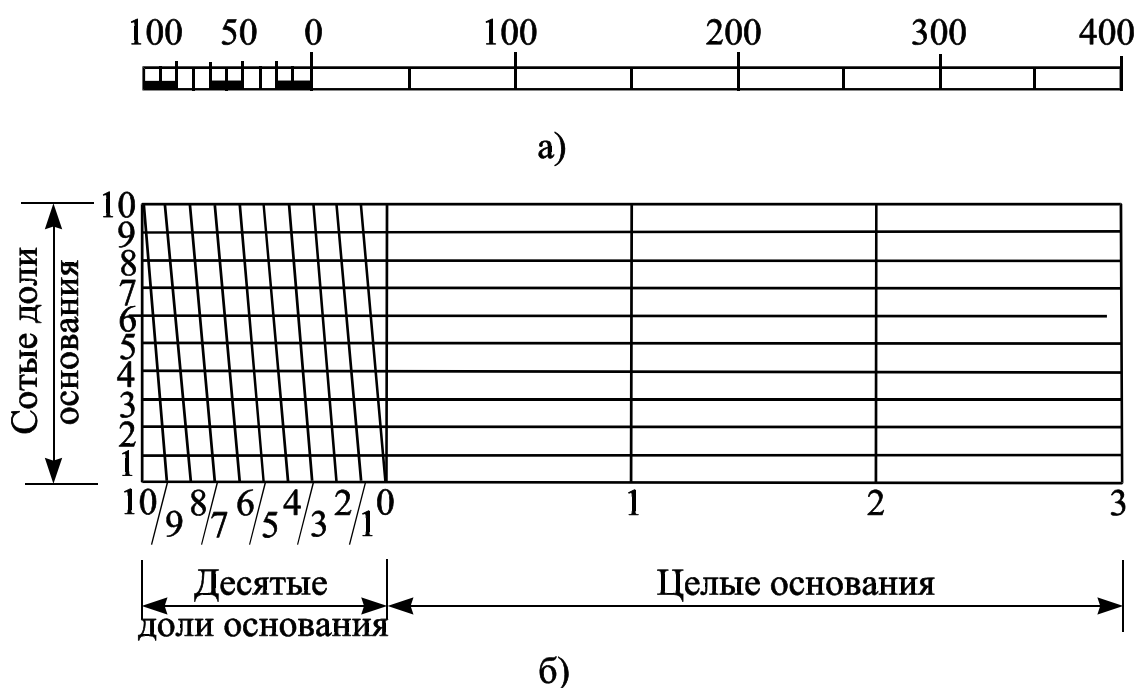


Рис. 2

В Российской Федерации топографические планы создают обычно в масштабах: 1:10 000, 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500, 1:200. Применение того или иного масштаба определяется назначением топографического плана, характером ситуации на местности и технико-экономическими показателями.

Например, проекты и рабочую документацию малоэтажной застройки составляют на планах масштаба 1:1000, многоэтажной – на планах масштаба 1:500 [1].

Топографической картой называется изображение Земли на плоскости, уменьшенное и искаженное в следствии кривизны уровенной поверхности. По ней можно измерить расстояния, направления, площади. Масштабы карт обуславливают их содержание и использование. Действительно, чем крупнее масштаб, тем подробнее и точнее можно изобразить на карте детали местности.

Профилем местности называется уменьшенное изображение вертикального разреза местности (земной поверхности) по заданному направлению.

Разрез местности представляет собой кривую линию ABCDEFG. На профиле она строится в виде ломанной линии abcdefg (рис. 3). Уровненную поверхность изображают прямой линией, для большей наглядности вертикальные отрезки (высоты, превышения) делают крупнее чем горизонтальные (расстояния между точками).

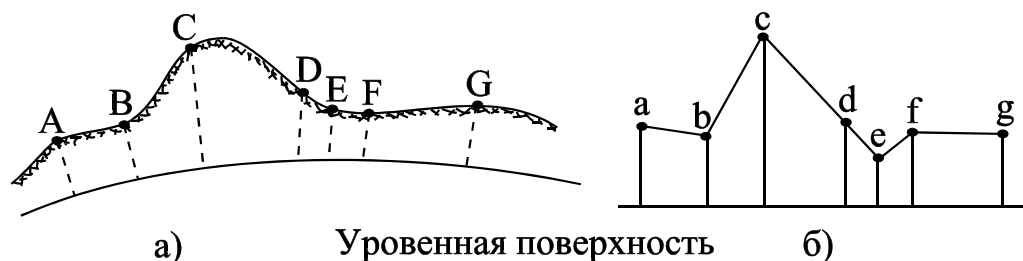


Рис. 3. Разрез (а) и профиль (б)

Содержание планов и карт

Местные предметы на топографических планах и картах изображаются условными знаками. К местным предметам относятся: контуры населенных пунктов, сады, огороды, озера, реки, линии дорог и электропередач. Совокупность этих предметов называется *ситуацией*.

Изображаемые на планах и картах объекты местности можно разбить на две группы. Одна группа, по своим размерам может выражаться в масштабе данной карты или плана, как например, пашни, луга, леса, огороды, моря, озера и т.п. Предметы другой группы, по своим размерам, не могут быть выражены в масштабе карты, например, ширина дороги, малые реки, ручьи, мосты, колодцы и т.д. Условные знаки для первой группы предметов называются *масштабными* или *контурными*, для второй группы – *внемасштабными*. [4]

Условные топографические знаки должны давать ясное и наглядное представление о местности и находящихся на ней предметах (рис. 4).

Учет кривизны земной поверхности при измерении горизонтальных расстояний

В зависимости от размеров участка и точности геодезических измерений за уровненную поверхность следует принимать геоид, эллипсоид или земной шар. Определим теперь какого размера участок земной поверхности практически можно принять за плоский при измерении на нем расстояний.

Проведем через точку М и центр О земной сферы вертикальную плоскость, а также горизонтальную плоскость, касательную к сфере в той же точке М. Радиусы $OA_0=OB_0=R$ земной сферы продолжим до пересечения с касательной плоскостью в точках А и В и найдем разность между длиной касательной $AB=d$ и длиной соответствующей дуги $A_0MB_0=S$ сферы.

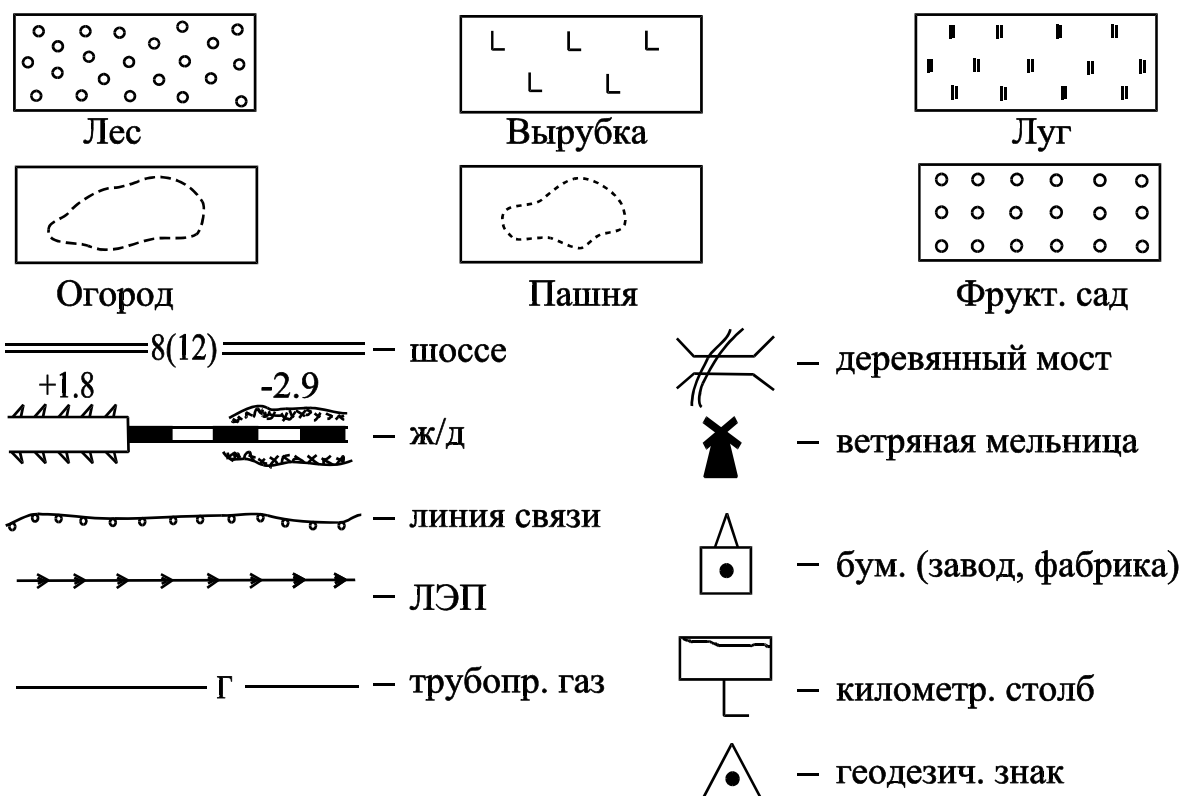


Рис. 4

Из рис. 5 имеем:

$$d=2R\operatorname{tg}\beta, \quad s=2R\beta,$$

тогда $d-s=2R(\operatorname{tg}\beta-\beta)$, но $\beta=s/2R$, а из курса высшей математики известно

$$\operatorname{tg}\beta=\beta+\beta^3/3+\dots,$$

поэтому

$$d-s=2Rs^3/24R^3=s^2/12R^2$$

или в относительной мере

$$(d-s)/s=s^2/12R^2, \quad (3)$$

принимая $s=20$ км и $R\approx 6000$ км, по формуле (3) получаем

$$(d-s)/s=(1/12)(20/6000)^2\approx 1/1\,000\,000.$$

Такой погрешностью характеризуются наиболее точные измерения расстояний в геодезии.

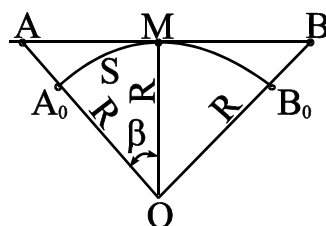


Рис. 5

При составлении топографических планов для участков местности размером 20 км × 20 км уровенную поверхность можно считать плоскостью. [9]

В зависимости от характера рельефа местность подразделяют на равнинную, всхолмленную и горную. Равнинная местность имеет слабовыраженные формы или почти совсем не имеет неровностей; всхолмленная характеризуется чередованием сравнительно небольших по высоте превышений и понижений; горная представляет собой чередование возвышений более 500 м над уровнем моря, разделенных долинами.

Из многообразия форм рельефа местности можно выделить наиболее характерные.

Гора, холм, сопка – это возвышающаяся над окружающей местностью конусообразная форма рельефа, наивысшая точка которой называется вершиной, основание горы называется подошвой. Вершина в виде площади называется *плато*, а вершина остроконечной формы – *пиком* (рис. 6).

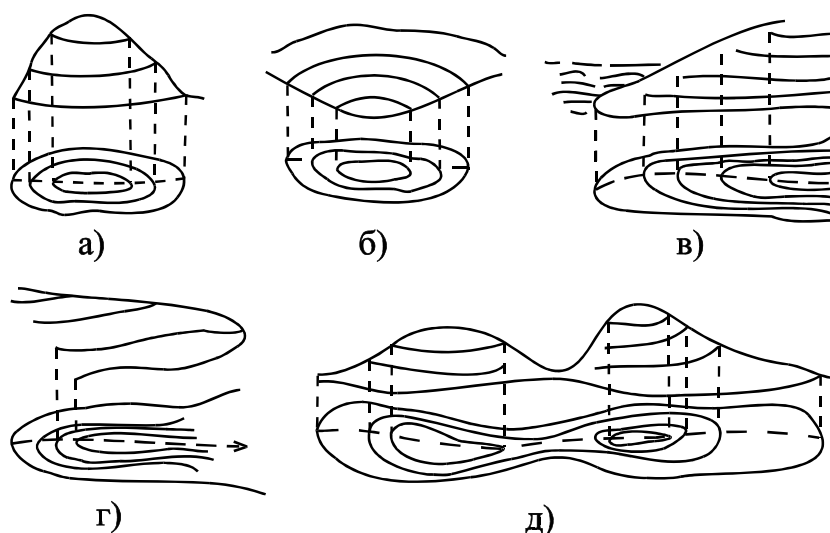


Рис. 6. Основные формы рельефа:

- а – гора;
- б – котловина;
- в – хребет;
- г – лощина;
- д – седловина

Котловина или впадина – чашеобразное замкнутое со всех сторон углубление; самую низкую часть котловины называют *дном*, верхний ее край – *бровкой*.

Хребет – вытянутая возвышенность, постепенно возвышающаяся в одном направлении и имеющая два крутых ската, называемых *склонами*, пересечение которых образует ось хребта, называемую *водораздельной линией*.

Лощина – вытянутое углубление местности, постепенно понижающееся в одном направлении. Ось лощины между двумя скатами называется *водосливной линией*, или *тальвегом*. Разновидностями лощины является *долина* – широкая лощина с пологими склонами и *овраг* – узкая лощина с почти отвесными склонами.

Седловина – пониженная часть местности между двумя соседними возвышенностями. В горах седловину называют *перевалом*.

Вершина горы, дно котлована, низкая точка седловины называются *характерными точками рельефа*, а водораздел и тальвег – *характерными*

линиями рельефа. Характерные точки и линии рельефа облегчают распознавание отдельных форм его на местности и изображение их на картах и планах. Известны различные способы изображения рельефа. Наиболее совершенные, с инженерной точки зрения, способы изображения рельефа горизонталями в сочетании с подписью отметок характерных точек и цифровой.

Горизонталь – линия на карте или плане, соединяющая точки с равными высотами (рис. 7). Для определения направлений скатов на некоторых горизонталях, их изображающих, проводят короткие черточки, в направлении ската, называемые бергштрихами или указателями ската; надписи на горизонталях, указывающие их высоты, делаются таким образом, чтобы основания цифр были направлены в сторону понижения местности.

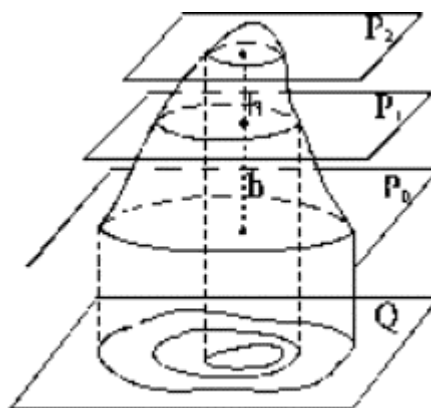


Рис. 7

Если представить себе сечение поверхности Земли горизонтальной (уровенной) поверхностью P_0 , то линия пересечения этих поверхностей, ортогонально спроецированная на плоскость и уменьшенная до размера в масштабе плана или карты и будет горизонталью. Если поверхность P_0 расположена на высоте H от уровенной поверхности, принятой за начало счета абсолютных высот, то любая точка на этой горизонтали будет иметь абсолютную отметку, равную H . Изображение в горизонталях рельефа всего участка местности можно получить в результате сечения поверхности этого участка рядом горизонтальных плоскостей $P_1, P_2, \dots$, расположенных на одинаковом расстоянии h друг от друга. В результате на карте получают горизонтали с отметкой $H+h, H+2h$ и т.д. [3].

Расстояние h между секущими горизонтальными плоскостями называется высотой сечения рельефа. В зависимости от масштаба карты или характера изображаемого рельефа высота сечения различна.

Расстояние между горизонталями на плане или карте называется *заложением*. Чем больше заложение, тем меньше крутизна ската на местности.

Глава 2. ОРИЕНТИРОВАНИЕ НА МЕСТНОСТИ

§ 4. Углы ориентирования

При выполнении геодезических работ на местности, работ с картой, планом необходимо определить положение линии (ориентировать линию) относительно сторон света или какого-нибудь направления, принимаемого за исходное. В качестве углов, определяющих направление линии, служат азимуты, румбы и дирекционные углы.

Географическим (истинным) азимутом (A) называется горизонтальный угол, отсчитываемый по ходу часовой стрелки от направления на север географического меридиана данной точки до заданного направления MN (рис. 8).

Азимут может иметь значения от 0^0 до 360^0 . В геодезии принято различать прямое и обратное направление. Если направление линии MN от точек M к точке N считать прямым, то NM – обратное направление той же линии в точке N .

Истинные азимуты линий местности определяются путем астрономических наблюдений.

Так как меридианы разных точек земной поверхности не параллельны между собой (они сходятся у полюсов), азимут линии в разных ее точках имеет разное значение. Угол между направлениями двух меридианов называется *сближением меридианов* и обозначается γ . Зависимость между прямыми и обратным азимутами линии MN выражается формулой

$$A_1 = A + 180^0 + \gamma. \quad (4)$$

Румбом (r) называется горизонтальный угол между направлением данной линии и ближайшей частью меридиана. Величина румба сопровождается названием из двух букв, обозначающих страны света (рис. 9) и указывающих направление линии.

Связь между азимутами и румбом показана на рис. 9 и в табл. 1.

Таблица 1

Азимуты	Румбы	Направление линий
$0^0 \dots 90^0$	$r = A_1$	СВ
$90^0 \dots 180^0$	$R = 180^0 - A_2$	ЮВ
$180^0 \dots 270^0$	$R = A_3 - 180^0$	ЮЗ
$270^0 \dots 360^0$	$R = 360^0 - A_4$	СЗ

Дирекционным углом (α) называется горизонтальный угол между направлениям данной линии и северной частью осевого меридиана или линии, ему параллельной. Дирекционный угол отсчитывается по ходу часовой стрелки и измеряется от 0^0 до 360^0 . Дирекционный угол какого-либо направления

непосредственно на местности не измеряют, его значение можно вычислить, если для данного направления определен истинный азимут (рис. 10).

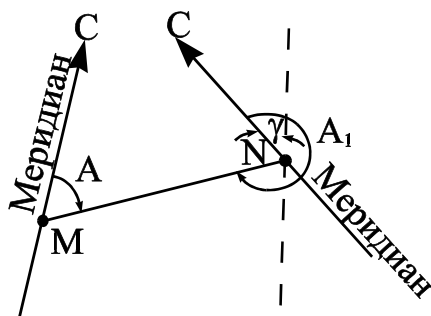


Рис. 8

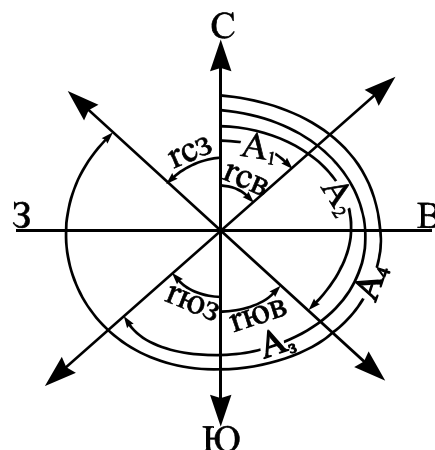


Рис. 9

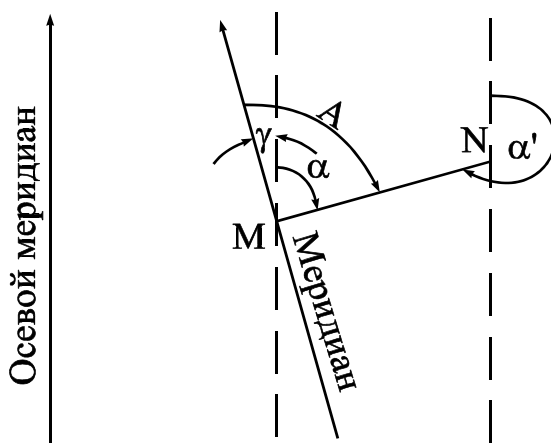


Рис. 10. Зависимость между дирекционным углом и истинным азимутом линии

Между истинным азимутом A линии и ее дирекционным углом α существует зависимость

$$A = \alpha + \gamma. \quad (5)$$

Сближение меридианов γ считается положительным для точек, лежащих к востоку от осевого меридиана и отрицательным для точек, расположенных к западу от него. Так же, как для азимута, различают прямой и обратный дирекционные углы: α – прямой, α' – обратный дирекционные углы линии MN

$$\alpha' = \alpha + 180^\circ. \quad (6)$$

Магнитным азимутом называется угол между северным направлением магнитного меридиана и направлением данной линии, а *магнитным меридианом* называется направление магнитной оси свободно подвешенной магнитной стрелки. Магнитный азимут легко определяется с помощью простых приборов – компаса или буссоли, главной частью которых является магнитная стрелка.

Магнитный азимут так же, как и истинный, считают по направлению движения часовой стрелки, он измеряется от 0^0 до 360^0 . Так же магнитный полюс не совпадает с географическим, направление магнитного меридиана, в данной точке не совпадает с направлением истинного меридиана. Горизонтальный угол между этими направлениями называют *склонением магнитной стрелки* δ . В зависимости от того, в какую сторону уклоняется северный конец магнитной стрелки от направления истинного меридиана, различают восточное и западное склонение. Перед значением восточного склонения ставят знак плюс, западного – минус. Зависимость между истинным A и магнитным A_m азимутами выражается формулой

$$A = A_m + \delta. \quad (7)$$

Если известно склонение δ магнитной стрелки и сближение меридианов γ , по измеренному магнитному азимуту A_m линии MN можно вычислить дирекционный угол α (рис. 11) этой линии:

$$\alpha = A_m + (\delta - \gamma). \quad (8)$$

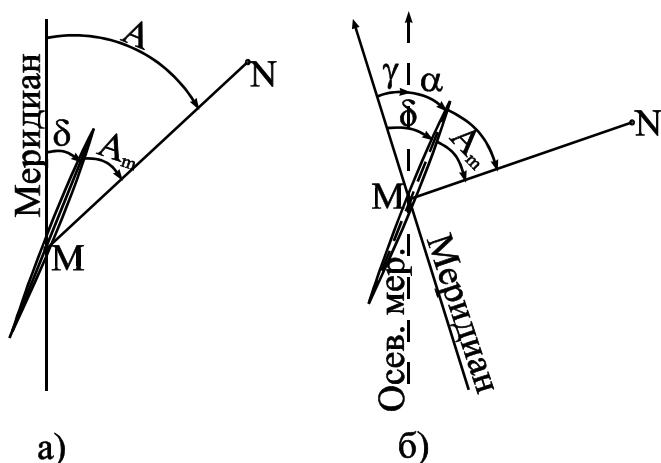


Рис. 11. Зависимость между истинным и магнитным азимутами (а), магнитным азимутом и дирекционным углом (б)

§ 5. Решение задач на топографических планах и картах

Определение прямоугольных координат

Для определения координат x_A и y_A точки A на карте или плане измеряют ее расстояния Δx и Δy по перпендикулярам до ближайших километровых линий с координатами x_0 и y_0 и находят:

$$x_A = x_0 + \Delta x \quad \text{и} \quad y_A = y_0 + \Delta y.$$

Измерение на карте (плане) углов ориентирования

Для измерения дирекционного угла линии можно провести через начальную точку этой линии прямую, параллельную оси абсцисс, и непосредственно, при этой точке, измерить дирекционный угол. Однако проще продолжить данную линию до пересечения ее координатной линии и измерить дирекционный угол в точке пересечения. Так как на каждом листе топографической карты указываются сближения меридианов и склонение магнитной стрелки, то значения азимутов истинного и магнитного вычисляют по формулам:

$$A=\alpha+\gamma \quad \text{и} \quad A_m=\alpha+\gamma-\delta.$$

Определение расстояний

Для измерения прямолинейных отрезков на топографических картах и планах используют линейный и поперечный масштабы.

Для измерения криволинейных отрезков применяется прибор, называемый *курвиметром*.

Определение крутизны ската

Крутизна ската характеризуется углом наклона ν , который образует линия местности, например, АВ с горизонтальной плоскостью Р (рис. 12).

Из прямоугольного треугольника АВВ' следует

$$\operatorname{tg} \nu = h/a, \quad (9)$$

где h – высота сечения рельефа; a – заложение.

Крутизна ската характеризуется также уклоном

$$i = \operatorname{tg} \nu. \quad (10)$$

Наклон линии выражается в градусах, а уклон в процентах или в промилле, т.е. в тысячных долях единицы.

Для графического определения углов наклона ν по заданному значению заложения a , масштабу M и высоте сечения h строят график заложения (рис. 13).

Вдоль прямой линии основания графика намечают точки, соответствующие значению углов наклона. По перпендикуляру к основанию графика от этих точек откладывают отрезки (в масштабе карты), равные соответствующим заложениям, а именно $a = h/\operatorname{tg} \nu$. Концы этих отрезков соединяют плавной кривой.

При работе с картой или планом угол наклона либо уклона определяют, пользуясь графиками, которые помещают за южной рамкой топографических карт и планов. Для этого с карты раствором измерителя, берут заложения между двумя горизонталями по данному скату, затем по графику находят то место, где

расстояние между кривой и горизонтальной прямой равно этому заложению. Для найденной таким образом ординаты прочитывают значение v или i по горизонтальной прямой (на приведенных графиках отмечено звездочками: $v=1^{\circ}15'$; $i=0,025=25\%$).

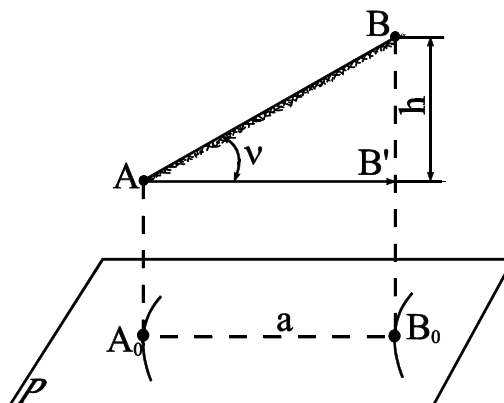


Рис. 12

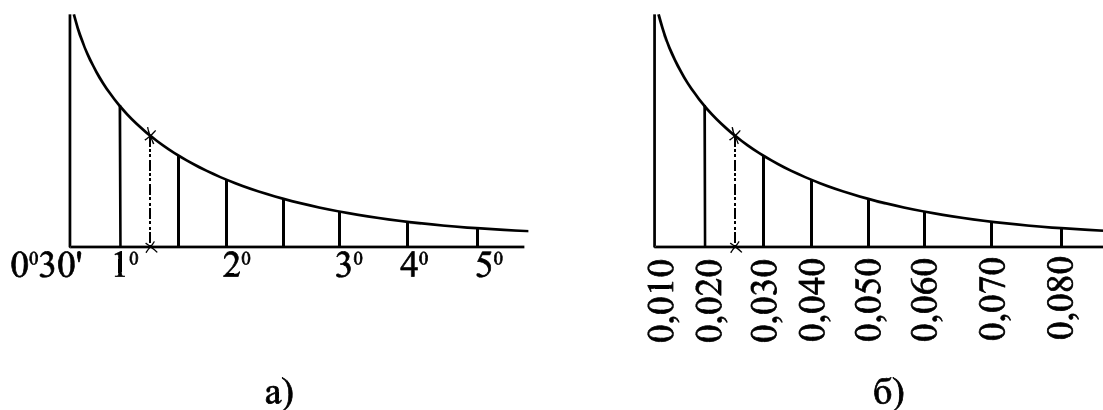


Рис. 13. Графики заложения: а – для углов наклона;
б – для уклонов

Построение на карте линии заданного предельного уклона

При проектировании линейных сооружений – трасс водопровода, автомобильной и железной дорог и т.п. возникает задача из некоторой точки А, отмеченной на карте, провести кратчайшую линию с заданным уклоном i по заданному направлению до точки В.

Проще всего задача решается с помощью графика заложения для уклонов. Взяв по нему раствором измерителя заложение $a_{пред}$, соответствующее уклону, засекают последовательно точки 1–4 – все горизонтали от точки А до точки В. Если раствор измерителя меньше расстояния между горизонталями, линию проводят по кратчайшему направлению. Соединив все точки, получают линию с заданным предельным уклоном [2].

Определение высот (отметок) точек

На рис. 14 изображен участок карты с горизонталями. Высоту (отметку) точки С определяют по высоте ближайшей горизонтали, для чего через точку С проводят прямую, перпендикулярную горизонтали, и находят превышения Δh точки С над этой горизонталью. Высота H_C точки С определяется по формуле

$$H_C = H_0 + \Delta h,$$

где H_0 – высота ближайшей к точке горизонтали;

Δh – превышение точки над этой горизонталью.

Так как высоты точек измеряются пропорционально заложению, то

$$\Delta h = d/a \cdot h,$$

где d – расстояние от точки до ближайшей горизонтали;

a – заложения между горизонталями;

h – высота сечения рельефа горизонтали [3].

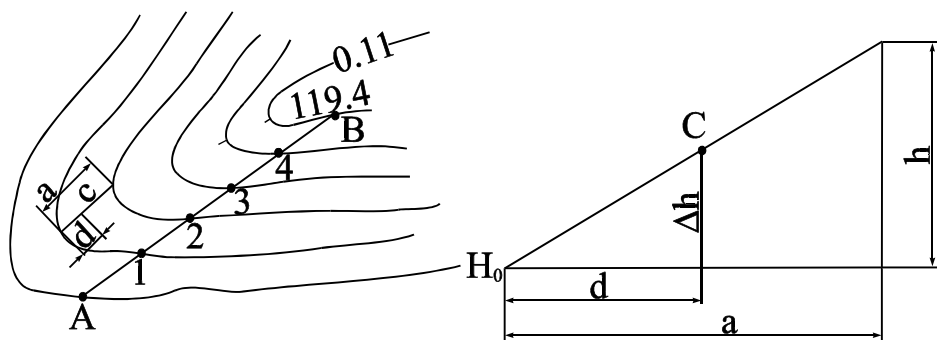


Рис. 14. Схема проведения на карте линии заданного предельного уклона и определения высоты точки

Построение профиля по топографической карте

Если на карте с горизонталями провести некоторую прямую линию, то для любой ее точки можно определить горизонтальное расстояние (удаление) от начальной точки и высоту. Отложив эти величины соответственно по осям абсцисс и ординат, соединив полученные точки плавной кривой, получим изображение вертикального разреза земной поверхности вдоль данной линии АВ.

Линия АВ служит основанием профиля. Обычно масштаб горизонтальных расстояний принимается таким же, как и масштаб карты, а масштаб высот берется крупнее в 10 раз. Основанию профиля (началу отсчета высот) приписывается некоторая высота, называемая *условным горизонтом УГ* (на рис.15 за условный горизонт принята высота, равная 100 м).

Измерение площадей участков местности по топографическим планам и картам может производиться графическим, аналитическим и механическим способами.

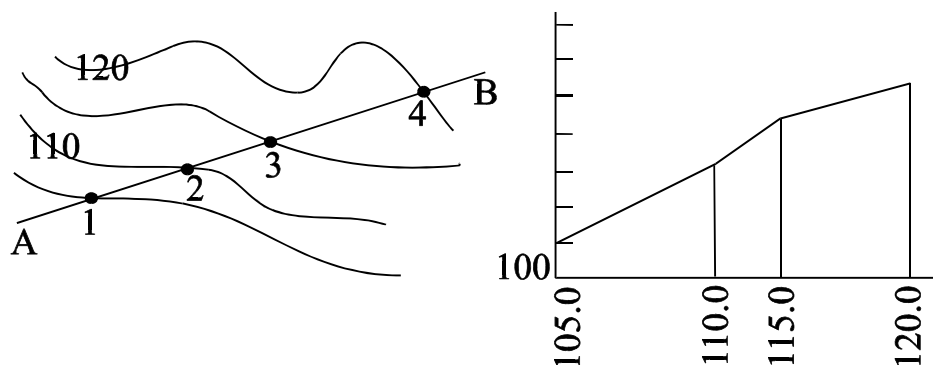


Рис. 15. Схема построения профиля по заданному направлению

Графический способ заключается в том, что участок разбивают на правильные геометрические фигуры (треугольники, четырехугольники, трапеции) вычисляют площади отдельных фигур по известным формулам и суммируют полученные значения.

Определение площадей с помощью палеток (рис. 16). Палетка представляет собой лист прозрачного материала (кальки), на которую нанесена сетка квадратов со стороной 2...4 мм или параллельные линии. Палетку используют для определения площадей фигур, имеющих криволинейные очертания.

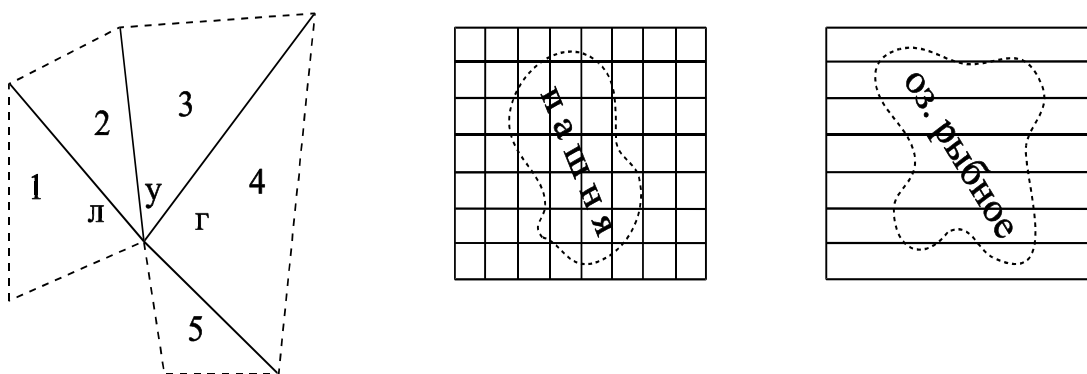


Рис. 16. Образец определения площадей участка: а – делением на правильные фигуры; б – с помощью квадратной палетки; в – с помощью линейной палетки

Способ определения площадей с помощью квадратной (сетчатой) палетки заключается в следующем: палетку накладывают на контур участка, подсчитывают n полных квадратиков, заключенных внутри контура участка и

число n' , рассеченных границей участка. Общее число квадратов, входящих в контур участка, вычисляют по формуле

$$n_{об} = n + 0,5n'. \quad (9)$$

Площадь участка $S = n_{об} \cdot (aN)^2, \quad (10)$

где a – сторона палетки в линейной мере (см, мм);

N – знаменатель масштаба карты (плана) [4].

Квадратные сетчатые палетки применяют для определения площадей малых (до $2 \dots 3 \text{ см}^2$) участков на карте или плане.

С помощью линейной палетки площадь участка определяется аналогичным образом. При наложении линейной палетки на контур участка он становится рассеченным на фигуры, имеющие форму, близкую к трапеции.

Аналитический способ определения площадей участков (рис. 17) используется, когда участок ограничен ломаной линией, а прямоугольные координаты x_i, y_i его вершины известны. Если вершины участка пронумеровать по часовой стрелке, то формулу определения площади можно представить как [9]

$$S = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n x_i (y_{i+1} - y_{i-1}) \quad (10)$$

или

$$S = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n y_i (x_{i+1} - x_{i-1}). \quad (11)$$

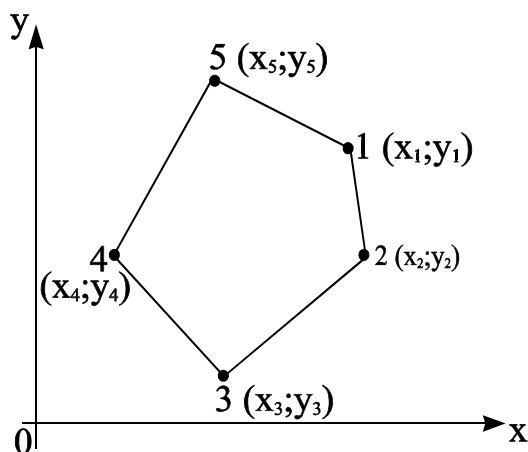


Рис. 17. Определение площади аналитическим способом

Механический способ измерения площадей основан на использовании планиметра – специального прибора. Полярный планиметр (рис. 18) состоит из двух рычагов – полюсного P_1 и обводного P_2 , соединенных шаровым шарниром, укрепленным на конце полюсного рычага. На обводном рычаге помещается передвижная каретка со сложным механизмом. Свободный рычаг имеет ручку со шпилем для обвода контура. Перед измерением обводный шпиль устанавливают над какой-либо точкой контура площади и по счетному механизму делают

начальный отсчет a_1 . После обвода контура площади делают конечный отсчет a_2 . Площадь участка будет вычислена по формуле

$$S = c(a_2 - a_1), \quad (12)$$

где c — цена деления планиметра.

Цена деления планиметра определяется опытным путем — несколькими обводами контура геометрической фигуры известной площади [9].

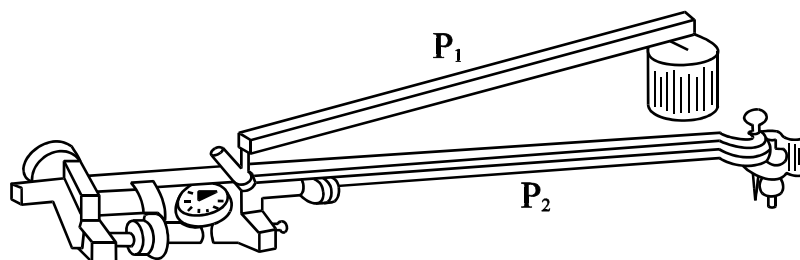


Рис. 18. Полярный планиметр

Глава 3. СИСТЕМЫ КООРДИНАТ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В ГЕОДЕЗИИ

§ 6. Географическая система координат

Чтобы определить положение точек на местности (на земной поверхности), на ней условно проводят линии — параллели и меридианы которые образуют систему географических координат.

Параллель — воображаемая линия, образованная на поверхности Земли секущей плоскостью, перпендикулярна оси вращения PP_1 Земли (рис. 19,а). Параллель, образованная плоскостью, проходящей через центр Земли, перпендикулярно оси PP_1 называется экватором.

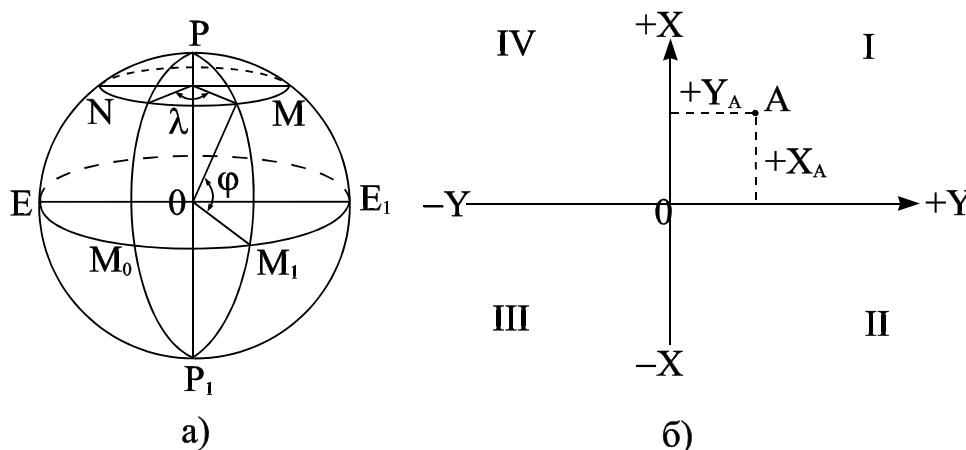


Рис. 19. Системы географических (а) и прямоугольных плоских (б) координат

Меридиан – воображаемая линия, образованная секущей плоскостью, проходящей через ось PP_1 вращения Земли.

Географические координаты точки земной поверхности – это широта, долгота и высота, соответственно φ , λ и H .

Один из меридианов, например меридиан PNM_0P_1 принимают за начальный. Тогда положение меридиана точки M определяется двугранным углом между меридиональной плоскостью, проходящей через эту точку и плоскостью начального меридиана. Этот угол называют *долготой данной точки* и обозначают буквой λ . Положение параллели данной точки M определяется углом между радиусом OM земного шара и плоскостью экватора. Этот угол называют *широтой данной точки* и обозначают буквой φ .

Счет широт идет в обе стороны от экватора от 0^0 до 90^0 , т.е. к северу и югу от экватора, и обозначают, например 25^0 с. ш. (северной широты) или 20^0 ю.ш. (южной широты).

Долготы отсчитывают к востоку и к западу от начального меридиана в пределах от 0^0 до 180^0 и обозначают, например 52^0 в. д. (восточной долготы) или 140^0 з. д. (западной долготы).

В качестве начального принят меридиан, плоскость которого проходит через центр Гринвичской обсерватории, находящейся вблизи Лондона [3].

§ 7. Система плоских прямоугольных координат

Небольшой участок уровенной поверхности Земли (см. рис. 5) можно считать совпадающим с горизонтальной плоскостью, т.е. пренебречь сферичностью поверхности Земли.

На горизонтальной плоскости в геодезии установлена система плоских прямоугольных координат X, Y (рис. 19,б). Эту систему образуют две взаимно перпендикулярные линии, направление оси абсцисс совмещают с направлением на север местного меридиана. В строительстве часто за ось абсцисс принимают направление одной из главных осей строящегося объекта.

§ 8. Система отсчета высот в РФ

Для полной характеристики положения точки на поверхности Земли необходимо знать третью координату – высоту. *Высотой* точки называется расстояние по отвесному направлению от этой точки до уровенной поверхности (рис. 20).

Расстояние от данной точки до основной отсчетной поверхности, за которую в РФ принята поверхность, совпадающая со средним уровнем Балтийского моря, получило название «балтийской системы». Числовые значения высоты точки называются ее *отметкой*.

Высоты бывают абсолютные, условные и относительные. *Абсолютные* высоты (H_A , H_B) отсчитывают от исходной уровенной поверхности – среднего уровня

океана или моря. Условной высотой, например $H_{\text{Усл.}}$, называется отвесное расстояние от точки земной поверхности до условной уровенной поверхности.

Относительной высотой или превышением h называется разность высот одной точки относительно к другой (например, точки В над точкой А).

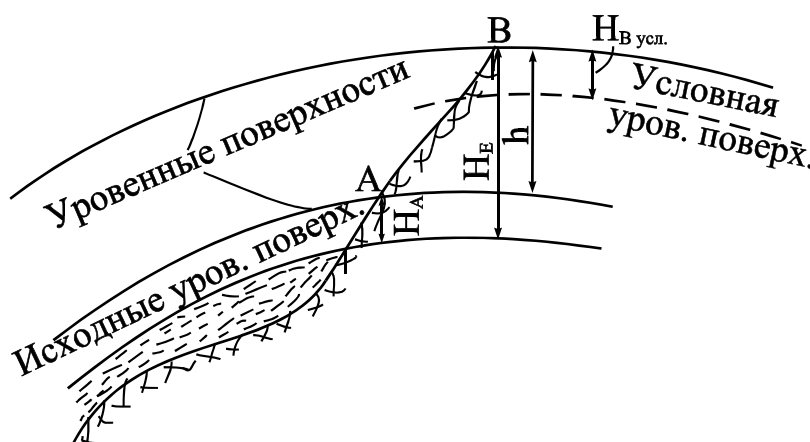


Рис. 20. Абсолютная, условная и относительная высоты

§ 9. Система плоских прямоугольных координат Гаусса – Крюгера

Основным достоинством, рассмотренным в § 6, системы географических координат является то, что она может быть распространена как единая координатная система на всю поверхность земного эллипсоида. Однако применение географических координат для практических целей сопряжено с некоторыми трудностями:

- 1) использование географических координат связано со сложными, трудоемким вычислениями;
- 2) взаимное положение пунктов определяется в угловых единицах, а расстояние на местности определяют в линейной мере;
- 3) значение одних и тех же угловых единиц соответствует разным линейным величинам в зависимости от широты.

Из вышесказанного следует, что необходимо выбрать такую координатную систему, которая по простоте и удобству применения могла бы быть принята в решении геодезических задач.

Решение геодезических задач в этой системе выполняется по простым формулам аналитической геометрии, для чего необходимо перенести на плоскость сеть параллелей и меридианов Земного эллипсоида. Способ перенесения сетки со сферической поверхности на плоскость называется картографическим проецированием. В геодезии целесообразно применять такую проекцию, которая не искажала бы углов, т.е. сохраняла бы подобие изображаемых фигур. Этим требованием отвечает принятая в РФ поперечно-цилиндрическая равноугольная проекция Гаусса – Крюгера.

Разбитую поверхность земной сферы меридианами на сферические двугульники – зоны 1 (рис. 21) проецируют на внутреннюю поверхность цилиндра, касающегося Земли по какому-либо меридиану (осевому) 2. Ось

цилиндра лежит в плоскости экватора. Чтобы искажения длин линий не превышали пределов точности масштаба карты, проецируемую часть земной поверхности ограничивают меридианами с разностью долгот 6^0 , а при составлении планов в масштабах 1:5000 и крупнее – 3^0 .

Счет зон ведется от Гринвичского меридиана на восток. После разрезания цилиндра по одной из образующих AA_1 или BB_1 и разворачивания его в плоскость, осевой меридиан зоны и экватор образуются взаимно перпендикулярными прямыми линиями X, Y (рис. 22).

Долготу осевого меридиана шестиградусной зоны можно определить по формуле

$$\lambda_0 = 6^0 \cdot n - 3^0, \quad (13)$$

где n – номер зоны.

В каждой зоне задается своя система прямоугольных координат, в которой за ось абсцисс (x) принимают изображение осевого меридиана, а за ось ординат (y) – изображение экватора. Таким образом, координатами какой-либо точки зоны является ее расстояние от экватора и от осевого меридиана [9].

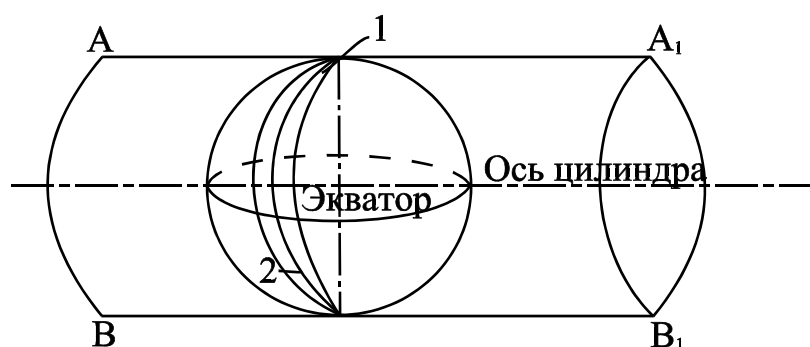


Рис. 21. Схема построения поперечной цилиндрической поверхности

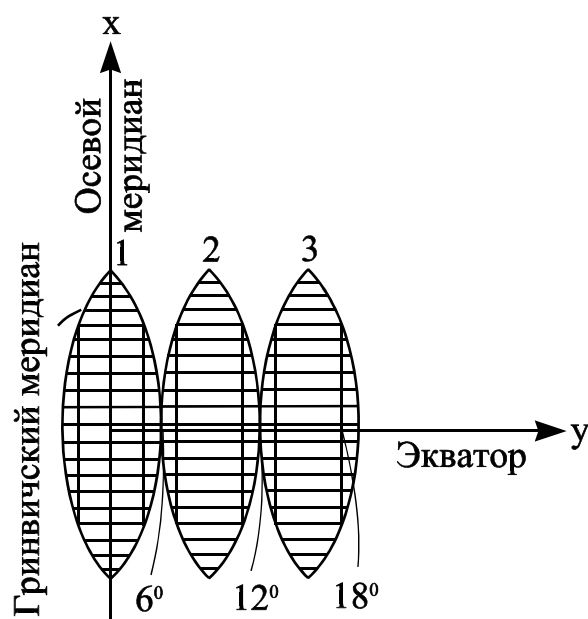


Рис. 22. Шестиградусные зоны поверхности Земного эллипсоида

Глава 4. УГЛОВЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ

§ 10. Принцип измерения углов на местности и устройство теодолита

Угловые измерения производят для того, чтобы определить в пространстве взаимное положение точек местности. Измерение горизонтальных и вертикальных углов выполняют специальным прибором – *теодолитом*.

Горизонтальный угол – ортогональная проекция пространственного угла на горизонтальную плоскость.

Вертикальный угол или угол наклона – это угол, заключенный между наклонной и горизонтальной линиями.

Для измерения величины горизонтального угла надо иметь круг с нанесенными на его окружности градусными делениями. Допустим, что такой круг, называемый *лимбом* (от лат. *limbus* – кайма); располагается в горизонтальном положении над точкой А местности так, что его центр лежит на одной отвесной линии с этой точкой.

Допустим далее, что около центра круга вращается линейка, называемая *алидадой* (арабск.). При этом алидада имеет штрихи, расположенные на прямой, проходящей через центр деления круга, и приспособление для отсчета – индекса штриха. Сделать отсчет – это значит определить против какого деления круга остановится штрих алидады. Очевидно, каждому положению алидады (при неподвижном лимбе) будет соответствовать свой отсчет.

Техника измерения угла ВАС сводится к следующему: алидаду сначала наводят на левую точку В и делают отсчет (в), далее ее направляют на правую точку С и снова производят отсчет (с). Разность этих отсчетов дает искомый угол:

$$\beta = \text{ВАС} = \text{с} - \text{в} = 62^{\circ} - 15^{\circ} = 47^{\circ}.$$

Может случиться, что правый отсчет меньше левого, тогда перед вычитанием к нему надо прибавить 360° . Очевидно, этот случай соответствует положению нулевого штриха лимба внутри измеряемого угла.

Если с данной точки А необходимо определить значение углов между направлениями на точки числом больше двух, например между направлениями на точки В, С, D и E (рис. 23), то можно измерить не каждый угол ВАС, САD и т.д. в отдельности, а все совместно, производя отсчеты последовательно, например, по ходу часовой стрелки на каждую из точек В, С, D и т.д. Такие отсчеты называют *направлениями*, а совокупность измеренных совместно направлений – *рядом направлений*.

Вертикальный угол измеряют по вертикальному кругу (лимб с алидадой) аналогичным образом, но одним из направлений служит фиксированная горизонтальная линия. Из рис. 24 видно, что если наблюдаемая точка расположена выше горизонта, вертикальный угол (v) положителен, если ниже – отрицателен (–v).

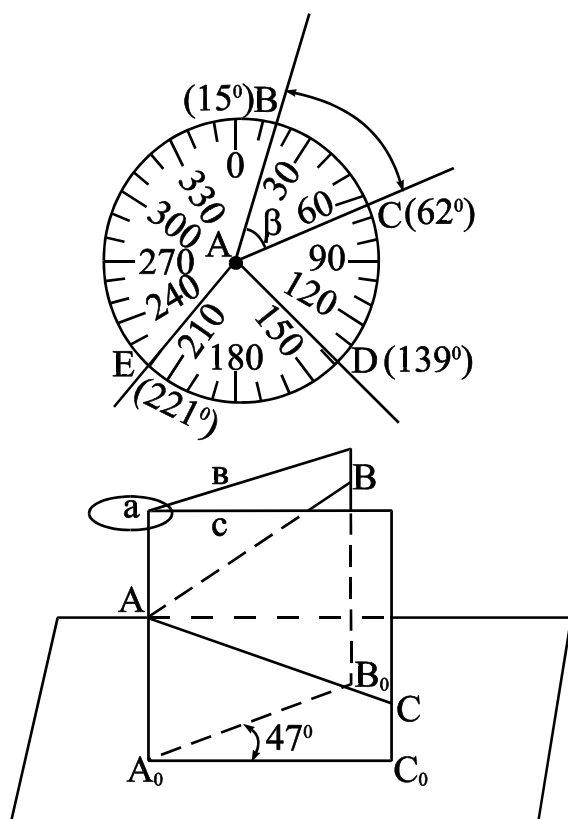


Рис. 23. Схема измерения горизонтального угла

На этом принципе основано устройство теодолитов (рис. 25). Прибор состоит из подставки, которая опирается на три подъемных винта 1. В отверстие подставки 2 входит ось вращения лимба 3, в которую, в свою очередь, входит ось алидады 4. *Лимб* – рабочая мера теодолита, *алидада* – часть прибора, расположенная соосно с лимбом, на которой имеются элементы отсчетного устройства и две колонки 5, несущие ось вращения HH_1 зрительной трубы 6 вертикального круга. При вращении зрительной трубы вокруг оси HH_1 воспроизводится вертикальная плоскость, называемая коллимационной.

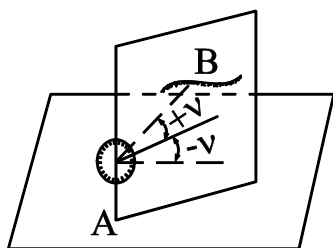


Рис. 24. Схема измерения

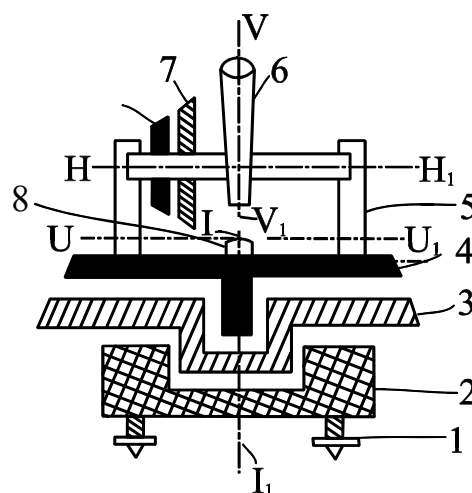


Рис. 25. Принципиальная схема устройства теодолита

Ось лимба и алидады называется *вертикальной осью* прибора. На защитном корпусе алидады укреплен цилиндрический уровень 9, по которому вертикальная ось теодолита устанавливается в отвесное положение, а плоскость лимба – в горизонтальное при помощи подъемных винтов 1. Зрительная труба может быть повернута на 180^0 вокруг горизонтальной оси HH_1 или, как говорят, переведена через зенит. На одном из концов оси вращения трубы укреплен вертикальный круг 7, который наглухо соединен с осью и вращается вместе с ней. Вертикальный круг принципиально устроен так же, как и горизонтальный, он служит для измерения вертикальных углов (углов наклона) (см. рис. 24).

Вертикальный круг может располагаться справа или слева от зрительной трубы, если смотреть со стороны окуляра. Первое наложение называется «круг право» (КП), второе – «круг лево» (КЛ).

В комплект теодолита входит буссоль, штатив и отвес. Буссоль служит для измерения магнитных азимутов и румбов. Штатив представляет собой треногу с металлической головкой. Теодолит крепится к головке штатива с помощью станкового винта. Отвес служит для центрирования прибора над точкой установки центра лимба над вершиной измеряемого угла.

Вращающиеся части теодолита снабжены закрепительными винтами для фиксирования их в неподвижном состоянии и микрометронами для плавного вращения.

Для получения с помощью теодолита неискаженного значения результатов, его геометрические элементы должны удовлетворять определенным условиям. Геометрические условия теодолита записываются так:

$VV_1 \perp HH_1$ – визирная ось зрительной трубы должна быть перпендикулярна оси (HH_1) вращения зрительной трубы;

$HH_1 \perp \Pi_1$ – ось вращения зрительной трубы должна быть перпендикулярна оси (Π_1) вращения прибора (теодолита);

$UU_1 \perp \Pi_1$ – ось цилиндрического уровня (UU_1) при алидаде горизонтального круга должна быть перпендикулярна оси вращения прибора.

Определение соблюдения этих условий называется поверками теодолита.

§ 11. Зрительная труба

Зрительная труба (рис. 26) представляет собой оптическую систему, помещенную в металлический корпус (трубу).

С одного конца трубы размещен объектив 1, с другого – окуляр 4. Между ними находится двояковогнутая линза 2. В окулярной части трубы расположена стеклянная пластина 3 с нанесенной на ней сеткой нитей. Зрительная труба имеет две оси: визирную и оптическую.

Прямая, соединяющая оптический центр объектива с центром сетки нитей, называется *визирной осью трубы*.

Прямая, соединяющая оптический центр объектива и окуляра называется *оптической осью трубы*.

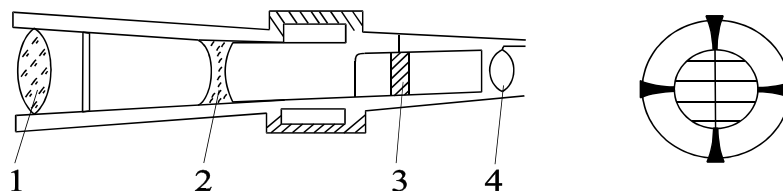


Рис. 26

При работе со зрительной трубой наблюдатель совмещает перекрестие (центр) сетки нитей с наблюдаемым предметом. Процесс наведения зрительной трубы на точку наблюдения называют *визированием*. В момент совмещения перекрестия сетки нитей с какой-либо точкой визирная ось трубы проходит через эту точку. Перемещением фокусирующей линзы 2 вдоль визирной оси добиваются четкого изображения наблюдаемого предмета. Такое действие называется *фокусированием*.

Перемещение окуляра 4 относительно сетки нитей фокусирует изображение сетки нитей. Окуляр перемещают вращением окулярного кольца.

§ 12. Уровни

Геодезические приборы снабжены уровнями двух типов: цилиндрическим и круглым.

Цилиндрический уровень представляет собой стеклянную ампулу 1, заполненную жидкостью 2 (спирт, эфир), нагретой до $+60^{\circ}\text{C}$ (рис. 27). После охлаждения жидкость сжимается, в трубке образуется небольшое пространство, заполненное парами спирта или эфира, которое называется пузырьком уровня 3. Внутренняя (верхняя) поверхность амплитуды отшлифована по дуге определенного радиуса. Ампула помещена в металлическую оправу. Для регулирования уровень снабжен исправительным винтом 4. На наружной верхней поверхности ампулы нанесены двухмиллиметровые деления. Точка О в средней части ампулы называется нуль-пунктом уровня. Касательную линию UU_1 в нуль-пункте к дуге внутренней поверхности уровня называют осью цилиндрического уровня. Пузырек уровня всегда стремится занять наивысшее положение, поэтому когда концы пузырька расположены симметрично относительно нуль-пункта, ось уровня занимает горизонтальное положение. Этим свойством пользуются для приведения отдельных частей прибора в горизонтальное положение.

Круглый уровень (рис. 28) представляет собой стеклянную ампулу, помещенную в оправу, отшлифованную по внутренней сферической поверхности определенного радиуса. За нуль-пункт 0 круглого уровня принимается центр окружности, выгравированной в середине ампулы (рис. 28,а). Ось круглого уровня (рис. 28,б) является нормаль UU_1 , проходящая через нуль-пункт 0, к плоскости, касательной внутренней поверхности в его нуль-пункте. Круглый уровень применяется там, где требуется высокая точность, а также для предварительной установки прибора.

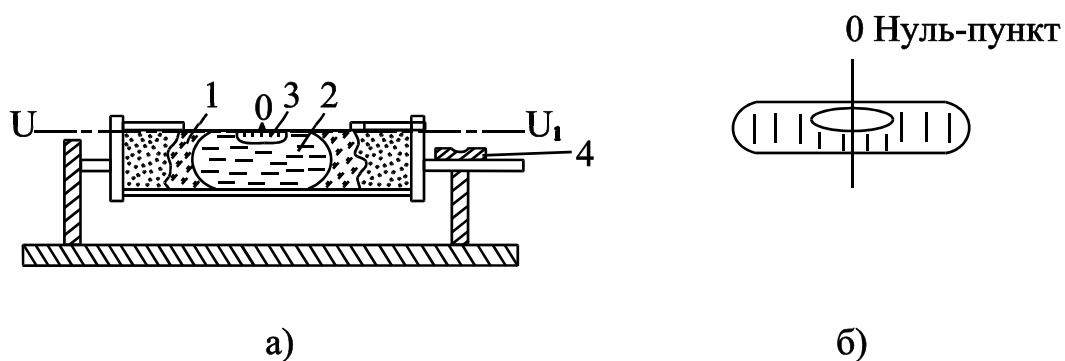


Рис. 27. Цилиндрический уровень: а – вид сбоку, б – вид сверху

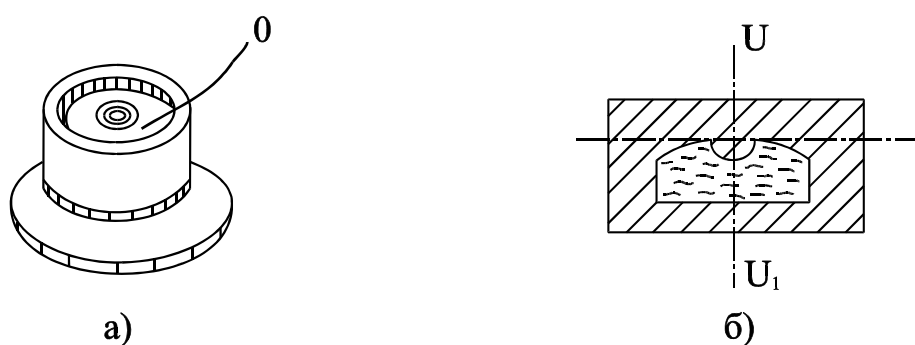


Рис. 28. Круглый уровень

§ 13. Отсчетные приспособления

Отсчетные приспособления служат для отсчитывания по угломерным кругам-лимбам. В качестве отсчетных приспособлений служат штриховые, шкаловые микроскопы. Производство отсчетов заключается в определении дуги лимба от его начального штриха до нулевого штриха отсчетного приспособления.

Величина наименьшего деления лимба, выраженная в градусной мере, называется ценой деления лимба T . Цена деления лимба определяется по оцифровке градусных штрихов и по количеству делений между ними.

Штриховой микроскоп – отсчетное приспособление в виде микроскопа, в фокальной плоскости которого закреплена стеклянная пластинка с нанесенным отсчетным штрихом. В поле зрения микроскопа видны одновременно деления лимба и отсчетный штрих (рис. 29, а). Отсчет по лимбу складывается из числа целых делений лимба, предшествующих отсчетному штриху и десятых долей деления лимба, оцениваемых на глаз. Точность отсчета 0,1 деления лимба. При $T=10'$ отсчет производится с точностью $1'$.

В фокальной плоскости шкалового микроскопа помещается стеклянная пластинка с нанесенной на ней шкалой, которая вместе с делением лимба видна в поле зрения окуляра микроскопа (рис. 29, б). Длина отсчетной шкалы равна цене

деления лимба, в нашем случае цена деления лимба 1^0 , количество делений шкалы 60, цена делений отсчетной шкалы

$$T = \frac{60'}{60} = 1'.$$

С оценкой на глаз можно отсчитывать десятую долю деления шкалы, т.е. с точностью $0,1^0$. Индексом при отсчитывании доли деления шкалы служит градусный штрих лимба, находящийся на шкале.

§ 14. Типы теодолитов

Теодолиты различаются по точности измерения углов, материалу изготовления кругов лимбов и конструктивным особенностям прибора.

Согласно ГОСТ 10529-79 заводами нашей страны стали выпускаться только оптические (со стеклянным лимбом) теодолиты, подразделяющиеся по точности и конструкции.

По точности теодолиты делятся на несколько групп в зависимости от средней квадратической погрешности измерения угла одним приемом в лабораторных условиях. Шифр теодолита содержит заглавную букву Т и цифры, соответствующие величине средней квадратической погрешности измерения угла. Например, шифр теодолита, позволяющего измерить угол одним приемом с точностью $\pm 30''$, записывается как Т30. ГОСТом предусмотрено изготовление оптических теодолитов со следующими шифрами: высокоточные – Т05, Т1; точные – Т2, Т5; технические – Т15, Т30 [9].

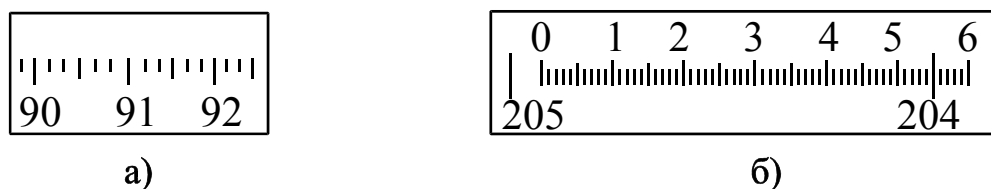


Рис. 29. Отсчетные приспособления: а – штриховой микроскоп; б – шкаловый микроскоп

По конструкции теодолиты делятся на повторительные и простые. Повторительные и наводящие винты (Т30) или специальное устройство обеспечивают отдельное или совместное вращение лимба и алидады (Т5, Т15). Это позволяет производить измерения угла (горизонтального) способом повторений, т.е. путем последовательного отложения его n раз на лимб.

У простых теодолитов лимб может поворачиваться, но совместного вращения с алидадой не имеет. К простым теодолитам относятся высокоточные теодолиты.

Повторительные теодолиты, имеющие вертикальный круг и устройство для измерения расстояний (дальномер), называются теодолитами – тахеометрами.

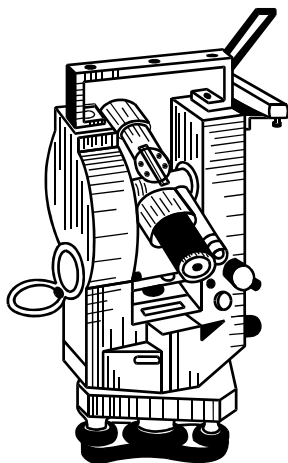


Рис. 30. Теодолит

§ 15. Поверки и юстировки теодолита

В соответствии с геометрическими условиями, предъявленными к теодолиту (см. рис. 25), выполняются следующие поверки.

1. Ось цилиндрического уровня при алидаде горизонтального круга должна быть перпендикулярна вертикальной оси прибора.

Устанавливают уровень параллельно двум подъемным винтам и посредством их пузырек уровня приводят на середину ампулы. Затем поворачивают ампулу на 180^0 , если пузырек уровня сойдет с нуля-пункта, нужно изменить положение оси уровня исправительными винтами так, чтобы пузырек переместился к нуля-пункту на половину первоначального отклонения. На вторую половину отклонения пузырек уровня помещают при помощи подъемных винтов, по направлению которых он стоит. Эти действия повторяются до тех пор, пока не будет выполнено проверяемое условие.

Все последующие поверки выполняют при отвесном положении вертикальной оси прибора. Поэтому после исправления положения уровня уточняют горизонтирование теодолита, для чего поворачивают алидаду на 90^0 и третьим подъемным винтом приводят пузырек уровня в нуля-пункт.

2. Визирная ось зрительной трубы должна быть перпендикулярна к горизонтальной оси теодолита. Угол отклонения визирной оси трубы от перпендикуляра к горизонтальной оси прибора называется *коллимационной погрешностью* (c) зрительной трубы (рис. 31).

Для проверки данного условия выбирают удаленную какую-либо точку, расположенную примерно на уровне высоты прибора. Лимб закрепляют. На выбранную точку М визируют трубу при положении вертикального круга справа (кп) и слева (кл) от зрительной трубы и берут отсчеты по горизонтальному кругу. Затем лимб поворачивают примерно на 180^0 и производят второй прием,

наблюдая ту же точку местности. Величину коллимационной погрешности вычисляют по формуле

$$c = \frac{(\text{кл}_1 - \text{кп}_1 \pm 180^\circ) + (\text{кл}_2 - \text{кп}_2 \pm 180^\circ)}{4} . \quad (14)$$

Величина коллимационной погрешности не должна превышать двойной точности прибора.

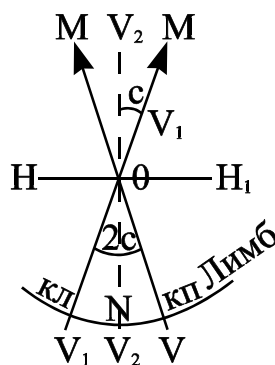


Рис. 31

Для исправления коллимационной погрешности алидаду устанавливают на отсчет

$$\text{кп}' = \text{кп}_2 + c,$$

и с помощью боковых исправительных винтов совмещают пересечения сетки нитей с точкой наблюдения. Затем поверку повторяют.

3. Горизонтальная ось должна быть перпендикулярна вертикальной оси прибора. Установив теодолит в 30...40 м от стены какого-либо здания выбирают высоко расположенную точку М, на которую наводят зрительную трубу (рис. 32). Затем наклоняют трубу, устанавливают ее примерно в горизонтальное положение и отмечают на стене точку m, совпадающую с пересечением штрихов. Трубу переводят через зенит, открепляют алидаду, вновь визируют на точку М и проектируют на том же уровне трубу, что и в первый раз. Если точки проекции совпадут, условие выполнено. Если же на стене будут отмечены две точки m₁ и m₂, положение горизонтальной оси требуется исправить. Исправление этого условия производится в мастерской.

4. Одна из сетки нитей должна быть горизонтальна, другая вертикальна. Горизонтальные и вертикальные штрихи сетки нитей представляют собой штрихи, нарезанные на стекле строго под углом 90°, поэтому положение сетки проверяют по одному штриху. Пересечение (центр) сетки наводят на какую-нибудь резко обозначенную точку предмета и, вращая трубу наводящим винтом, следят за положением проверяемого штриха относительно выбранной точки. Штрих на всем протяжении должен проходить через данную точку. В противном случае нужно открепить четыре закрепленных винта, повернуть сетку нитей на некоторый угол и затем затянуть винты.

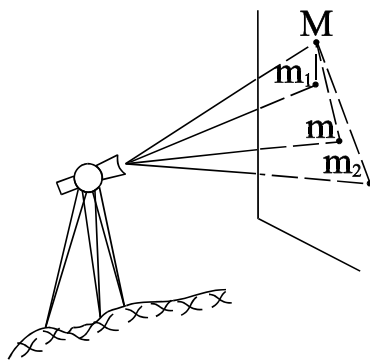


Рис. 32

Перечисленные поверки теодолита являются полевыми, причем поверка уровня и определения коллимационной ошибки должны выполняться ежедневно перед началом работы.

§ 16. Измерение горизонтальных углов

Существует несколько способов измерения горизонтальных углов, наиболее часто применяется способ приемов (рис. 33).

Приступая к измерению горизонтального угла, теодолит устанавливают в рабочее положение над его вершиной O , а на смежных точках A и B ставят вертикально верхи. Точку, над которой устанавливают теодолит, называют *станцией*. На каждой станции теодолит приводят в рабочее положение: центрируют над вершиной угла, горизонтируют.

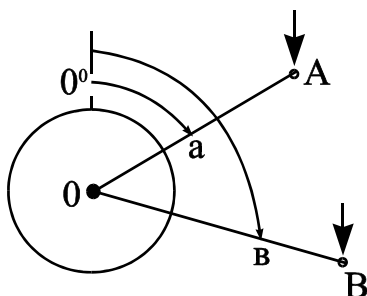


Рис. 33

Центрирование теодолита над вершиной измеряемого угла производят с помощью отвеса или оптического центрира.

Горизонтирование теодолита заключается в приведении вертикальной оси в отвесное положение при помощи цилиндрического уровня горизонтального круга и трех подъемных винтов. После этого приступают к измерению горизонтального угла. При двух направлениях на станции угол измеряют способом приемов, если число направлений больше двух, применяют способ круговых приемов.

Горизонтальный угол измеряется на местности дважды, двумя полуприемами: один полуприем производится при положении зрительной трубы, когда вертикальный круг находится справа (кп) от трубы, другой – слева (кл).

Измерение может быть выполнено при вертикальном положении лимба. Угол измеряют при закрепленном лимбе в такой последовательности. Открепляют алидаду, наводят зрительную трубу на левую точку А, вначале приблизительно при помощи визиров на корпусе трубы, а затем точно с помощью наводящего винта алидады и трубы берут отсчеты «а» по горизонтальному кругу. Отсчеты записывают в журнал измерения горизонтальных углов. Ослабляют закрепленный винт алидады и вращением алидады трубу наводят на правую точку В. Берут отсчеты «в» по горизонтальному кругу и записывают в журнал измерений. Значение измеренного угла вычисляют по формуле

$$\beta = v - a. \quad (15)$$

Если отсчет «в» меньше отсчета «а», то к нему прибавляют 360^0 . На этом заканчивается первый полуприем.

При измерении угла вторым полуприемом трубу переводят через зенит и производят все действия в указанном выше порядке при другом положении вертикального круга.

Вычисленные значения углов не должны различаться между собой на величину, большую удвоенной точности отсчетного устройства, т.е. $2t$. Если это условие соблюдается, то за окончательное значение угла применяют среднее из полученных двумя полуприемами. При большем расхождении угол измеряется заново. Оформление записи в журнале производится карандашом (табл. 2).

Таблица 2

Журнал измерения горизонтальных углов

200__год

Наблюдал _____

Точки		Круг	Отсчеты по горизонтальному кругу		Углы		Среднее из углов		Длина линии, м	Угол наклона
стояния	наблюдения									
1	А	кп	197 ⁰ 133 ⁰	40" 23"	295 ⁰	43'	295 ⁰	42,5'		
	В	кл	17 ⁰ 313 ⁰	41" 23"	295 ⁰	42'	295 ⁰	42,5'		

§ 17. Измерение вертикальных углов

Измерение вертикальных углов производится при помощи вертикального круга теодолита.

Вертикальный круг укреплен на одном из концов оси вращения трубы, устроен он аналогично горизонтальному кругу. Лимб жестко скреплен с осью трубы и вращается вместе с ней. Алидада расположена на оси вращения трубы,

не скреплена с ней и при вращении трубы остается неподвижной. Диаметральная линия лимба проходит через 0 и 180° и должна быть параллельна визирной оси трубы. Для удобства вычисления вертикальных углов ставят условие: когда визирная ось трубы и ось уровня при алидаде горизонтальны, нулевые деления алидады должны совпадать с нулевым делением лимба. В действительности это условие нарушается, и визирная ось трубы может занимать горизонтальное положение, пузырек уровня находится в нуль-пункте, а отсчет по вертикальному кругу не равен нулю.

Отсчет по вертикальному кругу, когда визирная ось трубы горизонтальна, а пузырек уровня при алидаде находится в нуль-пункте, называется местом нуля вертикального круга и обозначается МО (рис. 34).



Рис. 34. Место нуля вертикального круга

Место нуля вертикального круга определяется косвенным путем, с помощью наблюдения одной и той же точки местности при двух положениях вертикального круга:

- 1) зрительную трубу наводят на удаленную хорошо видимую точку и подъемным винтом приводят пузырек уровня горизонтального круга в нуль-пункт;
- 2) наводящим винтом зрительной трубы (см. рис. 29) наводят средний горизонтальный штрих сетки нитей на наблюдаемую точку;
- 3) производят отсчет по вертикальному кругу (например, кл).

Аналогичные действия повторяют при другом положении вертикального круга и получают отсчет кп. Результаты наблюдения занесены в табл. 3 [4]

Таблица 3

Положение вертикального круга	Отсчет по вертикальному кругу	МО	Угол наклона (γ)
кл	11°08′	0°03′	+11°05′
кп	168°58′		

Для теодолита Т30 формулы вычисления МО и угла наклона имеют вид:

$$МО = \frac{кл + кп + 180^0}{2}; \quad (16)$$

$$v = \text{кл} - \text{МО}; \quad (17)$$

$$v = \text{МО} - \text{кп} - 180^0; \quad (18)$$

$$H = \frac{\text{кл} - \text{кп} - 180^0}{2}. \quad (19)$$

При этом к отсчету, меньшему 90^0 , нужно прибавлять 360^0 . Например: $\text{кп} = 168^0 58'$, $\text{кл} = 11^0 08'$,

$$\text{МО} = \frac{11^0 08' + 168^0 58' + 360^0 + 180^0}{2} = \frac{720^0 06'}{2} = 360^0 03' = 0^0 03'.$$

Если в результате определения МО его значение окажется больше $2t$ (двойной точности отсчетного устройства), нужно произвести исправление места нуля.

Исправление места нуля

Для удобства вычисления вертикальных углов место нуля должно быть близко к нулю. Для выполнения этого условия наводящим винтом зрительной трубы, например, при кл устанавливают отсчеты на вертикальном круге, равные углу наклона

$$v = \text{кл} - \text{МО}.$$

При этом горизонтальная нить сетки сместится с наблюдаемой точки. Действуя вертикальными исправительными винтами сетки, перекрестие сетки совмещают с наблюдаемой точкой (предварительно ослабив один из горизонтальных винтов). После исправления МО проверку повторяют.

Измерение углов наклона

Точность измерения углов наклона зависит от вида геодезических работ:

а) при тахеометрической съемке на станции определяется МО указанным выше способом, а углы наклона на пикетные точки измеряются при одном положении вертикального круга (кл), а их значение получают по формуле (17). Контролем правильности измерения углов наклона служит постоянство МО, колебания которого в процессе измерений не должны превышать двойной точности отсчетного устройства;

б) при тригонометрическом нивелировании на станции тригонометрического хода углы наклона измеряются при двух положениях вертикального круга, а их значение получают по двум формулам (17), (18) (для контроля вычислений).

Глава 5. ЛИНЕЙНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ

§ 18. Общие сведения о линейных измерениях

Линейные измерения широко распространены в строительстве и выполняются на всех его этапах. Без измерения линий не обходится ни одна геодезическая работа.

Единицей меры для линейных измерений служит метр, равный длине 165 076,73 длин волн в вакууме излучения атома криптона-86. Линейные измерения производят непосредственно – металлическими рулетками, землемерными лентами и специальными проволоками, а также косвенно – электронными, нитяными, оптическими и другими дальномерами.

При непосредственном измерении мерный прибор (ленту, рулетку и т.п.) последовательно укладывают в створ измеряемого отрезка.

При косвенном методе измеряют вспомогательные параметры (углы, базисы, физические величины и т.п.), а длину отрезка вычисляют по формулам, отображающим зависимость между определяемой и измеренными величинами.

Конечные точки линий, между которыми намечено провести измерения, закрепляют на местности по-разному, в зависимости от их назначения и срока использования.

Для закрепления точек на сравнительно небольшой период производства геодезических работ используют временные знаки в виде колышка со стерженьком обрезков труб и арматуры (рис. 35,а). Конечные точки отрезка линии на колышке отмечают гвоздем.

Для закрепления точек на более длительный период используют деревянные столбы и железобетонные монолиты (рис. 35,б,в).

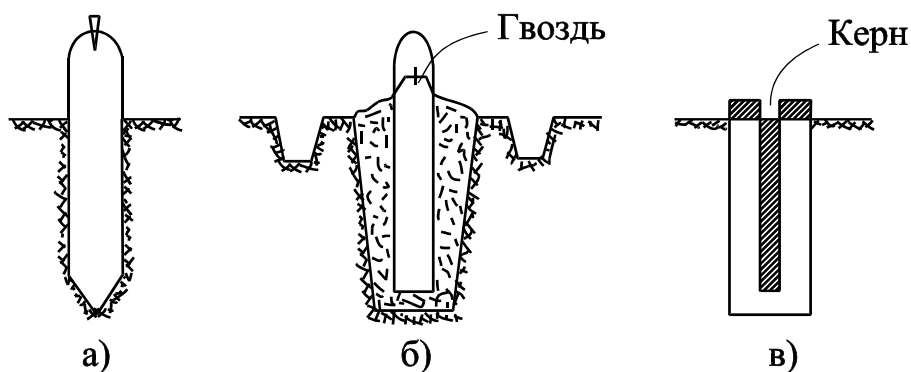


Рис. 35. Закрепление концов измеряемых линий: а – деревянный кол или обрезки труб; б – деревянный столб; в – железобетонный монолит

В соответствии с ГОСТ 7502-80 ленты изготавливают длиной 20, 24, 50 м и называют ЛЗ-20, ЛЗ-24 и ЛЗ-50. Землемерные ленты изготавливают из стальной полосы, на концах которой прикреплены ручки (рис. 36,а).

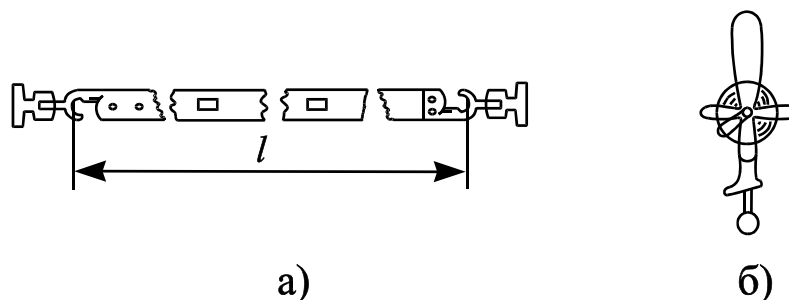


Рис. 36

Длина ленты равна расстоянию между штрихами, нанесенными у концов ленты против вырезов для шпильки. Метровые деления на лентах ЛЗ-20 и ЛЗ-50 обозначены пластинами с выбитыми на них порядковыми номерами, полуметровые деления отмечены круглыми заклепками, а дециметры – отверстиями. Лента ЛЗ-24 разделена на 20 интервалов, а каждый интервал на 10 равных частей. В комплект ленты входят: лента, кольцо для ее наматывания и шпильки для фиксации концов ленты при измерениях.

Для измерения линии с повышенной точностью используют шкаловые ленты ЛЗШ-20, ЛЗШ-24 и ЛЗШ-50, длиной соответственно 20, 24 и 50 м. У концов этих лент наклеены сантиметровые и миллиметровые деления. Длина шкаловой линии равна расстоянию между нулевыми штрихами на концах ленты.

В строительной практике для измерения линий на местности и на конструкциях сооружений более широкое применение нашли металлические рулетки. Промышленность изготавливает металлические рулетки на крестовине (РК) (рис. 36,б) длиной 50, 75 и 100 м с ценой деления 1 мм. Для натяжения рулеток с нормативной силой $P=10$ кг применяют пружинные динамометры.

Для некоторых видов точных измерений применяют специальные инварные проволоки (инвар – сплав содержащий железо, никель, углерод, марганец и другие примеси). Инвар обладает малым коэффициентом расширения до начала работы мерные приборы сравнивают с эталонами – компарируют. За эталоны принимают отрезки линий на местности или в лаборатории, длины которых известны с высокой точностью. Длина l -мерного прибора ленты или рулетки выражается уравнением, которые в общем виде можно записать так:

$$l=l_0+\Delta l_k+\Delta l_t,$$

где l_0 – номинальная длина ленты при нормальной температуре (в РФ – $+20^0\text{C}$);

Δl_k – поправка за компарирование;

Δl_t – поправка за температуру.

В производственных условиях мерные приборы эталонируют на полевых кампораторах. Эти кампораторы представляют собой выравненные участки местности с твердым покрытием. Концы кампоратора закрепляют знаками со специальными метками, расстояние между которыми известно с большей точностью.

Компарирование длинномерных рулеток и лент в полевых условиях производят на компараторах, длина которых близка к $l=120$ м. Такую длину выбирают для того, чтобы уложить мерный прибор на компараторе несколько раз. Уложение мерных приборов ведут в прямом и обратном направлениях. Подсчитывают число целых и дробных уложений рулетки или ленты и определяют поправку за компарирование. Ее вычисляют по формуле

$$\Delta l_k = (l_0 - l_s) / n,$$

где n – число уложений мерного прибора;

l_s – измеренная длина компаратора.

Результаты компарирования записывают в паспорт мерного прибора.

§ 20. Измерение линий лентами и стальными рулетками

Перед началом измерений выполняют рекогносцировку местности, т.е. предварительное ознакомление с местностью. При рекогносцировке на местности намечают положение линий, подлежащих измерению. Концы их закрепляют кольями, штырями, обрезками труб и т.п. Для обеспечения видимости на конечных точках измеряемой линии устанавливают вешки, раскрашенные полосками красного и белого цветов. Если длина линии более 150 м, то ее необходимо провесить. *Вешением* называют установку вешек в створе линии, т.е. в вертикальной плоскости, проходящей через ее конечные точки.

Чтобы не закрывать видимость по створу, вешение производят «на себя» (рис. 37,а), т.е. начинают с точки 1, затем вешку устанавливают в точке 2 и т.д.

При вешении через овраг предварительно устанавливают вешки А и В на краях оврага, а затем по его склону и дну (рис. 37,б). Вешение через возвышенность производят последовательным приближением точки С и D к створу линии (рис. 37,б). В подготовку линии для измерения также входят расчистка полосы шириной 1,5...2 м от растительности и остатков снесенных строений, забитие кольев или штырей в местах перегибов местности.

Измерение линий лентами выполняет бригада из двух человек. Ленту разматывают с кольца. Передний мерщик (МП) протягивает ленту по указанию заднего мерщика (МЗ), укладывает ее в створ измеряемой линии. МЗ совмещает начальный штрих заднего конца ленты с началом линии, вставляя в вырез ленты шпильку. МП встряхивает ленту, натягивает ее и в вырез на переднем конце вставляет шпильку; МЗ вынимает заднюю шпильку, МП снимает со шпильки ленту и оба переносят ее вперед вдоль линии. Дойдя до передней шпильки, МЗ закрепляет на ней ленту, ориентирует МП, выставив его руку со шпилькой и лентой в створ линии по передней вехе. Если весь комплект шпилек у переднего мерщика израсходован, то задний передает ему свои 10 шпилек. Передачу шпилек фиксируют в журнале измерений. В комплект ленты входят наборы из 6 или 11 шпилек.

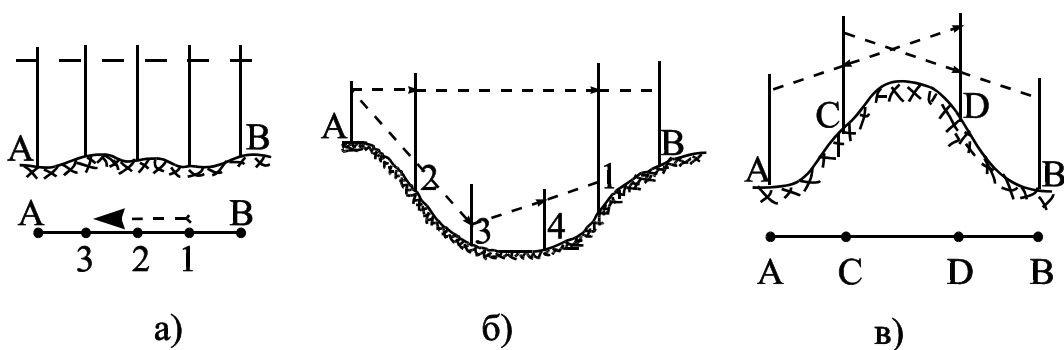


Рис. 37. Вешение линий: а – на себя; б – через овраг; в – через гору

В конце линии между последней шпилькой и конечной точкой линии измеряют остаток «ч». Для этого протягивают ленту вдоль створа и против конечной точки производят отсчет по ленте. Длину линии D определяют по формуле

$$D=nl+ч, \quad (21)$$

где n – число целых отложений ленты в измеряемой линии;
 l – номинальное значение длины ленты.

При измерении линий рулетками конечные штрихи рулетки фиксируют на местности тонкими гвоздями, а на твердом покрытии дорог – прочерчиваем.

Линии измеряют в прямом $D_{пр}$ и обратном $D_{обр}$ направлениях, а за окончательный результат принимают среднее

$$D=(D_{пр}+D_{обр})/2. \quad (22)$$

Это позволяет избежать грубых ошибок и повысить точность измерений.

Для получения горизонтального положения, т.е. проекции линии на горизонтальную плоскость при измерениях определяют угол наклона линии v или превышение h концов линии, тогда

$$d=D \cdot \cos v \quad (23)$$

или
$$\Delta D = -h^2/2D. [4] \quad (24)$$

Точность измерения линии на поверхности земли лентами или рулетками оценивают относительными погрешностями: 1:3000 от измеряемой длины – при благоприятных условиях измерений (ровная местность, устойчивый сухой грунт и т.п.), 1:2000 – при средних условиях измерений, 1:1000 – при неблагоприятных условиях измерений (пересеченная или заболоченная местность и т.п.) (рис. 38).

§ 21. Общие сведения об оптических дальномерах

Принцип измерения линии оптическим дальномером основан на решении, прямоугольного треугольника (рис. 39), в котором по малому паралактическому

углу β и противолежащей стороне b (базису) определяют расстояние D по формуле

$$D = b \cdot \operatorname{ctg} \beta. \quad (25)$$

В комплекте прибора одну величину делают постоянной, а другую измеряют. Если величина b постоянна, а β измеряют, то это – дальномер с постоянным базисом и переменным углом. Если величина β постоянна, а b изменяется, то это – дальномер с постоянным углом и переменным базисом.

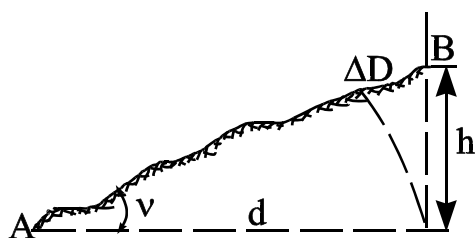


Рис. 38

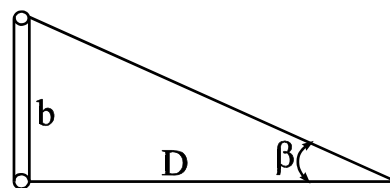


Рис. 39

§ 22. Нитяной дальномер

Нитяной дальномер – это дальномер с постоянным параллактическим углом и переменным базисом. Он является наиболее распространенным оптическим дальномером и состоит из двух горизонтальных нитей параллельных средней нити сетки зрительной трубы теодолита или нивелира. В комплект дальнометра входит вертикальная рейка с сантиметровыми делениями. Для измерения линий на одном ее конце устанавливают прибор, а на другой рейку (рис. 40). Допустим, что визирная ось горизонтальна [9].

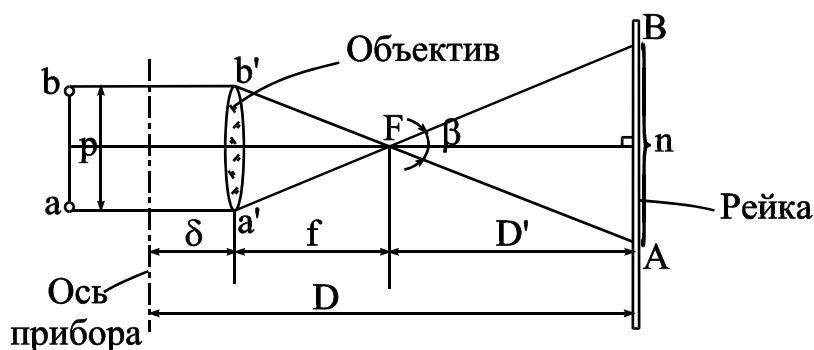


Рис. 40. Нитяной дальномер

Лучи от дальномерных нитей a и b , пройдя через объектив и фокус F , пересекут рейку в точках A и B . Из подобия треугольника AFB и $a'Fb'$ имеем

$$\frac{D'}{n} = \frac{f}{p},$$

откуда

$$D' = \left(\frac{f^k}{p} \right) n$$

где f – фокусное расстояние объектива;

p – расстояние между дальномерными нитями.

Отношение $\frac{f^k}{p} = k$ для данного прибора постоянно и называется коэффициентом дальномера. На рис. 40 видно, что

$$D = D' + f + \delta,$$

где δ – расстояние от объектива до оси вращения прибора.

Величину $f + \delta$ называют постоянным слагаемым дальномера и обозначают через c . Исходя из вышесказанного

$$D = kn + c. \quad (26)$$

В современных приборах постоянное слагаемое мало и его не учитывают, а формула (26) будет иметь вид

$$D = kn. \quad (27)$$

Для упрощения вычисления расстояния коэффициент дальномера делают равным 100, т.е. $k = t/p = 100$. Если деления на рейке сантиметровые, то дальномерный отсчет по рейке в сантиметрах выразит расстояние в метрах.

Формула (26) справедлива для случая, когда рейка расположена перпендикулярно к визирной оси трубы. При измерениях на местности условие это нарушается, так как при наклонном положении визирной оси рейку устанавливают вертикально (рис. 41). Если рейка наклонена к визирной оси на угол v , то вместо правильного отсчета $N'M' = n'$ берется отсчет $NM = n$.

Эти величины связаны соотношением

$$n' = n \cdot \cos v,$$

подставляя значение n' в формулу (26), получаем

$$D = kn' + c = kn \cdot \cos v + c,$$

но $D = D \cdot \cos v$, тогда $d = kn \cdot \cos^2 v + c \cdot \cos v$. Величины c и v малы, поэтому $c \cdot \cos v \approx c \cdot \cos^2 v$.

$$\text{Тогда} \quad d \approx (kn + c) \cdot \cos^2 v. \quad (28)$$

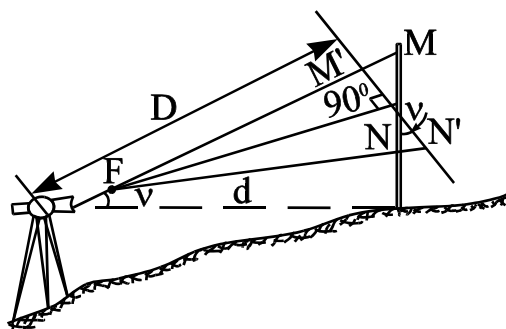


Рис. 41. Измерение расстояний нитяным теодолитом

Глава 6. НИВЕЛИРОВАНИЕ

§ 23. Задачи и виды нивелирования

Нивелирование – вид геодезических измерений, в результате которых определяют превышение точек, а также их высоты над принятой уровенной поверхностью.

В зависимости от места определения превышения и применяемых при этом приборов различают следующие виды нивелирования:

- 1) геометрическое, выполняемое горизонтальным визирным лучом с помощью нивелира;
- 2) тригонометрическое, выполняемое наклонным визирным лучом с помощью теодолита;
- 3) гидростатическое, основанное на свойстве свободной поверхности в сообщающихся сосудах всегда находиться на одном уровне;
- 4) барометрическое, при котором превышение между точками определяется по разности атмосферного давления в этих точках.

Геометрическое нивелирование – наиболее распространенный способ. Его выполняют с помощью нивелира, задающего горизонтальную линию визирования.

Сущность геометрического нивелирования (рис. 42,а) заключается в следующем. Нивелир устанавливают горизонтально и по рейкам с делениями, стоящими в точках А и В, определяют превышение h как разность между отрезками a и b , т.е. $h=a-b$. Если известна отметка H_A точки А и превышение h , отметку H_B точки В определяют как их сумму:

$$H_B = H_A + h. \quad (29)$$

Во избежание ошибок в знаке превышения точку, отметка которой известна, считают задней, а точку, отметка которой определяется – передней, т.е. превышение – это всегда разность отсчета вперед и назад.

Место установки нивелира называется *станцией*. С одной станции можно брать отсчеты по рейкам, установленным во многих точках. При этом

превышения между точками не зависят от высоты нивелира над землей. Если нивелир поставить выше (на рис. 42,а показано пунктиром), оба отсчета а и b будут выше на одну и ту же величину, но разности между ними будут одинаковы. Высоту точки В можно определить с помощью горизонтального прибора, т.е. высоты его визирной оси ($H_{гп}$). Этот способ удобен, когда с одной станции производят нивелирование нескольких точек. Если к отметке точки А прибавить отсчет по рейке на точке А, то получится отметка визирной оси нивелира:

$$H_{гп} = H_A + a; \quad H_B = H_{гп} - b. \quad (30)$$

Если необходимо определить превышение между точками, значительно удаленными друг от друга, такое нивелирование условно называют сложным. Нивелирную линию условно разбивают на части. В этом случае точки С и D называют связующими (рис. 42,б). Общее превышение h между точками А и В будет равно алгебраической сумме отдельных превышений:

$$h = h_1 + h_2 + \dots + h_n = \sum_{i=1}^n h_i. \quad (31)$$

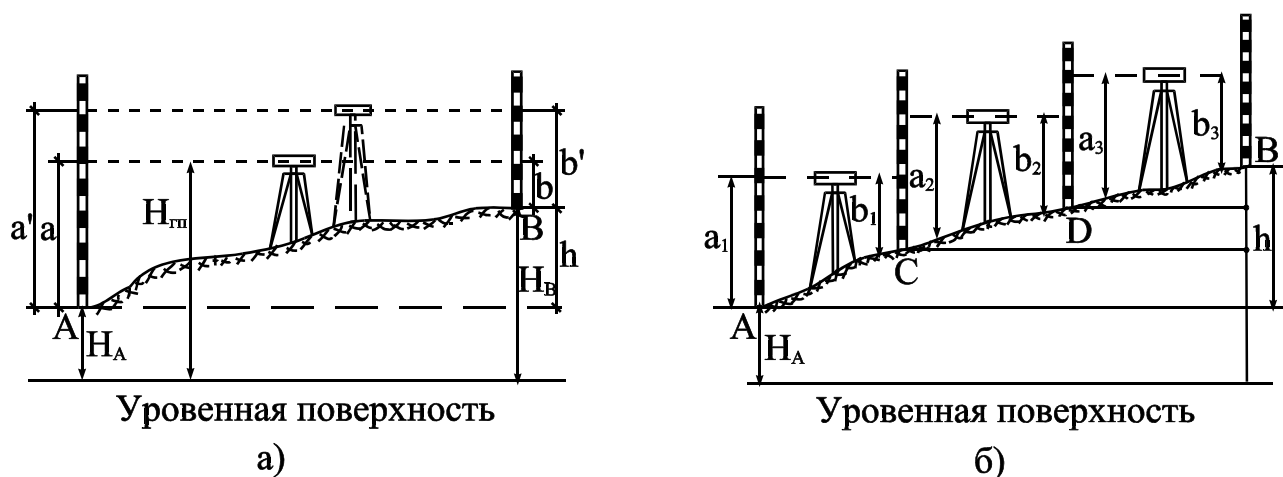


Рис. 42

Если известна отметка точки А, можно определить отметку точки В:

$$H_B = H_A + \sum_{i=1}^n h_i. \quad (32)$$

Такую схему нивелирования называют нивелированием хода. Несколько ходов с общими начальными или конечными точками образуют нивелирную сеть.

В зависимости от точности определения отметок точек и методики производства измерений нивелирование делят на 1, 2, 3, 4-й классы и техническое нивелирование. Нивелирование с 1-го по 4-й классы является государственным

нивелированием. Техническое нивелирование предназначено для создания высотного съемного обоснования и используется также при проектировании и строительстве инженерных сооружений.

§ 24. Нивелирные знаки

Нивелирные ходы закрепляются на местности постоянными и временными знаками – реперами. Реперы бывают стенные и грунтовые. Стенные реперы (рис. 43,а) отливают из чугуна и закладывают в цоколях каменных зданий, возведенных не менее чем за три – четыре года до закладки знака. На незастроенных территориях применяются грунтовые реперы (рис. 43,б), закладываемые таким образом, чтобы их нижняя часть располагалась ниже границы наибольшего промерзания грунта. Репер состоит из железобетонного пилона и бетонного якоря.

В качестве временных реперов могут быть использованы железобетонные деревянные столбы, металлические трубы.

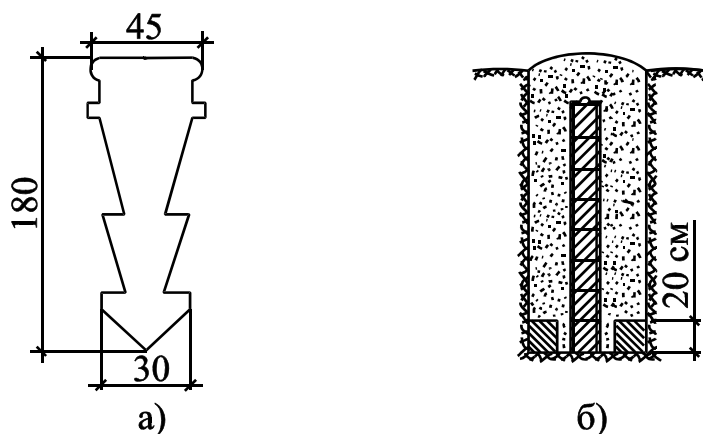


Рис. 43. Реперы: а – стенной; б – грунтовый

§ 25. Классификация нивелиров

Нивелиры делятся на высокоточные, точные и технические. В соответствие с ГОСТом нивелиры всех типов выпускают в двух исполнениях: с уровнем при зрительной трубе и с компенсатором углов наклона (табл. 4).

Наличие в марке буквы К означает что нивелир снабжен компенсатором угла наклона зрительной трубы, а буква П – прямое изображение.

Основными частями изображения с цилиндрическими уровнями являются зрительная труба, цилиндрический уровень и подставка с тремя подъемными винтами. Если у таких нивелиров визирная ось и ось цилиндрического уровня параллельны, то после приведения пузырька уровня в нуль-пункт визирная ось займет горизонтальное положение.

Тип нивелира	Краткая характеристика
Н-05	Нивелир высокоточный для определения превышений с погрешностью не более 0,5 мм на 1 км хода
Н-3 (Н-3Л, Н-3К, Н-3КЛ)	Нивелир точный для определения превышений с погрешностью не более 3 мм на 1 км хода (рис. 44)
Н-10 (Н-10Л, Н-10К, Н-10КЛ) Н-10КП	Нивелир технический для определения превышений с погрешностью не более 10 мм на 1 км хода

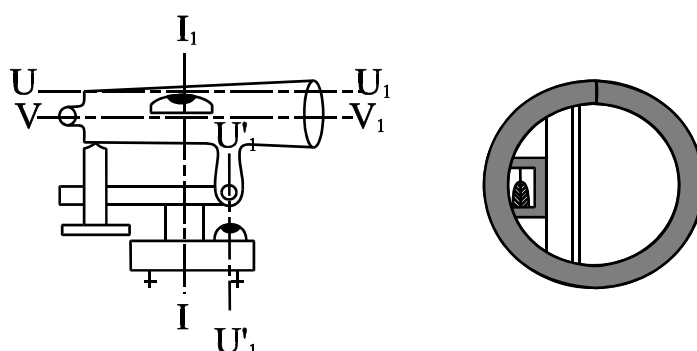


Рис. 44. Схема нивелира Н-3

Для предварительной установки оси вращения нивелира в отвесное положение служит круглый уровень; после приведения пузырька его в нуль-пункт в поле зрения трубы появляется изображение концов половинок пузырька цилиндрического уровня. Совмещение их концов достигается вращением элевационного винта.

§ 26. Поверки и юстировки уровенных нивелиров

Прежде, чем приступить к работе с нивелиром, необходимо выполнить его проверки, т.е. действия, которыми контролируют правильность взаимного расположения основных осей прибора. Если при выполнении проверок обнаруживается несоответствие взаимного расположения частей прибора, его юстируют исправительными винтами.

1. Ось круглого уровня U'_1U , должна быть параллельна оси вращения Π_1 .

Чтобы проверить параллельность осей выполняют следующие действия: пузырек круглого уровня приводят подъемными винтами на середину, верхнюю часть нивелира поворачивают на 180° . Условие считается удовлетворительным, если пузырек остался в центре, неисправным, если пузырек сместился.

Для устранения этой неисправности нивелир приводят в отвесное положение, перемещая пузырек к центру на первую половину дуги отклонения исправительными винтами уровня, на вторую половину – подъемными винтами.

2. Горизонтальная нить сетки должна быть перпендикулярна оси вращения Π_1 нивелира.

Поверку выполняют в такой последовательности: ось вращения нивелира приводят в отвесное положение по круглому уровню: на расстоянии 20...30 м от нивелира устанавливают рейку и берут отсчеты, наводят левый конец средней горизонтальной нити на рейку и берут отсчеты, перемещают трубу в горизонтальной плоскости до пересечения правого конца средней горизонтальной нити и берут отсчеты. Если нивелир исправный, отсчет по рейке не изменится. Чтобы устранить неисправность, ослабляют неисправленные винты сетки и разворачивают диафрагму с сеткой нитей за счет люфта винтов.

3. Визирная ось VV_1 зрительной трубы должна быть параллельна оси UU_1 цилиндрического уровня.

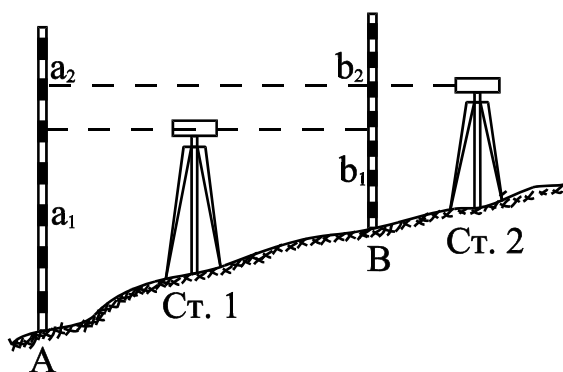


Рис. 45. Поверка нивелира

Последовательность выполнения поверки: на местности выбирают две точки А и В с расстоянием между ними 70...80 м (рис. 45). 4 точки закрепляют кольями, нивелир устанавливают в точке Ст. 1 и берут отсчеты a_1 , b_1 по рейкам. После этого вычисляют превышение

$$h_1 = a_1 - b_1,$$

далее нивелир устанавливают в точке Ст. 2 на расстоянии 3...5 м от одной из реек, по рейкам берут отсчеты a_2 и b_2 и вычисляют превышение

$$h_2 = a_2 - b_2.$$

При равенстве превышений или разницы между ними менее 4 мм нивелир удовлетворяет требуемому условию. Если разница превышений более 4 мм, вычисляют правильный отсчет по дальней рейке

$$a_2 = b_2 + h_1.$$

Горизонтальную нить сетки наводят на этот отсчет (при этом пузырек отклонится от середины). Ослабляют боковые исправительные винты уровня и возвращают вертикальными винтами пузырек уровня на середину или смещают

сетку нитей ее исправительными винтами. У самоустанавливающихся нивелиров устанавливают горизонтальную нить сетки на правильный отсчет с помощью исправительных винтов сетки нитей.

§ 27. Тригонометрическое нивелирование

Пусть требуется определить превышение h между точками A и B линии местности (рис. 46).

Установив в точке A теодолит, наводят его трубу на верх стоящей в точке B рейки и измеряют вертикальный угол v . По известной длине l рейки и измеренным горизонтальному расстоянию d и высоте прибора i можно определить величину h из соотношений: $h+l=h'+i$ или $h=h'+i-l$.

Поскольку $h'=d \cdot \operatorname{tg} v$, то искомое значение h будет равно $h=d \cdot \operatorname{tg} v+i-l$. (33)

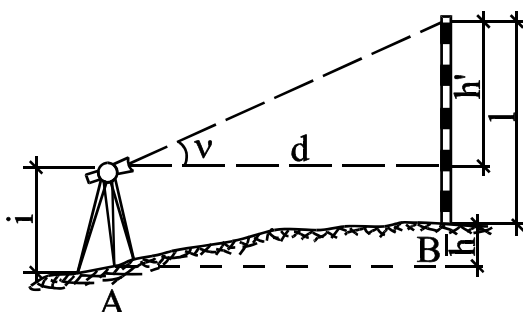


Рис. 46. Схема тригонометрического нивелирования

Формула (33) называется полной формулой тригонометрического нивелирования.

Из § 22 известно, что горизонтальная проекция d наклонного расстояния, измеренная нитяным дальномером, определяется из выражения

$$d=(kn+c) \cdot \cos^2 v.$$

Подставив это значение d в формулу (33), получим

$$h=1/2 \cdot (kn+c) \cdot \sin 2v+i-l. \quad (34)$$

На основании этой формулы составлены таблицы, называемые тахеометрическими.

Глава 7. ГОСУДАРСТВЕННЫЕ ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ СЕТИ И СЕТИ СГУЩЕНИЯ

§ 28. Плановые сети

Одной из главных задач геодезии является определение с высокой точностью координат сравнительно небольшого числа специально закрепленных на земной поверхности точек – геодезических пунктов. Геодезический пункт состоит из двух устройств: геодезического знака сооружения (рис. 47,а), обозначающего положение геодезического пункта на местности и обеспечивающего видимость между смежными пунктами, и центра (рис. 47,б), являющегося носителем координат геодезического пункта. Совокупность закрепляемых на местности пунктов, положение которых определено в единой системе координат называется геодезической сетью.

Для определения координат пунктов сети между ними измеряют расстояние и углы. Отрезки линий, ограниченные геодезическими пунктами, вдоль которых измерялась длина или направление, называют сторонами сети. Каждый последний пункт геодезической сети, начиная со второго, должен быть связан с предшествующими пунктами не менее, чем двумя измеренными элементами (угол, длина стороны, дирекционный угол).

Геодезическую сеть создают таким образом, чтобы ее стороны образовали простые геометрические фигуры, удобные для решения, т.е. определения всех их элементов, а по ним координат вершин.



Рис. 47. Геодезический пункт: а – сигнал; б – центр

Сети строят по принципу перехода от общего к частному, т.е. от сетей к большим расстояниям между пунктами и высокоточными измерениями к сетям с меньшими расстояниями и менее точными измерениями.

Различают три основных метода построения плановых геодезических сетей:

1) *триангуляция* – построение геодезической сети в виде системы треугольников, в которых измерены углы и некоторые стороны, называемые базисами (рис. 48,а);

2) *полигонометрия* – построение геодезической сети путем измерения расстояний и углов между пунктами (рис. 48,б);

3) *трилатерация* – построение геодезической сети в виде системы треугольников, в которых измерены все их стороны [9].

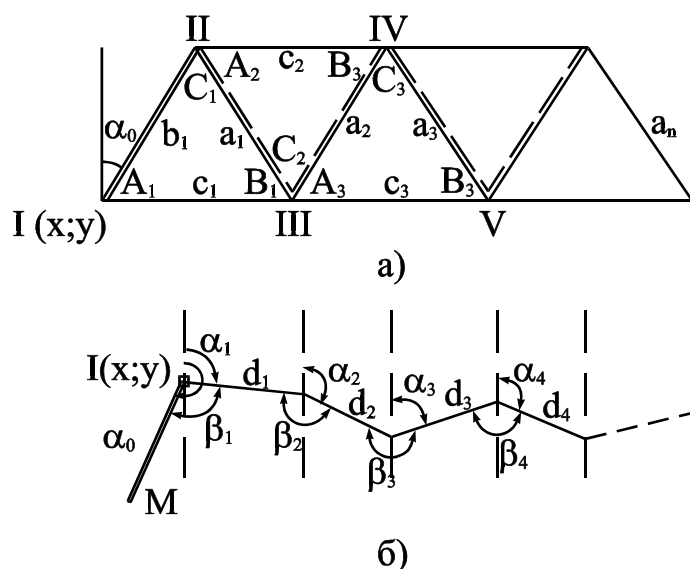


Рис. 48. Методы построения геодезических сетей: а – триангуляция; б – полигонометрия

В основе метода триангуляции лежит решение треугольника по стороне и двум углам – теорема синусов. Многократное последовательное применение этой теоремы к треугольникам триангуляционной цепи, в которой каждый последующий $(i+1)$ -й треугольник связан с предшествующим i -м общей стороной a_i (см. рис. 48,а) приведет к следующим значениям:

$$a_n = b \frac{\sin A_1 \cdot \sin A_2 \cdot \dots \cdot \sin A_n}{\sin B_1 \cdot \sin B_2 \cdot \dots \cdot \sin B_n}, \quad c_n = a_{n-1} \cdot \frac{\sin c_n}{\sin B_n}, \quad (35)$$

где a_n – связующая;

c_n – промежуточные стороны i -го треугольника.

Метод трилатерации основан на возможности решения треугольника по трем его сторонам a, b, c , углы определяются по теореме косинусов. Так для угла A имеем

$$\cos A = \frac{(c^2 + b^2 - a^2)}{2bc}. \quad (36)$$

В полигонометрии система геодезических пунктов образует *полигон* – многоугольник, который может быть замкнутым или разомкнутым (см. рис. 48,б). Измеряемыми элементами являются стороны полигона $d_1, d_2, \dots, d_n$ и его углы $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$ или дирекционные углы $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$.

Геодезические сети подразделяются на четыре вида: государственные, сгущения, съемочные и специальные.

Государственные геодезические сети служат исходными для построения всех других видов сетей. Началом единого отсчета плановых координат в РФ служит центр круглого зала Пулковской обсерватории в Санкт-Петербурге.

Государственные плановые геодезические сети разделяются на четыре класса. Сеть 1-го класса имеет наивысшую точность и охватывает всю территорию страны как единое целое. Сеть каждого последующего класса строится на основе высших классов. Так сеть 2-го класса строят на основе сетей 1-го класса, 3-го класса на основе сетей всех предыдущих классов. Типичная схема построения государственных плановых сетей 1, 2, 3, 4-го классов методом триангуляции (треугольников) приведена на рис. 49.

Сети сгущения строят для дальнейшего увеличения плотности т.е. числа пунктов, приходящихся на единицу площади. Плановые сети сгущения подразделяются на 1-й и 2-й разряды.

Съемочные сети – это тоже сети сгущения, но с еще большей плотностью. С точек съемочных сетей производят непосредственно съемку предметов местности и рельефа для составления карт и планов различных масштабов.

Специальные геодезические сети создают для геодезического обеспечения строительства сооружений. Строительными нормами и правилами (СНиП) предусмотрено создавать специальные сети с учетом: проектного и существующего размещения зданий (сооружений) и инженерных сетей на строительной площадке; обеспечения сохранности и устойчивости знаков, закрепляющих пункты сети (рис. 50).

Специальные геодезические сети, называемые разбивочной основой, создаются для выноса в натуру основных и главных осей сооружения, а также для производства исполнительных съемок.

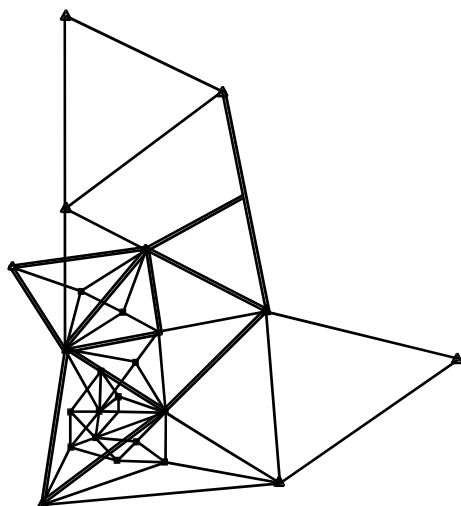


Рис. 49. Схема построения государственных плановых геодезических сетей 1, 2, 3 и 4-го классов [4]

Построение геодезической разбивочной основы для строительства производят методом триангуляции, трилатерации, полигонометрии и др.

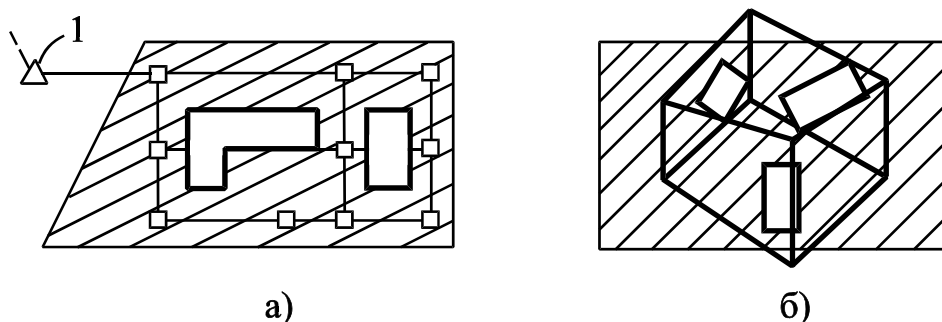


Рис. 50. Схема разбивочных сетей: а – строительная сетка;
б – центральная система

§ 29. Высотные сети

Государственные высотные геодезические сети создают для распространения по всей территории страны единой системы высот. За начало высот в РФ и ряде других стран принят средний уровень Балтийского моря. Между пунктами государственных высотных геодезических сетей высокой точности 1-го класса размещают пункты высотных сетей низших классов 2-го, 3-го, и т.д. Если на схеме, где размещены пункты высотной сети, соединить эти пункты линиями, получатся фигуры, называемые *ходами*.

Несколько пересекающихся ходов называют сетями, как правило, сети создают из ходов, прокладываемых между тремя или более точками (рис. 51). В целом точки (реперы) высотных сетей, называемых нивелирными, достаточно равномерно распределены на территории страны. На незастроенной территории расстояния между реперами колеблются в пределах 5...7 км, в городах сеть реперов в 10 раз плотнее.

Нивелирные сети на строительных площадках создают на базе плановых сетей, т.е. для части плановых сетей определяют высотные отметки.

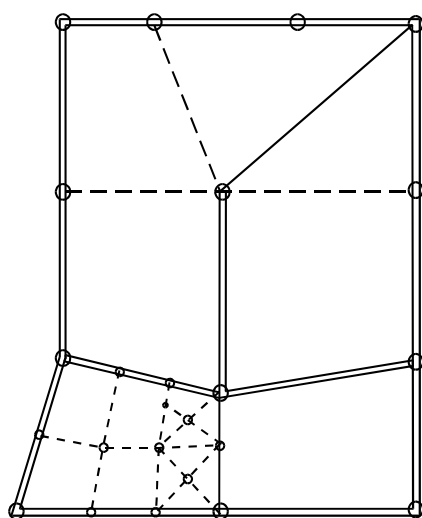


Рис. 51. Схема
государственной
высотной сети

Глава 8. ТОПОГРАФИЧЕСКИЕ СЪЕМКИ

Топографической съемкой называется комплекс геодезических работ, выполняемых на местности с целью получения топографической карты или плана. Различают съемки для составления топографических планов крупных масштабов (1:500, 1:1000, 1:2000, 1:5000) и мелких (1:10 000, 1:25 000 и т.д.). В инженерной геодезии выполняют, в основном, съемки крупных масштабов.

Съемке и отображению на топографических планах подлежат все элементы ситуации местности, существующей застройки, благоустройства, подземных и надземных коммуникаций, а также рельеф местности.

Точки, определяющие на плане положения контуров ситуации, условно делят на твердые и нетвердые. К твердым относят четко определяемые контуры сооружений, построенных из долговременных материалов, например, углы капитальных зданий. Контуры, не имеющие четких границ, например, пашни, леса, луга относят к нетвердым.

Топографическую съемку выполняют с точек местности, положение которых в принятой системе координат известно. Такими точками служат пункты съемочной геодезической сети (съемочного обоснования).

§ 30. Теодолитная съемка

Теодолитной съемкой называют один из видов наземных съемок, целью которого является получение контурного плана местности, без изображения на нем рельефа. Чаще всего теодолитная съемка выполняется на участках с равнинным рельефом и сложной ситуацией.

Теодолитную съемку выполняют разными областями (рис. 52).

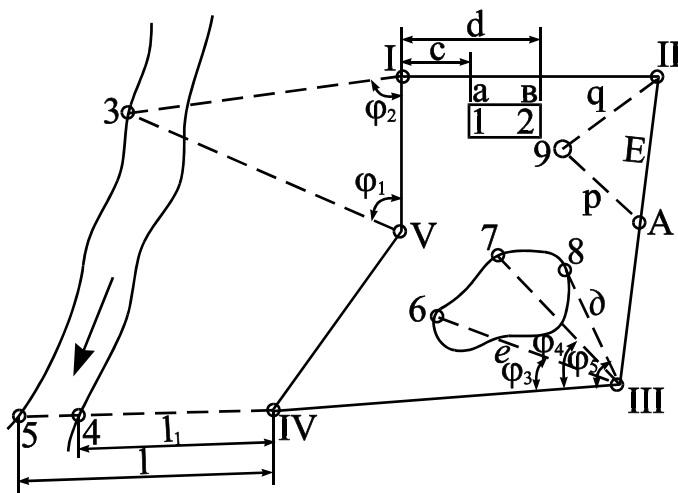


Рис. 52. Способы съемки ситуации

1. **Способ перпендикуляров** заключается в том, что для определения положения углов 1 и 2 каменного здания измеряют длины перпендикуляров a и b , опущенных из этих точек на линию I-II, и расстояния c и d от их оснований до пункта I. Способ удобен при съемке вытянутых контуров.

2. **Способ створов.** Сняты точки 4 и 5 пересечения берегов реки с продолжением линии III–IV. Измеренные расстояния между этими точками и пунктом V соответственно равны l_1 и l .

3. **Способ угловых засечек.** Измерив в пунктах I и V углы φ_1 и φ_2 , определяют положение точки 3 как вершины треугольника, построенного по стороне I-V и двум прилежащим к ней углам.

4. **Способ линейных засечек** заключается в том, что положение точки 9 определяется промерами расстояний q и p от пункта II и вспомогательной точки A на стороне II–III, отстоящей от пункта II на расстоянии m .

5. **Полярный способ.** Положения точек 6, 7, 8 берега озера определяется расстояниями e , f и g радиус-векторов и полярными углами φ_3 , φ_4 и φ_5 .

В процессе съемки ситуации составляется схематический чертеж – абрис [9].

§ 31. Тахеометрическая съемка

В основе тахеометрической съемки лежит идея определения пространственного положения точки местности одним наведением зрительной трубы прибора на рейку, установленную в этой точке. Так, положение точек K и N (рис. 53) над горизонтальной плоскостью P, проходящей через ось вращения трубы прибора определяется измерением:

- 1) полярных углов β_1 и β_2 , отсчитываемых от стороны AB съемного обоснования;
- 2) горизонтальных расстояний d_1 и d_2 между точками и прибором;
- 3) превышением h_1 и h_2 точек над горизонтальной плоскостью.

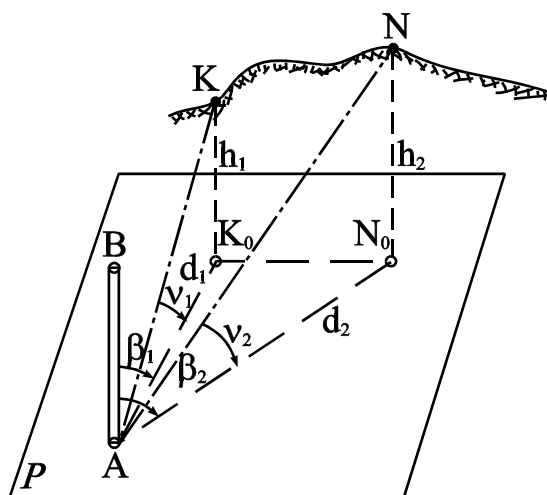


Рис. 53. Сущность тахеометрической съемки

Тахеометрическая съемка является основным видом съемки для создания планов небольших незастроенных и полужастроенных участков местности, а также узких полос вдоль линий будущих дорог, линий электропередач и других коммуникаций.

Тахеометрическая съемка объединяет в себе два процесса: съемку ситуации и съемку рельефа и в настоящее время выполняется преимущественно

тахеометрами. Наиболее совершенным и точным прибором является тахеометр ТЭ с автоматической регистрацией результатов угловых и линейных измерений на табло и на перфоленте в условном коде. Зафиксированная информация на перфоленте в дальнейшем обрабатывается на ЭВМ с последующим автоматическим составлением топографического плана.

При тахеометрической съемке положение съемочных пикетов (точек местности) выбирают таким образом, чтобы по ним можно было изобразить на плане ситуацию и рельеф местности. Их берут на всех характерных точках и линиях рельефа: на вершинах и подошвах холмов, дне и бровках котловин и оврагов, водоразделах и тальвегах, перегибах скатов и седловинах. При съемке ситуаций определяют границы угодий, гидрографию, дороги, контуры зданий, т.е. все то, что принадлежит нанесению на план в данном масштабе.

В процессе съемки на каждой станции составляют абрис (рис. 54). На нем показывают положение станций съемочного обоснования, расположение всех съемочных пикетов, рельеф и ситуацию местности. Ситуация местности изображается условными знаками, рельеф – горизонталями. Между точками на абрисе проводят стрелки, указывающие направление понижения местности.

Обработка результатов тахеометрической съемки включает в себя следующие этапы:

- 1) вычисление координат и отметок пунктов геодезического обоснования;
- 2) вычисление отметок реечных точек (пикетов);
- 3) построение плана тахеометрической съемки [3].

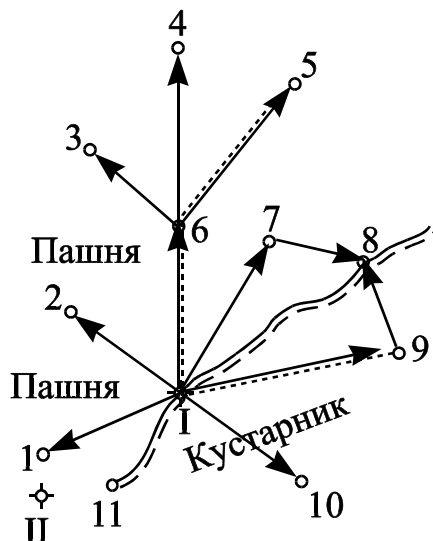


Рис. 54. Абрис тахеометрической съемки

§ 32. Мензальная съемка

Мензальная съемка отличается от других видов съемки главным образом тем, что при ней измерения на местности сопровождаются составлением топографического плана. Горизонтальные углы при мензальной съемке не

измеряются, а получаются путем графических построений на чертежной бумаге, прикрепленной к планшету.

Для этого центрируют точку O на планшете над точкой O на местности (рис. 55), приводят планшет в горизонтальное положение и, приложив линейку кипрегеля к точке O , наводят зрительную трубу на точки A и B . Прочерченные на планшете направления oa и ob образуют угол β – горизонтальную проекцию угла AOB на местности. Расстояния до точек A и B определяются по номограмме, видимой в поле зрения трубы. Превышение между точками $O-A$ и $O-B$ определяются также по номограммам.

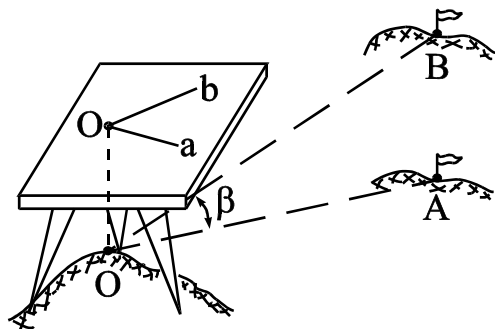


Рис. 55. Схема построения горизонтального угла при мензурной съемке

Глава 9. ОСНОВЫ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

§ 33. Измерения. Погрешности измерений

Под измерениями понимают процесс сравнения некоторой физической величины с величиной того же рода, принятой за единицу измерения.

Измерения в геодезии рассматривают с двух точек зрения: количественной, выражающей числовое значение измеренной величины, и качественной, характеризующей ее точность.

Результат любых измерений характеризует погрешность. Если x – точное значение физической величины, а l – результат измерения этой величины, то погрешность измерения Δ определяется из выражения

$$\Delta = l - x. \quad (37)$$

Изучением основных свойств и закономерности действия погрешностей измерений, разработкой методов получения наиболее точного значения, измеряемой величины занимается теория погрешностей измерений. Математической основой теории погрешностей измерений является теория вероятностей и математическая статистика. Погрешности измерений

определяются по двум признакам: характеру их действия и источнику происхождения.

По характеру действия погрешности бывают грубые, систематические и случайные.

Грубыми называют погрешности, величины которых превышают некоторый предел, установленный для данных условий измерений. Они происходят, в большинстве случаев, в результате промахов и расчетов исполнителя. Такие погрешности обнаруживаются повторными измерениями, а результаты, содержащие их, бракуют и заменяют новыми.

Систематическими называют погрешности, которые по знаку и величине однообразно повторяются в многократных измерениях (например, в длине линии из-за неточности мерного прибора). Влияние систематической погрешности стремятся исключить из результатов измерений тщательной поверкой измерительных приборов.

Случайные погрешности – это погрешности, размер и влияние которых на каждый результат измерения остаются неизвестными. Величину и знак случайной погрешности заранее устанавливать нельзя. Однако теоретические исследования и многолетний опыт измерений показывают, что случайные погрешности подчинены определенным вероятностным закономерностям, изучение которых дает возможность получить наиболее надежный результат и оценить его точность.

По источнику происхождения различают погрешности приборов, внешние и личные.

Погрешности приборов обусловлены их несовершенством.

Внешние погрешности происходят из-за влияния внешней среды, в которой протекают измерения. Личные погрешности связаны с особенностями наблюдателя, вызванные недостаточной восприимчивостью и совершенством его органов чувств. [6]

Случайные погрешности характеризуются следующими свойствами:

1) при определенных условиях измерений случайные погрешности по абсолютной величине не могут превышать известного предела. Эти свойства позволяют обнаруживать и исключать из результатов измерений грубые погрешности;

2) положительные и отрицательные случайные погрешности примерно одинаково часто встречаются в ряде измерений, что помогает выявлению систематических погрешностей;

3) чем больше абсолютная величина погрешности, тем реже она встречается в ряде измерений;

4) среднее арифметическое из случайных погрешностей измерений одной и той же величины, выполненных при одинаковых условиях, при ограниченном возрастании числа измерений стремится к нулю. Это свойство, называемое свойством компенсации, можно выразить математически:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} ([\Delta]/n) = 0,$$

где $[\Delta]$ – сумма случайных погрешностей, т.е.

$$[\Delta] = \Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3 + \dots + \Delta_n,$$

n – число измерений.

Последнее свойство случайных погрешностей позволяет установить принцип получения из ряда измерений одной и той же величины результата, наиболее близкого к ее истинному значению, т.е. наиболее точного. Таким результатом является среднее арифметическое из n измеренных значений данной величины. При бесконечно большом числе измерений

$$\lim_{x \rightarrow \infty} ([1]/n) = x.$$

При конечном числе измерений арифметическая середина $x = [1]/n$ содержит остаточную случайную погрешность, но от точного значения x измеряемой величины она отличается меньше, чем любой результат l непосредственного измерения. Это позволяет при любом числе измерений, если $n > 1$, принимать арифметическую середину за окончательное значение измеренной величины. Точность окончательного результата тем выше, чем больше n . [9].

§ 34. Средняя квадратическая, предельная относительная погрешности

Для правильного использования результатов измерений необходимо знать с какой степенью близости к истинному значению измеряемой величины они получены. Характеристикой точности отдельного измерения в теории погрешностей служит предложенная Гауссом средняя квадратическая погрешность m , вычисляемая по формуле

$$m = \sqrt{\frac{\Delta_1^2 + \Delta_2^2 + \dots + \Delta_n^2}{n}} = \sqrt{\frac{[\Delta_n^2]}{n}}, \quad (38)$$

где n – число измерений данной величины.

Эта формула справедлива для случаев, когда известно истинное значение измеряемой величины. Такие случаи в практике встречаются редко. В то же время из измерений можно получить результат, наиболее близкий к истинному значению – арифметическую середину. Для этого случая средняя квадратическая погрешность одного измерения подсчитывается по формуле Бесселя:

$$m = \sqrt{\frac{[\Delta^2]}{n-1}}, \quad (39)$$

где δ – отклонение отдельных значений измеренной величины от арифметической середины, называемые вероятными погрешностями, причем $[\delta]=0$. Точность арифметической середины будет выше точности отдельного измерения. Ее средняя квадратическая погрешность M определяется по формуле

$$M = \frac{m}{\sqrt{n}}, \quad (40)$$

где m – средняя квадратическая погрешность одного измерения, вычисляемая по формуле (38) или (39).

В соответствии с первым свойством случайных погрешностей для абсолютной величины случайной погрешности при данных условиях измерений существует допустимый предел, называемый *предельной погрешностью*.

В теории вероятностей доказывается, что действительная ошибка измерений может быть больше средней квадратической в 32 случаях из 100, больше удвоенной средней квадратической только в 5 случаях из 100 и больше утроенной средней квадратической только в 3 случаях из 100. Таким образом, почти невозможен случай, когда действительная ошибка будет больше утроенной средней квадратической. Поэтому утроенную среднюю квадратическую ошибку называют предельной

$$\Delta_{\text{пред}} = 3m. \quad (41)$$

Оценку результатов измерений можно производить и по полученным значениям абсолютных и относительных погрешностей. Абсолютная – выражает разность между принятым значением измеряемой величины и средним измеренным ее значением.

Относительная погрешность является отношением значения абсолютной погрешности к среднему значению измеренной величины. Относительная погрешность выражается в виде простой дроби, числитель которой единица, а знаменатель – число, округленное до двух – трех значащих цифр с нулями.

Точность результатов многократных измерений одной и той же величины оценивают в такой последовательности (табл. 5):

- 1) находят вероятнейшее (наиболее точное для данных условий) значение измеренной величины по формуле арифметической середины $x = [l]/n$;
- 2) вычисляют отклонение $\delta_1 = l_1 - x$ каждого значения измеренной величины $l_1, l_2, \dots, l_n$ от значения арифметической середины. Контроль вычислений – $[\delta]=0$;
- 3) по формуле Бесселя (39) вычисляют среднюю квадратическую погрешность одного измерения;
- 4) по формуле (40) вычисляют среднюю квадратическую погрешность арифметической середины [6].

Таблица 5

№ п/п	l, м	δ, см	δ, см	Вычисления
1	100,75	−1	1	$m_i = \sqrt{\frac{81}{(6-1)}} = 4,0 \text{ см};$ $M = \frac{4,0}{\sqrt{6}} = 1,6 \text{ см};$ $\frac{m}{1} = 1:3000; \quad \frac{M}{1} = 1:7600$
2	100,81	+5	25	
3	100,77	+1	1	
4	100,70	−6	36	
5	100,73	−3	9	
6	100,79	+3	9	
Сред.	100,76	−1	81	—

§ 35. Вычислительная обработка теодолитных ходов

Теодолитным ходом (рис. 56) называют систему закрепленных на местности точек, координаты которых определены из измерения горизонтальных углов β и расстояний d .

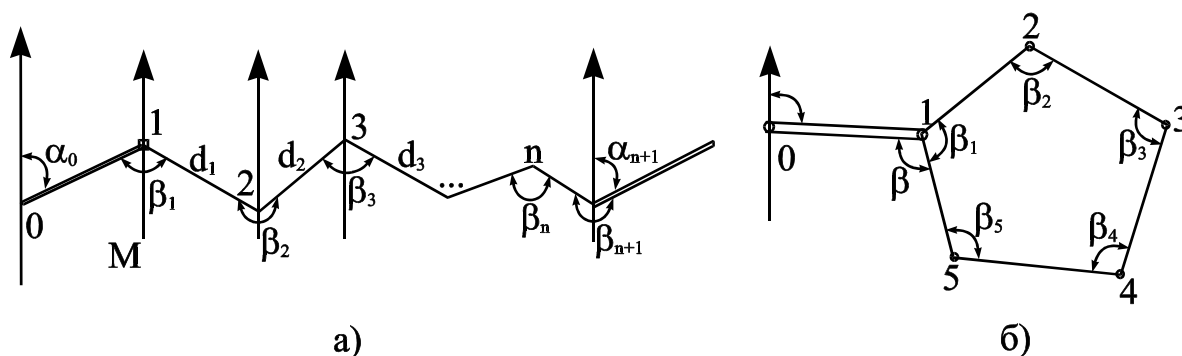


Рис. 56. Теодолитный ход: а – разомкнутый; б – замкнутый

Как правило, теодолитные ходы прокладывают между пунктами государственной геодезической сети.

Связь теодолитных ходов с пунктами более высокого класса называют *привязкой*.

Между углами поворота теодолитного хода и дирекционными углами его сторон существует зависимость. На рис. 57 А, В и С – три последовательные точки хода. В точке В хода может быть измерен один из двух углов: $\beta_{\text{лев}}$, лежащий слева по ходу А–В–С, или $\beta_{\text{пр}}$ – правый угол.

Обозначив через $\alpha_{ВА}$ и $\alpha_{ВС}$ дирекционные углы соответственного направления сторон ВА и ВС, определим

$$\alpha_{ВС} = \alpha_{ВА} + \beta_{\text{лев}} = \alpha_{ВА} - \beta_{\text{пр}}. \quad (42)$$

Так как

$$\alpha_{ВА} = \alpha_{АВ} \pm 180^\circ,$$

$$\alpha_{BC} = (\alpha \pm 180^0) + \beta_{лев} = (\alpha_{AB} \pm 180^0) - \beta_{пр}. \quad (43)$$

Если при вычислении по этим формулам дирекционный угол α_{BC} получит значение больше 360^0 , а значение окажется меньше 0^0 , то следует прибавить 360^0 .

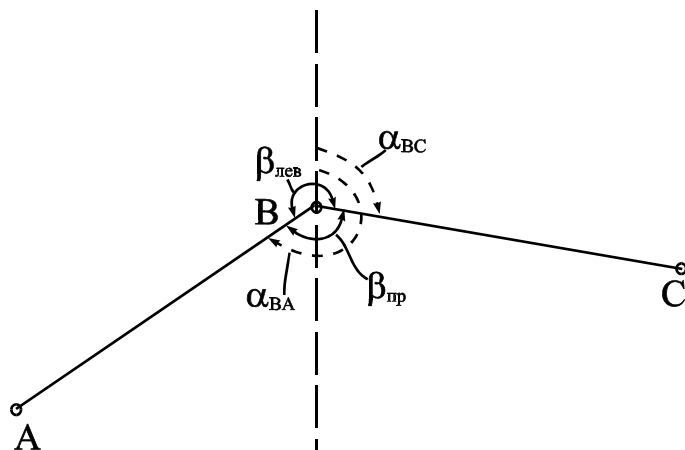


Рис. 57. Определение дирекционного угла последующей стороны хода

Последовательное применение формулы (43) позволяет вычислить дирекционный угол α_k для k -й стороны теодолитного хода, начиная от исходного дирекционного угла α_0 [9]:

$$\alpha_k = \alpha_0 + \sum_{i=1}^k (\beta_i)_{лев} - 180^0(k-1) = \alpha_0 - \sum_{i=1}^k (\beta_i)_{пр} + 180^0(k-1). \quad (44)$$

Допустим, что теодолитный ход проложен между двумя исходными направлениями, дирекционные углы которых в точке O — α_0 и в точке $(n+1)$ — α_{n+1} (см. рис. 56,а). $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \dots, \beta_{n+1}$ — измеренные правые углы. Применив к каждой из сторон хода формулу (43), найдем:

$$\begin{aligned} \alpha_1 &= \alpha_0 + 180^0 - \beta_1, \\ \alpha_2 &= \alpha_1 + 180^0 - \beta_2, \\ \alpha_{n+1} &= \alpha_n + 180^0 - \beta_{n+1}. \end{aligned}$$

Сложим почленно эти равенства, после сокращений и простых преобразований получим

$$\sum_{i=1}^{n+1} (\beta_i)_{пр} = \alpha_0 - \alpha_{n+1} + 180^0, \quad (45)$$

Соответствующая формула для суммы левых углов имеет вид

$$\sum_{i=1}^{n+1} (\beta_i)_{\text{лев}} = \beta_{n+1} - \beta_0 + 180^0 n. \quad (46)$$

Подсчет и распределение угловой невязки

Формулы (45) и (46) и служат для контроля направленности измерения углов, так как они дают теоретическое значение их суммы. Если же в эти формулы подставить значение углов, полученные в результате измерений, то они приведут к невязкам

$$\left(\sum_{i=1}^{n+1} \beta_i - 180^0 n \right) \pm (\beta_{n+1} - \beta_0) = f_{\beta}. \quad (47)$$

Знак плюс перед разностью исходных дирекционных углов соответствует правым по ходу измеренным углам $\beta_{\text{пр}}$, а знак минус – левым $\beta_{\text{лев}}$.

Из геометрии известно, что теоретическая сумма углов многоугольника, имеющего n углов (сомкнутый теодолитный ход)

$$\sum_{i=1}^n \beta_i = 180^0 (n - 2).$$

$$\text{Отсюда угловая невязка} \quad \sum_{i=1}^n \beta_i - 180^0 (n - 2) = f_{\beta}. \quad (48)$$

Допустимое значение невязки суммы n измеренных углов определяется по формуле

$$\pm f_{\beta} \leq 1' \sqrt{n}, \quad (49)$$

где $1'$ – предельная погрешность измерения одного угла.

Увязка углов в теодолитном ходе заключается в распределении невязки поровну на каждый угол, т.е. к измеренному значению угла β прибавляют поправку [9]

$$v_{\beta} = -f_{\beta} / n,$$

имеющую знак обратной невязки, после чего вычисляют дирекционные углы всех сторон теодолитного хода по формуле (43). Контролем вычислений служит вторичное получение конечного дирекционного угла начальной стороны 1–2 – для сомкнутого теодолитного хода (см. рис. 56).

Решение прямой и обратной геодезических задач

Прямая геодезическая задача заключается в определении координат конечной точки отрезка прямой линии по его длине, направлению и координатам начальной

точки. На рис. 58 А ($x_1; y_1$) и В ($x_2; y_2$) – начальная и конечная точки отрезка АВ, длина которого d_{12} и дирекционный угол α_{12} ; координаты точек:

$$x_1=AA_0, \quad y_1=OA_0, \quad x_2=BB_0 \quad \text{и} \quad y_2=OB_0.$$

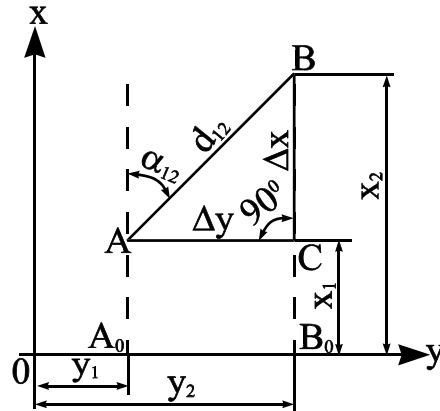


Рис. 58. Прямая и обратная геодезические задачи

По построению катеты прямоугольного треугольника ABC представляют собой разности координат точек А и В:

$$BC=x_2-x_1=\Delta x_{12}; \quad AC=y_2-y_1=\Delta y_{12},$$

где Δx и Δy – приращения координат соответственно по осям абсцисс и ординат.

Так как угол В треугольника ABC равен дирекционному углу α_{12} , то

$$\left. \begin{aligned} x_2 - x_1 &= \Delta x_{12} = d_{12} \cdot \cos \alpha_{12} \\ y_2 - y_1 &= \Delta y_{12} = d_{12} \cdot \sin \alpha_{12} \end{aligned} \right\} \quad (50)$$

Тогда

$$\left. \begin{aligned} x_2 &= x_1 + d_{12} \cdot \cos \alpha_{12} \\ y_2 &= y_1 + d_{12} \cdot \sin \alpha_{12} \end{aligned} \right\} \quad (51)$$

Обратная геодезическая задача – определение длины и направления отрезка прямой линии по данным координатам его начальной и конечной точек.

Из уравнений (50) следует два варианта решения обратной геодезической задачи:

1) разделив второе уравнение (50) на первое, получим:

$$\operatorname{tg} \alpha_{12} = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} = \frac{\Delta y_{12}}{\Delta x_{12}}; \quad \alpha_{12} = \arctg \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \quad (52)$$

и далее

$$d_{12} = \frac{x_2 - x_1}{\cos \alpha_{12}} = \frac{y_2 - y_1}{\sin \alpha_{12}}; \quad (53)$$

2) возведя в квадрат каждое из уравнений (50) и сложив их, найдем:

$$d_{12} = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} \quad (54)$$

и далее

$$d_{12} = \arccos \frac{x_2 - x_1}{d_{12}} = \arcsin \frac{y_2 - y_1}{d_{12}}. \quad (55)$$

Уравнивание приращений и вычисление координат точек теодолитного хода. Применив многократно прямую геодезическую задачу, для координат k-й точки хода получим:

$$x_k = x_1 + \sum_{i=1}^{k-1} \Delta x_i; \quad y_k = y_1 + \sum_{i=1}^{k-1} \Delta y_i. \quad (56)$$

Для теодолитного хода (см. рис. 56,а) при k=n+1 получим:

$$x_{n+1} - x_1 = \sum_{i=1}^n \Delta x_i; \quad y_{n+1} - y_1 = \sum_{i=1}^n \Delta y_i. \quad (57)$$

А для сомкнутого хода (см. рис. 56,б), в котором (n+1)-я точка совпадает с 1-й, имеем

$$\sum_{i=1}^n \Delta x_i = \sum_{i=1}^n \Delta y_i = 0. \quad (58)$$

Формулы (57) и (58) верны для теоретических значений приращений координат. Практически определения дирекционных углов и длин сторон содержат погрешности, подстановка их значений в эти формулы приведет к невязкам:

для разомкнутого хода:

$$\sum_{i=1}^n \Delta x_i - (x_{n+1} - x_1) = f_x, \quad \sum_{i=1}^n \Delta y_i - (y_{n+1} - y_1) = f_y; \quad (59)$$

для замкнутого полигона:

$$\sum_{i=1}^n \Delta x_i = f_x, \quad \sum_{i=1}^n \Delta y_i = f_y. \quad (60)$$

Величины:

$$f_p = \sqrt{f_x^2 + f_y^2} \quad \text{и} \quad \frac{f_p}{p} = \frac{1}{(p:f_p)}$$

называются соответственно *абсолютной* и *относительной* линейными невязками теодолитного хода, где p – периметр хода.

Увязка приращения координат производится отдельно по абсциссам и ординатам. Полученная невязка по этим осям распределяется на все приращения координат хода пропорционально длинам сторон, т.е. поправки $v_i \Delta x_i$ и $v_i \Delta y_i$ соответственно в приращениях Δx_i и Δy_i определяются по формулам:

$$v \Delta x_i = -\frac{f_x}{p} d_i; \quad v \Delta y_i = -\frac{f_y}{p} d_i.$$

Исправленные этими поправками приращения должны точно удовлетворять условию (57) и (58). После уравнивания приращений вычисляют координаты точек теодолитного хода по формулам (56).

РАЗДЕЛ ВТОРОЙ

ОСНОВНЫЕ ВИДЫ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ РАБОТ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ, СТРОИТЕЛЬСТВЕ И ЭКСПЛУАТАЦИИ СООРУЖЕНИЙ

Глава 10. ИНЖЕНЕРНЫЕ ИЗЫСКАНИЯ

§ 36. Общие сведения, виды и задачи инженерно-геодезических изысканий

Основными видами инженерно-геодезических работ являются топографо-геодезические изыскания, инженерно-геодезическое проектирование, геодезические разбивочные работы, исполнительные съемки, выверка конструкций и агрегатов, наблюдения за деформациями оснований и сооружений. Каждая из этих работ связана с определенным этапом инженерно-строительного процесса: изысканиями, проектированием, строительством и эксплуатацией сооружений.

Изысканиями называют процесс получения данных, необходимых для правильного решения вопросов проектирования, строительства и эксплуатации сооружения.

В ходе проектирования по материалам соответствующих изысканий решается вопрос о местоположении сооружений, о его конструкциях, основных параметрах, стоимости строительных работ и т.д.

Изыскания, как и проектирование, делятся на стадии, причем между стадиями изысканий и проектирования имеется тесная связь – каждая стадия изысканий должна обеспечивать материалами соответствующую стадию проектирования.

Программа инженерных изысканий включает экономические, инженерно-геодезические, инженерно-геологические, гидрогеологические, почвенные, климатические, изыскания местных строительных материалов и др.

В инженерно-геодезические изыскания входят развитие опорных геодезических сетей, производство топографических съемок строительных площадок, трассирование линейных сооружений, геодезическая привязка геологических выработок, гидрологических створов, точек геофизической разведки и др. Топографо-геодезические изыскания служат основой для проектирования и проведения других видов изысканий.

Инженерно-геодезические, инженерно-геологические, гидрологические, гидрогеологические являются основными изысканиями.

Инженерно-геодезические изыскания позволяют получить информацию о рельефе и ситуации местности.

Инженерно-геологические и гидрогеологические изыскания дают возможность получить представление о геологическом строении, физико-геологических явлениях, прочности грунтов, составе и характере подземных вод и т.п. Эти сведения позволяют сделать правильную оценку условий строительства сооружения.

Гидрологические изыскания дают сведения о водном режиме рек и водоемов. В процессе гидрологических изысканий определяют характер изменения уровней, уклоны, направления и скорости течений, вычисляют расходы воды и т.п.

Содержание и объем инженерных изысканий определяется типом, видом и размерами проектируемого сооружения, местными условиями и степенью их изученности, а также стадией проектирования.

В первой стадии проектирования разрабатывается проект, определяющий экономическую целесообразность и техническую возможность строительства, а также его смежную стоимость. Соответствующие этой стадии изыскания сводятся к изучению района строительства и прилегающих к нему территорий по топографическим картам, аэроснимкам и профилям.

Важнейшим документом проекта является генеральный план сооружения и крупномасштабный топографический план с проектом размещения основных элементов сооружения (зданий, цехов, дорог, коммуникаций).

Второй стадией составления проекта является рабочая документация, разрабатываемая на основе утвержденного проекта, содержащая детали элементов сооружений. Эта стадия проектирования инженерно-геодезических изысканий характеризуется большей точностью и детальностью.

Различные виды сооружений, технология строительства которых имеет много общего и изыскания для которых проводятся по схожей схеме, могут быть объединены в группы: площадочные и линейные сооружения.

К площадочным сооружениям относятся: населенные пункты, промышленные предприятия, аэропорты и т.п.; к линейным – дороги, ЛЭП, трубопроводы и т.п.

Порядок, методика и точность инженерных изысканий устанавливаются соответствующими инструкциями.

§ 37. Изыскания площадочных сооружений

Состав и объем инженерных изысканий зависят от размеров площадочных сооружений. Состав изысканий на небольших площадках ограничивается основными изысканиями: инженерно-геодезическими, инженерно-геологическими, гидрологическими. Для больших площадных сооружений выполняются все инженерные изыскания.

Каждая площадка, предназначенная для строительства сооружения, должна отвечать определенным технологиям.

Площадку выбирают, по возможности, в малопересеченной, малопригодной для сельского хозяйства местностях 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 железно-автомобильными магистралями без большого объема земляных работ и возведения больших мостовых переходов.

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.

Грунты площадки должны выдерживать определенное давление, чтобы при строительстве зданий и сооружений можно было обойтись без дорогостоящих фундаментов. Уровень грунтовых вод должен быть ниже отметок дна подвалов и галерей. Площадка не должна заполняться высокими паводками вод.

Промышленные предприятия, города и населенные пункты нуждаются в больших количествах воды, поэтому при выборе места для таких сооружений важно предусмотреть наличие водных источников. Кроме этого, эти объекты в периоды строительства и эксплуатации должны обеспечиваться хорошими подъездными путями, газом, электроэнергией, топливом и т.п.

Выбор площадки начинается в камеральных условиях. Сравнением вариантов выбирают наиболее выгодную площадку для полевого обследования.

Для разработки проекта помеченную площадку и часть прилегающей к ней территории снимают в масштабе 1:2000 с сечением рельефа через 1 м. Для составления рабочих чертежей основных сооружений площадку снимают в масштабе 1:1000; 1:500 с сечением рельефа через 0,5 м.

§ 38. Изыскания для линейных сооружений

В ходе инженерно-геодезических изысканий линейных сооружений в первую очередь решается вопрос о плановом и высотном положении трассы. *Трассой*

называется ось проектируемого сооружения, обозначенная на местности или нанесенная на топографическую карту. Основными элементами трассы являются: *план* – ее проекция на горизонтальную плоскость и *продольный профиль* – вертикальный разрез по проектируемой линии сооружения.

При строительстве некоторых линейных сооружений, в этом числе и дорожном строительстве, трасса в плане должна быть, по возможности, прямолинейной, так как всякое отклонение от прямолинейности приводит к ее удлинению и увеличению строительных и эксплуатационных затрат. В продольном профиле трассы должен обеспечиваться определенный допустимый уклон. В условиях реальной местности одновременное соблюдение требований плана и профиля обычно встречает затруднения, поэтому сознательно приходится идти на искривление трассы для обхода ситуационных препятствий, участков с большим уклоном местности, неблагоприятными геологическими и гидрологическими условиями. Таким образом, план трассы состоит из прямых участков разного направления, которые сопрягаются между собой кривыми с различными радиусами (рис. 59).

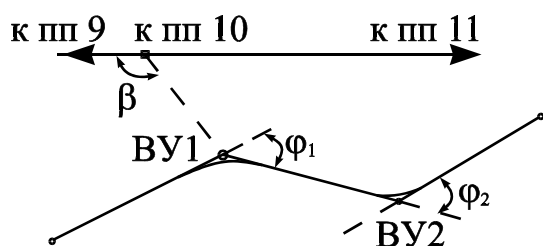


Рис. 59. Элементы плана трассы

Продольный профиль трассы состоит из линий различных уклонов, соединяющихся между собой вертикальными кривыми.

В зависимости от назначения трасса должна удовлетворять определенным требованиям, которые устанавливаются техническими условиями на ее проектирование. Так для дорожных трасс основными требованиями являются плавность и безопасность движения с расчетными скоростями. Поэтому на дорожных трассах устанавливают максимально допустимые уклоны и минимально возможные радиусы. На самотечных каналах и трубопроводах необходимо выдерживать проектные уклоны.

Полевое трассирование линейного сооружения относится к окончательным изысканиям и ведется на стадии рабочего проектирования по утвержденному варианту сооружения. Геодезические изыскания на стадии рабочего проектирования включают:

- 1) вынос на местность оси сооружения и закрепления ее;
- 2) прокладку теодолитного хода, расчет и разбивку кривых в главных точках;
- 3) разбивку пикетажа, поперечников, съемку ситуации;
- 4) нивелирование точек трассы;
- 5) камеральную обработку полевых материалов.

Данные для переноса трассы на местность получают в подготовительный период, предшествующий полевому. Эти данные могут представлять собой полярные или прямоугольные координаты для выноса вершин углов поворота или промежуточных (створных) точек трассы от геодезических пунктов плановой основы. Так, для перенесения вершины угла 1 (ВУ1) полярным способом должны быть определены разбивочные элементы: угол β и расстояние D (от пп 10 до вершины угла).

Вершины углов поворота, начало и конец трассы закрепляют деревянными или железобетонными столбами, промежуточные точки – кольями.

Между закрепленными точками (началом, вершинами углов поворота и концом трассы) прокладывается теодолитный ход (рис. 60). Кроме того, измеряются расстояния между конечными точками трассы и ближайшими геодезическими пунктами. Результат всех измерений наносят на схему.

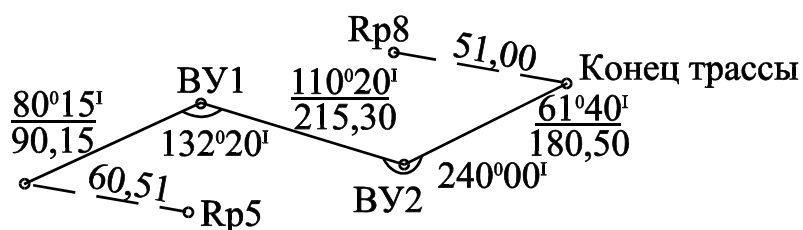


Рис. 60. Схема теодолитного хода

На углах поворота трасс дорог, трубопроводов, каналов производят вставки кривых. В качестве таких кривых обычно применяют дуги окружностей больших радиусов (круговые кривые).

Для расчета элементов АВ'С между участками трассы АВ и ВС (рис. 61) необходимо знать следующие исходные данные:

R – радиус кривой, назначаемый в зависимости от местных условий и вида сооружения;

ϕ – угол поворота трассы, определяемый по измеренным углам трассы β (при повороте трассы вправо $\phi_1 = 180^\circ - \beta_1$, а при повороте линии влево $\phi_2 = \beta_2 - 180^\circ$). Биссектриса угла ВО пересекается с кривой в точке В' и делит кривую пополам. Точки касания кривой А и С с прямыми участками и точка В' являются главными точками кривой и называются так:

- точка А – начало кривой (нк);
- точка В' – середина кривой (ск);
- точка С – конец кривой (кк).

Для разбивки кривой в главных очках определяются следующие элементы: длина касательной $AB=BC=T$ – *тангенс*, отрезок $BB'=B$ – *биссектриса*; $AB'С=K$ – *кривая*; разность между длиной двух тангенсов и кривой называется *домером* $D=2T-K$.

Центральный угол АОС и угол поворота DBC равны между собой как углы со взаимно перпендикулярными сторонами. Следовательно, угол $AOB = \phi/2$. Из прямоугольного треугольника АВО найдем:

$$AB=T=R \cdot \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2}. \quad (61)$$

Биссектриса $B=OB-OB'$, но $OB'=R$, $OB = \frac{R}{\cos \frac{\varphi}{2}}$

и тогда $B = \frac{R}{\cos \frac{\varphi}{2}} - R = R(\sec \frac{\varphi}{2} - 1). \quad (62)$

Длина кривой находится из следующего соотношения:

$$\frac{2p \cdot R}{360^0} = \frac{K}{\varphi^0}, \quad K = \frac{pR}{180^0} \cdot \varphi^0. \quad (63)$$

Из формул (61–63) видно, что при данном значении φ элементы кривой прямопропорциональны радиусу кривой.

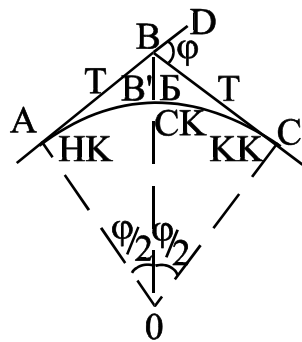


Рис. 61. Расчет элементов между участками трассы

При вершине угла ВУ 1 (см. рис. 60) угол поворота трассы

$$\varphi = 180^0 - 132^0 20' = 47^0 40'.$$

Из табл. 6 находим элементы кривой:

$$T = 0,441\,75 \cdot 200 = 88,35 \text{ м};$$

$$K = 0,831\,94 \cdot 200 = 166,39 \text{ м};$$

$$Д = 0,051\,56 \cdot 200 = 10,31 \text{ м};$$

$$Б = 0,093\,23 \cdot 200 = 18,65 \text{ м}.$$

Таблица 6

φ	T	K	Д	Б
$47^0 38'$	0,441 40	0,831 36	0,051 44	0,093 08
$47^0 39'$	0,441 57	0,831 65	0,051 49	0,093 15
$47^0 40'$	0,441 75	0,831 94	0,051 56	0,093 23
$47^0 41'$	0,441 92	0,832 23	0,051 61	0,093 30

Для контроля определения элементов кривой найдем домер по формуле

$$Д=2Т-K=176,70-166,39=10,3 \text{ м.}$$

В местах поворотов трассы, после измерения угла, находят по таблицам элементы и производят разбивку главных ее точек (см. рис. 60).

Для составления профиля трассы и организации строительных работ трасса разбивается на равные отрезки, называемые пикетами. Длина пикета обычно равна 100 м. В начальной точке трассы подписывается гк 0, затем гк 1, гк 2 и т.д.

Для более детального отражения профиля местности дополнительно фиксируют плюсовые точки. На колышках, обозначающих плюсовой пикет, подписывается номер младшего (т.е. заднего) пикета плюс расстояние от него.

Процесс разбивки несколько осложняется вблизи углов поворота, где размещаются кривые, потому что счет расстояний идет по кривой, а измерения – по касательным. Есть несколько способов учета разницы в длине касательных и кривой, т.е. учета длины домера. При незначительной длине кривой пикеты на кривой не разбивают, а для разбивки пикетов после кривой предварительно рассчитывают пикетажные наименования начала и конца кривой по следующей схеме [7]:

$$\begin{array}{r} \text{ВУ №1 ГКО} +90,15 \\ -Т \quad \quad \quad 88,35; \end{array}$$

$$\begin{array}{r} \text{ВУ №1 ГКО} +90,15 \\ +Т \quad \quad \quad 88,35; \end{array}$$

$$\begin{array}{r} \text{нк} \quad \quad \text{гко} +01,80 \\ +к \quad \quad \quad 166,39 \\ \hline \text{кк} \quad \quad \text{гк1} +68,19; \end{array}$$

$$\begin{array}{r} \quad \quad \quad \text{гк1} +78,50 \\ -Д \quad \quad \quad 10,31 \\ \hline \text{кк} \quad \quad \text{гк1} +68,19. \end{array}$$

После разбивки пикетажа трассы выполняются техническое нивелирование по всем точкам трассы и камеральная обработка полевых материалов.

Глава 11. ЭЛЕМЕНТЫ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

§ 39. Проектирование продольного и поперечного профилей автомобильной дороги

Установление положения автодороги в продольном профиле по отношению к поверхности земли (или нанесение на профиль проектной линии) производится при выполнении ряда технических условий, главным из которых является соблюдение предельного продольного уклона.

Для дорог с высотой интенсивностью движения величина этого уклона не должна превышать 0,040...0,050; для дорог местного значения допускается увеличение продольных уклонов до 0,060...0,090.

В пересеченной местности для уменьшения продольного уклона дорогу проектируют по секущей, срезая возвышенные места рельефа. В этом случае проектная линия наносится под условием нулевого баланса земляных масс, т.е. примерной компенсации объемов выемок и насыпей.

Положение автодороги определяется рядом точек, строго фиксированных по высоте: начало и конец трассы, ее пересечение с существующими железными и автомобильными дорогами, высота проектной линии над поверхностью воды при переходе через водотоки. От этих точек, называемых контрольными, начинают нанесение проектной линии на профиль.

Зная отметку контрольной точки H_1 , находят проектную отметку H_2 последующей точки по формуле

$$H_2 = H_1 + h = H_1 + id, \quad (64)$$

где h – превышение между точками;

i – проектное значение уклона;

d – расстояние между точками.

Разность между проектными отметками и отметками земли (черными) называются рабочими отметками. Положительные рабочие отметки выражают высоту насыпи, отрицательные – глубину выемки. Между двумя точками профиля с рабочими отметками разных знаков h_1 и h_2 находится точка нулевых работ O . Ее расстояние x от ближайшей точки вычисляется по формуле [5]

$$x = d \frac{|h_2|}{|h_1| + |h_2|}. \quad (65)$$

Так для точки нулевых работ, расположенной между гк 2+81 и гк 3 (рис. 62), получим

$$x = 19 \cdot 0,72 / (0,48 + 0,72) = 11,4 \text{ м.}$$

§ 40. Вертикальная планировка рельефа

Составной частью строительного генерального плана является проект вертикальной планировки, имеющей целью преобразование естественных форм рельефа и создание условий для эксплуатации возводимых зданий и сооружений.

Преобразование рельефа земной поверхности связано с возведением земляных сооружений, основными из которых являются насыпи и выемки.

Выемки, устраиваемые для фундаментов зданий или сооружений, называются *котлованами*, для укладки трубопроводов – *траншеями*.

Все геодезические расчеты, сопутствующие составлению проекта вертикальной планировки, сводятся главным образом к определению рабочих отметок создаваемых насыпей и выемок.

Основой для проектирования вертикальной планировки служат топографические планы масштабов 1:5000–1:500.

Чаще всего исходными данными для вертикальной планировки служат планы местности, разбитые на квадраты. Высотные отметки на планах определяют в вершинах квадратов. Изменения формы и уклонов рельефа проектируют относительно отметок вершин квадратов. Если имеется план местности в горизонталях, на него наносят сетку квадратов со сторонами 10, 20, 30 и т.д. Длина стороны квадрата зависит от сложности рельефа и необходимой точности вычисления объема земляных работ.

Отметки точек земляных работ на поверхности земли называют *фактическими* (H_{ϕ}). Отметки точек в проекте называют проектными ($H_{\text{пр}}$). Проектная отметка – это отметка, которую данная точка поверхности земли должна иметь после завершения планировки. Разность между проектной и фактической отметками точки называют *рабочей отметкой*

$$h_{\text{раб}} = H_{\text{пр}} - H_{\text{ф}}.$$

Рабочая отметка показывает сколько грунта надо подсыпать (если $h_{\text{раб}}$ положительная) или снять (если $h_{\text{раб}}$ отрицательная).

Рассмотрим пример построения горизонтальной площадки, отметка которой $H_{\text{пр}} = 120,21$ (см. рис. 62).

На рис. 63 у вершины каждого квадрата нивелирной сетки подписаны фактическая (черная), проектная (красная) и рабочая отметки. По рабочим отметкам вычисляют объем земляных масс и переносят в натуру проект вертикальной планировки.

Для решения этих задач, кроме того, определяют положение нулевых точек по всем сторонам квадрата сетки.

При стороне квадрата нивелирной сетки, равной $l = 20$ см, нулевая точка на стороне В II – В III будет находиться от точки В II на расстоянии

$$x = \frac{2,23 \cdot 20,0}{2,23 + 1,20} = 13,00 \text{ м}$$

и от точки В III –

$$y = \frac{1,20 \cdot 20,0}{2,23 + 1,20} = 7,00 \text{ м},$$

т.е.

$$x = \frac{|h_1| \cdot l}{|h_1| + |h_2|}; \quad y = \frac{|h_2| \cdot l}{|h_1| + |h_2|}. \quad (66)$$

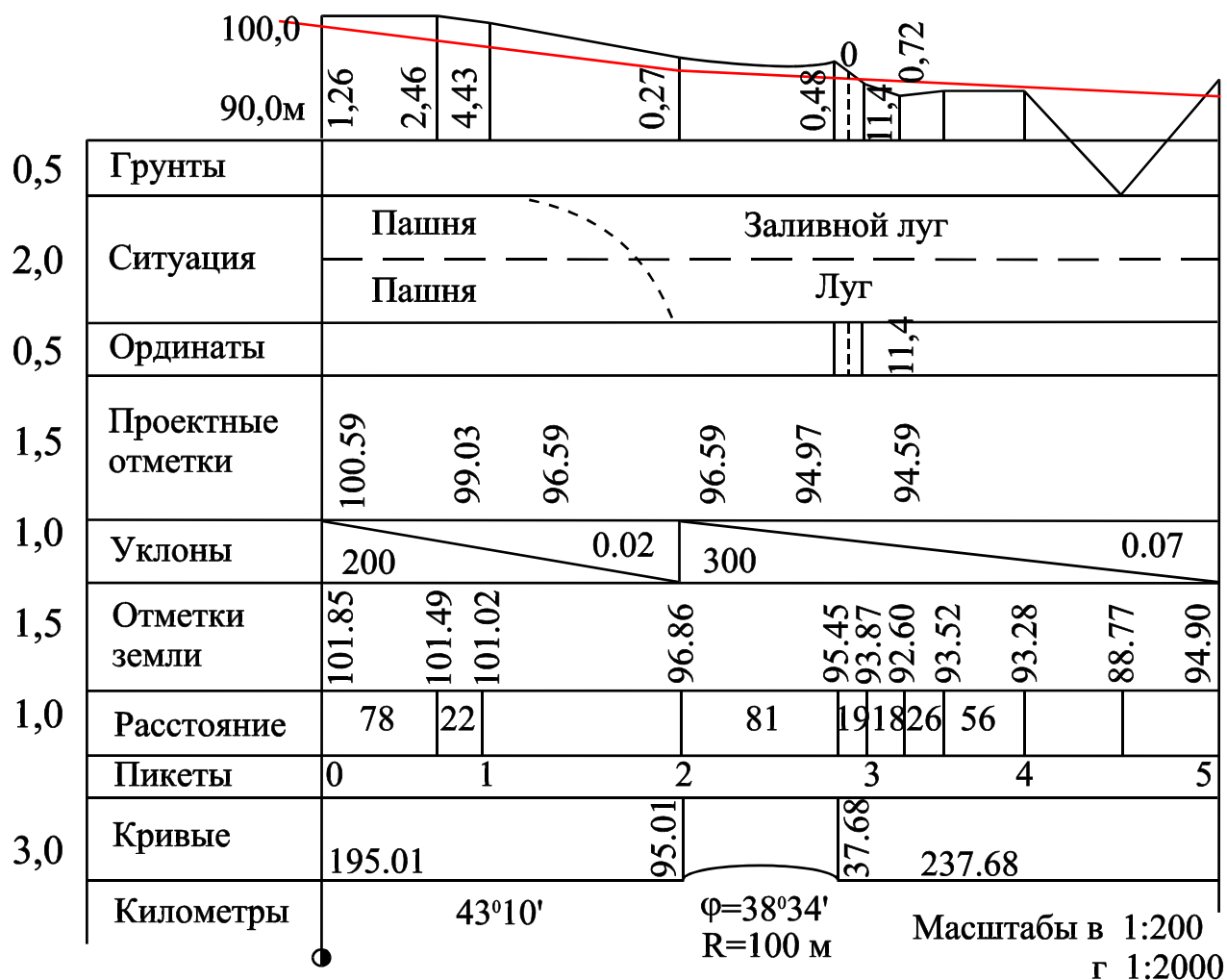


Рис. 62. Продольный профиль трассы автодороги

B	121.37	122.44	119.01	118.20				
	120,21	-1,16	120,21	-2,23	120,21	+1.20	120,21	+2.01
B	121.59	122.74	120.11	119.00				
	120.21	-1.38	120.21	-2.53	120.21	+0.10	120.21	+1.21
							IV	
A	119.08	118.05	121.45					
	120.21	+1.13	120.21	+2.16	120.21	-1.24		
	I	II	III					

Рис. 63. Проектирование горизонтальной площадки, отметка которой задана

Длину отрезков x и y можно найти путем графических построений (рис. 64). Для этого вдоль сторон сетки достаточно отложить в разных направлениях, но в одном и том же масштабе, рабочие отметки $+2,23$ и $-1,20$. Точка пересечения прямой, соединяющей вершины построенных перпендикуляров со стороной сетки, укажет положение нуля земляных работ.

Соединяя смежные точки нулевых работ, получают положение линии нулевых земляных работ. Графическое изображение на плане расположения насыпей выемок называется картограммой земляных работ.

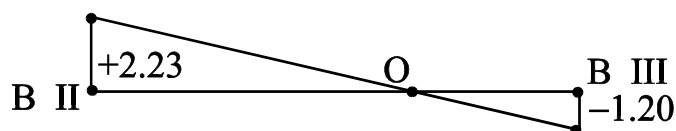


Рис. 64. Графический способ определения точки нулевых работ

Объем земляных работ, при составлении проекта вертикальной планировки может быть подсчитан различными способами. При наличии нивелирной сетки квадратов объем земляных работ определяют по рабочим h_1 , h_2 , h_3 и h_4 вершинам каждого квадрата сетки.

Если эти рабочие отметки имеют один и тот же знак, то объем V насыпи или выемки в пределах квадрата нивелирной сетки находят по формуле

$$V = \frac{1}{4} \cdot l^2 (h_1 + h_2 + h_3 + h_4). \quad (67)$$

Квадраты нивелирной сетки, вершины которых имеют рабочие отметки различных знаков, называются *переходными* (рис. 65). Для определения объема земляных работ переходный квадрат расчлениают на элементарные фигуры, чаще всего на треугольники.

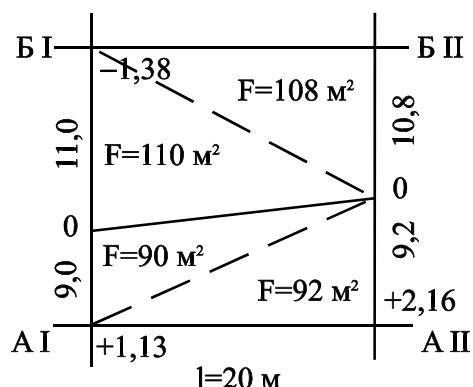


Рис. 65. Переходный квадрат

Объем насыпей и выемок подсчитывают отдельно по рабочим отметкам вершин этих элементарных фигур. При разбивке на элементарные фигуры предварительно строят линию нулевых земляных работ. Объем насыпи или выемки по отметкам h_1 , h_2 , и h_3 вершин треугольника вычисляют по формуле

$$V = \frac{1}{3} F(h_1 + h_2 + h_3), \quad (68)$$

где F – площадь треугольника.

Все приведенные вычисления относятся к случаю, когда проектируется горизонтальная площадка, отметка $H_{пр}$ которой задана.

Такая проектная отметка может быть обусловлена многими соображениями. Часто горизонтальную площадку проектируют с соблюдением условия баланса земляных работ. Тогда проектную отметку вычисляют по формуле [9]

$$H_{пр} = H + \frac{V_0}{F_0}, \quad (69)$$

где V_0 – объем земляного тела в пределах планируемой территории, расположенного над горизонтальной плоскостью, отметка которой равна H ;

F_0 – площадь планируемой территории.

Отметка H принимается равной минимальной фактической отметки в пределах планируемой территории.

Например, для строительной площадки, представленной на рис. 63, $H=118,05$. Объем V_0 определяется по условным отметкам вершин квадратов нивелирной сетки, каждая из которых представляет собой разность между фактической (черной) отметкой $H_{ф}$ и отметкой H некоторой исходной горизонтальной плоскости, т.е.

$$h'_{усл} = H_{ф} - H. \quad (70)$$

Объем земляного тела в пределах одного квадрата нивелирной сетки, условные отметки вершин которого составляют h'_1, h'_2, h'_3, h'_4 , вычисляются по формуле

$$V_i = \frac{1}{4} l^2 (h'_1 + h'_2 + h'_3 + h'_4). \quad (71)$$

Общий объем земляного тела

$$V_0 = \sum_1^n V_i, \quad (72)$$

где n – число квадратов нивелирной сетки.

Этот же объем может быть найден по формуле

$$V_0 = \frac{1}{4} l^2 \left(\sum h'_1 + 2 \sum h'_2 + 3 \sum h'_3 + 4 \sum h'_4 \right), \quad (73)$$

где $\sum h'_1$ – сумма условных отметок вершин квадратов, общих с другими квадратами (на углах площадки);

$\sum h'_2$ – то же, общих для двух квадратов, т.е. где стыкуются два смежных квадрата (вершины располагаются по периметру площадки);

$\sum h'_3$ – сумма условных отметок общих для 3-х квадратов;

$\sum h'_4$ – то же, общих для 4-х квадратов.

Вычисление объема V_0 земляного тела для случая, представленного на рис. 66, приведено в табл. 7.

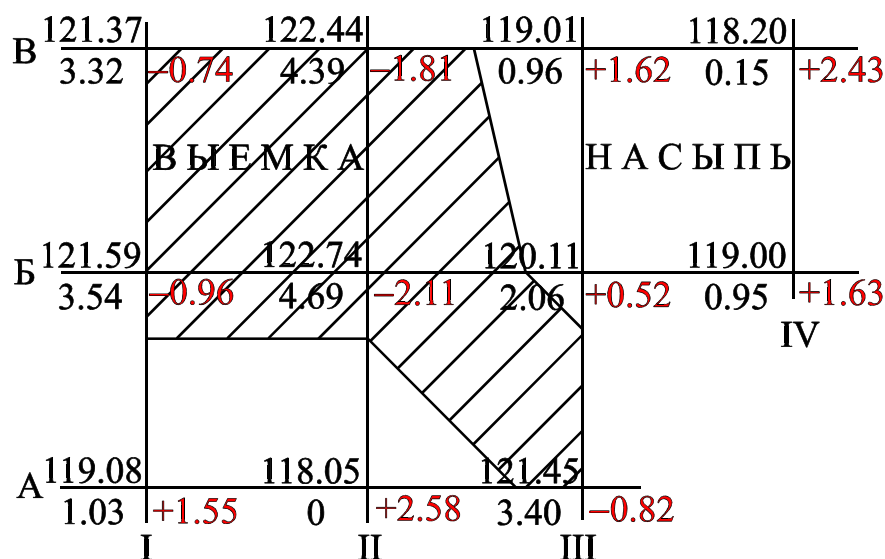


Рис. 66. Проектирование горизонтальной площадки с соблюдением баланса земляных работ

На рис. 66 показано проектирование горизонтальной площадки с соблюдением баланса земляных работ. У каждой вершины квадрата нивелирной сетки подписаны фактические (черные), условные и рабочие отметки. Графическое изображение на плане расположения насыпей и выемок называется *картограммой земляных работ*.

Несколько сложнее проектировать наклонную площадку. При заданных уклонах по условным координатным осям X и Y, совпадающим со сторонами квадрата, находятся проектные отметки вершин квадратов.

Чтобы найти проектные отметки при заданном по направлению координатных осей уклоне, сначала определяют отметки по одной из координатных осей (рис. 67). Уклон по второй координатной оси принимают равным нулю $i_2=0$.

Проектные отметки по створу I вычисляют следующим образом.

Пусть известна отметка точки $H_{AI} = 121,50$ м и уклон $i_1 = 0,002$. Принимаем $i_2=0,000$, тогда:

$$H_{прBI} = 121,50\text{м} - 0,002 \cdot 100\text{м} = 121,30\text{ м};$$

$$H_{прBI} = 121,50\text{м} - 0,002 \cdot 200\text{м} = 121,10\text{ м}.$$

Проектные отметки по створу A вычисляют, принимая $i_2=0,005$, а $i_1=0$, тогда:

$$\begin{aligned}
H_{\text{прАII}} &= 112,50\text{м} - 0,005 \cdot 100\text{м} = 121,00 \text{ м}; \\
H_{\text{прАIII}} &= 121,50\text{м} - 0,005 \cdot 200\text{м} = 120,50 \text{ м}; \\
H_{\text{прАIV}} &= 121,50\text{м} - 0,005 \cdot 300\text{м} = 120,00 \text{ м}; \\
H_{\text{прАV}} &= 121,50\text{м} - 0,005 \cdot 400\text{м} = 119,50 \text{ м}.
\end{aligned}$$

Зная проектные отметки вершин, расположенных на координатных осях, определяют отметки на всех промежуточных точках:

$$\begin{aligned}
H_{\text{прБИ}} &= H_{\text{прБI}} - i_2 \cdot 2l = H_{\text{прАIII}} - i_1 \cdot l = 121,30 \text{ м} - 0,005 \cdot 200 \text{ м} = \\
&= 120,50 - 0,002 \cdot 100 = 120,30 \text{ м}.
\end{aligned}$$

При составлении проекта вертикальной планировки наклонной площадки так же стремятся, чтобы соблюдался баланс земляных работ.

Таблица 5

Вычисление объема земляного тела и отметки Н

№ вершины	Условные отметки				$\sum h'_1 = 8,85$ $2\sum h'_2 = 17,78$ $3\sum h'_3 = 6,18$ $4\sum h'_4 = 18,76$	$l=20 \text{ м}$ $l^2=400 \text{ м}$
	h'_1	h'_2	h'_3	h'_4		
—	—	—	—	—	$K=51,57$	$V_0=1/4 \cdot l^2 \cdot K=5157 \text{ м}^3$
BI	3,32	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	$n=5$	$F_0=n \cdot l^2=2000 \text{ м}^2$
BII	—	4,39	—	—	—	—
BIII	—	0,96	—	—	—	—
BIV	0,15	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	$\frac{V_0}{F_0} = 2,58$	
BI	—	3,54	—	—	—	
—	—	—	—	—	$H_{\text{пр}} = 118,05 + \frac{V_0}{F_0} = 120,63$	
BII	—	—	—	4,69	—	
BIII	—	—	2,06	—	—	—
BIV	0,95	—	—	—	—	—
AI	1,03	—	—	—	—	—
AII	—	0	—	—	—	—
AIII	3,40	—	—	—	—	—
Σ	8,85	8,89	2,06	4,69	—	—

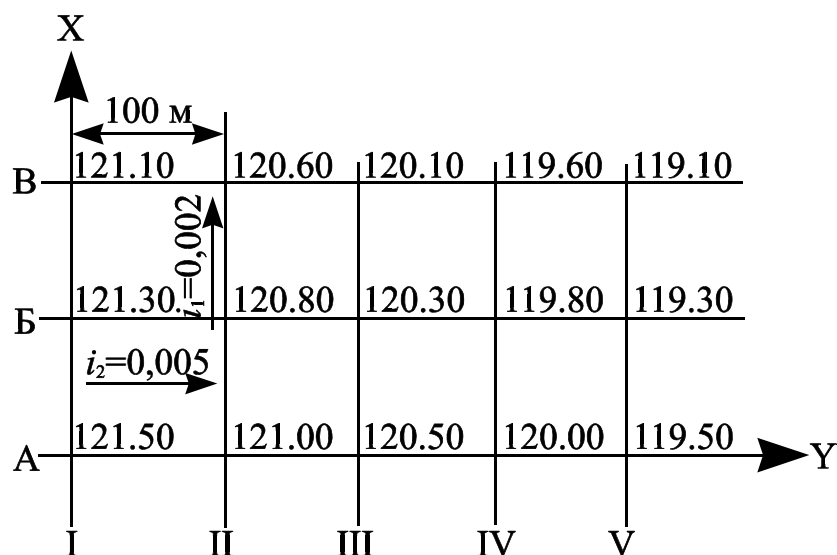


Рис. 67. Определение проектных отметок при заданном уклоне

Глава 11. ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ В ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫЙ ПЕРИОД СТРОИТЕЛЬСТВА

§ 41. Этапы строительных работ

При строительстве зданий и сооружений выделяются три основных этапа или цикла: подготовительный, нулевой, надземный.

В *подготовительный* цикл входит инженерная подготовка строительства: предварительная планировка территории, прокладка наружных инженерных сетей, устройство водостоков, производство геодезических разбивочных работ, строительство временных сооружений и т.д.

В состав *нулевого* цикла входит разработка котлованов и траншей, возведение фундаментов, монтаж надподвального перекрытия, устройство полов, лестниц в подвале, в общем, сооружение части здания до первого этажа.

Надземный цикл включает возведение части здания выше отметки строительного нуля: возведение наружных и внутренних стен, установка лестниц, колонн и др. элементов, монтаж перекрытий и т.п.

Строительные работы на всех этих этапах сопровождаются разнообразными геодезическими разбивочными и контрольными измерениями.

§ 42. Понятия об осях зданий и высотных горизонтах

В состав рабочих чертежей проекта входит план разбивки осей, на котором показывают все оси сооружения: главные, основные и промежуточные (рис. 68).

Главными осями называют две взаимно перпендикулярные прямые I–I и II–II, относительно которых сооружение располагается симметрично. Главные оси разбивают для сооружений, имеющих сложную конфигурацию. Основными осями называют оси (1–1, А–А и Б–Б), образующие внешний контур здания. Остальные оси – промежуточные. Они определяют детали сооружения (перегородки дверные и оконные проемы и т.д.). На плане разбивки осей указывают в миллиметрах расстояние между ближайшими осями и суммарное расстояние между крайними осями.

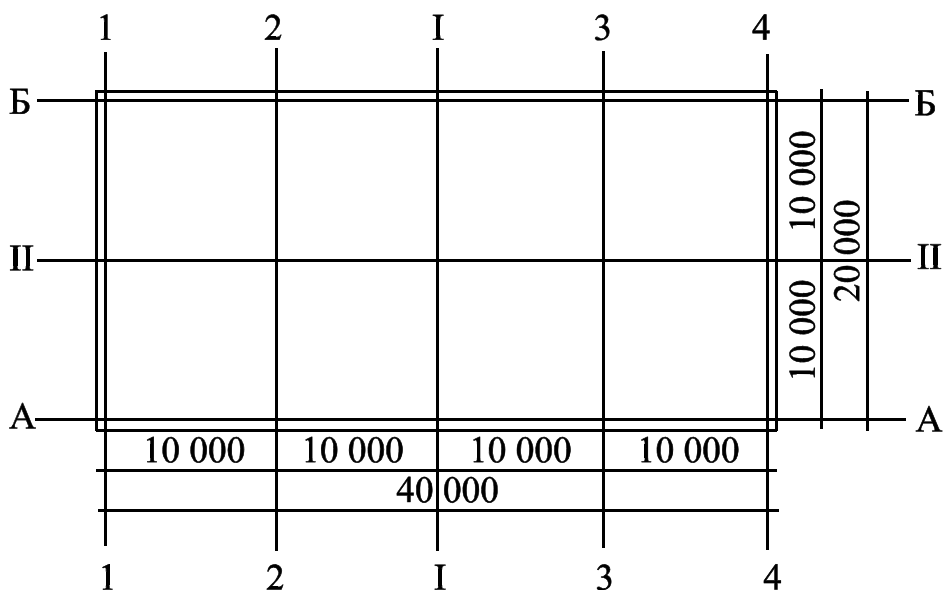


Рис. 68. План разбивки осей

Для упрощения проектирования и строительства счет всех расстояний по вертикали (по высоте) ведут не в абсолютной, а в условной системе высот, причем за начало счета принимают часть здания. Для жилых зданий за строительный нуль принимают уровень чистого пола первого этажа здания.

Помимо основного нулевого горизонта при строительно-монтажных работах пользуются понятиями монтажного горизонта. Монтажным горизонтом называют условную плоскость, проходящую на уровне (проектной отметки) оснований монтируемых элементов конструкций.

§ 43. Сущность геодезических разбивочных работ

По окончании составления проекта сооружения необходимо перейти к его строительству.

Прежде всего требуется определить местоположение этого сооружения на земной поверхности в соответствии с составленным проектом. Для этой цели производят геодезические разбивочные работы.

Разбивкой сооружения или перенесением его проекта в натуру называется комплекс геодезических работ по определению на местности положения будущего сооружения в плане и по высоте.

По своему содержанию разбивочные работы противоположны съемочным. При топографической съемке характерные точки ситуации и рельефа переносятся с местности на план; в процессе разбивки, наоборот, по проектным планам и профилям определяют на местности положение характерных точек сооружения.

Разбивка сооружения выполняется по основному принципу геодезии, т.е. от общего к частному. Согласно этому принципу разбивку сооружения ведут в нескольких этапах. На первом этапе определяется общее положение сооружения на строительной площадке и его ориентирование относительно соседних строений.

Второй этап разбивок – детальная разбивка сооружения выполняется от его основных осей, при этом на местности разбивают вспомогательные оси. Точность геодезических разбивок от этажа к этажу повышается.

§ 44. Способы геодезической подготовки данных для разбивки сооружений

Разбивке сооружений предшествует подготовка геодезических данных, которые определяют положение главных или основных осей относительно геодезического обследования.

Определение разбивочных элементов может быть выполнено тремя способами: графическим, аналитическим и комбинированным. При **графическом** способе все угловые и линейные разбивочные элементы находятся по плану с помощью чертежных инструментов.

Аналитический способ заключается в определении разбивочных элементов путем математических вычислений. При этом способе должны быть известны координаты пунктов геодезического обоснования и координаты точек запроектированного сооружения. Для определения разбивочных элементов аналитическим способом применяются формулы обратной геодезической задачи. (см. § 35).

Комбинированный способ объединяет в себе два первых способа. Обычно при этом способе графически определяют координаты отдельных точек, т.е. запроектированного сооружения. Разбивочные элементы затем находят аналитически.

Перенесение на местность точек проекта осуществляется:

- 1) способом перпендикуляров;
- 2) полярным способом (или способом полярных координат);
- 3) способом засечек (угловых или линейных).

Для каждого способа необходимо определить соответствующие разбивочные элементы: углы и расстояния.

При разбивке на местности оси АВ (рис. 69) по топографическому плану измерены длины отрезков x , y и x_1 , y_1 . Эти данные дают возможность «разбить» точки А и В способом перпендикуляров от существующих зданий.

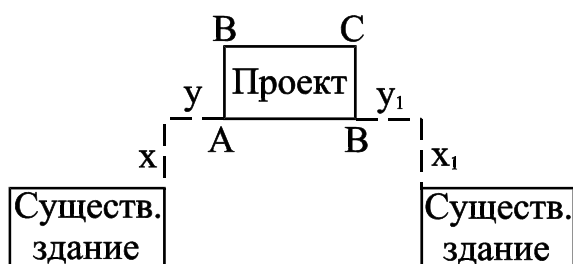


Рис. 69. Графический способ разбивки запроектированного здания

Если точку В намечено разбить полярным способом (рис. 70), необходимо найти горизонтальный угол β между стороной полигонометрического хода пп 6 – пп 7 и направлением пп 7–В, а также расстоянию d от пункта 7 до точки В. При разбивке точек проекта способом угловых засечек, например точки А (см. рис. 70), нужно найти два горизонтальных угла β_1 и β_2 .

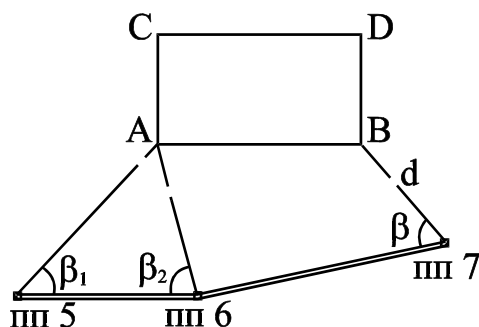


Рис. 70. Разбивка оси АВ полярным способом и способом угловой засечки

По окончании определения разбивочных элементов любым способом составляют разбивочный чертеж, на котором показывают основные оси сооружения, проектные параметры его, пункты геодезического обоснования и разбивочные элементы (рис. 71).

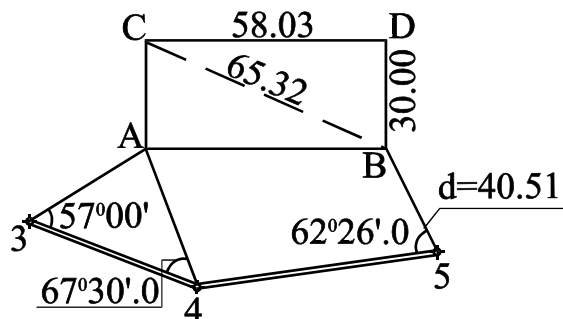


Рис. 71. Разбивочный чертеж

§ 45. Элементы геодезических разбивочных работ

Геодезические разбивочные работы включают следующие элементы:

- 1) построение на местности линии заданной длины;
- 2) построение на местности заданного угла;
- 3) вынесение на местность точки с заданной отметкой;
- 4) построение на местности линии заданного уклона.

1. Построение линии заданной длины на местности: закрепив на местности заданную точку А (рис. 72), по заданному направлению откладывают проектные отрезки AB_1 и D . Затем определяют поправку за наклон линии

$$\Delta = 2D \cdot \sin^2 \frac{\gamma}{2}.$$

Угол наклона γ предварительно измеряют. Данная поправка всегда вводится со знаком плюс. Поправки закомпарирования Δk мерного прибора и температуру Δt получают по результатам мерного прибора. Вычислив общую поправку

$$\Delta l = \Delta + \Delta k + \Delta t,$$

перемещают ранее намеченную точку B_1 на величину поправки Δl в ее проектное положение B , так как отрезку AB соответствует заданное горизонтальное положение.

2. Построение на местности заданного угла: при построение на местности углов β заданных величин необходимо от исходного направления OA на местности в данной точке O найти второе направление OB (рис. 73).

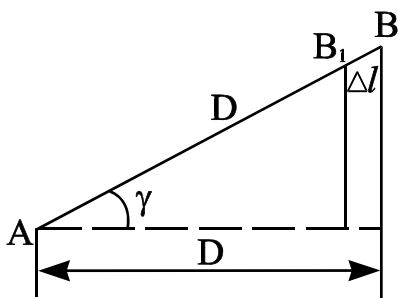


Рис. 72. Построение линии заданной длины

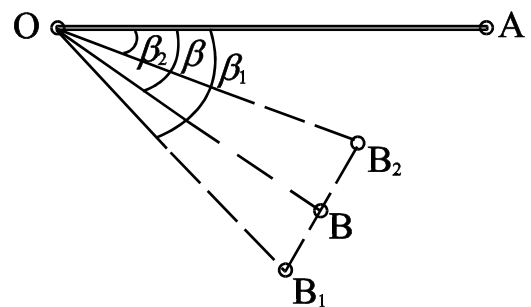


Рис. 73. Построение на местности проектного угла

При этом положение точки B определяется при двух положениях вертикального круга (КЛ, КП). Теодолит устанавливают в точке O . Совместив нулевые штрихи лимба и алидады, вращением лимба наводят зрительную трубу на точку A и закрепляют лимб. Открепив алидаду, откладывают проектный угол β и в этом направлении отмечают точку B_1 . Те же действия повторяют при другом

положении вертикального круга, отмечая вторую точку B_2 . В середине отрезка B_1B_2 отмечают точку B , отвечающую проектному углу β . Для контроля измеряют полным приемом угол AOB .

3. Вынесение на местность точки с заданной отметкой производится способом геометрического нивелирования.

Установив на ближайший репер с отметкой H_{Rp} (рис. 74) рейку, берут по ней отсчет a . Определив горизонт прибора $H_{ГП}$ по формуле

$$H_{ГП} = H_{Rp} + Q,$$

вычисляют отсчет по рейке b , соответствующий проектной отметке $H_{Пр}$,

$$b = H_{ГП} - H_{Пр}.$$

Перемещают рейку вверх-вниз до получения на ней отсчета b , после чего фиксируют положение нулевого штриха рейки на забитом колышке.

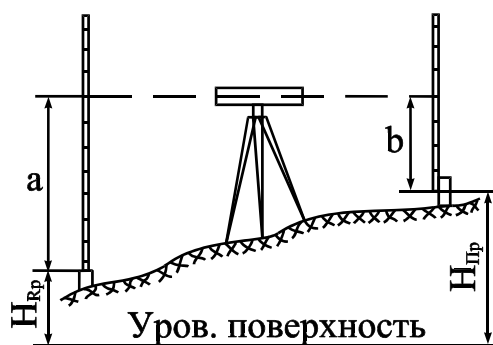


Рис. 74. Вынос в натуру проектной отметки

4. Построение на местности линий заданного уклона – линию заданного уклона разбивают:

- а) при помощи горизонтального луча нивелира;
- б) наклонным лучом нивелира;
- в) наклонным лучом теодолита.

а) Для построения на местности линий заданного уклона нивелир устанавливают посередине линии, заранее разбитой на заданные отрезки d (рис. 75).

Берут отсчет по рейке a на исходной точке A для линий заданного уклона $i_{пр}$. Затем вычисляют проектные отсчеты b_i по рейке для остальных закрепленных точек 1, 2, 3, 4 и B :

$$b_1 = a - d i; \quad b_2 = a - 2d i; \quad b_3 = a - 3d i; \quad b_4 = a - 5d i. \quad (74)$$

В намеченных точках 1, 2, 3, 4 и B перемещением рейки вверх и вниз получают отсчеты по ней b_1, b_2, b_3, b_4 и b , по которым забивают колышки. Верхние срезы

забитых колышков будут находиться на одной прямой, имеющей проектный уклон $i_{пр}$.

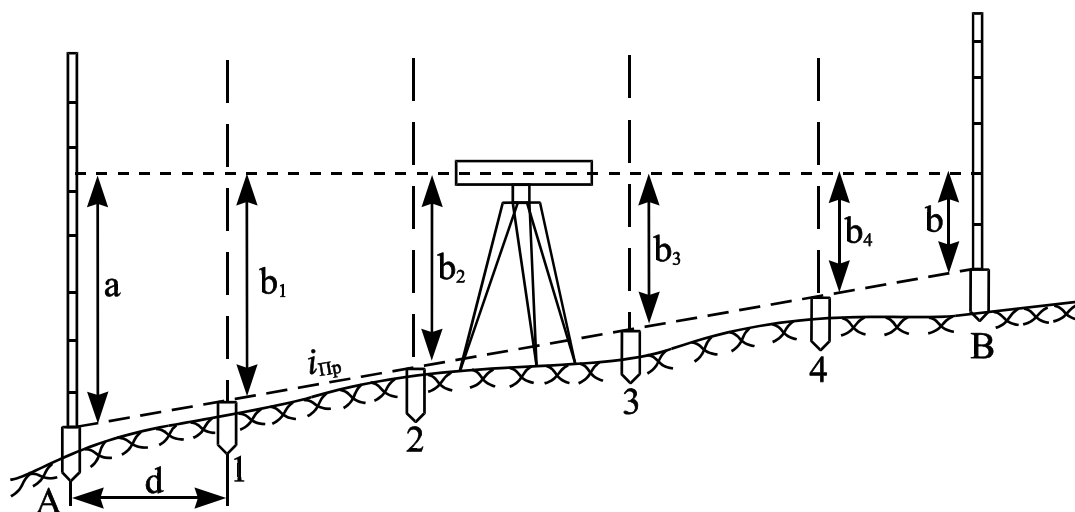


Рис. 75. Построение линии заданного уклона горизонтальным лучом

б) Построение линии на местности заданного уклона при помощи наклонного луча (рис. 76) заключается в том, что нивелир устанавливают между точками А и В так, чтобы два его подъемных винта были параллельны заданной линии. От ближайшего репера выносят в натуру отметку H_A , а отметку H_B , вычисляют по формуле

$$H_B = H_A + iL,$$

где L – длина линии АВ.

Действуя подъемными винтами, наклоняют зрительную трубу нивелира до тех пор, пока отсчеты по рейкам в точках А и В не будут одинаковыми (а). В результате линия визирования будет параллельна линии заданного уклона i . Промежуточные точки линии определяют установкой рейки в точках С и D и получением на них того же отсчета а.

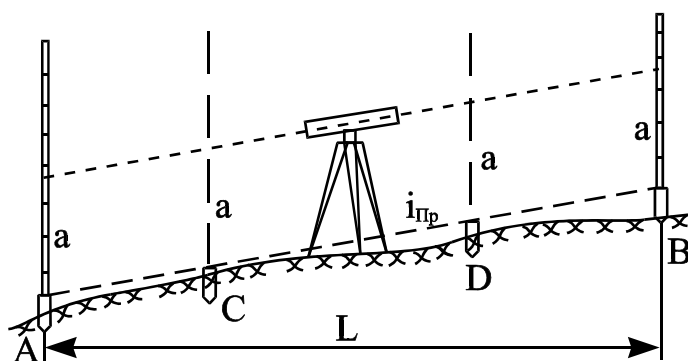


Рис. 76. Построение линии заданного уклона наклонным лучом нивелира

в) При построение на местности линий заданного уклона при помощи теодолита прибор устанавливают над точкой А с вынесенной в натуру проектной отметкой H_A и измеряют его высоту i_A (рис. 77).

Вычисляя величину угла наклона

$$\Gamma = c'' \cdot i_{\text{пр}},$$

так как при малых углах

$$\text{tgr} = \frac{\Gamma''}{c''},$$

где $c = 206\,264''$, устанавливают его на вертикальном круге с учетом места нуля. На рейке отмечают отсчет n , соответствующий высоте прибора i_A . Переставляя рейку по заданной линии через равные отрезки в точках 1, 2, 3, забивают колышки в этих точках [9].

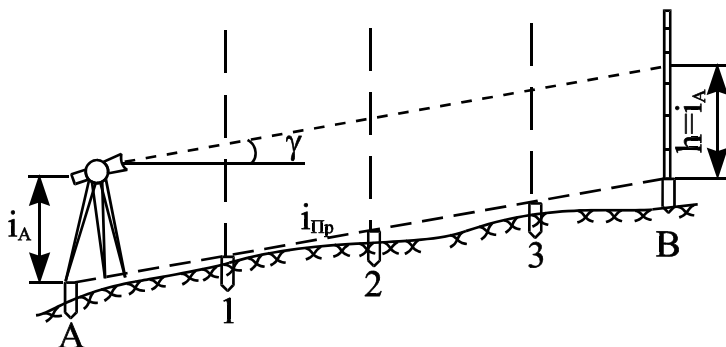


Рис. 77. Построение линии заданного уклона при помощи теодолита

Глава 12. ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАЗБИВКИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ РАБОТ НУЛЕВОГО ЦИКЛА

§ 46. Геодезические работы при сооружении котлованов

На нулевом цикле строительных работ геодезические работы начинают с разбивки и подготовки котлованов под фундаменты зданий и оборудования, траншей для подземных коммуникаций. На этом этапе строительства задачей является разбивка основных осей контура котлована в соответствии с данными разбивочного чертежа, определяющими форму и размеры котлована (рис. 78).

Для этого по вынесенным на обноску рискам основных осей натягивают монтажные проволоки (рис. 79), в точках пересечения проволоки опускают отвесы и их проекции закрепляют кольями. До начала выемки грунта площадь котлована нивелируют в точках пересечения продольных и поперечных осей (в точках 2-А, 2-Б и т.д.) (см. рис. 78). По данным нивелирования подсчитывают объемы земляных работ. Если глубина котлована не превышает 2 м, нивелирование производят с бровок котлована. При большей глубине котлована на его дне закрепляют точку и передают на неё отметку от нивелирной сети стройплощадки.

Передача отметки на дно котлована выполняется одним или двумя нивелирами (рис. 80).

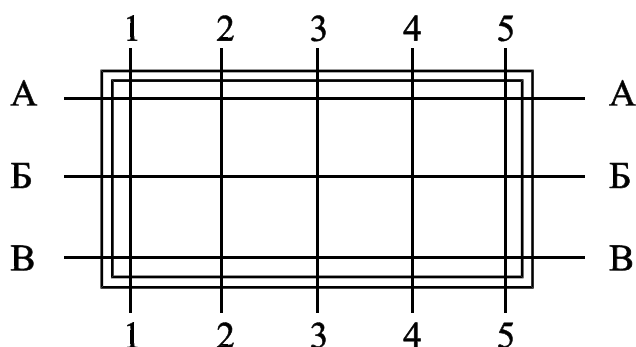


Рис. 78. Разбивочный чертеж котлована

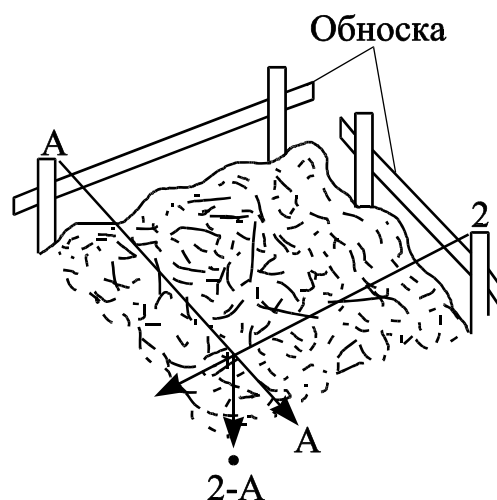


Рис. 79. Разбивка контура котлована

Для этого к установленному на бровке кронштейну прикрепляют стальную рулетку. К нулевому концу рулетки прикрепляют груз 10 кг и погружают его в емкость с техническим маслом для погашения колебаний рулетки.

Нивелир сначала устанавливают между репером и рулеткой (ст. 1), а затем переносят в котлован (ст. 2) между рулеткой и точкой, на которую передается отметка. При этом берут отсчеты по рейке и рулетке. Отметку точки N на дне котлована вычисляют по формуле

$$H_N = H_{Rp2} + a - (b_2 - b_1) - c. \quad (74)$$

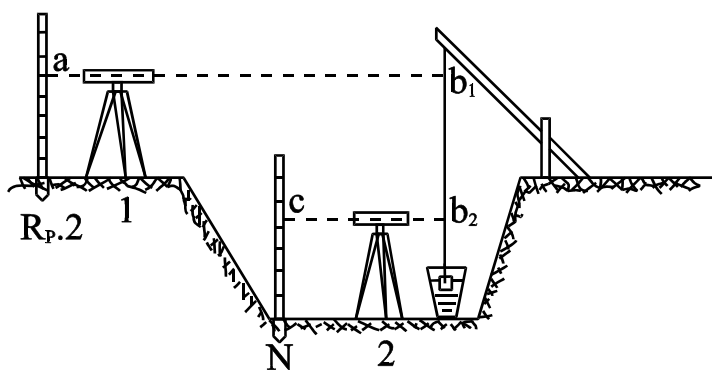


Рис. 80. Передача отметки на дно котлована

Для выравнивания дна котлована строится сетка квадратов со стороной 5–8 м. На вершины квадратов этой сетки, закрепленных кольями, передаются отметки от исходной точки N и вычисляются рабочие отметки как разность отметок верха колышка и проектной. Дно котлована выравнивают до проектной отметки по вычисленным рабочим отметкам. По окончании выемки грунта до проектной отметки на дне котлована вторично разбивают контур основания фундамента.

Исполнительную съемку котлована в плане по высоте выполняют промерами рулеткой от разбивочных осей до бровок котлована и нивелированием его дна. По результатам съемок составляется исполнительная схема котлована.

§ 47. Геодезические работы при возведении фундаментов

По конструкции различают фундаменты сплошные, ленточные и отдельно стоящие. Если вес сооружения будет велик, то под всем сооружением делают сплошную фундаментальную плиту. Такие фундаменты строят из железобетона и называют сплошными.

В малоэтажном строительстве целесообразнее и экономичнее применять ленточные фундаменты, закладываемые по периметру здания котлована траншейного типа.

Для установки колон закладывают отдельно стоящие фундаменты. Плановая и высотная разбивка фундаментов является основным этапом обслуживания нулевого цикла строительства. От правильной установки фундаментов и их закладных частей в проектное положение зависит точность возведения всего каркаса здания и его устойчивость. Оси фундаментов передаются в котлован или при помощи отвесов, передвигающихся по проволокам (см. рис. 79), аналогично разбивкам при подготовке котлованов, или при помощи двух теодолитов со створных знаков (рис. 81).

Теодолиты центрируют над створными знаками оси А–А и поперечной I–I оси. Зрительную трубу теодолитов ориентируют соответственно на створные знаки. Затем трубы опускают вниз и в пересечении их колямиционных плоскостей находят точку A_0 . Для определения остальных точек осей теодолиты переставляют на соответствующие створные знаки. От вынесенных осей по обе стороны откладывают равные расстояния, соответствующие ширине опалубки для данного фундамента.

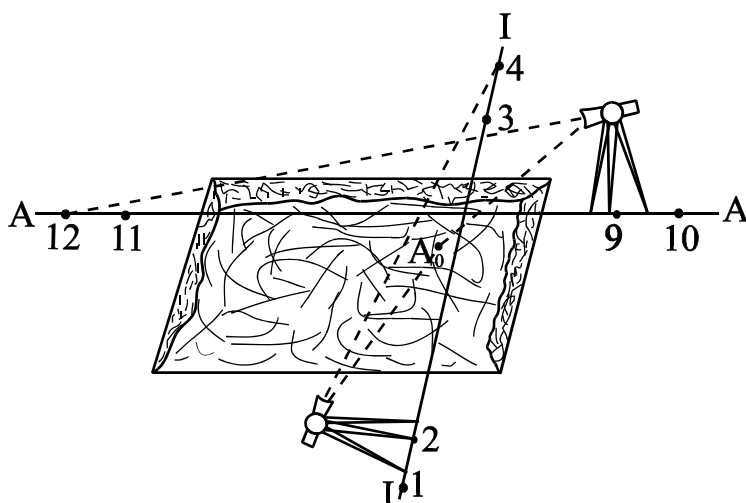


Рис. 81. Перенос осей фундаментов в котлован

Опалубку устанавливают после зачистки дна котлована до проектных отметок. Построенную опалубку проводят промерами и по контуру, после чего переходят на ее внутренние грани проектной отметки верха бетона.

Для ленточных фундаментов блоки укладывают без опалубки в траншеи в соответствии с осями фундамента. Монтаж ленточных фундаментов начинают с укладки блоков в траншею по углам здания, а затем промежуточных блоков через каждые 15–20 м и в местах пересечения стен. Эти блоки являются маяками для других блоков.

Для укладки блоков вдоль продольной оси между метками ее на обноски натягивают стальные струны 1 (рис. 82) и прикрепляют к ним отвесы 2, перемещая по дну котлована угловые 6 и маячные 3 блоки, добиваются совпадения отвесов с рисками 7 осей и блоков. Натянув затем по граням уложенных блоков струну 4, укладывают по ней промежуточные блоки 5. Монтаж блоков по высоте контролируют геометрическим нивелированием. Далее натягивают струны по поперечным направлениям.

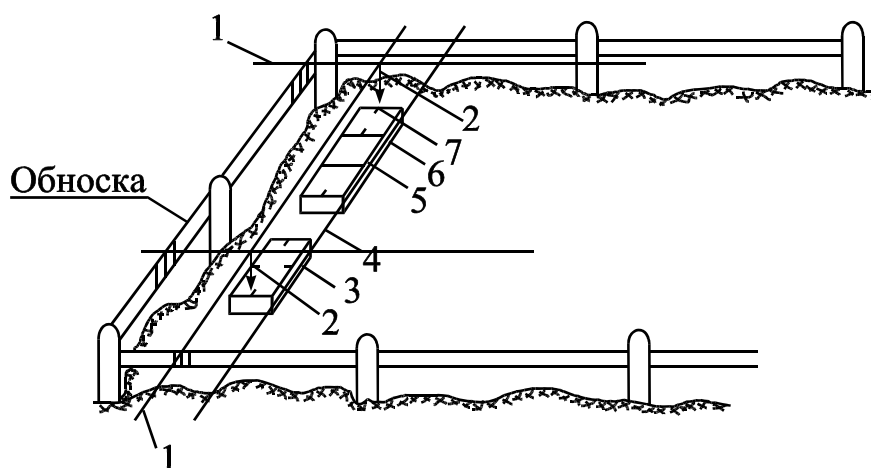


Рис. 82 Геодезический контроль монтажно-фундаментных блоков

По окончании монтажа фундаментных блоков выполняют выверку их положения такими же способами, какими производилась их разбивка. На исполнительной схеме фундамента указывают смещение блоков от осей, их отклонения (фактических отметок блоков от проектных).

Наибольший объем разбивочных работ при монтаже отдельно стоящих фундаментов для установки на них металлических и железобетонных колонн. Фундаменты бетонируют на месте установки колонн, для чего устраивают деревянные опалубки, на которые наносят осевые риски. Опалубку устанавливают точно по осям здания, монтируют арматуру, анкерные болты и заливают бетоном. По окончании бетонирования на фундаменты наносят продольные и поперечные оси колонн.

Завершается нулевой цикл вынесением на наружную и внутреннюю грани стен здания по всему периметру разбивочных осей и нулевой отметки (отметки чистого пола 1-го этажа). Вынесенные на наружную грань стен оси называют *базовыми*, закрепляют оси здания рисками и открасками.

Нулевые горизонты выносят геометрическим нивелированием.

Глава 13. ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ПРИ ВОЗВЕДЕНИИ НАДЗЕМНОЙ ЧАСТИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

§ 48. Общие положения

Перед началом монтажа надземной части здания необходимо:

1) произвести геодезическую проверку осей наружных и внутренних стен и нулевых горизонтов, вынесенных на цоколь здания при строительстве нулевого цикла;

2) осмотреть сохранность геодезических пунктов, закрепляющих на местности основные оси здания и реперов основной нивелирной сети;

3) проверить горизонтальность поверхности перекрытия над подвалом, а также соответствие этой поверхности проектному горизонту.

Результаты проверки указанных геодезических работ, завершающих нулевой цикл строительства, оформляют актом с приложением исполнительных схем.

§ 49. Передача отметок на вышележащие монтажные горизонты

Самый простой случай передачи отметки вверх на монтажные горизонты состоит в промере рулеткой по стене возводимого здания или через специально сделанные в перекрытиях проемы от риски нулевого горизонта. Бывают случаи, когда из-за препятствий (здания с уступами, строительные леса, карнизы и т.п.) промер рулеткой исключен.

При наличии таких препятствий передачу отметок от репера или нулевого горизонта производят с помощью одного или двух нивелиров и подвешенной рулетки по аналогии передачи отметок на дно глубинного котлована (рис. 83).

Отметка определяемой точки N монтажного горизонта находится по формуле

$$H_N = H_{Rp2} + a + (b_2 - b_1) - c, \quad (7.5)$$

где H_{Rp2} – отметка исходного репера.

a и c – отсчеты по рейкам, установленным на репере и определяемой точке;

b_1 и b_2 – отсчеты по рулетке;

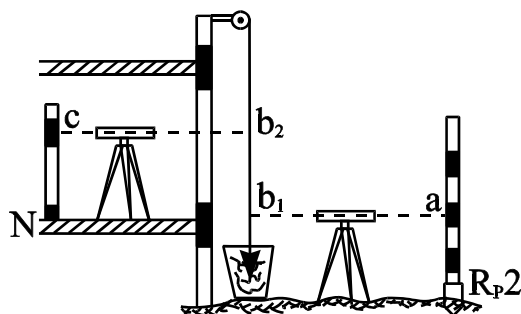


Рис. 83. Передача отметки на монтажный горизонт

§ 50. Передача осей на монтажные горизонты

На каждом монтажном горизонте разбивка стен, оконных и дверных проемов, внутренних перегородок и т.д. производится от осей здания. В практике современного строительства получили два способа передачи осей по вертикали: способ наклонного проецирования с использованием теодолита и способ вертикального зенит-прибора. В первом случае теодолит устанавливают и центрируют на одной из створных точек А, закрепляющих основную ось здания (рис. 84) и наводят вертикальную нить сетки зрительной трубы на осевую риску на цоколе здания. Затем трубу поднимают до уровня монтажного горизонта и вводят в створ ее визирной оси острие карандаша, прочерчивают на перекрытии штрих a_1 . Повторив эту операцию при другом положении вертикального круга, отмечают второй штрих a_2 . Посередине между этими штрихами прочерчивают штрих a_0 , который определяет положение одного конца разбивочной оси на монтажном горизонте [9].

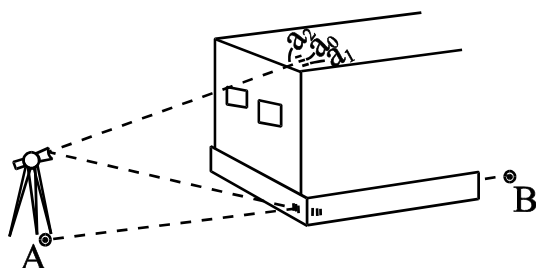


Рис. 84. Способ наклонного проецирования

Способ наклонного проецирования применяется для передачи осей на высоту до 12 этажей.

Второй способ передачи осей по вертикали заключается в том, что зенит-прибор устанавливается внизу над точкой пересечения смещенных продольной и поперечной осей здания. В перекрытии каждого этажа сделано отверстие, куда устанавливается визирная марка. С помощью сетки нитей прибора на визирной марке фиксируют положение проецируемой точки.

§ 51. Установка колонн

Перед установкой колонны на фундамент на гранях колонны в верхнем и нижних сечениях наносятся осевые риски. Затем колонна устанавливается на фундамент так, чтобы осевые риски колонны и фундамента совместились, а риска нулевой отметки находилась бы на проектной отметке.

Вертикальность колонн до 5 м проверяют с помощью отвеса. При монтаже колонн высотой более 5 м вертикальность их проверяют с помощью 2 теодолитов, устанавливаемых в плоскостях продольной и поперечной осей здания (рис. 85).

Совместив вертикальную нить сетки с нижней осевой риской, наводят зрительную трубу наверх колонны. Перемещая колонну, добиваются совпадения

рисок 2 и 3 вертикальной нитью сетки. Аналогичную выверку выполняют вторым теодолитом.

Контроль монтажа колонн по рядам выполняют боковым нивелированием. Для этого разбивают линию AA_1 , параллельную оси колонн (рис. 86), отклонив от осевых рисок крайних колонн отрезки a , равные $0,5 \dots 0,8$ м.

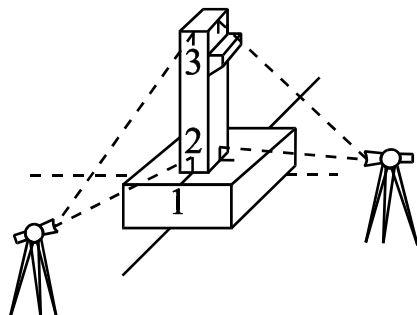


Рис. 85. Установка колонн

Над точкой A устанавливают теодолит и визируют зрительную трубу по линии AA_1 . Затем к верхним осевым рискам колонн поперечно прикладывают основание рейки и берут отсчеты по ней при двух положениях круга. Разности между средними отсчетами по рейке и расстоянием a дают отклонения колонн от вертикали в плоскостях, перпендикулярных AA_1 .

Вертикальность колонн в поперечной оси здания выверяют подобным образом [9].

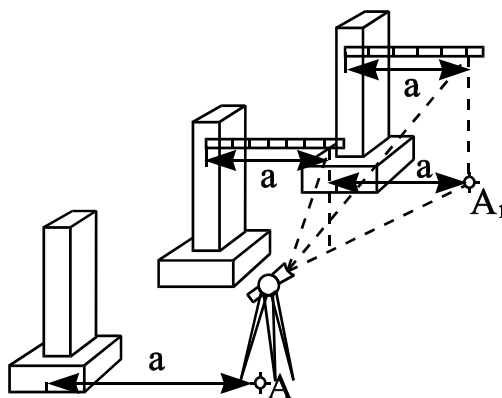


Рис. 86. Выверка ряда колонн боковыми нивелирами

Глава 14. ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ДЕФОРМАЦИЯМИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

§ 52. Виды деформаций зданий и сооружений

Основания деформируются в результате увеличения давления воздвигаемого сооружения, а также действия других внешних и внутренних факторов: колебания уровня грунтовых вод, напора ветра, термических сезонных явлений и т.п. Деформация основания вызывает осадку и искривление всего сооружения в целом

или отдельных его частей. Она происходит в результате взаимного перемещения частиц грунта и их сжимаемости. При этом основным фактором, влияющим на сжимаемость грунтов, является пористость.

Перемещение фундаментов и всего сооружения вниз называется *осадкой*, перемещение фундаментов вверх – *подъемом* или *выпучиванием*, а перемещение в сторону – *горизонтальным смещением*, или *сдвигом* сооружения.

Неравномерные осадки наиболее опасны для сооружений. Происходят они в результате неодинаковой сжимаемости грунтов под фундаментом, вызывая различные перемещения и деформации: крены, прогибы, перекосы, трещины.

Основные причины осадок и деформаций можно разделить на общие и частные.

Общие причины обусловлены особенностями инженерно- и гидрогеологическими условий, а также физико-механическими свойствами грунтов, а именно:

- 1) свойствами грунтов подвергаться упругим и пластическим деформациям под влиянием нагрузок, просадкам, оползням, карстовым явлениям и т.п.;
- 2) выпучиванием на морозе водонасыщенных и оттаиванием мерзлых грунтов;
- 3) неоднородностью геологического строения основания на устойчивых и неустойчивых грунтах, подвергающихся неравномерному сжатию и перемещению под воздействием веса сооружения;
- 4) изменением гидротермических условий;
- 5) неравномерной планировкой участка, плохим дренажем атмосферных и паводковых вод и др.

При проектировании сооружений прогнозируются возможные осадки и деформации сооружений. Вследствие сложности учета действия различных сил на сооружение эти прогнозы требуют подтверждения. Для этого ведутся систематические наблюдения за состоянием сооружения.

§ 53. Наблюдение за осадками зданий и сооружений

Начальный цикл наблюдения проводят с целью получения исходных отметок опорных реперов и марок. Он выполняется исключительно тщательно. Нивелирование проводят не ранее чем через 10 дней после установки реперов.

Второй цикл наблюдений осуществляют после воздействия фундамента, а последующие проводят периодически через 10–30 дней до получения полной нагрузки на основания.

В дальнейшем наблюдения проводят в три, четыре, затем два раза в год и, наконец, один раз в год. По окончании строительства измерение осадок фундамента следует продолжать в течение примерно пяти лет при глинистых грунтах основания и в течение двух лет – при песчаных.

Определение вертикальных смещений сооружений выполняют относительно знаков, установленных на некотором расстоянии от сооружения и принимаемых

за неподвижные. В качестве таких исходных знаков используют глубинных реперов.

Контрольные нивелирные марки закладывают в сооружении так, чтобы по результатам наблюдений можно было судить о величине общих деформаций сооружения (осадках, крене, перекосах) и его основания. Осадочные контрольные марки обычно размещают по контуру здания через 10–12 м в местах наиболее эффективного проявления ожидаемых деформаций сооружения. Их размещают на участках фундамента с резкими переходом нагрузки на основание, на опорах, каркасах, на углах зданий, в местах примыкания продольных и поперечных стен и т.п. (рис. 87).

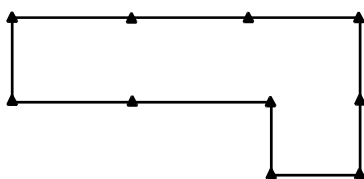


Рис. 87. Размещение марок

Для измерения осадок зданий и сооружений существует несколько геодезических методов:

- 1) геометрическое нивелирование;
- 2) гидростатическое нивелирование;
- 3) фотограмметрический.

§ 54. Измерение осадок сооружения методом геометрического нивелирования

Нивелирование осадок сооружения будет условным, если при организации работ будут соблюдены следующие требования:

- 1) высотная основа для измерений осадок сооружений должна быть практически неподвижной;
- 2) размещение осадочных марок и их количество должно быть таким, чтобы в результате измерения их вертикальных смещений можно было правильно охарактеризовать величины осадок и деформаций всех частей сооружения;
- 3) нивелирование марок должно выполняться замкнутыми ходами;
- 4) после каждого нивелирования фундаменты и стены здания осматриваются с целью выявления трещин.

Нивелирование выполняется при помощи нивелиров N_2 , $НА-1$, N_3 прокладкой замкнутого хода высокой точности I, II и III кл. от исходного репера по всем маркам (рис. 88). [4]

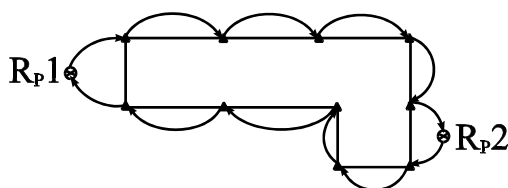


Рис. 88. Схема нивелирования осадочных

Расстояние от нивелира до рек должно быть в пределах 3–25 м. Неравенство плеч, т.е. разность этих расстояний не должно превышать 10–25 см.

Предельно допустимая невязка связи допускается по формулам:

для I кл. $f_h = \pm 0,3\sqrt{n}$ мм;

для II кл. $f_h = \pm 1\sqrt{n}$ мм;

для III кл. $f_h = \pm 2\sqrt{n}$ мм. (76)

где n – число станций.

После окончательной камеральной обработки заполняют ведомость отметок и осадок и осадок марок.

§ 55. Наблюдение за сдвигами и кренами сооружений

Односторонняя горизонтальная нагрузка на инженерные сооружения (гидротехнические, опоры мостов, подпорные стены, промышленные и гражданские здания) обуславливает пространственное горизонтальное перемещение сооружения. Для определения таких перемещений применяют створный метод, метод триангуляции, полигонометрии и др. Выбор метода зависит от условий местности и типа сооружения.

При *створном* методе (рис. 89) определения горизонтальных сдвигов устанавливают вдоль сооружения контрольные марки 1–7. Створ метода закрепляется неподвижными знаками I–IV за пределами сооружения.

На одном конце створа устанавливают теодолиты, зрительную трубу ориентируют на другие неподвижные знаки и на контрольных марках определяют горизонтальный сдвиг точек 1–1', 2–2', 3–3' и т.д. Необходимым условием применения метода створов является наличие взаимной видимости и двух твердых точек.

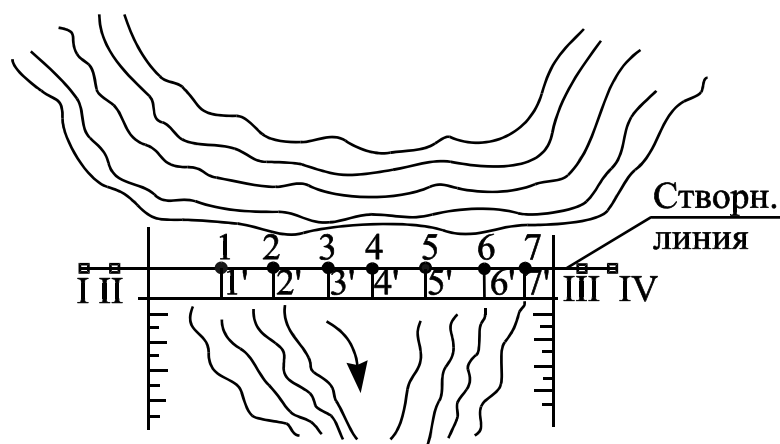


Рис. 89. Определение горизонтальных сдвигов гребня плотины створным методом

Метод триангуляции применяется тогда, когда створ создать не представляется возможным (при наблюдении сдвигов арочных плотин) или при неблагоприятных условиях закрепления концевых точек, определяющих направление створа.

Величину сдвигов контрольных знаков 1, 2, 3 (рис. 90) находят путем сравнения их координат, определяемых периодически с неподвижных опорных пунктов I, II, III. Неподвижность опорных пунктов контролируют с пунктов А и В.

Сущность метода *полигонометрии* состоит в том, что по исследуемому сооружению прокладывают ходы высокоточной полигонометрии. Периодическим повторением определяют изменение координат контролируемых точек сооружения.



Рис. 90. Способ триангуляции в определении сдвигов арочной плотины

Наблюдение за экраном сооружения ведут несколькими способами. Наиболее распространенный способ является метод проецирования.

Из-за неравномерной осадки сооружение может получить крен (отклонение от вертикальности). Различают линейную и угловую величины крена (рис. 91).

Линейной величиной крена считается горизонтальное расстояние l между точками N и N_0 . Угловая величина крена характеризуется углом φ между вертикальным направлением NN_1 оси сооружения и ее фактическим направлением NN_2 .

Линейную величину крена определяют путем проецирования верхней точки N_2 на основание (точка N_0), а затем вычисляют величину крена φ из выражения

$$\sin \varphi = \frac{l}{H},$$

где H – высота сооружения NN_2 .

Периодические определения крена позволяют получать величину и направление крена во времени.

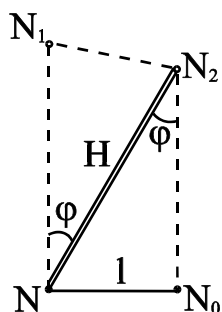


Рис. 91. Линейная и угловая величины крена

Глава 15. ОСНОВНЫЕ ВИДЫ СПЕЦИАЛЬНЫХ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ РАБОТ

§ 56. Определение недоступных расстояний

В практике часто встречается необходимость длины определения длины X отрезка AB , величину которого непосредственно измерить нельзя. При этом могут встретиться довольно разнообразные условия, допускающие различные решения, которые в зависимости от теоретического обоснования и практических приемов выполнения можно разделить на способы и их варианты.

Способ 1. Определение расстояния AB построением треугольника

Вариант 1. При доступной точке A строится перпендикуляр AC' к направлению AB (рис. 92, а). На полученном направлении AC' отыскивается такая точка C из которой будет видна точка B . При точке C угол $ACB = \beta_1$ измерен и измерена длина отрезка $AC = b$. Длину линии AB определяют по формуле

$$AB = b \cdot \operatorname{tg} \beta_1. \quad (77)$$

Вариант 2. Выбирают точку C таким образом, чтобы из нее была видна точка B и отрезок $AC = b$ был удобен для измерения (рис. 92, б). В точках A и C измеряют горизонтальные углы β_1 и β_2 , после чего искомое расстояние $x = AB$ определяют по формуле

$$x = \frac{b \cdot \sin \beta_2}{\sin(\beta_1 + \beta_2)}. \quad (78)$$

Для контроля измеряют угол β_3 , в треугольнике должно соблюдаться условие $\beta_1 + \beta_2 + \beta_3 = 180^\circ$.

Вариант 3. Если по линии AB нет видимости и невозможно измерить углы в точках A и B (рис. 92, в), то измеряют длины сторон a и b , а также угол β . Длину недоступной линии вычисляют по формуле косинуса:

$$AB = \sqrt{a^2 + b^2 - 2ab \cdot \cos \beta}. \quad (79)$$

Способ 2. Определение недоступного расстояния AB построением четырехугольника

Вариант 1. При точке A к направлению AB строят перпендикуляр AC' , на котором выбирают точку C . Она должна удовлетворять тому, чтобы по перпендикулярному к AC' направлению CD' было удобно производить линейные измерения. На этой линии находят точку D , являющуюся основанием перпендикуляра, опущенного из точки B на линию CD' . Измеренное расстояние CD по построению равно искомому AB (рис. 93,а).

Вариант 2. Рассматриваемое построение отличается от предыдущего только тем, что в A , C и D (рис. 93,б) строят не прямые углы, а углы, равные некоторой произвольной величине β .

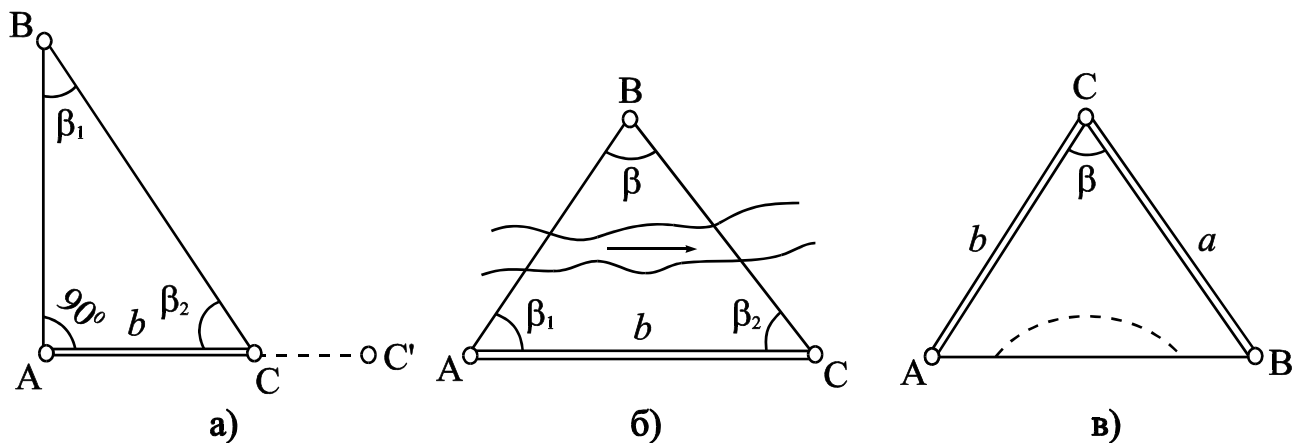


Рис. 92

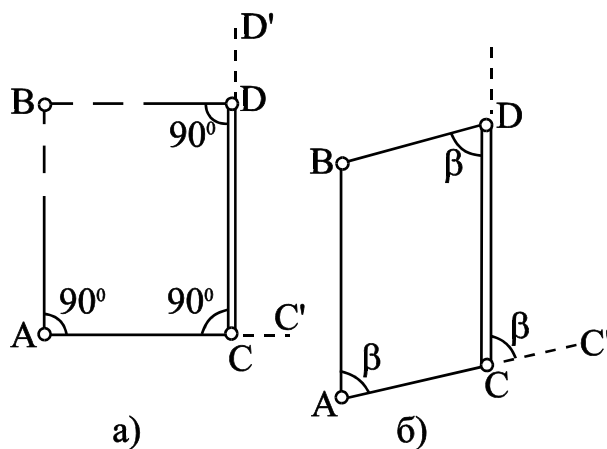


Рис. 93. Определение недоступного расстояния: а – построением прямоугольника; б – построением параллелограмма

§ 57. Определение высоты и отметок зданий и сооружений

В процессе выполнения исполнительных съемок производится определение высоты подвески проводов воздушных линий связи и электроснабжения, высоты различных сооружений, отметок отдельных точек сооружений. Высоту, отметку определяют косвенным путем, без непосредственного измерения их.

Если можно измерить расстояние от теодолита до сооружения, то определение высоты сооружения выполняют следующим образом (рис. 94).

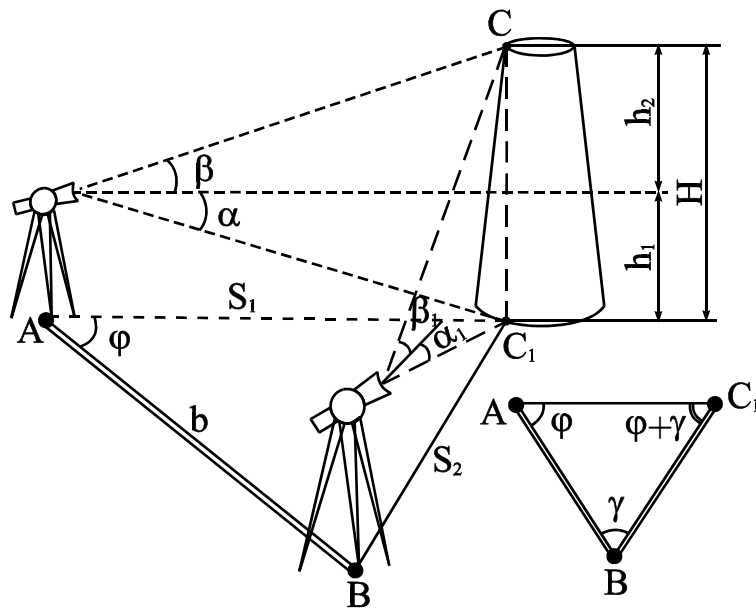


Рис. 94

Теодолит устанавливают в стороне от сооружения, на расстоянии, равном примерно высоте сооружения. С помощью рулетки измеряют расстояние AC_1 . Наводят зрительную трубу теодолита на низ и верх сооружения, берут отсчеты по вертикальному кругу теодолита дважды (при КЛ и КП) и вычисляют углы наклона α и β , а затем h_1 и h_2 :

$$h_1 = S_1 \cdot \operatorname{tg} \alpha$$

$$h_2 = S_2 \cdot \operatorname{tg} \beta$$

Высоту сооружения вычисляют по формуле

$$H = h_1 \cdot \operatorname{tg} \beta + h_2 \cdot \operatorname{tg} \alpha = S_1 (\operatorname{tg} \alpha + \operatorname{tg} \beta). \quad (79)$$

В тех случаях, когда расстояние от инструмента до сооружения непосредственно измерить нельзя, определение высоты сооружения выполняют с двух концов базиса. Длину базиса дважды измеряют рулеткой. Устанавливая поочередно теодолит в точках А и В, измеряют горизонтальные углы (γ и φ). По теореме синусов находим расстояние S_1 и S_2 :

$$\frac{S_1}{\sin \gamma} = \frac{b}{\sin(\varphi + \gamma)}, \quad S_1 = \frac{b \cdot \sin \gamma}{\sin(\varphi + \gamma)}; \text{??????}$$

$$\frac{S_2}{\sin \varphi} = \frac{b}{\sin(\varphi + \gamma)}, \quad S_2 = \frac{b \cdot \sin \varphi}{\sin(\varphi + \gamma)}. \quad (80)$$

По приведенным выше формулам вычисляют:

$$H_1 = S_1 (\operatorname{tg} \beta + \operatorname{tg} \gamma); \quad H_2 = S_2 (\operatorname{tg} \beta_1 + \operatorname{tg} \gamma_1); \quad (81)$$

$$H_{\text{ср}} = \frac{H_1 + H_2}{2}$$

Определение абсолютной отметки какой-либо точки сооружения выполняют с помощью теодолита.

Вариант 1. Теодолит устанавливают над точкой с известной отметкой (рис. 95). Измеряют высоту инструмента i , наводят зрительную трубу теодолита на определяемую точку сооружения C и измеряют вертикальный угол ν дважды (при кл и кп), измеряют расстояние S от теодолита до сооружения и вычисляют отметку точки C :

$$H_C = H_A + i + h; \quad h = S \cdot \operatorname{tg} \nu;$$

$$H_C = H_A + i + S \cdot \operatorname{tg} \nu. \quad (82)$$

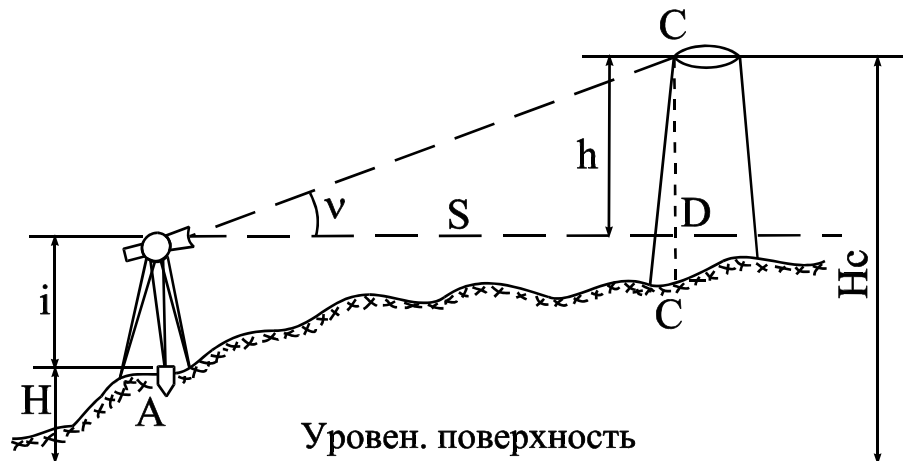


Рис. 95. Определение отметки точки сооружения

Вариант 2. Пусть требуется определить высоту сооружения CD , расстояние до которого невозможно определить (рис. 96). Выбрав точки A и B , лежащие в одном створе с точкой D , измеряют расстояние S между ними. Далее на этих точках

измеряют по два вертикальных угла: α – на основание сооружения и β – на его верхнюю точку С. Искомую высоту сооружения определяют по формуле

$$H = \frac{(\operatorname{tg}\beta_1 - \operatorname{tg}\beta_1)(\operatorname{tg}\beta_2 - \operatorname{tg}\beta_3)}{(\operatorname{tg}\beta_1 - \operatorname{tg}\beta_1) - (\operatorname{tg}\beta_2 - \operatorname{tg}\beta_2)} \cdot S. \quad (83)$$

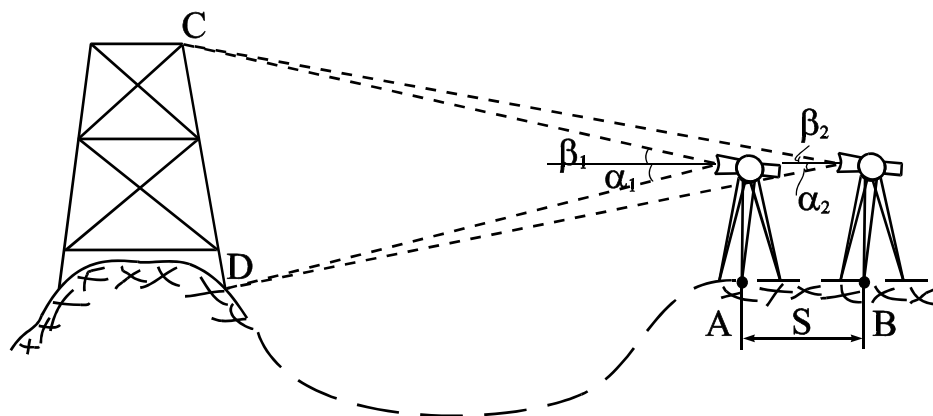


Рис. 96. Определение отметки точек сооружения

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Куштин И.Ф., Куштин В.И. Инженерная геодезия. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2002.
2. Федотов Г.А. Инженерная геодезия – Высшая школа, М.: 2004.
3. Фельдман В.Д., Михелев Д.Ш. Основы инженерной геодезии. М., 1988.
4. Михелев Д.Ш. Инженерная геодезия – М.: Академия, 2004.
5. Субботин И.Е., Мазницкий А.С. Справочник строителя по инженерной геодезии. Киев: Будивильник, 1972.
6. Большаков В.Д. Теория ошибок и наблюдений с основами теории вероятностей. – М.: Недра, 1965.
7. Лютц А.Ф. Разбивка крупных сооружений. М.: Недра, 1969.
8. Видуев Н.Г. Осевая система геодезической основы разбивочных работ. – Киев, Будивильник, 1970.
9. Инженерная геодезия: Учебник для вузов/ Г.В. Багратуни, В.Н.Геньшин, В.В. Данияевич и др. – М.: Недра, 1976.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	3
Раздел первый. Предмет геодезии.	
Глава 1. Земная поверхность и способы ее изображения	
§ 1. Предмет геодезии.....	4
§ 2. Форма и размер Земли.....	5
§ 3. Изображение земной поверхности на плоскости (план, карта, профиль).....	6
Глава 2. Ориентирование на местности	
§ 4. Углы ориентирования.....	13
§ 5. Решение задач на топографических планах и картах.....	15
Глава 3. Системы координат применяемые в геодезии	21
§ 6. Географическая система координат.....	21
§ 7. Система плоских прямоугольных координат.....	22
§ 8. Система отсчета высот в РФ.....	22
§ 9. Система плоских прямоугольных координат Гаусса – Крюгера...	23
Глава 4. Угловые измерения	
§ 10. Принцип измерения углов на местности и устройство теодолита.....	25
§ 11. Зрительная труба.....	26
§ 12. Уровни.....	28
§ 13. Отсчетные приспособления.....	29
§ 14. Типы теодолитов.....	30
§ 15. Поверки и юстировки теодолитов.....	31
§ 16. Измерение горизонтальных углов.....	33
§ 17. Измерение вертикальных углов.....	34
Глава 5. Линейные измерения	
§ 18. Общие сведения о линейных уравнениях.....	36
§ 19. Мерные ленты и рулетки.....	37
§ 20. Измерение линий лентами и стальными рулетками.....	39
§ 21. Общие сведения об оптически дальномерах.....	40
§ 22. Нитяной дальномер.....	41
Глава 6. Нивелирование	
§ 23. Задачи и виды нивелирования.....	43
§ 24. Нивелирные знаки.....	44
§ 25. Классификация нивелиров.....	45
§ 26. Поверки и юстировки уровенных нивелиров.....	46
§ 27. Тригонометрическое нивелирование.....	47
Глава 7. Государственные геодезические сети и сети сгущения	
§ 28. Плановые сети.....	48
§ 29. Высотные сети.....	51
Глава 8. Топографические съемки	
§ 30. Теодолитная съемка.....	52
§ 31. Тахеометрическая съемка.....	53

§ 32. Мензульная съемка.....	55
Глава 9. Основы математической обработки результатов измерений	
§ 33. Измерения. Погрешности измерений.....	55
§ 34. Средняя квадратическая, предельная относительная погрешности.....	57
§ 35. Вычислительная обработка теодолитных ходов.....	59
II. Раздел второй. Основные виды геодезических работ при проектировании строительстве	
Глава 10. Инженерные изыскания	
§ 36. Общие сведения, виды и задачи инженерно-геодезических изысканий.....	64
§ 37. Изыскания площадочных сооружений.....	66
§ 38. Изыскания для линейных сооружений.....	67
Глава 11. Элементы инженерно-геодезических проектирования	
§ 39. Проектирование продольного и поперечного профилей продольной дороги.....	71
§ 40. Вертикальная планировка рельефа.....	72
Глава 11. Геодезические работы в подготовительный период строительства	
§ 41. Этапы строительных работ.....	78
§ 42. Понятия об осях зданий и высотных горизонтах.....	79
§ 43. Сущность геодезических работ.....	79
§ 44. Способы геодезической подготовки для разбивки сооружений.....	80
§ 45. Элементы геодезических разбивочных работ.....	81
Глава 12. Геодезические разбивки при производстве строительных работ нулевого цикла	
§ 46. Геодезические работы при сооружении котлованов.....	85
§ 47. Геодезические работы при возведении фундаментов.....	86
Глава 13. Геодезические работы при возведении надземной части и сооружений	
§ 48. Общие положения.....	88
§ 49. Передача отметок на вышележащие монтажные горизонты.....	88
§ 50. Передача осей на монтажные горизонты.....	89
§ 51. Установки колонн.....	90
Глава 14. Геодезические наблюдения за деформациями зданий и сооружений	
§ 52. Виды деформаций зданий и сооружений.....	91
§ 53. Наблюдение за осадками зданий и сооружений.....	91
§ 54. Измерение осадок сооружения методом геометрического нивелирования.....	92
§ 55. Наблюдения за сдвигами и кренами сооружений.....	93
Глава 15. Основные виды специальных геодезических работ	
§ 56. Определение недоступных расстояний.....	95

§ 57. Определение высоты и отметок зданий и сооружений.....	96
Библиографический список.....	99