

Высшее профессиональное образование

# ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОДЕЗИЯ

10-е издание

Учебник



Геодезия



*ВЫСШЕЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ*

---

# ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОДЕЗИЯ

Под редакцией проф. Д. Ш. Михелева

4-е издание, исправленное

*Рекомендовано  
Министерством образования Российской Федерации  
в качестве учебника для студентов высших  
учебных заведений*

Москва  
  
ACADEMA  
2004

УДК 528.48(075.8)  
ББК 26.1я73  
И62

Рецензент —  
зав. кафедрой «Геодезия и геоинформатика» Московского  
государственного университета путей сообщения  
д-р техн. наук, проф. *С. И. Матвеев*

**Инженерная геодезия: Учебник для вузов / Е. Б. Ключин,  
И62 М. И. Киселев, Д. Ш. Михелев, В. Д. Фельдман; Под ред.  
Д. Ш. Михелева. — 4-е изд., испр. — М.: Издательский центр  
«Академия», 2004. — 480 с.  
ISBN 5-7695-1524-4**

Базовый учебник по одноименной дисциплине учебного плана. Написан в соответствии с требованиями Государственного образовательного стандарта. Даны общие сведения по геодезии, картографии и топографии; геодезическим приборам, методам геодезических измерений, вычислений и оценки точности их результатов; инженерно-геодезическим работам, выполняемым при изыскании, проектировании и строительстве инженерных сооружений. Изложены методы изысканий, производства разбивочных работ, исполнительных съемок. Приведены сведения по геодезическому обеспечению кадастра, наблюдению за деформациями сооружений, сертификации, лицензированию, организации геодезических работ и технике безопасности при их проведении.

Для студентов негеодезических вузов. Может быть полезен студентам техникумов и колледжей, а также специалистам производства, выполняющим разнообразные инженерно-геодезические работы.

УДК 528.48(075.8)  
ББК 26.1я73

ISBN 5-7695-1524-4

© Коллектив авторов, 2004  
© Издательский центр «Академия», 2004



## ПРЕДИСЛОВИЕ

Учебник рассчитан на студентов негеодезических вузов, изучающих курс «Инженерная геодезия». Методически учебник построен таким образом, чтобы при изучении раздела I студенты могли ознакомиться с общими сведениями по геодезии, картографии и топографии; геодезическими приборами, включая самые современные; методами геодезических измерений, вычислений и оценки точности их результатов.

Раздел II учебника посвящен инженерно-геодезическим работам, выполняемым при изысканиях, проектировании и строительстве инженерных сооружений. Изложены методы изысканий построения инженерно-геодезических сетей, разбивочных работ, исполнительных съемок, геодезического обеспечения строительства гражданских и промышленных зданий, дорог и мостов, подземных коммуникаций, гидротехнических сооружений, тоннелей метрополитена, линий электропередачи и связи, магистральных трубопроводов. Даны сведения по геодезическому использованию спутниковых технологий, геодезическому обеспечению кадастра, наблюдению за деформациями сооружений, сертификации, лицензированию, организации геодезических работ и технике безопасности при их проведении.

## ВВЕДЕНИЕ

Геодезия — одна из древнейших наук. Слово «геодезия» образовано 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, решающая сложные научные и практические задачи. Это наука об определении формы и размеров Земли, об измерениях на земной поверхности для отображения ее на планах и картах. Задачи геодезии решаются на основе измерений, выполняемых геодезическими инструментами и приборами. В геодезии используют положения математики, физики, астрономии, картографии, географии и других научных дисциплин.

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 фигуру и размеры Земли, методы определения координат точек на поверхности для территории всей страны.

Космическая геодезия решает геодезические задачи с помощью искусственных спутников Земли.

Топография рассматривает способы изучения земной поверхности и изображения 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 изучает методы геодезического обеспечения при разработке проектов, строительстве и эксплуатации разнообразных сооружений, а также при изучении, освоении и охране природных ресурсов.

Несмотря на многообразие инженерных сооружений при их проектировании и возведении решаются следующие общие задачи: получение геодезических данных при разработке проектов строительства сооружений (инженерно-геодезические изыскания); определение на местности основных осей и границ сооружений в соответствии с проектом строительства (разбивочные работы);

обеспечение в процессе строительства геометрических форм и размеров элементов сооружения в соответствии с его проектом, геометрических условий установки и наладки технологического оборудования; определение отклонений геометрической формы и размеров возведенного сооружения от проектных (исполнительные съемки); изучение деформаций (смещений) земной поверхности под сооружением, самого сооружения или его частей под воздействием природных факторов и в результате деятельности человека.

Для решения каждой из указанных задач применительно к разным видам сооружений существуют свои методы, средства и требования к точности их выполнения. Например, при инженерно-геодезических изысканиях в основном производят измерения для составления карт и планов, на которых изображают то, что есть на местности, а при строительстве здания, наоборот, определяют на местности то место, где здание должно располагаться по проекту. Конструкции здания устанавливают на предусмотренные проектом места с погрешностью 5... 10 мм, детали заводского конвейера — 1... 2 мм, а оборудование физических лабораторий (ускорителей ядерных частиц) — 0,2... 0,5 мм.

Инженерная геодезия тесно связана с другими геодезическими дисциплинами и использует методы измерений и приборы, предназначенные для общегеодезических целей. В то же время для геодезического обеспечения строительно-монтажных работ, наблюдений за деформациями сооружений и других подобных работ применяют свои приемы и методы измерений, используют специальную измерительную технику, лазерные приборы и автоматизированные системы.

Инженерно-геодезические измерения выполняют непосредственно на местности в различных физико-географических условиях, поэтому необходимо заботиться об охране окружающей природы: не допускать повреждений лесов, сельскохозяйственных угодий, не загрязнять водоемы.

Решение современных задач геодезии связано с обеспечением и улучшением качества строительных зданий и сооружений, промышленных и жилых комплексов, дорог, линий электропередачи и связи, магистральных трубопроводов, энергетических объектов, объектов агропромышленного комплекса и др. Для этого требуется большое число квалифицированных работников, способных обеспечить строительство важных народно-хозяйственных объектов. Для подготовки таких кадров и предназначен данный учебник.

РАЗДЕЛ I

**ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ГЕОДЕЗИИ  
И ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЯХ**

---

Глава I

**ЗЕМНАЯ ПОВЕРХНОСТЬ  
И СПОСОБЫ ЕЕ ИЗОБРАЖЕНИЯ**

**1.1. Форма Земли и определение положения точек  
на земной поверхности**

**Форма 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 в математике называется *эллипсоидом вращения*, она получается от вращения эллипса вокруг малой оси. В *земном эллипсоиде* (рис. 1.1, а) полярная ось меньше экваториальной.

Земля не является правильным геометрическим телом — ее поверхность представляет собой сочетание возвышенностей и углублений. Большая часть углублений заполнена водой океанов и морей — из 510 млн км<sup>2</sup> общей площади поверхности Земли 71 % занимает океан. Поверхность воды в нем под действием силы тяжести образует урovenную поверхность, перпендикулярную в каждой точке направлению силы тяжести. Линию, совпадающую с направлением силы тяжести, называют *отвесной линией*. Если урovenную поверхность мысленно продолжить под материками, то образуется фигура, называемая *геоидом* (рис. 1.1, б). Казалось бы, геоид наилучшим образом определяет математическую фигуру

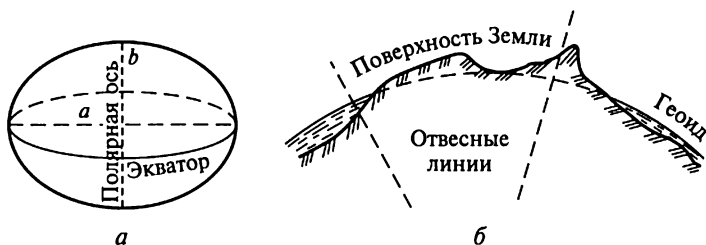


Рис. 1.1. Формы земной поверхности:  
а — земной эллипсоид; б — геоид

Земли, так как в каждой точке его поверхности существует одно вполне определенное направление — отвесная линия, составляющая с касательной плоскостью прямой угол. Однако из-за неравномерного распределения масс внутри Земли поверхность геоида имеет сложную, неправильную форму. Поэтому за математическую фигуру для Земли принимают эллипсоид вращения, наиболее приближенный к геоиду. Земной эллипсоид соответствующим образом мысленно располагают (ориентируют) в теле Земли.

Земной эллипсоид с установленными размерами, ориентированный определенным образом, называют *референц-эллипсоидом*. В нашей стране размеры референц-эллипсоида были получены под руководством выдающегося геодезиста Ф. Н. Красовского. Эти размеры утверждены для использования в работах по высшей геодезии и картографии. Референц-эллипсоиду присвоено имя Красовского. Размеры референц-эллипсоида Красовского составляют: большая полуось  $a = 6378245$  м, малая полуось  $b = 6356863$  м, полярное сжатие  $\alpha = (a - b)/a = 1/298,3$ .

В инженерной геодезии и работах по топографии условно считают, что Земля имеет форму шара, объем которого равен объему земного эллипсоида, а радиус шара  $R = 6371,11$  км.

**Определение местоположения точек.** Чтобы определить положение точек на земной поверхности, на ней условно проводят линии — меридианы и параллели, которые образуют систему географических координат (рис. 1.2, а).

*Меридиан* — это воображаемая линия, образованная секущей плоскостью, проходящей через ось  $PP_1$  вращения Земли.

*Параллель* — это воображаемая линия, образованная на поверхности Земли секущей плоскостью, перпендикулярной оси вращения Земли. Параллель, образованная плоскостью, проходящей через центр Земли, называется *экватором*.

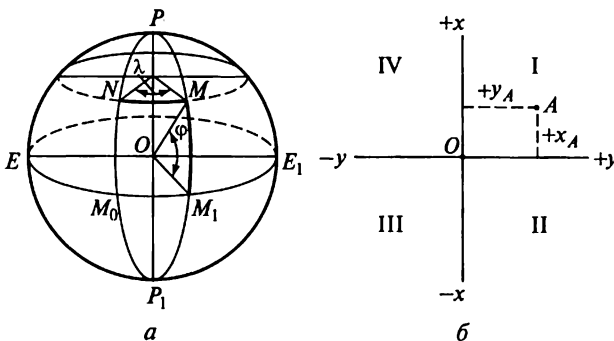


Рис. 1.2. Системы координат:  
а — географических; б — плоских прямоугольных

Один из меридианов, например меридиан  $PNM_0P_1$ , принимают за начальный. Тогда положение меридиана точки  $M$  определяется двугранным углом между меридианной плоскостью, проходящей через эту точку, и плоскостью начального меридиана. Этот угол называют *долготой данной точки* и обозначают буквой  $\lambda$ . Положение параллели точки  $M$  определяется углом между радиусом  $OM$  земного шара и плоскостью экватора. Этот угол называют *широтой данной точки* и обозначают буквой  $\varphi$ . Долготу точки  $M$  можно измерить также дугой  $NM$  параллели, а широту той же точки — дугой  $M_1M$  меридиана. Долгота  $\lambda$  и широта  $\varphi$  называются *географическими координатами данной точки*.

Начальным меридианом на поверхности Земли принято считать меридиан, проходящий через центр меридианного зала старейшей в Европе астрономической обсерватории в Гринвиче, вблизи Лондона. Долготы отсчитывают к востоку и западу от начального меридиана в пределах  $0 \dots 180^\circ$  и обозначают, например, так:  $62^\circ$  в. д. (восточной долготы) или  $124^\circ$  з. д. (западной долготы) от Гринвича; широты —  $0 \dots 90^\circ$  к северу и югу от экватора, например  $56^\circ$  с. ш. (северной широты) или ю. ш. (южной широты).

Положение любой точки на поверхности Земли можно определить с помощью астрономических наблюдений (астрономические координаты), вычислить по результатам геодезических измерений на местности или по наблюдению спутников (геодезические координаты).

Если геодезические работы ведут на небольшом участке, что позволяет не принимать во внимание сферичность поверхности Земли, для определения положения точки используют систему плоских прямоугольных координат (рис. 1.2, б). Систему образуют две взаимно-перпендикулярные линии (оси), лежащие в горизонтальной плоскости, причем ось абсцисс  $x$ , как правило, совмещают с меридианом какой-либо точки. Точка  $O$  — начало координат. Положительное направление оси  $x$  — на север от экватора, оси  $y$  — на восток от меридиана. Оси абсцисс и ординат образуют координатные четверти I...IV, которые нумеруют по ходу часовой стрелки; северо-восточная четверть считается первой.

Например, положение точки  $A$  определяется координатами  $x_A y_A$ . В зависимости от четверти, в которой расположена точка, перед координатами ставят знаки «плюс» или «минус».

Для полной характеристики положения точки на поверхности Земли необходимо знать еще третью координату — высоту. *Высотой точки* называется расстояние по отвесному направлению от этой точки до уровенной поверхности. Числовое значение высоты точки называется ее *отметкой*.

Высоты (рис. 1.3) бывают абсолютные, условные и относительные. *Абсолютные высоты*, например  $H_A$  и  $H_B$ , отсчитывают от исходной уровенной поверхности — среднего уровня океана или моря (в России это нуль Кронштадтского футштока — горизон-

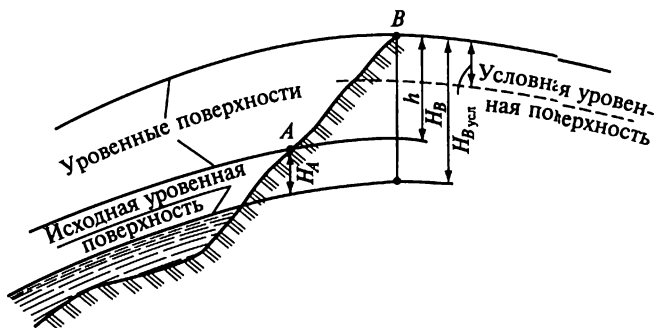


Рис. 1.3. Абсолютные, условные и относительные высоты

тальная черта на медной пластине, прикрепленной к устою моста через обводной канал в г. Кронштадте). *Условной высотой*, например  $H_{B, усл}$ , называется отвесное расстояние от точки земной поверхности до условной уровенной поверхности -- любой точки, принятой за исходную (нулевую).

*Относительной высотой*, или *превышением*,  $h$  точки называется высота ее над другой точкой земной поверхности (например, точки  $B$  над точкой  $A$ ).

## 1.2. 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 до требуемого размера. Как правило, в геодезии применяют метод ортогонального проецирования (рис. 1.4). Сущность его состоит в том, что точки местности переносят на горизонтальную плоскость по отвесным линиям, параллельным друг другу и перпендикулярным горизонтальной плоскости. Например, точка  $A$  местности (перекресток дорог) проецируется на горизонтальную плоскость  $H$  по отвесной линии  $Aa$ , точка  $B$  — по линии  $Bb$  и т. д., точки  $a$  и  $b$  являются ортогональными проекциями точек  $A$  и  $B$  местности на плоскости  $H$ .

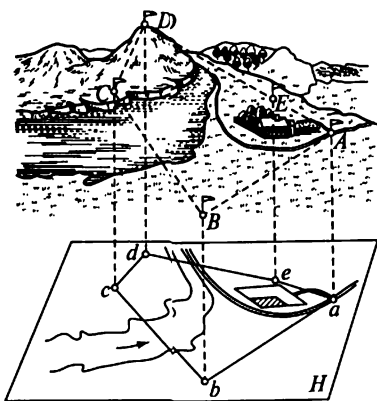


Рис. 1.4. Ортогональное проецирование: местности

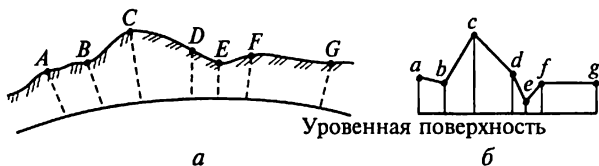


Рис. 1.5. Изображения местности:

*a* — разрез; *б* — профиль

Полученное на плоскости изображение участка земной поверхности уменьшают с сохранением подобия фигур. Такое уменьшенное изображение называется *планом местности*. Следовательно, план местности — это уменьшенное подобное изображение горизонтальной проекции участка поверхности Земли с находящимися на ней объектами.

Однако план нельзя составить на очень большую территорию, так как сферическая поверхность Земли не может быть развернута в плоскость без складок или разрывов. Изображение Земли на плоскости, уменьшенное и искаженное вследствие кривизны поверхности, называют *картой*.

Таким образом, и план, и карта — это уменьшенные изображения земной поверхности на плоскости. Различие между ними состоит в том, что при составлении карты проецирование производят с искажениями поверхности за счет влияния кривизны Земли, а на плане изображение получают практически без искажения.

*Профилем местности* называется уменьшенное изображение вертикального разреза земной поверхности по заданному направлению. Как правило, разрез местности (рис. 1.5, *a*) представляет собой кривую линию *ABC...G*. На профиле (рис. 1.5, *б*) она строится в виде ломаной линии *abc...g*, а уровенную поверхность изображают прямой линией. Для большей наглядности вертикальные отрезки (высоты, превышения) делают крупнее, чем горизонтальные (расстояния между точками).

### 1.3. Измерения и построения в геодезии

Под *измерениями* понимают процесс сравнения какой-либо величины с другой однородной величиной, принимаемой за единицу. При всем многообразии геодезических измерений все они сводятся в основном к трем видам:

линейные — определяют расстояния между заданными точками;

угловые — определяют значения горизонтальных и вертикальных углов между направлениями на заданные точки;

высотные (нивелирование) — определяют разности высот отдельных точек.



За единицу линейных и высотных измерений (расстояний, высот и превышений) в геодезии принят метр, представляющий собой длину жезла — эталона, изготовленного из платино-иридиевого сплава в 1889 г. и хранящегося в Международном бюро мер и весов в Париже. Копия №28 этого жезла находится в НИИ метрологии им. Д. И. Менделеева в Санкт-Петербурге. В качестве эталона более высокой точности в настоящее время служит метр, определенный как длина пути, пройденного светом за  $1/299792548$  доли секунды.

Единицей для измерений углов (горизонтальных и вертикальных) служит градус, представляющий  $1/90$  прямого угла или  $1/360$  окружности. Градус содержит 60 угл. мин, минута делится на 60 угл. с. В некоторых странах применяют градусную систему, в которой 1 град составляет  $1/400$  окружности, градусная минута —  $1/100$  град, а градусная секунда —  $1/100$  град мин.

В современных автоматизированных угломерных приборах единицей измерений служит гон, равный 1 град или 54 угл. мин; тысячная его доля, равная 3,24 угл. с, называется *миллигон*.

Измерения называют *прямыми*, если их выполняют с помощью приборов, позволяющих непосредственно сравнить измеряемую величину с величиной, принятой за единицу, и *косвенными*, когда искомую величину получают путем вычислений на основе результатов прямых измерений. Так, угол в треугольнике можно непосредственно измерить угломерным прибором (прямое измерение) или вычислить по результатам измерения трех сторон треугольника (косвенное измерение).

Необходимыми условиями любого измерения являются: объект измерения; субъект измерения — лицо, производящее измерение; мерный прибор, которым выполняют измерения; метод измерения — совокупность правил и действий, определяющих процесс измерения; внешняя среда, в которой выполняют измерения.

Обозначенные на местности точки, от которых выполняют геодезические измерения, называются *исходными*. Точки, положение которых на местности необходимо определить, называют *определяемыми*.

Исходные и определяемые точки могут располагаться в горизонтальной плоскости в плане (плановые точки) и вертикальной — по высоте (высотные точки).

Рассмотрим шесть основных геодезических способов построения, применяемых для определения положения точки в плане.

Требуется определить положение точки *C* относительно обозначенных на местности исходных точек *A* и *B*.

1. Положение точки *C* (рис. 1.6, *a*) можно определить, если опустить из этой точки перпендикуляр на прямую *AB*, а затем измерить расстояние *l* от точки *A* до основания перпендикуляра и длину перпендикуляра *d*. Отрезки *l* и *d* будут координатами точки *C*. Такое построение называют *способом перпендикуляров*.

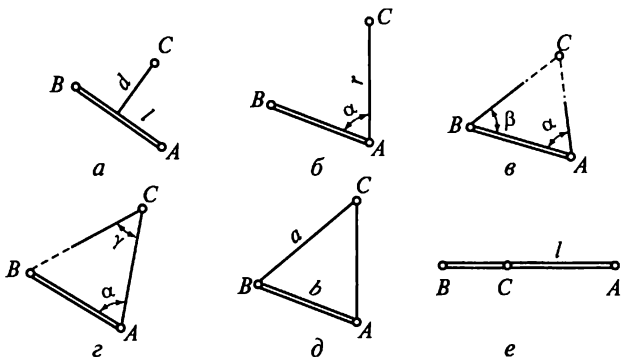


Рис. 1.6. Схемы (а...е) к способам определения положения точки в плане

Если прямую  $AB$  принять за ось абсцисс прямоугольной системы координат, то перпендикуляр  $d$  будет ординатой определяемой точки, а расстояние  $l$  — ее абсциссой. Поэтому способ называют также *способом ординат*.

2. Положение точки  $C$  (рис. 1.6, б) определяется, если измерить на точке  $A$  угол  $\alpha$  и длину  $AC$  —  $r$ . Такой способ называют *способом полярных координат*: полярные координаты точки  $C$  —  $\alpha$  и  $r$ , угол  $\alpha$  — полярный, точка  $A$  — полюс, прямая  $AB$  — полярная ось, отрезок  $r$  — радиус-вектор.

3. Для определения положения точки  $C$  (рис. 1.6, в) относительно прямой  $AB$  достаточно измерить углы  $\alpha$  и  $\beta$  на точках  $A$  и  $B$ . Этот способ называют *прямой угловой засечкой* (прямая  $AB$  — базис засечки).

4. Положение точки  $C$  (рис. 1.6, г) определяется, если измерить угол  $\alpha$  на точке  $A$  и угол  $\gamma$  на определяемой точке  $C$  (*способ боковой засечки*).

5. Для определения положения точки  $C$  (рис. 1.6, д) можно измерить длину линий  $AB = b$  и  $BC = a$  (*способ линейной засечки*).

6. Точка  $C$  (рис. 1.6, е) находится на линии  $AB$  (в створе  $AB$ ) и на расстоянии  $l$  от точки  $A$  (*способ створной засечки*).

Эти построения выполняют, если расстояния между точками сравнительно невелики и есть непосредственная видимость между исходными и определяемыми точками. Когда расстояния между исходными точками значительны или требуется найти положение нескольких точек, пользуются более сложными построениями.

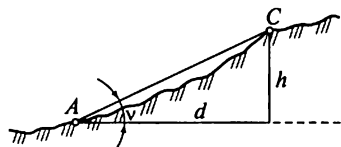


Рис. 1.7. Схема к способу определения положения точки по высоте

Положение определяемой точки  $C$  по высоте (рис. 1.7) находят, измерив ее превышение  $h$  над исходной точ-

кой  $A$  или угол наклона  $\nu$  линии  $AC$  к горизонту и горизонтальное проложение  $d$  (проекцию линии  $AC$  на горизонтальную плоскость).

#### 1.4. Масштабы изображения на плоскости

*Масштаб* — это отношение длины  $s$  линии на чертеже, плане, карте к длине  $S$  горизонтального проложения соответствующей линии в натуре, т. е.  $s:S$ . Масштаб обозначают либо дробью (числовой), либо в виде графических изображений.

*Числовой масштаб*, обозначаемый  $1/M$ , представляет собой правильную дробь, у которой числитель равен 1, а знаменатель  $M$  показывает, во сколько раз уменьшены линии местности при изображении их на плане. Например, для масштаба  $1/100$  единице длины на плане соответствует 100 таких же единиц на местности или 1 см на плане — 100 см (1 м) на местности. Чем больше знаменатель числового масштаба, тем больше степень уменьшения, т. е. тем мельче масштаб. Из двух числовых масштабов более крупный тот, знаменатель которого меньше.

Используя значение  $1/M$  числового масштаба и зная длину  $S$  проложения линии на местности, можно по формуле

$$s = S/M \quad (1.1)$$

определить ее длину на плане или по формуле

$$S = sM \quad (1.2)$$

линии на местности, зная длину  $s$  этого отрезка на плане.

**Пример 1.1.** Длина отрезка  $S = 142$  м. Найти величину изображения этого отрезка на плане масштаба  $1:2000$ .

По формуле (1.1) получим

$$s = 142 : 2000 = 0,071 \text{ м} = 7,1 \text{ см.}$$

**Пример 1.2.** На плане масштаба  $1:500$  величина отрезка между двумя точками  $s = 14,6$  см. Определить длину  $S$  этой линии на местности.

По формуле (1.2) находим  $S = 14,6 \cdot 500 = 7300 \text{ см} = 73 \text{ м}$ .

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

Графические масштабы бывают линейные и поперечные.

**Л и н е й н ы й м а с ш т а б** (рис. 1.8, *a*) представляет собой шкалу с делениями, соответствующими данному числовому масштабу. Для построения линейного масштаба на прямой линии откладывают несколько раз расстояние, называемое *основанием масштаба*. Длину основания принимают равной 1; 2; 2,5 см. Первое основание делят на 10 равных частей и на правом конце его пи-

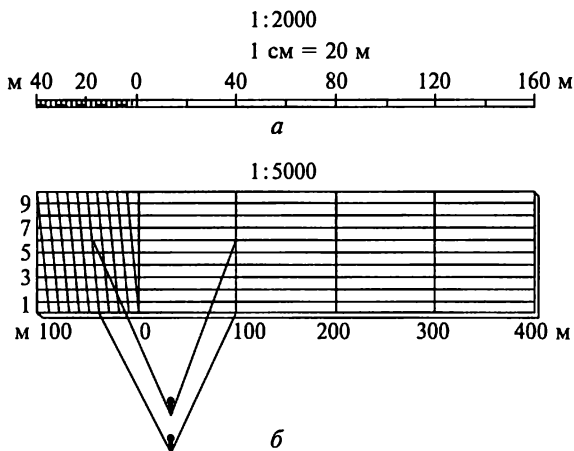


Рис. 1.8. Графические масштабы:  
*a* — линейный; *б* — поперечный

шут нуль, а на левом — то число метров или километров, которому на местности соответствует в данном масштабе основание. Вправо от нуля над каждым делением надписывают значения соответствующих расстояний на местности (на рис. 1.8, *a* изображен линейный масштаб для числового масштаба 1:2000).

Поперечный масштаб применяют для измерений и построений повышенной точности. Как правило, поперечный масштаб гравировают на металлических пластинках, линейках или транспортирах. Для заданного числового масштаба он может быть построен на чертеже.

Поперечный масштаб (рис. 1.8, *б*) строят следующим образом. На прямой линии, как и при построении линейного масштаба, откладывают несколько раз основание масштаба и первый отрезок делят на 10 частей. Деления надписывают так же, как и при построении линейного масштаба. Из каждой точки подписанного деления восстанавливают перпендикуляры, на которых откладывают 10 отрезков, равных  $1/10$  основания. Через точки, полученные на перпендикулярах, проводят прямые линии, параллельные основанию. Верхнюю линию первого основания делят также на 10 равных частей. Полученные точки верхних и нижних делений на первом отрезке соединяют. Полученные линии называются *трансверсальями*. Расстояния между смежными трансверсальями составляют  $1/10$  основания, а между нулевой вертикальной линией и смежной с ней трансверсалью —  $1/100 \dots 1/10$ .

Поперечный масштаб с основанием 2 см (см. рис. 1.8, *б*) имеет подписи, соответствующие числовому масштабу 1:5000. Основание масштаба соответствует 100 м на местности,  $1/10$  его часть — 10 м,  $1/100$  — 1 м. Если, например, в этом масштабе надо на

плане отложить длину, равную на местности 146 м, правую ножку циркуля-измерителя совмещают с точкой 100 м справа от нуля, а левую — с точкой 40 м слева от нуля. Затем измеритель поднимают на шесть делений вверх и раздвигают до точки, соответствующей 146 м.

Применение любого масштаба, даже поперечного, не может обеспечить точности выше определенного предела, зависящего от свойств человеческого глаза. Невооруженным глазом с расстояния нормального зрения (25 см) можно оценить на плане размер, не превосходящий 0,1 мм (детали объектов местности меньше 0,1 мм изобразить на плане нельзя). Точность масштаба характеризуется

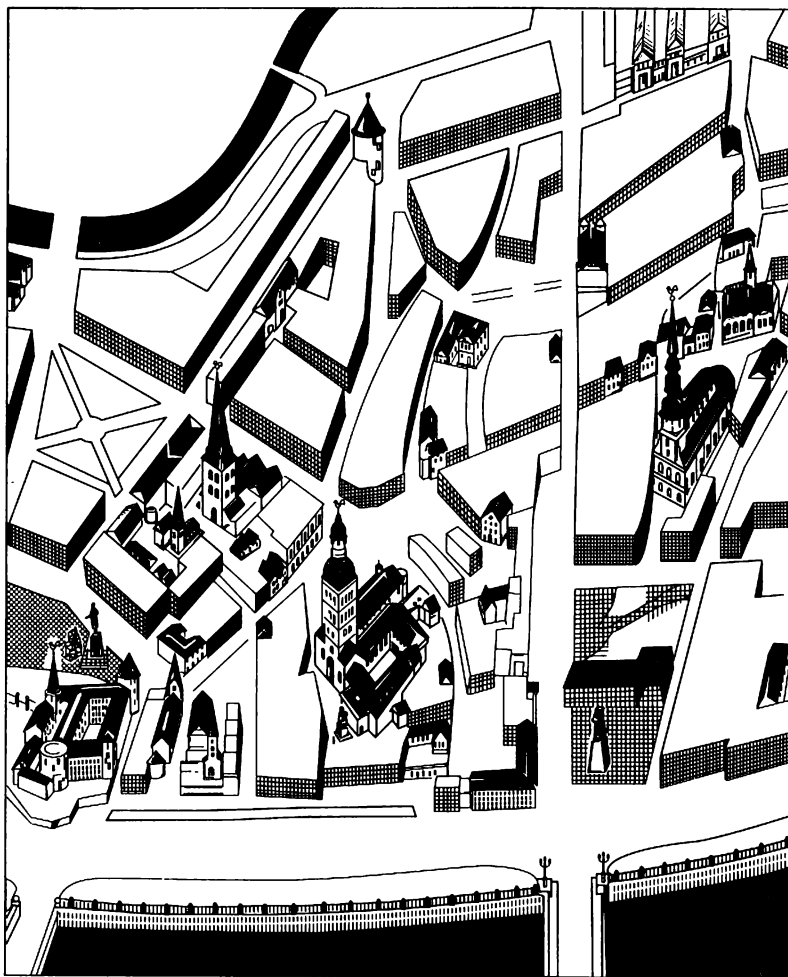


Рис. 1.9. Пример внемасштабного изображения — план города

горизонтальным расстоянием на местности, соответствующим на плане 0,1 мм. Например, для планов, вычерченных в масштабе 1:500; 1:1000; 1:2000, точность масштаба соответственно равна 0,05; 0,1; 0,2 м. Точностью масштаба определяется степень обобщения (генерализации) подробностей, которые могут быть изображены на плане (карте) того или иного масштаба.

Для того чтобы акцентировать внимание на каких-то элементах чертежа, карты, плана, эти элементы изображают внемасштабно, т.е. с другой степенью уменьшения или увеличения. На схематических планах городов увеличенными в произвольном масштабе изображают исторические, культурные памятники, театры, вокзалы (рис. 1.9); на мелкомасштабных картах — кружки городов, толщины рек; на чертежах — условные обозначения, стыковые швы, маркировку изделия. По такому внемасштабному изображению нельзя производить никаких измерений.

Разномасштабно, т.е. в определенном масштабе, но отличном от масштаба данного чертежа, показывают узлы, детали на строительных и машиностроительных чертежах; при изображении плана дороги, проходящей по однообразной местности, выделяют в крупном масштабе только места пересечения дорогой рек, населенных пунктов, дорог иного назначения и т.п. Таким образом, на одном и том же плане, чертеже, схеме изображения могут быть даны в разных масштабах, а в некоторых случаях — и в натуральную величину.

## Глава 2

### ОРИЕНТИРОВАНИЕ НА МЕСТНОСТИ

#### 2.1. Азимуты, румбы, дирекционные углы и зависимости между ними

При выполнении геодезических работ на местности, работ с картой или чертежом необходимо определить положение линии (ориентировать линию) относительно стран света или какого-нибудь направления, принимаемого за исходное.

Ориентирование заключается в том, что определяют угол между исходным направлением и направлением данной линии. За исходное направление для ориентирования принимают истинный (географический), магнитный меридианы или ось абсцисс прямоугольной системы координат плана. В качестве углов, определяющих направление линии, служат истинный и магнитный азимуты, румбы и дирекционные углы.

*Азимут* называется угол между северным направлением меридиана и направлением данной линии  $MN$  (рис. 2.1). Азимут измеряется от севера через восток, юг и запад, т.е. по направлению

движения часовой стрелки, и может иметь значения  $0 \dots 360^\circ$ . Азимут  $A$ , измеряемый относительно истинного меридиана, называется *истинным*.

В геодезии принято различать прямое и обратное направления линии. Если направление линии  $MN$  от точки  $M$  к точке  $N$  считать прямым, то  $NM$  — обратное направление той же линии. В соответствии с этим угол  $A_1$  — прямой азимут линии  $MN$  в точке  $M$ , а  $A_2$  — обратный азимут этой же линии в точке  $N$ .

Меридианы разных точек не параллельны между собой, так как они сходятся в точках полюсов. Отсюда азимут линии в разных ее точках имеет разное значение. Угол между направлениями двух меридианов называется *сближением меридианов* и обозначается  $\gamma$ . Зависимость между прямым и обратным азимутами линии  $MN$  выражает следующая формула:  $A_2 = A_1 + 180^\circ + \gamma$ .

Истинные азимуты линий местности определяются путем астрономических наблюдений или с помощью приборов — гиро-теодолитов.

Иногда для ориентирования линии местности пользуются не азимутами, а румбами.

*Румбом* (рис. 2.2) называется острый угол между ближайшим (северным С или южным Ю) направлением меридиана и направлением данной линии.

Румбы обозначают буквой  $r$  с индексами, указывающими четверть, в которой находится румб. Названия четвертей составлены из соответствующих обозначений стран света. Так, I четверть — северо-восточная (СВ), II — юго-восточная (ЮВ), III — юго-западная (ЮЗ), IV — северо-западная (СЗ). Соответственно обозначают румбы в четвертях, например: в первой —  $r_{СВ}$ , во второй —  $r_{ЮВ}$ . Румбы измеряют в градусах ( $0 \dots 90^\circ$ ).

В прямоугольной системе координат ориентирование линии производят относительно оси абсцисс. Углы, отсчитываемые в направлении хода часовой стрелки от положительного (северного) на-

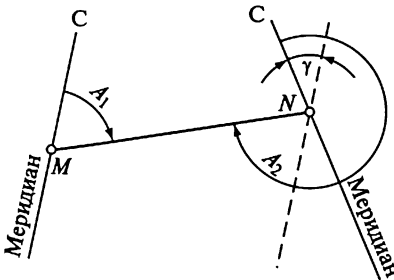


Рис. 2.1. Азимуты

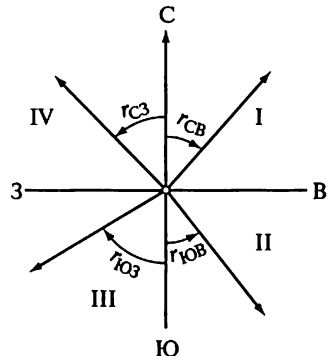


Рис. 2.2. Румбы

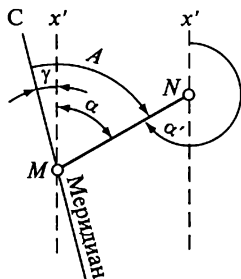


Рис. 2.3. Зависимость между дирекционным углом и истинным азимутом линии

правления оси абсцисс до линии, направление которой определяется, называются *дирекционными*. Дирекционные углы обозначаются буквой  $\alpha$  и подобно азимуту изменяются от 0 до 360°. Дирекционный угол какого-либо направления непосредственно на местности не измеряют, его значение можно вычислить, если для данного направления определен истинный азимут (рис. 2.3). В данном случае  $\gamma$  — сближение меридианов — представляет собой угол между истинным меридианом  $M$  и осью абсцисс в этой точке. Ось абсцисс параллельна осевому меридиану зоны, в которой расположена линия  $MN$ . Как видно из рисунка,  $\alpha = A - \gamma$ . Так же как и для азимута, различают прямой и обратный дирекционные углы:  $\alpha$  — прямой,  $\alpha'$  — обратный дирекционные углы линии  $MN$ :  $\alpha' = \alpha + 180^\circ$ .

Румбы дирекционных углов обозначают и вычисляют так же, как румбы истинных азимутов, только отсчитывают от северного и южного направлений оси абсцисс (табл. 2.1).

Направление магнитной оси свободно подвешенной магнитной стрелки называется *магнитным меридианом*. Угол между северным направлением магнитного меридиана и направлением данной линии называют *магнитным азимутом*. Магнитный азимут, так же как и истинный, считают по направлению движения часовой стрелки; он также изменяется от 0 до 360°. Зависимость между магнитными азимутами и магнитными румбами такая же, как между истинными румбами. Так как 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*  $\delta$ . В зависимости от того, в какую сторону уклоняется северный конец стрелки от направления истинного меридиана, различают восточное и западное склонения. Перед значением восточного склонения обычно ставят знак «плюс», западного — «минус». Зависи-

Таблица 2.1

Четверть	$A, ^\circ$	$r$
I (СВ)	0...90	$A$
II (ЮВ)	90...180	$180^\circ - A$
III (ЮЗ)	180...270	$A - 180^\circ$
IV (СЗ)	270...360	$360^\circ - A$



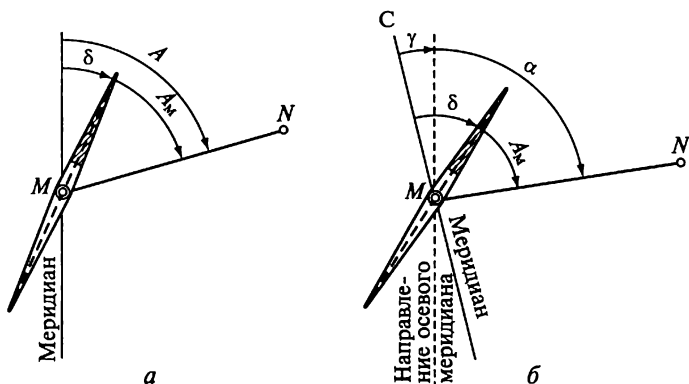


Рис. 2.4. Зависимости:

*a* — между истинным и магнитным азимутами; *б* — магнитным азимутом и дирекционным углом

мость (рис. 2.4, *a*) между истинным  $A$  и магнитным  $A_m$  азимутами выражается формулой  $A = A_m + \delta$ . При использовании этой формулы учитывают знак склонения. Если известно склонение  $\delta$  магнитной стрелки и сближение меридианов  $\gamma$ , то по измеренному магнитному азимуту  $A_m$  линии  $MN$  можно вычислить дирекционный угол  $\alpha$  этой линии (рис. 2.4, *б*):  $\alpha = A_m + (\delta - \gamma)$ , где разность  $(\delta - \gamma)$  — поправка на склонение стрелки и сближение меридианов (учитывают при ориентировании топографической карты).

В различных точках Земли магнитная стрелка имеет разное склонение. Так, на территории Российской Федерации оно колеблется в диапазоне  $(0 \pm 15)^\circ$ .

Склонение магнитной стрелки не остается постоянным и в данной точке Земли (различают вековые, годовые и суточные изменения склонений). Больше всего изменяются суточные склонения, колебания которых достигают  $15'$ . Следовательно, магнитная стрелка указывает положение магнитного меридиана приблизительно и ориентировать линии местности по магнитным азимутам можно тогда, когда не требуется высокой точности.

## 2.2. Приборы для ориентирования на местности

При ориентировании на местности для измерения магнитных азимутов и магнитных румбов пользуются буссолями (рис. 2.5, *a*) и компасами (рис. 2.5, *б*).

Главные части буссоли или компаса — магнитная стрелка *1*, вращающаяся на острие шпиля, и кольцо *2* с угловыми делениями. Северный конец стрелки делают темно-синим или черным. В зависимости от того, как подписаны деления, различают азиму-

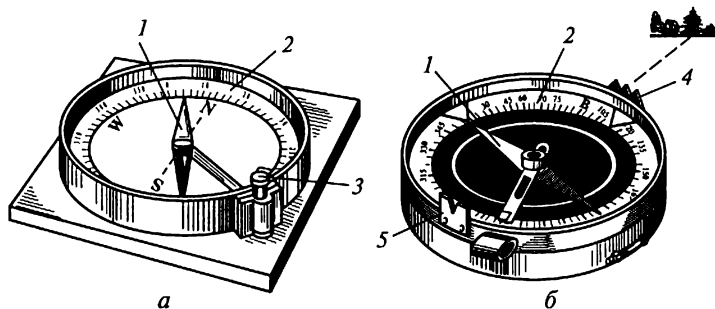


Рис. 2.5. Приборы для ориентирования по магнитным меридианам:  
 — буссоль; б — компас; 1 — магнитная стрелка; 2 — кольцо; 3 — арретир; 4, 5 —  
 диоптры

альное и румбическое кольца. В азимутальном кольце деления подписывают против направления движения часовой стрелки от 0 до 360°, в румбическом на концах нулевого диаметра ставят нули, перпендикулярного ему диаметра — 90°. В нерабочем состоянии стрелка приподнята на шпилье и прижата к защитному стеклу арретиром 3. Буссоли бывают штативные, устанавливаемые при измерениях на штатив; ручные; теодолитные, устанавливаемые на гломерные приборы — теодолиты; настольные, укладываемые на карту или план при их ориентировании. Настольная буссоль см. рис. 2.5, а) называется *ориентир-буссолью*.

Штативные, ручные буссоли и компасы имеют приспособление для визирования — наведения на точку линии, азимут которой измеряется. Простейшие виды таких приспособлений — диоптры: предметный 4 и глазной 5. В буссолях линия, соединяющая середину диоптров, постоянно совпадает с нулевым диаметром кольца; в компасах диоптры крепятся на вращающейся крышке.

Принцип измерения азимута линии буссолью заключается в том, что нулевой диаметр буссоли совмещают с направлением той линии, а по северному концу магнитной стрелки отсчитывают значение азимута или румба.

В компасе с подвижными диоптрами совмещают северный конец стрелки с нулем кольца, а линию диоптров — с направлением определяемой линии и по указателю предметного диоптра отсчитывают значение азимута данной линии.

Для определения истинного азимута применяют гиротеодолит, содержащий в себе гироскоп как датчик направления географического меридиана и измеритель углов — теодолит. Гироскоп представляет собой вращающееся устройство, подобное волчку, главная ось которого под действием суточного вращения Земли и силы тяжести всегда занимает положение, параллельное оси вращения Земли, т.е. в плоскости географического меридиана.

## ТОПОГРАФИЧЕСКИЕ КАРТЫ И ПЛАНЫ

## 3.1. Классификация и номенклатура

Карты и планы классифицируют в основном по масштабам и назначению.

По масштабам карты подразделяются на мелко-, средне- и крупномасштабные. Мелкомасштабные карты мельче 1:1 000 000 — это карты обзорного характера и в геодезии практически не применяются; среднемасштабные (обзорно-топографические) карты масштабов 1:1 000 000, 1:500 000, 1:300 000 и 1:200 000; крупномасштабные (топографические) — масштабов 1:100 000, 1:50 000, 1:25 000, 1:10 000. Принятый в Российской Федерации масштабный ряд заканчивается топографическими планами масштабов 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500. В строительстве иногда составляют планы в масштабах 1:200, 1:100 и 1:50.

По назначению топографические карты и планы делятся на основные и специализированные. К основным относятся карты и планы общегосударственного картографирования. Это карты многоцелевого назначения, поэтому на них отображают все элементы местности.

Специализированные карты и планы создаются для решения конкретных задач отдельной отрасли. На них выборочно показывают ограниченный круг элементов (например, геологии, почвенных структур). К специализированным относятся и изыскательские планы, используемые только в период проектирования и строительства данного вида сооружений.

Для удобства издания и практического пользования топографическую карту большой территории делят на листы (рис. 3.1). Каждый лист ограничен меридианами и параллелями, длина дуг которых зависит от масштаба карты. Разделение многолистной карты на листы по определенной системе называется *разграфкой*, система обозначения листов многолистной карты — *номенклатурой*.

В основу номенклатуры положена международная разграфка листов карты масштаба

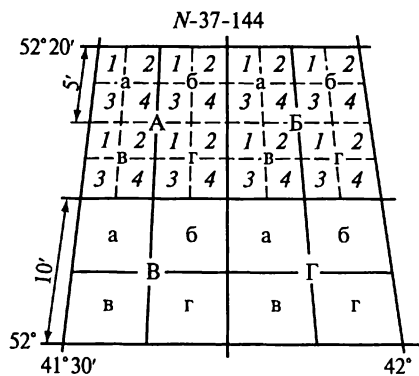


Рис. 3.1. Деление карты масштаба 1:100 000 на листы карт масштабами 1:50 000, 1:25 000 и 1:10 000

1:1 000 000. Листы карты этого масштаба ограничены меридианами и параллелями по широте  $4^\circ$ , по долготе  $6^\circ$ . Каждый лист занимает только ему принадлежащее место, будучи обозначен заглавной латинской буквой, определяющей горизонтальный пояс, и арабской цифрой, определяющей номер вертикальной колонки. Например, лист карты масштаба 1:1 000 000, на котором находится Москва, имеет номенклатуру *N-37*.

Разграфка карт более крупных масштабов получается последовательным делением листа карты масштаба 1:1 000 000. Одному листу карты масштаба 1:1 000 000 соответствуют: четыре листа масштаба 1:500 000, обозначаемые буквами А, Б, В, Г (номенклатура этих листов имеет вид, например, *N-37-A*); девять листов масштаба 1:300 000, обозначаемых римскими цифрами I, II, ..., IX (например, *N-37-IX*); 36 листов масштаба 1:200 000, обозначаемых также римскими цифрами (например, *N-37-1*); 144 листа масштаба 1:100 000, обозначаемые арабскими цифрами от 1 до 144 (например, *N-37-144*).

Одному листу карты 1:100 000 соответствуют четыре листа карты масштаба 1:50 000, обозначаемые буквами А, Б, В, Г; номенклатура листов этой карты имеет вид, например, *N-37-144-A*. Одному листу карты 1:50 000 соответствуют четыре листа карты масштаба 1:25 000, обозначаемые буквами а, б, в, г, например *N-37-144-A-a*. Одному листу карты 1:25 000 соответствуют четыре листа карты 1:10 000, обозначаемые цифрами 1, 2, 3, 4, например *N-37-144-A-a-1*.

На рис. 3.1 показана нумерация листов карт масштабов 1:50 000... 1:10 000, составляющих лист карты масштаба 1:100 000.

Разграфка листов крупномасштабных планов производится двумя способами. Для съемки и составления планов на площади свыше  $20 \text{ км}^2$  за основу разграфки принимают лист карты масштаба 1:100 000, который делят на 256 частей для масштаба 1:5000, а каждый лист масштаба 1:5000 — на девять частей для планов масштаба 1:2000. В этом случае номенклатура листа масштаба 1:5000 имеет вид, например, *N-37-144(256)*, а масштаба 1:2000 — *N-37-144(256-И)*.

Для планов участка площадью менее  $20 \text{ км}^2$  используют прямоугольную разграфку (рис. 3.2) для масштаба 1:5000 с рамками листа  $40 \times 40 \text{ см}$ , а для масштабов 1:2000...1:500 —  $50 \times 50 \text{ см}$ . За

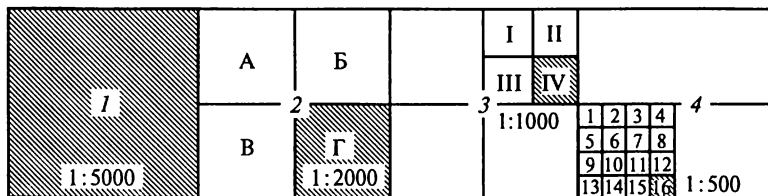


Рис. 3.2. Прямоугольная разграфка листа плана

основу прямоугольной разграфки принимают лист масштаба 1 : 5000, обозначаемый арабскими цифрами (например, 1). Листу плана в масштабе 1 : 5000 соответствуют четыре листа в масштабе 1 : 2000, обозначаемые буквами А, Б, В, Г. Листу плана в масштабе 1 : 2000 соответствуют четыре листа в масштабе 1 : 1000, обозначаемые римскими цифрами, и 16 листов в масштабе 1 : 500, обозначаемые арабскими цифрами.

Показанные на рисунке планы масштабов 1 : 2000, 1 : 1000, 1 : 500 имеют соответственно номенклатуру 2-Г, 3-Б-IV, 4-В-16.

### 3.2. Картографическая проекция и система плоских прямоугольных координат

Чтобы изобразить на плоскости сферическую поверхность Земли в виде карты, на плоскость переносят сеть меридианов и параллелей — картографическую сетку — и затем по географическим координатам точек земной поверхности строят карту. Способ перенесения сетки со сферической поверхности на плоскость называется *картографическим проецированием*. Существует много способов картографического проецирования и видов проекций. Их выбирают в зависимости от назначения карты и допускаемых вида и величины искажений при проецировании сферической поверхности на плоскость. В геодезии целесообразно применять такую проекцию, которая не искажала бы углов, т. е. сохраняла бы подобие изображаемых фигур. Такие проекции называют *равноугольными*. В России топографические карты строят в равноугольной поперечной цилиндрической проекции и соответствующей ей системе плоских прямоугольных координат Гаусса—Крюгера (названа в честь немецких ученых, предложивших эту проекцию и разработавших формулы для применения ее в геодезии).

Проекцию Гаусса—Крюгера (рис. 3.3, а) получают, проецируя земной шар на поверхность цилиндра, касающегося Земли по какому-либо меридиану. Чтобы искажения длины линий не превышали пределов точности масштаба карты, проецируемую часть земной поверхности ограничивают меридианами с разностью долгот  $6^\circ$ , а при составлении планов в масштабах 1 : 5000 и крупнее —  $3^\circ$ . Такой участок называется *зоной 1*. Средний меридиан  $3$  каждой зоны называется *осевым*. Счет зон ведется от Гринвичского меридиана на восток.

После развертывания цилиндра в плоскость осевой меридиан зоны и экватор  $5$  изобразятся взаимно-перпендикулярными прямыми линиями  $6$  (проекция осевого меридиана) и  $7$  (проекция экватора).

Изображения осевого меридиана и экватора принимают за оси зональной системы прямоугольных координат (рис. 3.3, б) с началом в точке их пересечения  $O$ . С изображением осевого меридиана совмещают ось абсцисс  $x$ , а экватора  $5$  — ось ординат  $y$ .

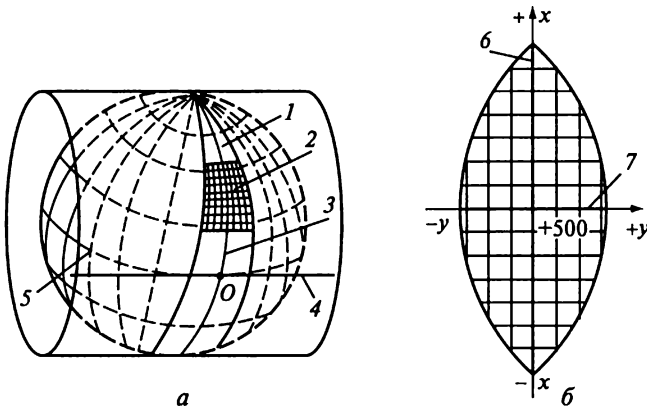


Рис. 3.3. Равноугольное проектирование:

*a* — поперечная цилиндрическая проекция Гаусса—Крюгера; *б* — зональная система координат; 1 — зона; 2 — координатная сетка; 3 — осевой меридиан; 4 — ось *y*; 5 — экватор; 6 — проекция осевого меридиана; 7 — проекция экватора

Для всех точек на территории нашей страны абсциссы имеют положительное значение. Для того чтобы ординаты точек также были только положительными, в каждой зоне ординату начала координат принимают равной 500 км. Таким образом, точки, расположенные к западу от осевого меридиана, имеют ординаты меньше 500 км, а к востоку — больше 500 км. Эти ординаты называются *преобразованными*.

Для удобства пользования плоскими прямоугольными координатами на каждый лист топографической карты, начиная с масштаба 1 : 200 000, наносят сетку квадратов, которая называется *километровой сеткой*. Стороны квадратов параллельны осям *x* и *y* данной зональной системы координат. Размеры сторон зависят от масштаба карты. Например, на картах масштабов 1 : 10 000 ... 1 : 50 000 стороны квадратов соответствуют 1 км на местности.

Так как осевые меридианы зон не параллельны друг другу, километровые сетки двух смежных зон не совпадают, поэтому на картах, расположенных в пределах  $2^\circ$  по долготе вдоль западной и восточной границ зоны, показывают выходы координатной сетки 2 соседних зон.

### 3.3. Условные знаки на планах и картах

На топографических картах и планах изображают разные объекты местности: контуры населенных пунктов, сады, огороды, озера, реки, линии дорог, электропередачи. Совокупность этих объектов называется *ситуацией*. Ситуацию изображают условными знаками.

Условные знаки, обязательные для всех учреждений и организаций, составляющих топографические карты и планы, устанавливаются Федеральной службой геодезии и картографии России (Роскартография) и издаются либо отдельно для каждого масштаба, либо для группы масштабов. Хотя число условных знаков велико (около 400), они легко запоминаются, так как внешне напоминают вид и характер изображаемых объектов.

Условные знаки подразделяют на пять групп: площадные, линейные, внemasштабные, пояснительные, специальные.

Площадные условные знаки (рис. 3.4, а) применяют для заполнения площадей объектов (например: пашни, леса, озера, луга); они состоят из знака границы объекта (точечный пунктир или тонкая сплошная линия) и заполняющих его изображений или условной окраски; например, на условном знаке 1 показан березовый лес; цифры  $(20/0,18) \cdot 4$  характеризуют древостой, м: числитель — высоту, знаменатель — толщину ствола, 4 — расстояние между деревьями.

Линейными условными знаками (рис. 3.4, б) показывают объекты линейного характера (дороги, реки, линии связи,

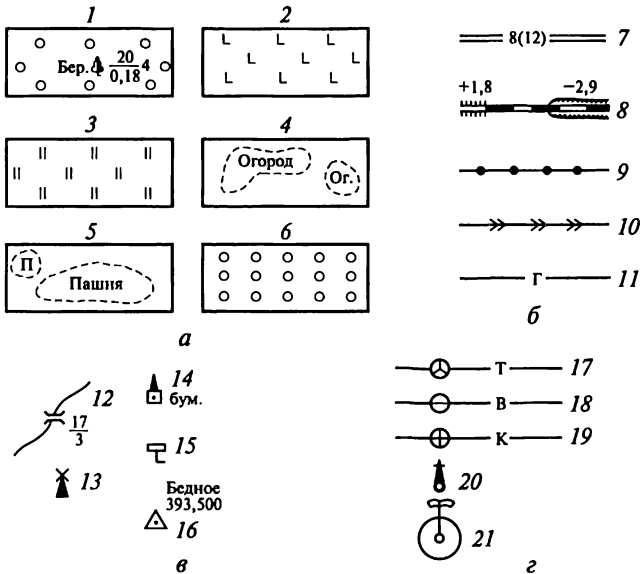


Рис. 3.4. Условные знаки:

а — площадные; б — линейные; в — внemasштабные; г — специальные; 1 — березовый лес; 2 — вырубка; 3 — луг; 4 — огород; 5 — пашня; 6 — фруктовый сад; 7 — шоссе; 8 — железная дорога; 9 — линия связи; 10 — линия электропередачи; 11 — магистральный трубопровод (газ); 12 — деревянный мост; 13 — ветряная мельница; 14 — завод, фабрика; 15 — километровый столб; 16 — пункт геодезической сети; 17 — трасса; 18 — водопровод; 19 — канализация; 20 — водозаборная колонка; 21 — фонтан

электропередачи), длина которых выражена в данном масштабе. На условных изображениях приводятся различные характеристики объектов; например, на шоссе 7 показаны, м: ширина проезжей части — 8, всей дороги — 12; на железной дороге 8, м: +1,8 — высота насыпи, -2,9 — глубина выемки.

Внемасштабные условные знаки (рис. 3.4, в) служат для изображения объектов, размеры которых не отображаются в данном масштабе карты или плана (мосты, километровые столбы, колодцы, геодезические пункты).

Как правило, внемасштабные знаки определяют местоположение объектов, но по ним нельзя судить об их размерах. На знаках приводятся различные характеристики, например: длина 17 и ширина 3 м деревянного моста 12, отметка 393,500 пункта геодезической сети 16.

Пояснительные условные знаки представляют собой цифровые и буквенные надписи, характеризующие объекты, например: глубину и скорость течения рек, грузоподъемность и ширину мостов, породу леса, среднюю высоту и толщину деревьев, ширину шоссеиных дорог. Их проставляют на основных площадных, линейных, внемасштабных знаках.

Специальные условные знаки (рис. 3.4, г) устанавливают соответствие ведомства отраслей народного хозяйства; их применяют для составления специализированных карт и планов этой отрасли, например знаки для маркшейдерских планов нефтегазовых месторождений — нефтепромысловые сооружения и установки, скважины, промысловые трубопроводы.

Чтобы придать карте или плану бóльшую наглядность, для изображения различных элементов используют цвета: для рек, озер, каналов, заболоченных участков — синий; лесов и садов — зеленый; шоссеиных дорог — красный; улучшенных грунтовых дорог — оранжевый.

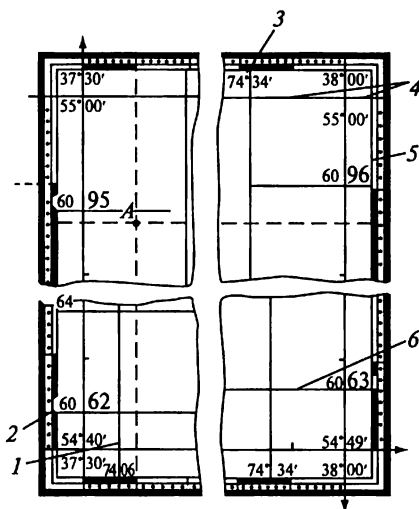
Все остальное дают черным цветом. На изыскательских планах цветными делают подземные коммуникации (трубопроводы, кабели).

### **3.4. Определение координат, расстояний и углов на планах и картах**

Географические координаты точки  $A$  (рис. 3.5) широту  $\varphi$  и долготу  $\lambda$  определяют на плане или карте, пользуясь минутными шкалами рамок трапеции. Для определения широты через точку  $A$  проводят линию параллельно рамкам трапеций и берут отсчеты в местах пересечения со шкалой западной или восточной рамки. Аналогично для определения долготы через точку  $A$  проводят меридиан и берут отсчеты по шкалам северной или южной рамки.



Рис. 3.5. Определение координат точки на топографическом плане:  
 1 — вертикальная километровая линия;  
 2 — цифровые обозначения горизонтальных линий координатной сетки;  
 3 — цифровые обозначения вертикальных линий координатной сетки;  
 4 — внутренняя рамка; 5 — рамка с минутами; 6 — горизонтальная километро-  
 вая линия



В приведенном примере широта  $\varphi = 54^{\circ}58,6'$  с. ш., долгота  $\lambda = 37^{\circ}31,0'$  в. д.

Прямоугольные координаты  $x_A$  и  $y_A$  точки  $A$  определяют относительно километровых линий сетки.

Для этого измеряют расстояние  $\Delta x$  и  $\Delta y$  по перпендикулярам до ближайших километровых линий с координатами  $x_0$  и  $y_0$  и находят

$$x_A = x_0 + \Delta x$$

и

$$y_A = y_0 + \Delta y.$$

Расстояния между точками на планах и картах определяют с помощью линейного или поперечного масштаба, криволинейные отрезки — прибором курвиметром.

Для измерения дирекционного угла линии через начальную ее точку проводят линию, параллельную оси абсцисс, и непосредственно при этой точке измеряют дирекционный угол. Можно также продолжить линию до пересечения ею ближайшей линии ординат координатной сетки и измерить дирекционный угол в точке пересечения.

Для непосредственного измерения истинного азимута линии через ее начальную точку проводят меридиан (параллельно восточной или западной рамке трапеции) и относительно него измеряют азимут.

Так как меридиан проводить трудно, можно определить сначала дирекционный угол линии, а затем по приведенным формулам вычислить истинный и магнитный азимуты.

## РЕЛЬЕФ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ И ЕГО ИЗОБРАЖЕНИЕ

### 4.1. Формы рельефа и его изображение

*Рельефом местности* называется совокупность неровностей земной поверхности.

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 повышений и понижений; горная представляет собой чередование возвышений высотой более 500 м над уровнем моря, разделенных долинами.

Из всего многообразия форм рельефа местности можно выделить наиболее характерные (рис. 4.1).

*Гора* (холм, высота, сопка) — это возвышающаяся над окружающей местностью конусообразная форма рельефа, наивысшая точка которой называется вершиной (3, 7, 12). Вершина в виде площадки называется плато, вершина остроконечной формы — пиком. Боковая поверхность горы состоит из скатов, линия слияния их с окружающей местностью — подошва, или основание, горы.

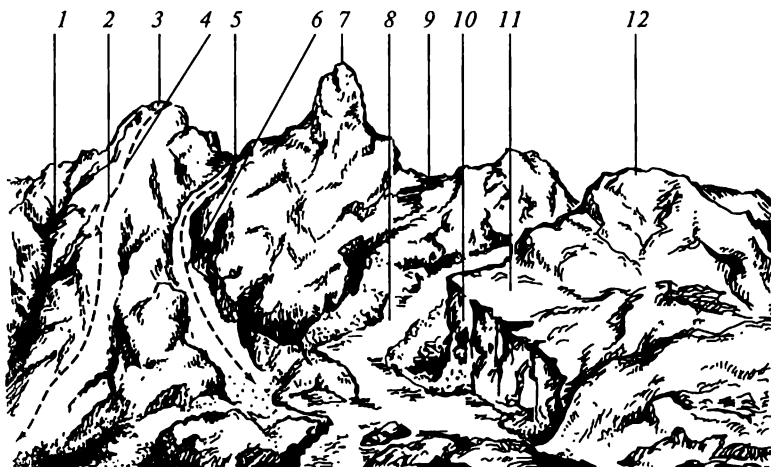


Рис. 4.1. Характерные формы рельефа:

1 — лощина; 2 — хребет; 3, 7, 12 — вершины; 4 — водораздел; 5, 9 — седловины; 6 — тальвег; 8 — река; 10 — обрыв; 11 — терраса

*Котловина*, или *впадина*, — это углубление в виде чаши. Самая низкая точка котловины — дно. Боковая поверхность ее состоит из скатов, линия слияния их с окружающей местностью называется бровкой.

*Хребет 2* — это возвышенность, постепенно понижающаяся в одном направлении и имеющая два крутых ската, называемых склонами. Ось хребта между двумя склонами называется водораздельной линией или водоразделом 4.

*Лощина 1* — это вытянутое углубление местности, постепенно понижающееся в одном направлении. Ось лощины между двумя скатами называется водосливной линией или тальвегом 6. Разновидностями лощины являются: долина — широкая лощина с пологими склонами, а также овраг — узкая лощина с почти отвесными склонами (обрывами 10). Начальной стадией оврага является промоина. Овраг, заросший травой и кустарником, называется балкой. Расположенные иногда по склонам лощин площадки, имеющие вид уступа или ступени с почти горизонтальной поверхностью, называются террасами 11.

*Седловины 5, 9* — это пониженные части местности между двумя вершинами. Через седловины в горах часто проходят дороги; в этом случае седловина называется перевалом.

Вершина горы, дно котловины и самая низкая точка седловины являются *характерными точками рельефа*. Водораздел и тальвег представляют собой *характерные линии рельефа*. Характерные точки и линии рельефа облегчают распознавание отдельных форм его на местности и изображение их на карте и плане.

Способ изображения рельефа на картах и планах должен давать возможность судить о направлении и крутизне скатов, а также определять отметки точек местности. Вместе с тем он должен быть наглядным. Известны различные способы изображения рельефа: перспективное, штриховка линиями разной толщины, цветной отмыв (горы — коричневые, лощины — зеленые), подписи отметок точек, горизонтали. Наиболее совершенные с инженерной точки зрения способы изображения рельефа — горизонталями в сочетании с подписью отметок характерных точек (рис. 4.2) и цифровой.

*Горизонталь* — это линия на карте, соединяющая точки с равными высотами. Если представить себе сечение поверхности Земли горизонтальной (уровенной) поверхностью  $P_0$ , то линия пересечения этих по-

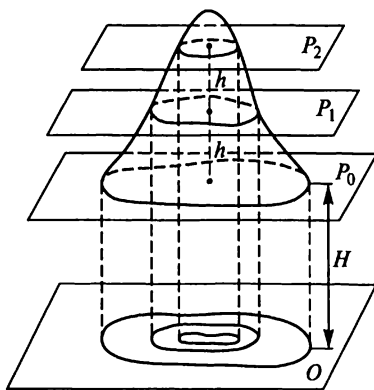


Рис. 4.2. Изображение рельефа горизонталями

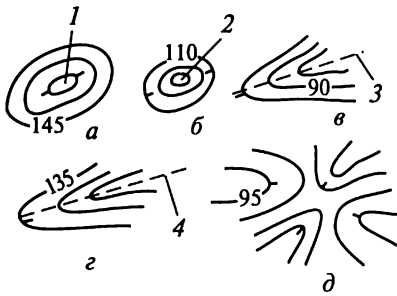


Рис. 4.3. Изображение горизонталями характерных форм рельефа: *a* — гора; *б* — котловина; *в* — хребет, *г* — лощина; *д* — седловина; 1 — вершина; 2 — дно; 3 — водораздел; 4 — тальвег

верхностей, ортогонально спроецированная на плоскость и уменьшенная до размера в масштабе карты или плана, и будет горизонталью. Если поверхность  $P_0$  расположена на высоте  $H$  от уровня поверхности, принятой за начало отсчета 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  $P_1, P_2, \dots, P_n$ , расположенных на одинаковом

расстоянии  $h$  друг от друга. В результате на карте получают горизонтали с отметками  $H + h, H + 2h$  и т.д.

Расстояние  $h$  между секущими горизонтальными плоскостями называется *высотой сечения рельефа*. Ее значение указывается на карте или плане под линейным масштабом. В зависимости от масштаба карты и характера изображаемого рельефа высота сечения различна.

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

Горизонтали никогда не пересекаются, за исключением нависшего утеса, естественных и искусственных воронок, узких оврагов, крутых обрывов, которые не отображаются горизонталями, а обозначаются условными знаками.

Основные формы рельефа изображаются горизонталями следующим образом (рис. 4.3).

Изображения горы и котловины (см. рис. 4.3, *a, б*), так же как хребта и лощины (см. рис. 4.3, *в, г*), сходны между собой. Чтобы отличить их друг от друга, у горизонтали указывают направление ската. На некоторых горизонталях подписывают отметки характерных точек, причем так, чтобы верх цифр был направлен в сторону повышения ската.

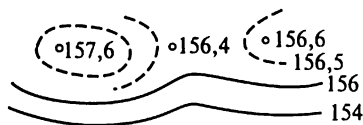


Рис. 4.4. Полу- и четвертьгоризонтали

Если при данной высоте сечения рельефа некоторые характерные особенности его не могут быть выражены, то проводят дополнительные полу- и четвертьгоризонтали соответственно через половину или четвертую часть принятой высоты сечения рельефа (рис. 4.4). Дополни-

тельные горизонталы вычерчивают пунктирными линиями, иногда в виде отрезков.

Чтобы облегчить чтение горизонталей на карте, некоторые из них утолщают. При высоте сечения 1, 5, 10 и 20 м утолщают каждую пятую горизонталь с отметками, кратными соответственно 5, 10, 25 и 50 м. При высоте сечения 2,5 м утолщают каждую четвертую горизонталь с отметками, кратными 10 м.

## 4.2. Изображение земной поверхности в цифровом виде

Развитие вычислительной техники и появление автоматических чертежных приборов (графопостроителей) привело к созданию автоматизированных систем для решения различных инженерных задач, связанных с проектированием и строительством сооружений. Часть этих задач решается с использованием топографических планов и карт. В связи с этим появилась необходимость представления и хранения информации о топографии местности в цифровом виде, удобном для применения компьютеров.

В памяти компьютера цифровые данные о местности наилучшим образом могут быть представлены в виде координат  $x$ ,  $y$ ,  $H$  некоторого множества точек земной поверхности. Такое множество точек с их координатами образует *цифровую модель местности* (ЦММ).

По своему содержанию ЦММ разделяется на цифровую модель ситуации (контуров местности) и цифровую модель рельефа (ЦМР).

Все элементы ситуации задаются координатами  $x$  и  $y$  точек, определяющих положение предметов и контуров местности. Цифровая модель рельефа характеризует топографическую поверхность местности. Она определяется некоторым множеством точек с координатами  $x$ ,  $y$ ,  $H$ , выбранных на земной поверхности так, чтобы в достаточной мере отобразить характер рельефа.

Ввиду многообразия форм рельефа подробно описать его в цифровом виде довольно сложно, поэтому в зависимости от решаемой задачи и характера рельефа применяют различные способы составления цифровых моделей. Например, ЦМР может иметь

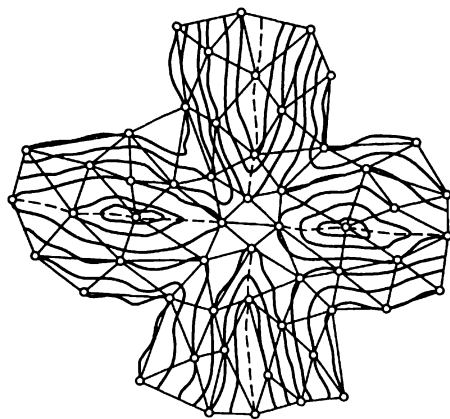


Рис. 4.5. Схема расположения точек цифровой модели в характерных местах рельефа и на горизонталях

вид таблицы значений координат  $x$ ,  $y$ ,  $H$  в вершинах некоторой сетки квадратов или правильных треугольников, равномерно расположенных на всей площади участка местности. Расстояние между вершинами выбирается в зависимости от формы рельефа и решаемой задачи. Модель может быть задана также в виде таблицы координат точек, расположенных в характерных местах (перегибах) рельефа (водоразделах, тальвегах и др.) или на горизонталях (рис. 4.5). Пользуясь значениями координат точек цифровой модели рельефа для более подробного его описания на компьютере по специальной программе, определяют высоту любой точки участка местности.

### 4.3. Решение задач по картам и планам с горизонталями

**Определение крутизны ската.** Крутизна ската характеризуется углом наклона  $v$ , который образует линия местности, например  $AB$ , с горизонтальной плоскостью  $P$  (рис. 4.6).

Из прямоугольного треугольника  $ABB'$  следует:

$$\operatorname{tg} v = h/a, \quad (4.1)$$

где  $h$  — высота сечения рельефа;  $a$  — заложение.

Зная тангенс, по таблицам значений тригонометрических функций находят значение угла наклона.

Крутизну ската характеризуют также уклоном линии

$$i = \operatorname{tg} v. \quad (4.2)$$

Уклон линии измеряют в процентах или промилле (‰), т.е. тысячных долях единицы.

**Пример 4.1.** Определить угол наклона и уклон ската местности между горизонталями на плане масштаба 1:1000, если заложение равно 20 мм, высота сечения рельефа  $h = 1,0$  м.

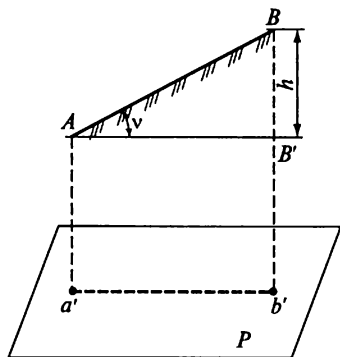


Рис. 4.6. Схема к определению крутизны ската

На местности заложению будет соответствовать длина отрезка  $a'b' = 20 \text{ мм} \times 1000 = 20000 \text{ мм} = 20 \text{ м}$ . По формулам (4.1) и (4.2)  $\operatorname{tg} v = i = 1:20 = 0,05$ . Следовательно,  $i = 5\% = 50\text{‰}$ , а  $v = 2,9^\circ$ .

Как правило, при работе с картой или планом угол наклона либо уклон ската определяют, пользуясь графиками (рис. 4.7), называемыми масштабами (или шкалами) заложений.

Для этого с плана раствором циркуля берут заложение между двумя горизонталями по данному скату, затем по графику находят то место, где

Для этого с плана раствором циркуля берут заложение между двумя горизонталями по данному скату, затем по графику находят то место, где

Масштаб 1:1000  
 Высота сечения  $h = 1,0$  м

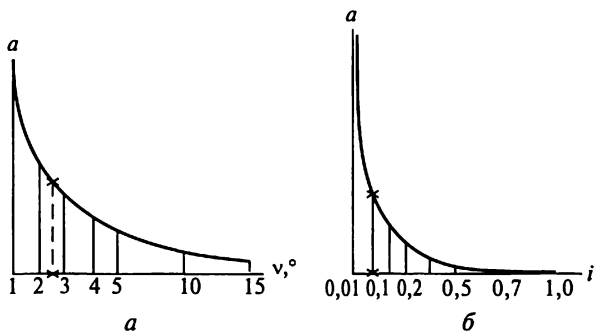


Рис. 4.7. Графики заложений к плану масштаба 1:1000 при высоте сечения рельефа  $h = 1,0$  м:  
 $a$  — для углов наклона;  $b$  — уклонов

расстояние между кривой и горизонтальной прямой равно этому заложению. Для найденной таким образом ординаты читают значение  $v$  или  $i$  по горизонтальной прямой (на приведенных графиках отмечено звездочками:  $v = 2,5^\circ$ ;  $i = 0,05 = 5\%$ ).

**Определение отметок точек местности.** Если точка расположена на горизонтали, ее отметка равна отметке горизонтали. Когда точка  $K$  находится между горизонталями с разными высотами, ее отметка  $H_K$  определяется интерполированием (нахождением промежуточных значений величин) «на глаз» между отметками этих горизонталей.

Интерполирование заключается в определении коэффициента пропорциональности расстояния  $d$  от определяемой точки до меньшей по значению горизонтали  $H_{м.г}$  к величине заложения  $a$ , т.е. отношения  $d/a$ , и умножения его на значение высоты сечения рельефа  $h$ .

**Пример 4.2.** Отметка точки  $K$ , расположенной между горизонталями с отметками 150 и 152,5 м (рис. 4.8,  $a$ ),  $H_K = H_{м.г} + (d/a)h = 150 + 0,4 \cdot 2,5 = 151$  м.

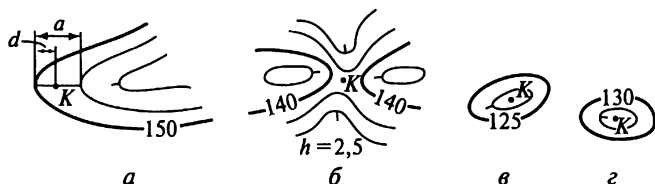


Рис. 4.8. Определение отметок точек по горизонталям:  
 $a \dots г$  — схемы при высоте сечения  $h = 2,5$  м

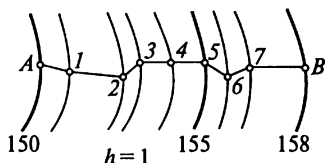


Рис. 4.9. Схема проведения на карте линии заданного предельного уклона

Если определяемая точка расположена между одноименными горизонталями — на седловине (рис. 4.8, б) или внутри замкнутой горизонтали — на холме или котловине (рис. 4.8, в, г), то ее отметку можно определить лишь приближенно, считая, что она больше или меньше высоты этой горизонтали на  $0,5h$ . Например, на рисунке для седловины отметка точки  $K$  равна 138,8 м, для холма — 128,8 м, котловины — 126,2 м.

**Проведение на карте линии заданного предельного уклона** (рис. 4.9). Между заданными на карте точками  $A$  и  $B$  требуется провести кратчайшую линию так, чтобы ни один отрезок не имел уклона больше заданного предельного  $i_{пр}$ .

Проще всего задача решается с помощью масштаба заложения для уклонов. Взяв по нему раствором циркуля заложение  $a_{пр}$ , соответствующее уклону, засекают последовательно точки  $1...7$  — все горизонтали от точки  $A$  до точки  $B$ . Если раствор циркуля меньше расстояния между горизонталями, то линию проводят по кратчайшему направлению. Соединив все точки, получают линию с заданным предельным уклоном.

Если нет масштаба заложений, то заложение  $a_{пр}$  можно подсчитать по формуле  $a_{пр} = h/(i_{пр}M)$ , где  $M$  — знаменатель числового масштаба карты.

**Построение профиля местности по заданному на карте направлению.** Рассмотрим построение профиля на конкретном примере (рис. 4.10). Пусть требуется построить профиль местности по линии  $AB$ . Для этого линию  $AB$  переносят в масштабе карты на бумагу и отмечают на ней точки  $1, 2, 4, 5, 7, 9$ , в которых она пересекает горизонтали, а также характерные точки рельефа ( $3, 6, 8$ ). Линия  $AB$  служит основанием профиля. Взятые с карты отметки

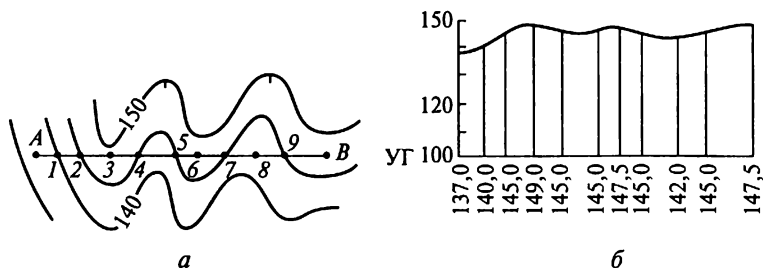


Рис. 4.10. Схемы построения профиля по заданному направлению:  $a$  — направление по карте;  $b$  — профиль по направлению



точек откладывают на перпендикулярах (ординатах) к основанию профиля в масштабе, в 10 раз превышающем горизонтальный масштаб. Полученные точки соединяют плавной линией. Обычно ординаты профиля уменьшают на одну и ту же величину, т.е. строят профиль не от нуля высот, а от *условного горизонта* УГ (на рис. 4.10 за условный горизонт принята высота, равная 100 м).

С помощью профиля можно установить взаимную видимость между двумя точками, для чего их нужно соединить прямой линией. Если построить профили из одной точки по нескольким направлениям, то можно нанести на карту или план участки местности, не видимые с этой точки. Такие участки называют *полями видимости*.

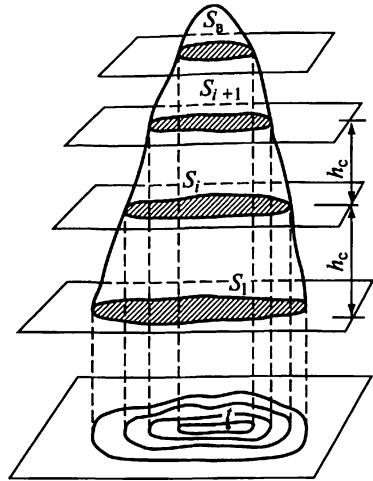


Рис. 4.11. Схема определения объема по карте с горизонталями

**Вычисление объемов** (рис. 4.11). По карте с горизонталями можно вычислить объемы горы и котловины, изображаемых системой горизонталей, замыкающихся в пределах небольшой площади. Для этого формы рельефа делят на части, ограниченные двумя соседними горизонталями. Каждую такую часть можно приблизительно принять за усеченный конус, объем которого  $V_i = (1/2)(S_i + S_{i+1})h_c$ , где  $S_i$  и  $S_{i+1}$  — площади, ограниченные на карте нижней и верхней горизонталями, являющимися основаниями усеченного конуса;  $h_c$  — высота сечения рельефа;  $i = 1, 2, \dots, k$  — текущий номер усеченного конуса.

Площади  $S$  измеряют планиметром (механическим или электронным).

Приблизительно площадь участка можно определить, деля его на множество правильных математических фигур (трапеций, треугольников и т.п.) и суммируя по площади. Объем  $V_b$  самой верхней части вычисляют как объем конуса, площадь основания которого равна  $S_b$ , а высота  $h$  — разности отметок верхней точки  $t$  и горизонтали, ограничивающей основание конуса:

$$V_b = (S_b/3)h.$$

Если отметка точки  $t$  на карте не подписана, то принимают  $h = h_c/2$ .

Полный объем вычисляют как сумму объемов отдельных частей:

$$V = V_1 + V_2 + \dots + V_k + V_b,$$

где  $k$  — число частей.

## ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ ПОГРЕШНОСТЕЙ ИЗМЕРЕНИЙ

### 5.1. Погрешности и их виды

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

Из практики известно, что даже при самой тщательной и аккуратной работе многократные (повторные) измерения не дают одинаковых результатов. Это указывает на то, что получаемые результаты не являются точным значением измеряемой величины, а несколько отклоняются от него. Значение отклонения характеризует точность измерений. Если обозначить истинное значение измеряемой величины  $X$ , а результат измерения  $l$ , то истинная погрешность измерения  $\Delta = l - X$ .

Любая погрешность результата измерения есть следствие действия многих факторов, каждый из которых порождает свою погрешность. Погрешности, происходящие от отдельных факторов, называют *элементарными*. Погрешности *результата измерения* являются алгебраической суммой элементарных погрешностей.

Изучением основных свойств и закономерностей действия погрешностей измерений, разработкой методов получения наиболее точного значения измеряемой величины и характеристик ее точности занимается *теория погрешностей измерений*. Излагаемые в ней методы решения задач позволяют рассчитать необходимую точность предстоящих измерений и на основании этого расчета выбрать соответствующие приборы и технологию измерений, а после производства измерений получить наилучшие их результаты и оценить их точность. Математической основой теории погрешностей измерений являются *теория вероятностей* и *математическая статистика*.

Погрешности измерений разделяют по двум признакам: характеру их действия и источнику происхождения.

По характеру действия погрешности бывают грубые, систематические и случайные.

*Грубыми* называют погрешности, превосходящие по абсолютной величине некоторый установленный для данных условий измерений предел. Они происходят в большинстве случаев в результате промахов и просчетов исполнителя. Такие погрешности обнаруживают повторными измерениями, а результаты, содержащие их, бракуют и заменяют новыми.

Погрешности, которые по знаку или величине однообразно повторяются в многократных измерениях (например, в длине ли-

нии из-за неточного знания длины мерного прибора, из-за неточности уложения мерного прибора в створе этой линии и т.п.), называют *систематическими*. Влияние систематических погрешностей стремятся исключить из результатов измерений или ослабить тщательной проверкой измерительных приборов, применением соответствующей методики измерений, а также введением поправок в результаты измерений.

*Случайными* являются погрешности, размер и влияние которых на каждый отдельный результат измерения остаются неизвестными. Величину и знак случайной погрешности заранее установить 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, например погрешность угла, измеренного теодолитом, неточным приведением в вертикальное положение оси его вращения.

*Внешние* погрешности происходят из-за влияния внешней среды, в которой протекают измерения, например погрешность в отсчете по нивелирной рейке из-за изменения температуры воздуха на пути светового луча (рефракция) или нагрева нивелира солнечными лучами.

*Личные* погрешности связаны с особенностями наблюдателя, например, разные наблюдатели по-разному наводят зрительную трубу на визирную цель.

Так как грубые погрешности должны быть исключены из результатов измерений, а систематические исключены или ослаблены до минимально допустимого предела, то проектирование измерений с необходимой точностью и оценку результатов выполненных измерений производят, основываясь на свойствах случайных погрешностей.

## 5.2. Свойства случайных погрешностей

Случайные погрешности характеризуются следующими свойствами.

1. При определенных условиях измерений случайные погрешности по абсолютной величине не могут превышать известного предела, называемого *предельной погрешностью*. Это свойство позволяет обнаруживать и исключать из результатов измерений грубые погрешности.

2. Положительные и отрицательные случайные погрешности примерно одинаково часто встречаются в ряду измерений, что помогает выявлению систематических погрешностей.

3. Чем больше абсолютная величина погрешности, тем реже она встречается в ряду измерений.

4. Среднее арифметическое из случайных погрешностей измерений одной и той же величины, выполненных при одинаковых условиях, при неограниченном возрастании числа измерений стремится к нулю. Это свойство, называемое *свойством компенсации*, можно математически записать так:  $\lim_{n \rightarrow \infty} ([\Delta]/n) = 0$ , где  $[\Delta]$  — знак суммы, 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  $\lim_{n \rightarrow \infty} ([I]/n) = X$ .

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

### 5.3. Средняя квадратическая, предельная и относительная погрешности

Для правильного использования результатов измерений необходимо знать, с какой точностью, т. е. 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 следующей формуле:

$$m = \sqrt{\frac{\Delta_1^2 + \Delta_2^2 + U + \Delta_n^2}{n}} = \sqrt{\frac{[\Delta^2]}{n}}, \quad (5.1)$$

где  $n$  — число измерений данной величины.

Эта формула применима 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 среднюю. Для этого случая средняя квадратическая погрешность одного измерения подсчитывается по формуле Бесселя:

$$m = \sqrt{\frac{[\delta^2]}{n-1}}, \quad (5.2)$$

где  $\delta$  — отклонения отдельных значений измеренной величины от арифметической середины, называемые *вероятнейшими погрешностями*, причем  $[\delta] = 0$ .

Точность арифметической середины, естественно, будет выше точности отдельного измерения. Ее средняя квадратическая погрешность определяется по формуле

$$M = m/\sqrt{n}, \quad (5.3)$$

где  $m$  — средняя квадратическая погрешность одного измерения, вычисляемая по формулам (5.1) или (5.2).

Часто в практике для контроля и повышения точности определяемую величину измеряют дважды — в прямом и обратном направлениях, например, длину линий, превышения между точками. Из двух полученных значений за окончательное принимается среднее из них. В этом случае средняя квадратическая погрешность одного измерения

$$m = \sqrt{\frac{[d^2]}{2n}}, \quad (5.4)$$

а среднего результата из двух измерений

$$M = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{[d^2]}{n}}, \quad (5.5)$$

где  $d$  — разность двукратно измеренных величин;  $n$  — число разностей (двойных измерений).

В соответствии с первым свойством случайных погрешностей для абсолютной величины случайной погрешности при данных условиях измерений существует допустимый предел, называемый *предельной погрешностью*. В строительных нормах предельная погрешность называется *допускаемым отклонением*.

Теорией погрешностей измерений доказывается, что абсолютное большинство случайных погрешностей (68,3%) данного ряда измерений находится в интервале от 0 до  $\pm m$ ; в интервал от 0 до  $\pm 2m$  попадает 95,4%, а от 0 до  $\pm 3m$  — 99,7% погрешностей. Таким образом, из 100 погрешностей данного ряда измерений лишь пять могут оказаться больше или равны  $2m$ , а из 1000 погрешностей только три будут больше или равны  $3m$ . На основании этого в качестве предельной погрешности  $\Delta_{\text{пр}}$  для данного ряда измерений принимается утроенная средняя квадратическая погрешность, т. е.  $\Delta_{\text{пр}} = 3m$ . На практике во многих работах для повышения требований точности измерений принимают  $\Delta_{\text{пр}} = 2m$ . Погрешности измерений, величины которых превосходят  $\Delta_{\text{пр}}$ , считают грубыми.

Иногда о точности измерений судят не по абсолютной величине средней квадратической или предельной погрешности, а по величине относительной погрешности.

Относительной погрешностью называется отношение абсолютной погрешности к значению самой измеренной величины. Относительную погрешность выражают в виде простой дроби, числитель которой — единица, а знаменатель — число, округленное до двух-трех значащих цифр с нулями. Например, относительная средняя квадратическая погрешность измерения линии длиной  $l = 110$  м при  $m_i = 2$  см равна  $m_i/l = 1/5500$ , а относительная предельная погрешность при  $\Delta_{пр} = 3m = 6$  см  $\Delta_{пр}/l = 1/1800$ .

#### 5.4. Оценка точности результатов измерений

Точность результатов многократных измерений одной и той же величины оценивают в такой последовательности.

1. Находят вероятнейшее (наиболее точное для данных условий) значение измеренной величины по формуле арифметической середины  $x = [l]/n$ .

2. Вычисляют отклонения  $\delta_i = l_i - x$  каждого значения измеренной величины  $l_1, l_2, \dots, l_n$  от значения арифметической середины. Контроль вычислений:  $[\delta] = 0$ .

3. По формуле Бесселя (5.2) вычисляют среднюю квадратическую погрешность одного измерения.

4. По формуле (5.3) вычисляют среднюю квадратическую погрешность арифметической середины.

5. Если измеряют линейную величину, то подсчитывают относительную среднюю квадратическую погрешность каждого измерения и арифметической середины.

6. При необходимости подсчитывают предельную погрешность одного измерения, которая может служить допустимым значением погрешностей аналогичных измерений.

Таблица 5.1

№ п/п	$l$ , м	$\delta$ , см	$\delta^2$ , см <sup>2</sup>	Вычисления
1	121,75	-1	1	$m_i = \sqrt{81/(6-1)} = 4,0$ см $M = 4,0/\sqrt{6} = 1,6$ см $m_i/l = 1/3000$ $M/l = 1/7600$ $\Delta_{пр} = 12$ см
2	121,81	+5	25	
3	121,77	+1	1	
4	121,70	-6	36	
5	121,73	-3	9	
6	121,79	+3	9	
Среднее	121,76	$\Sigma = -1$	$\Sigma = 81$	

Таблица 5.2

№ п/п	Время измерения, ч	$t_1, ^\circ\text{C}$	$t_2, ^\circ\text{C}$	$t_{\text{cp}} = (t_1 + t_2)/2$	$d = t_1 - t_2$	$d^2$	Вычисления
1	0	12,4	12,6	12,5	-0,2	0,04	
2	2	11,7	12,0	11,8	-0,3	0,09	
3	4	12,0	12,0	12,0	0	0	
4	6	15,1	14,7	14,9	+0,4	0,16	
5	8	16,0	15,8	15,9	+0,2	0,04	
6	10	20,5	20,6	20,6	-0,1	0,01	
7	12	24,9	25,2	25,0	-0,3	0,09	
8	14	25,2	25,2	25,2	0	0	
9	16	24,4	24,2	24,3	+0,2	0,04	
10	18	20,1	20,0	20,0	+0,1	0,01	
11	20	16,1	16,4	16,2	-0,3	0,09	
12	22	13,5	13,4	13,4	+0,1	0,01	
					$\Sigma = -0,2$	$\Sigma = 0,58$	

*Примечание.* Если в округляемом числе последняя цифра 5, то ее округляют до четной цифры, например: 10,375 — до 10,38; 0,245 — до 0,24.

**Пример 5.1.** Длина линии местности измерена шесть раз. Требуется определить вероятнейшее значение длины линии и оценить точность выполненных измерений. Результаты измерений и вычислений записывают по форме, приведенной в табл. 5.1.

**Пример 5.2.** На метеостанции температура воздуха измерялась в разное время суток двумя одинаковыми термометрами.

Требуется определить среднюю квадратическую погрешность измерения температуры воздуха одним термометром и среднего значения из одновременных измерений двумя термометрами. Значения измеренных температур воздуха и оценку точности измерений записывают по форме, приведенной в табл. 5.2.

Оценку точности по разностям двукратных измерений производят в такой последовательности. 1. Вычисляют среднее значение из двукратных измерений. 2. Вычисляют разности  $d$  двукратных измерений. 3. По формуле (5.4) вычисляют среднюю квадратическую погрешность одного измерения. 4. По формуле (5.5) вычисляют среднюю квадратическую погрешность среднего результата из двух измерений.

## ИЗМЕРЕНИЕ ДЛИНЫ ЛИНИЙ

## 6.1. Измерение длины линий мерными приборами

**Виды измерителей.** Измерение линий на местности — один из самых распространенных видов геодезических измерений. Без измерения линий не обходится ни одна геодезическая работа. Линии измеряют на горизонтальной, наклонной и вертикальной плоскостях. Их производят непосредственно — металлическими и деревянными метрами, рулетками, землемерными лентами и специальными проволоками, а также косвенно — электронными, нитяными и другими дальномерами.

Метры из-за простоты их конструкции рассматривать нет необходимости, однако следует подчеркнуть, что при использовании складных метров необходимо прежде всего проверить наличие всех звеньев.

Рулетки выпускают стальные (рис. 6.1) и тесемочные длиной 1, 2, 5, 10, 20, 30, 50 и 100 м, шириной 10...12 мм, толщиной 0,15...0,30 мм. На полотне рулетки наносят *штрихи* — деле-

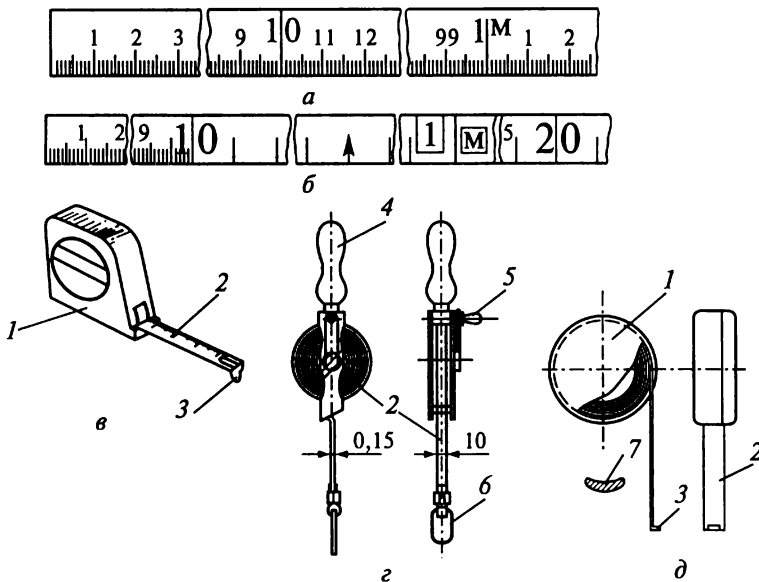


Рис. 6.1. Стальные рулетки:

*а, б* — виды делений; *в* — карманная, автоматически сматывающаяся; *г* — на вилке; *д* — в футляре; 1 — футляр; 2 — полотно; 3 — Г-образные окончания для фиксации; 4, 5 — ручки; 6 — кольцо; 7 — желобковый вид сечения



ния через 1 мм по всей длине или только на первом дециметре. В последнем случае все остальное полотно размечают сантиметровыми штрихами. Цифры подписывают у каждого дециметрового деления. Чтобы измерить расстояние между двумя точками штрих с подписью 0 (ноль) прикладывают к одной точке и смотрят, какой штрих совпадает со второй точкой. Если вторая точка не совмещается со штрихом на рулетке, а попадает между ними, то расстояние между штрихами визуально делят на 10 частей и «на глаз» оценивают отстояние ее от ближайшего штриха. У рулеток с миллиметровыми делениями (см. рис. 6.1, а) отсчет берут до 0,1 мм, у рулеток с сантиметровыми делениями (см. рис. 6.1, б) — до 0,1 деления или до 1 мм. Цифры у метровых делений даны с размерностью метров — буквой м. Стальные рулетки выпускают либо в футляре (см. рис. 6.1, в), либо с полотном, намотанным на крестовину (вилку) (см. рис. 6.1, г). Для измерений коротких отрезков металлические рулетки делают изогнутыми по ширине — желобковыми (см. рис. 6.1, д).

Длинномерные рулетки типа РК (на крестовине) и РВ (на вилке) применяют в комплекте с приборами для натяжения — *динамометрами*. Как правило, пружинными динамометрами обеспечивают натяжение рулеткам до 100 Н (стандартное натяжение, равное усилию 10 кг). Тесемочные рулетки состоят из плотного полотна с металлическими, обычно медными, прожилками. Полотно тесемочной рулетки покрыто краской и имеет деления через 1 см. Тесемочными рулетками пользуются, когда не требуется

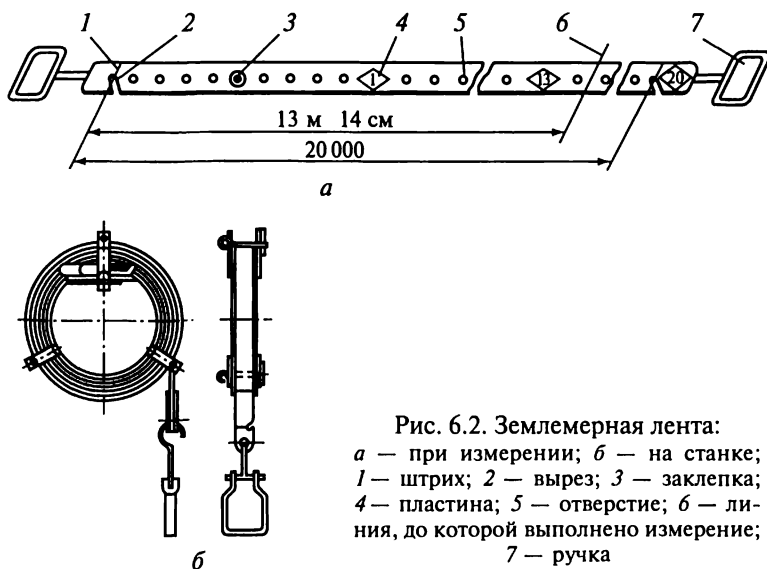


Рис. 6.2. Землемерная лента:  
 а — при измерении; б — на станке;  
 1 — штрих; 2 — вырез; 3 — заклепка;  
 4 — пластина; 5 — отверстие; 6 — линия, до которой выполнено измерение;  
 7 — ручка

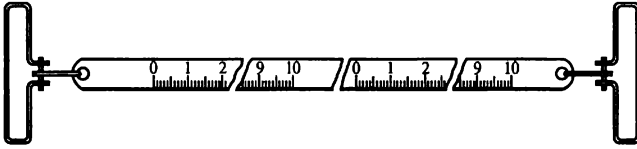


Рис. 6.3. Землемерная лента шкаловая

высокая точность измерений. Тесемочные рулетки свертывают в пластмассовый корпус.

Лента землемерная (ЛЗ) представляет собой стальную толосу длиной 20, 24, 30 и 50 м, шириной 10... 15 мм и толщиной 1,5 мм (рис. 6.2). На концах ленты нанесено по одному штриху 1, между которыми и считается длина ленты. У штрихов сделаны вырезы 2, в которые вставляют шпильки, фиксируя длины измеряемых отрезков. Оканчивается лента ручками 7. На каждой плоскости ленты отмечены деления через 1; 0,5 и 0,1 м. Для исключения просчетов при измерении линий короче номинальной длины ленты подписи метровых делений на одной плоскости возрастают от одного конца ленты, а на другой плоскости — от противоположного конца. Метры на ленте отмечены медными пластинами 4, толуметровые деления — заклепками 3, дециметровые — отверстиями 5. Более мелких делений не делают. Длину отсчитывают с точностью до сотых долей метра делением дециметровых частей между отверстиями «на глаз». На приведенном рисунке отсчет от начального штриха до вертикальной полосы равен 13 м 14 см.

Землемерная лента шкаловая (ЗЛШ) отличается от описанной выше наличием на ее концах шкал с миллиметровыми делениями (рис. 6.3). Длины отрезков на концах ленты с миллиметровыми делениями равны 10 см. Номинальной длиной ленты является расстояние между нулевыми штрихами шкал.

В комплекты ЛЗ и ЗЛШ входят наборы (6...11 шт.) шпилек — металлических стержней с заостренными концами и кольцами-ручками (рис. 6.4). Для переноски шпильки надевают на проволочное кольцо.

Для транспортировки и хранения ленты наматывают на металлическое кольцо — станок.

Для некоторых видов точных измерений применяют специальные инварные проволоки.

(Инвар — это сплав, содержащий железо, никель, углерод, марганец и другие примеси.) Инвар обладает малым коэффициентом линейного расширения в зависимости от температуры, повышенной твердостью и упругостью. На концах проволоки закреплены специальные шкалы-линейки с наименьшими делениями

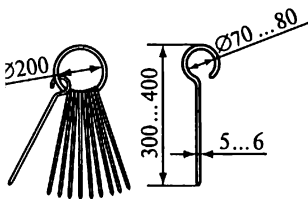


Рис. 6.4. Набор шпилек

ниями 1 мм. На остальной части проволоки маркировки длины нет. Поэтому проволоками измеряют расстояния, равные длине между штрихами (24 м). Расстояния, не кратные 24 м, измеряют инварными рулетками.

На практике применяют также другие приборы и инструменты для непосредственного измерения линий, например: длиномеры (измерения аналогичны измерениям проволоками); нутромеры — концевые меры со сферическими окончаниями для измерения и контроля расстояний контактным способом; катетометры — специальные приборы для измерения небольших (до 1 м) вертикальных отрезков с очень большой точностью (0,006...0,050 мм); измерительные микроскопы, а также шаблоны и другие приспособления, часть из которых будет рассмотрена при изучении геодезического обеспечения строительно-монтажных работ.

**Компарирование.** 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 определяется уравнением, которое в общем виде можно записать следующим образом:

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

где  $l_0$  — номинальная длина ленты при нормальной температуре (в Российской Федерации +20 °С);  $\Delta l_k$  — поправка, обусловленная компарированием;  $\Delta l_t$  — поправка из-за температуры.

Уравнение мерного прибора может иметь, например, такой вид:

$$l_{30} = 30 + 3,8 \text{ при } t = +20 \text{ °С.}$$

Это означает, что мерный прибор длиной 30 м при температуре +20 °С имеет поправку к конечному штриху +3,8 мм.

Чтобы вычислить номинальную длину мерного прибора для каждого температурного режима эксплуатации, поступают следующим образом. Сначала определяют величину поправки из-за температуры. Известно, что коэффициент линейного расширения стали  $\alpha = 12,5 \cdot 10^{-6}$  м/град при изменении температуры на 1 °С.

Пусть требуется узнать полную поправку при температуре эксплуатации –6 °С. Тогда для мерного прибора  $L = 30$  м поправка  $\Delta l_t = \alpha(t - t_0)L = 12,5 \cdot 10^{-6} \cdot (-6 - 20) \cdot 30 \text{ м} = -9,8 \text{ мм}$ , а общая длина ленты  $l_{30} = 30 \text{ м} + 3,8 \text{ мм} - 9,8 \text{ мм} = 29,994 \text{ м}$ .

В производственных условиях мерные приборы чаще всего эталонируют на полевых компараторах. Эти компараторы представляют собой выровненные участки местности преимущественно с твердым покрытием. Концы компаратора закрепляют знаками со специальными метками, расстояние между которыми известно с большой точностью.

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

$$\Delta l_k = (l_0 - l_{\Sigma})/n,$$

где  $l_{\Sigma}$  — измеренная длина компаратора;  $n$  — число укладываний мерного прибора.

Рассмотрим процесс эталонирования, если длина мерного прибора, например рулетки, примерно равна длине компаратора. Рулетку разматывают и укладывают вдоль компаратора. С помощью динамометра рулетке придают натяжение 100 Н и наблюдатели подводят штрихи рулетки к меткам знаков. Руководитель работы измеряет температуру воздуха, и по его команде наблюдатели безотлагательно отсчитывают по шкале рулетки: у переднего (П) и заднего (З) концов. Руководитель эталонирования записывает результаты в специальный журнал (табл. 6.1). Таких отсчетов делают несколько, сдвигая между каждой парой отсчетов рулетку по створу измерений на 2...3 см.

Разности пар отсчетов не должны различаться более чем на 2 мм. Если разность больше, то делают повторные измерения. Температуру воздуха измеряют с точностью до 1 °С.

Поправка в длину рулетки за температуру, при которой производится эталонирование,  $\Delta l_t = 12,5 \cdot 10^{-6} \cdot (10 - 20) \cdot 30 = -3,8$  мм.

Таблица 6.1

Дата \_\_\_\_\_

Наблюдатели: \_\_\_\_\_ Начало измерений \_\_\_\_\_

Руководитель: \_\_\_\_\_ Конец измерений \_\_\_\_\_

№ измерения	$t, ^\circ\text{C}$	Отсчеты, мм		П - З	Примечание
		П	З		
1	+10	29 960	06	29 954	Повторно
		29 986	33	29 953	
		30 000	40	29 960	
		29 908	46	29 862	
		29 982	29	29 953	
		29 965	12	29 953	
		29 972	18	29 954	
		Среднее		29 941,3	

Следовательно, длина отрезка эталонируемой рулетки  $l = 29941,3 - 3,8 = 29937,5$  мм.

Длина компаратора в рассматриваемом примере  $B_0 = 29954$  мм. Тогда поправка в длину рулетки при  $t = +20^\circ\text{C}$  и натяжении 100 Н  $\Delta l_k = l - B_0 = 29937,5 - 29954 = -16,5$  мм.

Для предварительного компарирования или при желании знать фактическую длину вновь вводимого в эксплуатацию мерного прибора со сравнительно небольшой точностью поступают так. Нормальный мерный прибор (нормальным считается прибор, прошедший компарирование) и испытываемый укладывают на одну и ту же плоскость. Совмещают начальные штрихи, обе рулетки натягивают с одинаковой силой и миллиметровой линейкой измеряют расстояния между конечными штрихами. Измеренную величину считают поправкой вводимого в эксплуатацию мерного прибора по отношению к нормальному.

Определение поправки в длину испытываемой рулетки производят после приведения длины нормальной и испытываемой рулеток к одной и той же температуре.

На строительно-монтажной площадке часто приходится откладывать меньшую длину, чем длина рулетки. В этом случае проверяют длины метровых, дециметровых и более мелких делений. Компарирование мелких делений выполняют контрольной (например, Женевской) линейкой, где минимальные отрезки нанесены через 0,2 мм. Показания считывают через увеличительные стекла или микроскопы.

Измерение линий состоит в том, что мерный прибор (ленту, рулетку) последовательно откладывают между начальной и конечной точками измеряемой линии.

Для этого сначала подготавливают к измерению створ линии и измерительные приборы.

При подготовке створа линии к измерению ее концы фиксируют кольями, штырями, обрезками труб и т. п.; расчищают полосы шириной 1,5... 2,0 м от растительности и остатков снесенных строений; забивают колья или штыри в местах перегибов местности. До измерения линию обозначают на местности (примерно через 100 м) вешками — деревянными или металлическими кругляками с равномерной яркой красно-белой окраской и заостренными концами. Вехи устанавливают либо «на глаз», либо с помощью оптической зрительной трубы с такой частотой, чтобы при нахождении мерщика у одной из них обеспечивалась видимость двух смежных. Вешение «на глаз» менее точно, чем с помощью оптической трубы с увеличением, однако его точность вполне достаточна, если измерение делать мерной лентой со шпильками.

Вешение «на глаз» (рис. 6.5, а) выполняют приемами «от себя» и «на себя». При вешении «от себя» один мерщик становится на исходной точке, а на конечной точке второй мерщик установ-

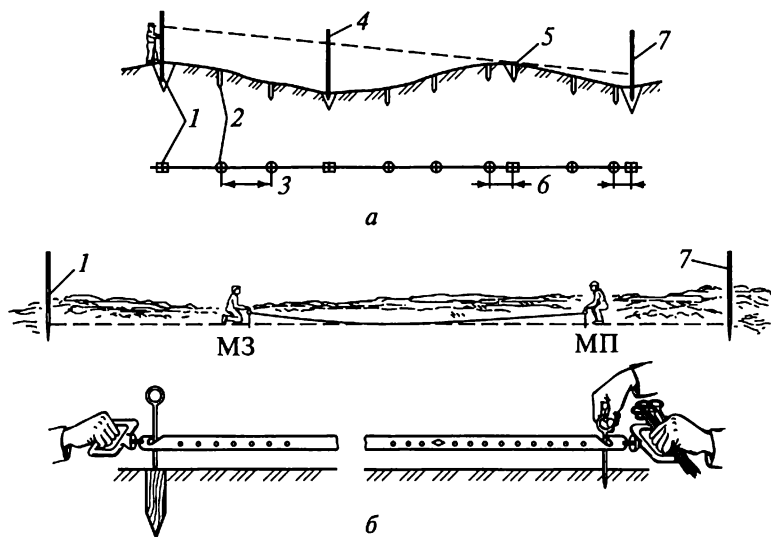


Рис. 6.5. Вешение линии:

а — профиль и план; б — измерение линии; 1, 4, 7 — вехи; 2, 5 — шпильки; 3, 6 — замеры

ливают веху 7 такой высоты, чтобы она была видна с исходной точки.

Второй мерщик по створу на расстоянии не более 100 м от начала устанавливает веху 4, перемещая ее перпендикулярно створу до совпадения ее с вехой 7 на конечной точке. Команды о смещении устанавливаемой вехи в створ подают отмашкой руки.

При вешении «на себя» мерщик выставляет вешку или укладывает мерную ленту в створе двух других вех, имея их перед собой.

Измерение линии (рис. 6.5, б) выполняет бригада из двух человек. Ленту разматывают с кольца. Передний мерщик (МП) с десятью (пятью) шпильками протягивает передний конец ленты и по указанию заднего мерщика (МЗ) укладывает ее в створ измеряемой линии. Задний мерщик совмещает начальный штрих заднего конца ленты с началом линии, вставляя в вырез ленты шпильку. Передний мерщик встряхивает ленту, натягивает ее и в вырез на переднем конце вставляет шпильку. Затем МЗ вынимает заднюю шпильку, МП снимает со шпильки ленту, и оба переносят ее вперед вдоль линии. Дойдя до первой шпильки, МЗ закрепляет на ней ленту, ориентирует МП, выставляя его руку со шпилькой и лентой в створ линии по передней вехе 7. Затем работа продолжается в том же порядке, что и на первом уложении ленты. Целое уложение ленты называется *пролетом*.

Когда все 11 (6) шпилек будут выставлены, у МЗ окажется 10 (5) шпилек. Задний мерщик передает переднему все собранные

шпильки. Измеренный отрезок будет равен  $10l$ , что при 20-метровой длине ленты равно 200 м. Число таких передач записывают в журнал измерений. Сюда же записывают результаты измерения неполного пролета: от последней шпильки в полном пролете до конечной точки линии.

Для контроля линию измеряют вторично, при этом мерщики меняются местами, а за начало измерений принимают бывшую последней точку при измерении линии «прямо».

Чтобы избежать грубых погрешностей при измерении, выполняют следующие действия. 1. Подсчитывают, сколько шпилек у МЗ и МП, чтобы удостовериться, что в сумме они составляют комплект. 2. Следят, чтобы при измерении остатка отсчет выполнялся от заднего конца ленты. 3. При отсчитывании делений на середине ленты следят, чтобы лента не была перекручена, так как при этом можно спутать число целых метров. Например, вместо 6 м отсчитать 9 м, вместо 9 — 11 м.

Измеренную 20-метровой лентой длину линии  $D$  вычисляют по следующей формуле:  $D = 200N + 20(n - 1) + l$ , где  $N$  — число передач шпилек;  $n$  — число шпилек у МЗ;  $l$  — остаток.

За окончательное значение принимают среднее арифметическое от измерений «прямо» и «обратно». Измерения считают выполненными правильно, если расхождение результатов измерений «прямо» и «обратно» не превышают:

1:3000 от измеренной длины — при благоприятных условиях измерений (например, твердое покрытие);

1:2000 — при средних условиях измерений (например, ровная поверхность грунта);

1:1000 — при неблагоприятных условиях измерений (например, болотистая, кочковатая заросшая местность, снег и т. п.).

Измерения линий рулетками производят аналогично. Однако фиксация концов измеренных отрезков при работе рулеткой может выполняться более точно (вешкой, иглами, остроотточенным карандашом и т. п.). На рис. 6.6 показано измерение линии в вертикальной плоскости между заранее заданными плоскостями, где фиксация точек не производится.

Как правило, результат измерений линии отличается от действительного ее размера. В измеренную длину вводят поправки из-за неравенства мерного прибора эталону и температуры, отличаю-

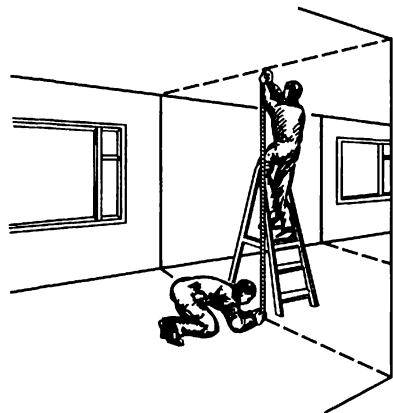


Рис. 6.6. Измерение линии по вертикали

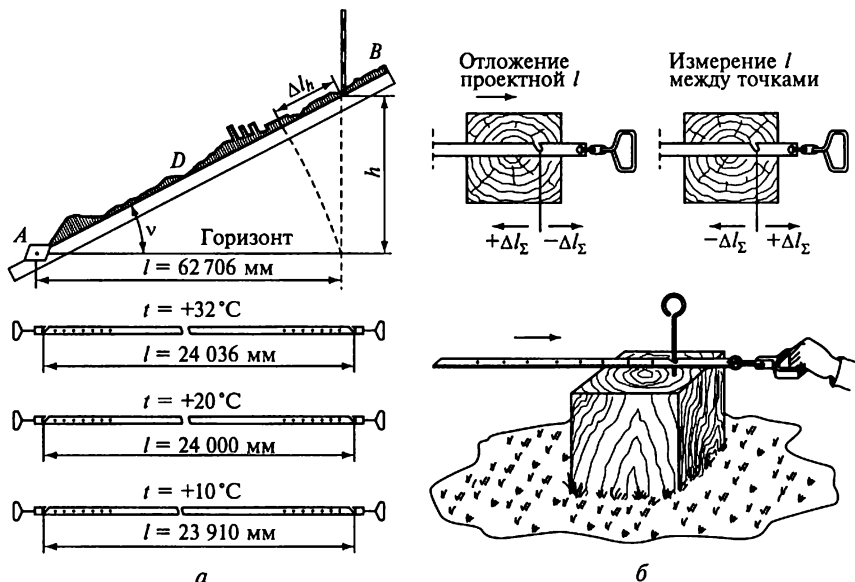


Рис. 6.7. Определение и учет поправок на горизонтальной плоскости: *a* — определение поправки из-за наклона линии; *б* — отложение длины с учетом знаков

щейся от той, для которой составлено уравнение мерного прибора (+20 °С). Результаты измерений линий чаще всего необходимо выражать на чертежах, планах и картах, т.е. на горизонтальной плоскости. Измерения же производят обычно по поверхности рельефа, имеющего уклоны.

Для приведения наклонно измеренного расстояния к горизонтальному в результат измерений вводят поправку из-за наклона линии к горизонту (рис. 6.7, *a*).

Из рисунка ясно, что для получения проекции  $l$  измерений на местности линии длиной  $D$  необходимо знать угол  $v$  или превышение  $h$  точки  $B$  над горизонтальной линией.

Из решения прямоугольного треугольника

$$l = D \cos v.$$

Горизонтальные проложения обычно вычисляют по специальным таблицам или на ЭВМ.

Если известно превышение  $h$ , то поправку вычисляют по формуле

$$\Delta l_h = -\frac{h^2}{2l}.$$

Поправку из-за наклона линии к горизонту вводят для каждого пролета отдельно, если пролеты имеют разный наклон.



Если наклон линии значителен, то измерения ведут отдельными малыми отрезками: 5, 10 м, стараясь уложить концы мерного прибора горизонтально. Измеряемая горизонтальная линия будет иметь ступенчатый вид.

Если требуется измерить линию через овраг, канаву и другие препятствия, то мерный прибор может изгибаться или провисать. При значительном изгибе определяют величины превышений на отдельных участках. При значительных провисаниях и длинном мерном приборе в средней части линии делают одну-две подпорки.

Суммарная поправка в измеренную линию

$$\Delta l_{\Sigma} = \Delta l_h + \Delta l_k + \Delta l_l.$$

Очень часто кроме измерения линий между известными точками возникает необходимость вынести на местности проектный размер: длину дороги, габаритные размеры здания, спортплощадки и т. п. В этом случае следует помнить, что при отложении заранее заданной длины поправка  $+\Delta l_{\Sigma}$  вводится назад от конечного штриха рулетки, а  $-\Delta l_{\Sigma}$  — вперед (рис. 6.7, б).

При измерении линий могут быть допущены промахи и грубые погрешности. Один вид промахов (оцифровку делений) мы научились распознавать и не ошибаться. Существует еще целый ряд погрешностей, влияние которых на суммарный результат измерений можно существенно уменьшить. Эти погрешности носят систематический характер по влиянию на результат, но случайны по величине. Чтобы уменьшить их величины, необходимо учитывать следующее.

1. Отклонение концов рулетки от створа измерений всегда уменьшает измеряемую длину. Чем меньше отклоняются концы от створа, тем меньше погрешность измерения. При измерениях для многих целей укладку мерных приборов в створ производят с использованием оптических труб. К такому приему прибегают в тех случаях, когда хотят получить результат с относительной погрешностью менее 1:3000 от измеряемой длины. Отклонения от створа концов 30- и 50-метровых рулеток более чем на 0,15 м недопустимы.

2. Большую погрешность в измеряемую длину может внести разное натяжение прибора при эталонировании и практической работе. Следует избегать избыточного натяжения, так как тонкое полотно рулеток растягивается, при этом часто не восстанавливая начальную длину. Достаточно точно (до  $\pm 100$  Н) можно выдерживать натяжение, используя для этого ручные приборы — динамометры типа ПН-2 или пружинные бытовые весы.

3. Недопустимо ослаблять внимание при отсчитывании по концам мерного прибора или его фиксации. Достигнутая точность может быть утрачена при одновременном снятии отсчетов, подвиге мерного прибора во время фиксации его концов. Поэтому

не следует пренебрегать возможностью дважды или даже трижды взять отсчеты по концам мерного прибора и сравнить разности отсчетов по переднему и заднему концам (П – З). Разность отсчетов (для одного пролета измерений) при работе рулетками не должна превышать 2 мм, а при измерении мерными лентами — 1 см.

4. Необходимо следить не только за превышением концов мерного прибора, но и за его изгибом в вертикальной плоскости. Точность определения поправки за наклон зависит от точности определения превышений: чем короче линия, тем точнее надо знать превышение. Как правило, достаточно его знать с погрешностью до 1,0... 1,5 см на 100 м длины.

5. При введении поправок за отличие температуры, данной в уравнении рулетки (+20 °С), и температуры измерений следует помнить, что измеряют температуру воздуха, а поправку вводят за изменение температуры металлического полотна мерного прибора. Поэтому при прямом солнечном облучении мерного прибора термометр подкладывают под его полотно и держат 3...5 мин, с тем чтобы точнее определить температуру мерного полотна. Разность температуры воздуха и мерного прибора измеряют с погрешностью не грубее 5 °С.

6. Существенно исказить результат измерения может плохое закрепление точек, между которыми ведется измерение. Вязкая почва, зыбко забытые кол, штырь или шпилька, изменяющие свое положение от случайных ударов, приводят к появлению недопустимых погрешностей в измеряемой длине.

## 6.2. Измерение длины линий дальномерами

*Дальномерами* называются геодезические приборы, с помощью которых расстояние между двумя точками измеряют косвенным способом. Дальномеры подразделяют на оптические и электронные. Оптические дальномеры делятся на дальномеры с постоянным параллактическим углом и дальномеры с постоянным базисом, электронные дальномеры — на электронно-оптические (светодальномеры) и радиоэлектронные (радиодальномеры).

Простейший оптический дальномер с постоянным углом — нитяной (рис. 6.8, а) имеется в зрительных трубах всех геодезических приборов. В поле зрения трубы (рис. 6.8, б) прибора видны три горизонтальные нити. Две из них, расположенные симметрично относительно средней нити, называются *дальномерными*. Нитяной дальномер применяют в комплекте с нивелирной рейкой, разделенной на сантиметровые деления. В приведенном примере между крайними нитями располагаются 21,5 сантиметровых делений рейки. Расстояние  $D$  между измеряемыми точками на местности  $21,5 \cdot 100 = 21,5$  м (100 — коэффициент дальномера).

На расстоянии до 200 м по нитяному дальномеру «на глаз» можно отсчитать до 0,5 сантиметрового деления, что соответствует по-

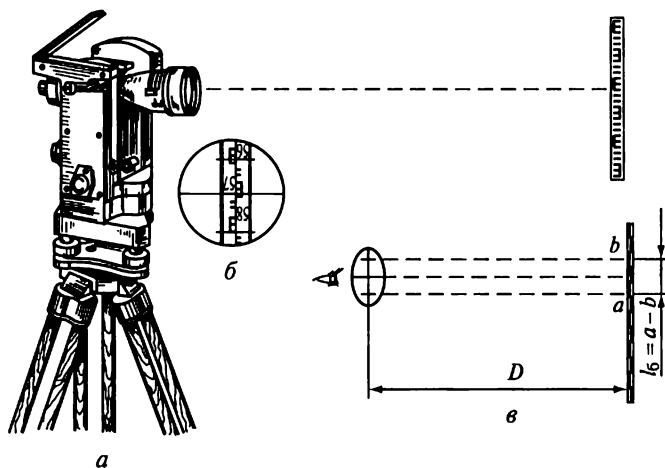


Рис. 6.8. Оптический дальномер:  
*a* — внешний вид; *б* — поле зрения трубы; *в* — схема измерения

грешности при определении расстояния 50 см; на расстоянии до 100 м — до 0,2 сантиметрового деления или погрешности 20 см.

Нитяным дальномером можно измерить линии длиной до 300 м с погрешностью до 1:300 от длины.

Принцип действия дальномера с постоянным базисом рассмотрим на конкретном примере определения расстояния от точки *A* до точки *B* (рис. 6.9).

В точке *A* устанавливают теодолит. В точке *B* располагают отрезок (базис), длина которого  $l_6$  точно известна. Тогда, измерив угол  $\alpha$ , можно по известной из тригонометрии формуле  $D = l_6 \operatorname{tg} \alpha$  вычислить расстояние между точками *A* и *B*.

В основе электронных средств измерений лежит известное из физики соотношение  $S = vt/2$  между измеряемым расстоянием  $S$ , скоростью распространения электромагнитных колебаний  $v$  и временем  $t$  распространения электромагнитных колебаний вдоль измеряемой линии и обратно.

Из-за особенностей излучения, приема и распространения радиоволн радиодальномеры применяют главным образом при измерении сравнительно больших расстояний и в навигации. Светодальномеры, использующие электромагнитные колебания светового диапазона, широко применяют в практике инженерно-геодезических измерений.

Для измерения расстояния *AB* (рис. 6.10) в точке *A* устанавливают светодальномер, а в точке *B* — отражатель. Световой поток посы-

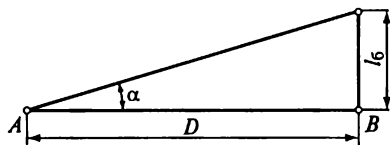


Рис. 6.9. Схема выполнения дальномерных измерений при постоянном базисе

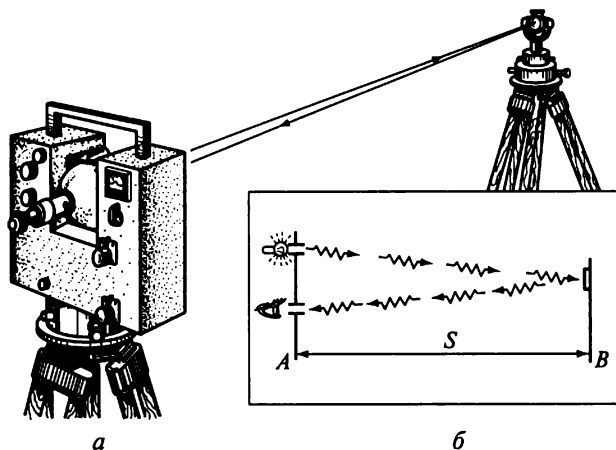


Рис. 6.10. Светодальномер:

*a* — установка светодальномера и отражателя; *б* — ход лучей при измерении линий

ляется из передатчика на отражатель, который отражает его обратно на тот же прибор. Если измерить время прохождения световых волн от светодальномера до отражателя и обратно, то при известной скорости распространения световых волн можно вычислить искомую длину линии. Время распространения световых волн может быть определено как прямым, так и косвенным методом измерений.

Прямое определение промежутка времени осуществляется в дальномерах, называемых *импульсными*. В них измерение времени производится по запаздыванию принимаемого после отражения светового импульса по отношению к моменту его излучения.

Косвенное определение времени прохождения световых волн основано на измерении разности фаз двух электромагнитных колебаний. Такие светодальномеры называют *фазовыми*. С внедрением полупроводниковых лазерных источников излучения и цифровых методов измерения разности фаз появились импульсно-фазовые светодальномеры, в основе которых лежит фазовый метод измерения временного интервала при импульсном методе излучения.

Примером современного фазово-импульсного светодальномера может служить широко распространенный в нашей стране топографический светодальномер СТ-5. Это высокоавтоматизированный прибор, точность измерения расстояний которым характеризуется величиной  $(10 + 5D)$  мм; предельная дальность — 5 км.

Улучшенный вариант этого сверхдальномера — 2СТ-10 (рис. 6.11). Его технические характеристики: средняя квадратическая погрешность измерения расстояний  $(5 + 3D)$  мм; диапазон измерения 0,2 м... 10,0 км; диапазон рабочих температур +40... -30 °С; масса

прибора 4,5 кг. Управление процессом измерения обеспечивается встроенной микроЭВМ. Результаты измерения с учетом поправки на температуру воздуха и атмосферное давление высвечиваются на цифровом табло и могут быть введены в регистрирующее устройство. В приборе имеется звуковая сигнализация обнаружения отраженного сигнала, готовности результата измерения и разряженности источника питания. В комплект светодальномера входят: отражатели, штативы, источники питания, зарядное устройство, барометр, термометр, набор инструментов и принадлежностей.

В инженерной геодезии применяют и высокоточные светодальномеры. Отечественная промышленность выпускает светодальномеры «Топаз СП-2» и СП-03 (ДК-001), точность измерения которыми характеризуется соответственно величинами  $(1 + D)$  км) и  $(0,8 + 1,5D)$  мм.

Для маркшейдерских работ в шахтах используют светодальномер МСД-1М во взрывобезопасном исполнении с дальностью действия до 500 м и погрешностью измерения  $(2 + 5D)$  км) мм.

Светодальномеры с пассивным отражением измеряют расстояния до предметов без отражателя, т.е. используют отражательные свойства самих предметов. Примером может служить отечественный светодальномер ДИМ-2, погрешность измерения расстояний которым составляет 20 см.

В настоящее время известны дальномеры с пассивным отражением и погрешностью измерения расстояний до 10 мм. Так, напри-

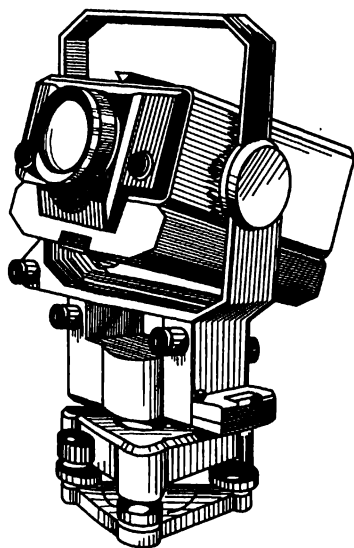


Рис. 6.11. Светодальномер 2СТ-10

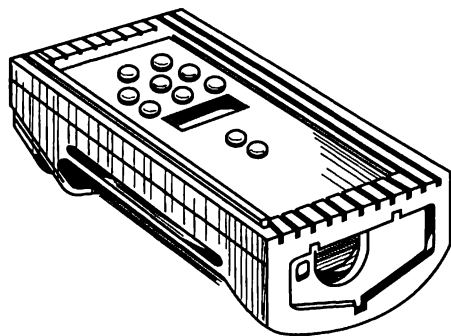


Рис. 6.12. Лазерная рулетка

мер, дальномер, выпускаемый фирмой «Лейка» (Швейцария), измеряет расстояния до 50 м с погрешностью 2 мм.

Для измерений на строительных площадках и в помещениях используют лазерные рулетки (рис. 6.12), которые не требуют отражателей.

## Глава 7

### НИВЕЛИРОВАНИЕ

#### 7.1. Нивелиры, нивелирные рейки, костыли и башмаки

**Понятие нивелирования.** *Нивелирование* — это вид геодезических измерений, в результате которых определяют превышения точек, а также их высоты над принятой уровенной поверхностью.

Нивелирование производят для изучения форм рельефа, определения высот точек при проектировании, строительстве и эксплуатации различных инженерных сооружений.

Результаты нивелирования имеют большое значение для решения научных задач как самой геодезии, так и других наук о Земле.

Основными геодезическими приборами, которыми производятся измерения, являются *нивелиры*. Прежде чем приступить к

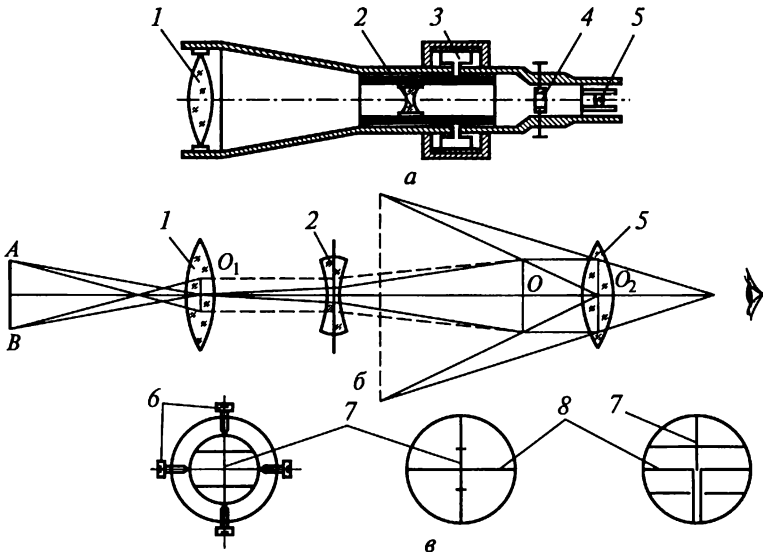


Рис. 7.1. Зрительная труба нивелира:

*a* — разрез; *b* — оптическая схема; *v* — поле зрения и сетки нитей в различных приборах; 1 — объектив; 2 — линза; 3 — кремальера; 4 — стеклянная пластина; 5 — окуляр; 6 — регулировочные винты; 7, 8 — вертикальные и горизонтальные нити

изучению конструкций нивелиров, рассмотрим устройство их основных частей, которые являются также основными частями и других геодезических приборов.

Зрительная труба (рис. 7.1, а) представляет собой оптическую систему (рис. 7.1, б), помещенную в металлический корпус (трубу). С одного края трубы размещен объектив 1, с другого — окуляр 5. Между ними находится двояковогнутая линза 2. В окулярной части трубы есть стеклянная пластина 4 с нанесенной на ней сеткой нитей (рис. 7.1, в).

Специалиста, применяющего для измерений приборы со зрительными трубами, принято называть *наблюдателем*. При работе со зрительной трубой наблюдатель совмещает перекрестие сетки нитей с наблюдаемым предметом. Линия, соединяющая оптический центр объектива и перекрестие сетки нитей, называется *визирной осью трубы*. 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. Вращением фокусирующего кольца, или кремальеры, 3 перемещают фокусирующую линзу 2, добиваясь четкого изображения наблюдаемого предмета. Такое действие называют *фокусированием*. Перемещением окуляра 5 относительно сетки нитей фокусируют изображение сетки. Окуляр перемещают вращением окулярного кольца. Геодезические приборы оборудуют уровнями.

Уровни геодезических приборов бывают цилиндрические и круглые.

Цилиндрический уровень (рис. 7.2) представляет собой стеклянную ампулу 1, заполненную жидкостью 2 (спирт, эфир). Часть пространства, заполненную парами этой жидкости, называют *пузырьком* уровня. Внутренняя (верхняя) поверхность ампу-

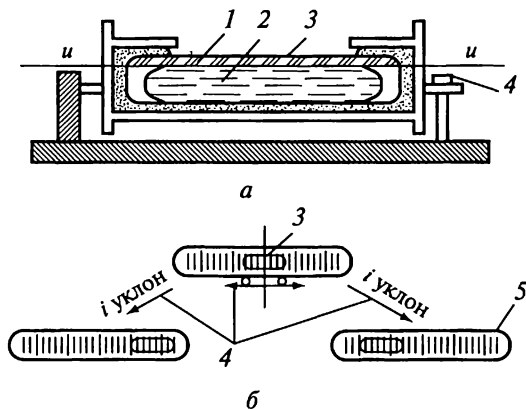


Рис. 7.2. Цилиндрический уровень и уклоны при положении пузырька: а — вид сбоку; б — вид сверху; 1 — ампула; 2 — жидкость; 3 — пузырек; 4 — исправительный винт; 5 — уклон ампулы

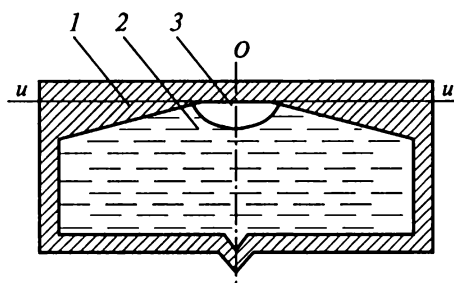


Рис. 7.3. Круглый уровень:  
1 — ампула; 2 — жидкость; 3 —  
пузырек

лы отшлифована по дуге определенного радиуса. На верхней наружной ее поверхности нанесены двухмиллиметровые деления. Среднюю точку шкалы  $O$  называют *нуль-пунктом*. Касательную линию  $uu$  в нуль-пункте к дуге внутренней поверхности уровня называют *осью цилиндрического уровня*.

Использование уровня основано на свойстве пузырька занимать наивысшее положение. Если пузырек 3 уровня переместить на одно деление относительно начального положения, то ось уровня склонится на величину  $\tau$ , называемую *ценой деления уровня*. Как правило, цена деления цилиндрических уровней геодезических приборов бывает 2...60".

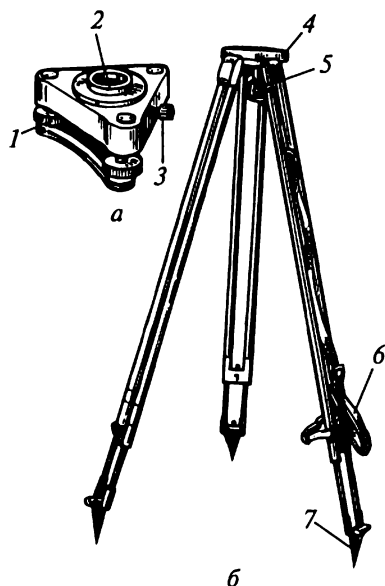


Рис. 7.4. Установка и крепление геодезических приборов:  
 $a$  — подставка;  $b$  — штатив; 1, 3, 5 — винты; 2 — отверстие для установки прибора; 4 — столик; 6 — ремень, 7 — наконечник

Круглый уровень (рис. 7.3) отличается от цилиндрического тем, что его верхняя часть отшлифована по сферической поверхности. Деления на внешней стороне представляют собой концентрические окружности, а осью уровня является радиус сферы, проходящий через нуль-пункт. Цена деления круглых уровней от нескольких единиц до нескольких десятков минут.

Подставка и штатив (рис. 7.4,  $a$ ,  $b$ ) служат для крепления и установки геодезических приборов. Вращением подъемных винтов 1 подставки изменяют положение вертикальной оси вращения прибора, а следовательно, и всех остальных его частей. Ось прибора вставляется в отверстие 2 и закрепляется в подставке винтом 3.



Подставка крепится на столике 4 штатива станковым винтом 5. Штатив имеет три деревянные или металлические ножки, которые шарнирно соединены с головкой штатива. Ножки бывают раздвижные и цельные. Нижние концы ножек снабжены металлическими наконечниками 7. Штатив обеспечивает устойчивость прибора. В собранном виде штатив переносят на плечевом ремне 6.

**Типы нивелиров.** В зависимости от устройств, применяемых для приведения визирной оси трубы в горизонтальное положение, нивелиры выпускают двух типов: с компенсатором углов наклона зрительной трубы и с уровнем при ней. У нивелиров, выпускаемых промышленностью Содружества Независимых Государств (СНГ), наличие в марке буквы К означает, что труба нивелира снабжена компенсатором, а буквы П — прямое изображение, например, нивелиры Н-05К, Н-3К, Н-10КП.

Нивелиры с компенсатором угла наклона зрительной трубы называются *самоустанавливающимися* (рис. 7.5, а). Компенсация угла наклона визирной оси, или автоматическое приведение ее в горизонтальное положение, у этих нивелиров происходит за счет автоматического поворота компенсирующего элемента (компенсатора) оптической системы (рис. 7.5, б).

Так, компенсатор нивелира Н-10КП состоит из двух пентапризм 9 и 10 (пятиугольных призм), склеенных между собой и скрепленных с корпусом прибора коробчатой формы, а также подвижной прямоугольной призмы. Прямоугольная призма заключена в рамку, перемещаемую в вертикальной плоскости маховичком 2, укрепленным в корпусе 3. Ее перемещение обеспечивает фокусировку зрительной трубы по объекту наведения. Диапазон

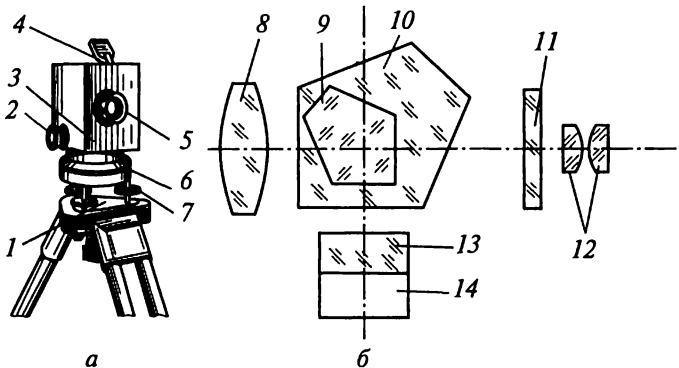


Рис. 7.5. Нивелир Н-10КП:

а — внешний вид; б — оптическая схема; 1 — установочная прижимная пластина; 2 — маховичок; 3 — корпус; 4 — круглый уровень с зеркальцем; 5 — объектив; 6 — подставка; 7 — закрепительный винт; 8, 12 — линзы объектива и окуляра; 9, 10 — пентапризмы; 11 — сетка нитей; 13, 14 — призма и рамка

работы компенсатора определяют по максимальному углу наклона оси нивелира. У нивелиров для низкоточных и технических работ этот диапазон колеблется в пределах 5...20'.

До начала работ нивелир вынимают из укладочного ящика и укрепляют на штативе станковым винтом. Выдвигая и убирая ножки штатива, устанавливают его головку «на глаз» в горизонтальное положение. Затем с помощью подъемных винтов подставки приводят пузырек круглого уровня к середине концентрических окружностей или в нуль-пункт.

Подготовка нивелиров для работы состоит из двух действий: приведения визирной оси прибора в горизонтальное положение (нивелир с компенсатором считается готовым к работе, если пузырек круглого уровня приведен в середину концентрических окружностей, нанесенных на стеклянной капсуле уровня) и установки трубы для наблюдения.

Трубу устанавливают по рейке вращением корпуса рукой. Наведение трубы на рейку фиксируют закрепительным винтом. В некоторых нивелирах закрепительного винта нет, а корпус имеет постоянное фрикционное (тугое) сцепление с вертикальной осью вращения нивелира. Точное наведение зрительной трубы по рейке производят наводящим винтом (под точным наведением понимают такое положение, при котором сетка нитей зрительной трубы совпадает с осью рейки).

Нивелиры с цилиндрическим уровнем имеют зрительную трубу и цилиндрический уровень. Труба с уровнем укреплена на вертикальной вращающейся оси, входящей в подставку. Наиболее распространенные нивелиры этого типа Н-3, Н-10. Нивелир Н-3 (рис. 7.6, а) состоит из верхней части, несущей зрительную трубу 6 с цилиндрическим 7 и круглым 3 уровнями, ос-

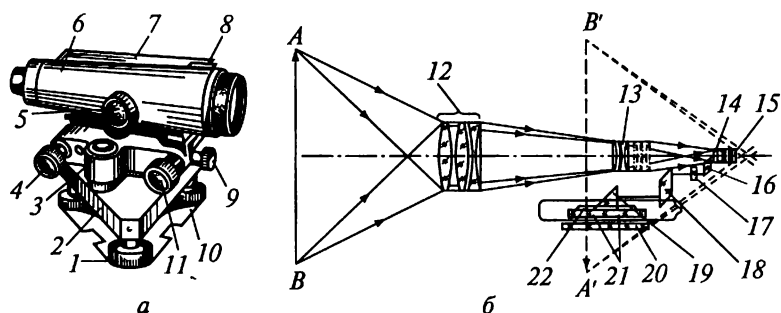


Рис. 7.6. Нивелир Н-3:

а — внешний вид; б — оптическая схема; 1, 4, 5, 9, 11 — винты; 2 — подставка; 3, 7 — уровни; 6 — зрительная труба; 8 — визир; 10 — установочная прижимная пластина; 12 — объектив; 13 — фокусирующая линза; 14 — сетка нитей; 15 — окуляр; 16... 19, 21 — призмы и линзы; 20 — зеркало; 22 — уровень

нованием, наводящим 11, элевационным 4 и закрепительными 9 винтами, и нижней, представляющей собой подставку с тремя подъемными винтами 1 и прижимной пластиной 10.

Зрительная труба представляет собой телескопическую систему (рис. 7.6, б), состоящую из объектива 12, фокусирующей линзы 13, сетки нитей 14 и окуляра 15. Лучи, идущие от концов пузырька уровня 22, отражаются от скошенных граней призм 21, направляются в расположенную сбоку прямоугольную призму 19, идут в призму 18, затем через линзу 17 и призму 16 попадают в окуляр зрительной трубы нивелира. Пузырек уровня освещается светом, передаваемым в трубу зеркалом 20. Пузырек цилиндрического уровня приводится в нулевое положение элевационным винтом 4.

Цилиндрический уровень 7, расположенный в корпусе слева от зрительной трубы, служит для точного приведения визирной оси прибора в горизонтальное положение. Для грубого приведения вертикальной оси прибора в отвесное положение служит круглый уровень 3. Пузырек круглого уровня приводится в нулевое положение подъемными винтами 1 подставки 2. Зрительную трубу б наводят на рейку винтами 1 подставки 2. Зрительную трубу б наводят на рейку по визиру 8 винтом 11 при закрепленном винте 9. Резкость изображения нивелирной рейки достигается вращением винта 5 фокусирующей линзы.

Нивелир крепится к штативу прижимной пластиной 10, которая в своей центральной части имеет втулку с резьбой под становой винт штатива.

Нивелир с цилиндрическим уровнем готовят к работе так же, как нивелир с самоустанавливающейся линией визирования.

Лазерные нивелиры (рис. 7.7) представляют собой комбинацию нивелиров б с компенсаторами и лазерных трубок 1. (Более подробно лазерные геодезические приборы рассмотрены в гл. 10.) Из лазерной трубки с помощью световода 2 луч направляют в переходную деталь 4, из которой луч попадает в оптическую систему и выходит в виде видимого горизонтального лазерного луча из объектива 5 нивелира. Блок электропитания 7 крепится к штативу 3. При небольших расстояниях (до 100 м) используют деревянные рейки с сантиметровыми делениями. Рейки устанавливают в нивелируемых точках и после визирования на них и фокусировки лазерного пучка

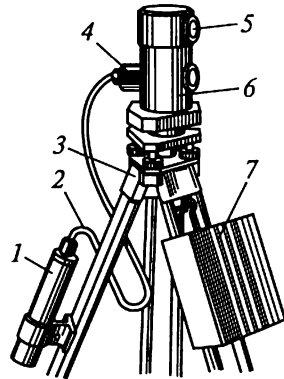


Рис. 7.7. Лазерный нивелир: 1 — лазерная трубка; 2 — световод; 3 — штатив; 4 — переходная деталь; 5 — объектив; 6 — нивелир; 7 — блок электропитания

реечник берет отсчет визуально на рейке по пятну лазерного пучка. При необходимости выполнения точных нивелирных работ используют рейки со специальными подвижными каретками с фотодетекторами, по которым с высокой точностью определяют центр лазерного луча, попавшего на рейку.

Иностранные фирмы выпускают высокоточные нивелиры с регистрирующим электронным устройством, которое позволяет автоматически регистрировать отсчеты по рейкам и вычислять превышения между точками. Автоматизирован и весь процесс обработки результатов нивелирования с их запоминанием и хранением. Примером может служить нивелир Рени 002А фирмы «Карл Цейсс Йена» (Германия).

Технические возможности нивелиров позволяют работать ими людям со зрением  $\pm 5$  диоптрий. Как правило, нивелиры работоспособны при температуре  $-30 \dots +50$  °С. Каждому нивелиру придается не менее двух однотипных нивелирных реек.

Нивелирная рейка (рис. 7.8, а) состоит из двух брусков двутаврового сечения, соединенных между собой металлической фурнитурой. Это позволяет складывать рейку для транспортирования. Рейка имеет градуировку на обеих сторонах. Сантиметровые

шашки наносят по всей длине рейки с погрешностью 0,5 мм и оцифровывают через 1 дм. Высота подписанных цифр не менее 40 мм. На основной стороне рейки шашки черные на белом фоне, на другой (контрольной) — красные на белом фоне. На каждой стороне рейки три цветные шашки каждого дециметрового интервала, соответствующие участку в 5 см, соединяются вертикальной полосой. Для контроля при отсчетах по двум сторонам рейки начало первого оцифрованного дециметрового интервала контрольной стороны смещено по отношению к началу первого оцифрованного дециметрового интервала основной стороны.

Для удобства и быстроты установки нивелирные рейки иногда снабжают круглыми уровнями и ручками. На торцах нивелирной рейки укрепляют пятки в виде металлических полос толщиной 2 мм.

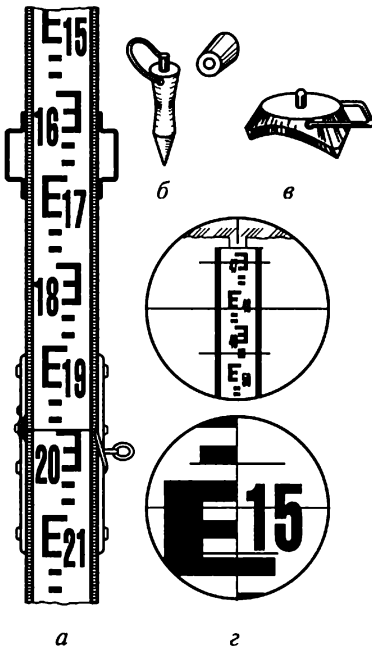


Рис. 7.8. Нивелирная рейка: а — внешний вид; б — костыль; в — башмак; г — отсчеты по рейке

Рейки маркируют так: например, тип РН-10П-3000С означает, что это рейка нивелирная, со шкалой деления 10 мм, подписью цифр «прямо», длиной 3000 мм, складная. Для точных и технических работ выпускают рейки длиной 3 и 4 м.

Нивелирные рейки можно применять в разное время года при различных метеорологических условиях. Температурный диапазон работы реек  $-40 \dots +50$  °С.

Во время работы рейки устанавливают на деревянные колья, костыли или башмаки.

*Костыль* (рис. 7.8, б) — это металлический стержень с заостренным концом с одной стороны и сферической шляпкой с другой. Для забивки костыля в грунт на верхний торец его надевают крышку.

*Башмак* (рис. 7.8, в) — это толстая круглая или треугольная металлическая пластина на трех ножках. В середине пластины укреплен стержень со сферической шляпкой, на которую опирают нивелирные рейки.

Рейки устанавливают вертикально «на глаз» или с помощью уровня. Если уровня нет, отсчет по рейке берут при покачивании рейки в сторону нивелира и от него. Из всех видимых отсчетов берут наименьший — он соответствует отвесному положению рейки.

*Отсчеты по рейкам* (рис. 7.8, г) производят по средней нити нивелира — по месту, где проекция средней нити пересекает рейку. Сделать отсчет по рейке — это значит определить высоту визирной оси нивелира над нулем (основанием) рейки. Цифры считывают в такой последовательности: сначала меньшую подпись, видимую вблизи средней нити (сотни миллиметров), потом прибавляют к ней целое число делений, на которое нить сетки отстоит от меньшей подписи в сторону большей (десятки миллиметров), затем наименьший десятимиллиметровый отрезок делят «на глаз» (число миллиметров). Отсчет записывают в миллиметрах (на рис. 7.8, г он равен 1514).

## 7.2. Способы нивелирования

По способам выполнения и применяемым приборам различают: геометрическое, тригонометрическое, гидростатическое и барометрическое нивелирования.

Геометрическое нивелирование — наиболее распространенный способ. Его выполняют с помощью нивелира, задающего горизонтальную линию визирования. Сущность геометрического нивелирования (рис. 7.9, а) заключается в следующем. Нивелир устанавливают горизонтально и по рейкам с делениями, стоящими на точках *A* и *B*, определяют превышение *h* как разность между отрезками *a* и *b*:  $h = a - b$ .

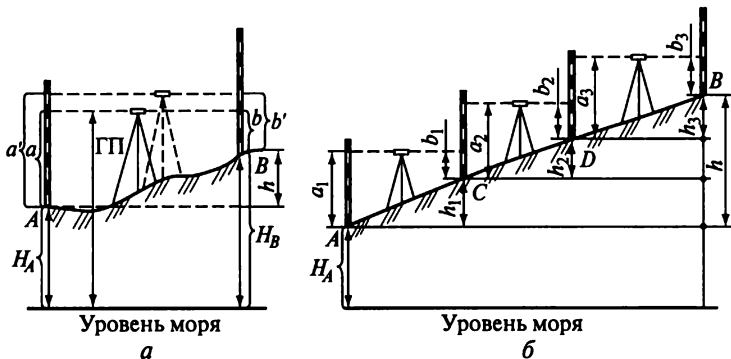


Рис. 7.9. Схемы нивелирования:  
а — простого; б — сложного

Если известна отметка  $H_A$  точки  $A$  и превышение  $h$ , отметку  $H_B$  точки  $B$  определяют как их сумму:

$$H_B = H_A + h.$$

Во избежание ошибок в знаке превышения точку, отметка которой известна, считают задней, а точку, отметку которой определяют, — передней, т. е. превышение — это всегда разность отсчетов назад и вперед. Иногда отсчет по рейке называют «взглядом», поэтому превышение равно «взгляду назад» минус «взгляд вперед».

Место установки нивелира называется *станцией*. С одной станции можно брать отсчеты по рейкам, установленным во многих точках. При этом превышение между точками не зависит от высоты нивелира над землей. Если поставить нивелир выше (на рис. 7.9, а показано пунктиром), оба отсчета  $a$  и  $b$  будут больше на одну и ту же величину, но разности между ними будут одинаковы.

Для вычисления отметки искомой точки можно применять способ вычисления через горизонт прибора (ГП). Этот способ удобен, когда с одной станции производят нивелирование нескольких точек. Очевидно, что если к отметке точки  $A$  прибавить отсчет по рейке на точке  $A$ , то получится отметка визирной оси нивелира. Эта отметка и называется *горизонтом прибора*. Если теперь из горизонта прибора вычесть отсчеты на всех точках, взятые на этой станции, получатся отметки этих точек.

Если для определения превышения между точками  $A$  и  $B$  достаточно один раз установить нивелир, то такой случай называется *простым нивелированием* (см. рис. 7.9, а).

Если же превышение между точками можно определить только после нескольких установок нивелира, то такое нивелирование условно называют *сложным* (рис. 7.9, б). В этом случае точки  $D$  и  $C$  называют *связующими*. Превышения между ними определяют по схеме простого нивелирования.

При сложном нивелировании превышение между точками  $A$  и  $B$

$$h_{AB} = h_1 + h_2 + h_3 + \dots + h_n = \sum_{i=1}^n h_i.$$

Если известна отметка точки  $A$ , можно определить отметку точки  $B$ :

$$H_B = H_A + \sum_{i=1}^n h_i.$$

Такую схему нивелирования называют *нивелирным ходом*. Несколько ходов с общими начальными или конечными точками образуют *нивелирную сеть*.

В зависимости от требуемой точности определения отметок нивелирование делят на 1...4-й классы и техническое.

Ходы нивелирования 1-го класса прокладывают вдоль железных и шоссейных дорог в различных направлениях. По данным нивелирования, повторяющегося по тем же точкам через несколько лет, изучают движение земной коры и решают другие научные задачи.

Ходы нивелирования 2-го класса, прокладываемые вдоль дорог и больших рек, образуют полигоны периметром 500...600 км, которые опираются на пункты нивелирования 1-го класса. Нивелированием 1-го и 2-го классов на территории страны распространяют отметки относительно исходной уровенной поверхности.

Ходы нивелирования 3-го класса прокладывают между пунктами нивелирования 1-го и 2-го классов.

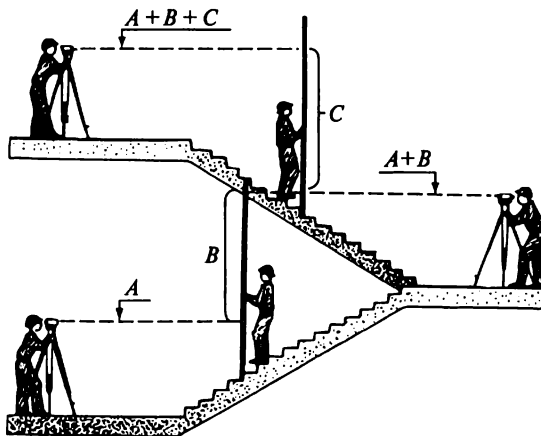


Рис. 7.10. Использование нивелира для переноса отметок на строительстве

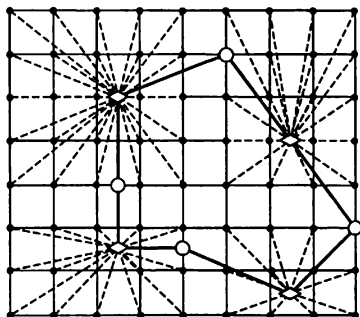


Рис. 7.11. Схема нивелирования по квадратам:

○ — станция; ● — точки и направления

Нивелирование 4-го класса и техническое применяют для сгущения нивелирной сети более высоких классов. Эти сети являются высотным обоснованием для топографических съемок при составлении карт и планов, строительного-монтажных, мелиоративных и других работах.

Ходы нивелирования более низких классов всегда опираются на пункты ходов более высоких классов. Отметки пунктов ходов более высоких классов принимают за исходные. Результаты нивелирования используют в различных отраслях народного хозяйства: строительстве, мелиорации, горном деле и т.д. (рис. 7.10).

Для решения на участке местности различных задач производят нивелирование поверхности по квадратам (рис. 7.11). Для этого участок делят на квадраты со сторонами 10, 20, 50 или 100 м. Если рельеф участка слабо выражен (плоский), то нивелируемые точки располагают на участке равномерно, а длины сторон квадратов увеличивают. При ясно выраженном рельефе (изрезанном, с водоразделами, тальвегами и т.д.) в местах изменения профиля их частоту увеличивают.

Схема нивелирования вершин квадрата зависит от размеров участка, сложности форм рельефа, необходимости дополнительно к отметкам вершин квадратов получить еще точки с отметками.

Нивелирный ход по квадратам прокладывают по программе технического нивелирования или 4-го класса. Все связующие точки хода закрепляют устойчивыми кольями или специальными башмаками. Рейку ставят на торец кола или башмак. Отсчеты по рейкам записывают в журнал нивелирования либо на схему квадратов,

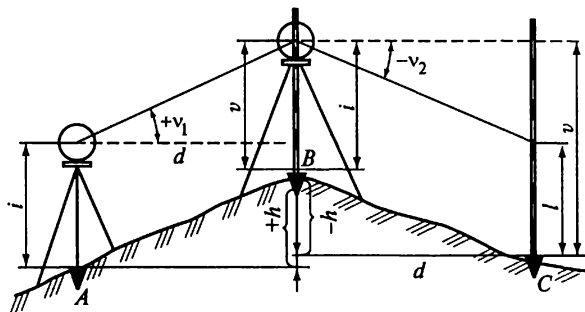


Рис. 7.12. Схема тригонометрического нивелирования



причем числовые значения отсчетов подписывают возле вершин тех квадратов, на которых они получены. Границы работы на станции отделяют пунктирной линией. При обработке результатов измерений сначала вычисляют превышения и отметки связующих точек хода. Отметки вершин квадратов вычисляют через горизонт прибора.

Тригонометрическое нивелирование (рис. 7.12) выполняют теодолитами — приборами, позволяющими измерять вертикальные углы. Если с точки *A* на точку *B* или с точки *B* на точку *C* измерить углы наклона  $v$  и определить горизонтальные проложения  $d$ , то превышения между этими точками можно определить по формуле

$$h = d \operatorname{tg} v + i - v - f,$$

где  $i$  — высота теодолита над точкой;  $v$  — высота наведения при измерении угла наклона;  $f$  — поправка за кривизну Земли и рефракцию, выбираемая из специальных таблиц. Поправку вводят при расстояниях между точками, больших 300 м.

При положительном угле наклона (+ $v$ ) превышения будут иметь знак «плюс», при отрицательном (− $v$ ) — «минус».

Гидростатическое нивелирование (рис. 7.13) основывается на свойстве жидкостей находиться в сообщающихся сосудах на одном уровне. Превышение  $h$  между точками *A* и *B* может быть получено как разность отсчетов по шкалам сосудов 2, 3. Как правило, расстояние между точками ограничивается длиной соединительного шланга  $l$  между сосудами и достигает нескольких десятков метров. Достоинство гидростатического нивелирования, применяемого для строительных целей, — простота работы, возможность производства работы в тесных местах (комнатах, сооружениях, среди оборудования), быстрота действия. К недостаткам относятся: невысокая точность ( $\pm 10$  мм) и затруднительные работы со шлангами.

Барометрическое нивелирование основано на свойстве разности воздушного давления в различных по высоте над уровнем поверхностью точках. Нивелирование выполняют барометрами-анероидами или микробарометрами.

Наиболее простой случай барометрического нивелирования, когда точки, между которыми определяется превышение, соединяются замкнутым маршрутом; продолжительность маршрута не более 2...3 ч. Для измерений используют один aneroid. На исход-

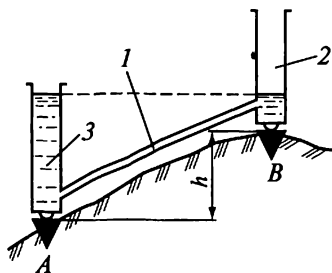


Рис. 7.13. Схема гидростатического нивелирования:  
1 — соединительный шланг;  
2, 3 — сосуды

ной точке маршрута измеряют температуру воздуха  $t_v$ , температуру anerоида  $t_a$ , его высоту над точкой и считывают по нему показания давления. Затем переходят на вторую и последующие точки и производят аналогичные измерения. Наблюдения заканчивают на исходной точке. Полагая, что давление воздуха и температура в начальной точке изменялись пропорционально времени, по барометрическим таблицам находят высоты точек. Расстояние между точками может быть любым и ограничивается только разностью времени между первым и последним наблюдениями на исходной точке.

### 7.3. Поверки и юстировки нивелиров

Прежде чем начать работу с нивелиром, как и с любым геодезическим прибором, его осматривают. Если при внешнем осмотре нивелира повреждения не обнаружены, то приступают к поверкам. *Поверки* — это действия, которыми контролируют правильность взаимного расположения основных осей прибора. Если при выполнении поверок обнаруживается несоответствие взаимного расположения частей прибора, то его юстируют исправительными винтами.

Рассмотрим, какие поверки выполняют при подготовке нивелира с цилиндрическими уровнями к работе.

1. *Ось круглого уровня  $uu$  должна быть параллельна оси вращения  $JJ$  нивелира* (рис. 7.14, а).

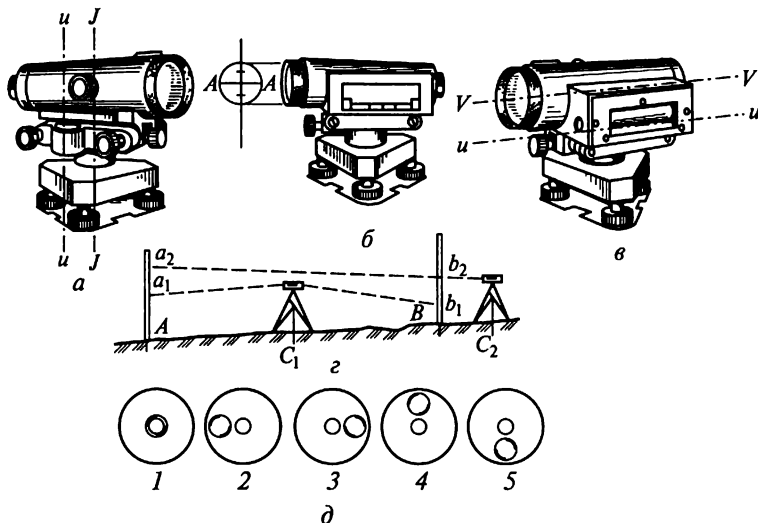


Рис. 7.14. Поверка нивелира:

$a...в$  — схемы расположения осей;  $z$  — позиции нивелира при третьей поверке;  $д$  — положения 1...5 пузырька круглого уровня

Чтобы проверить параллельность осей, выполняют следующие действия: пузырек круглого уровня приводят подъемными винтами на середину, верхнюю часть нивелира поворачивают на  $180^\circ$ . Нивелир считается исправным, если пузырек остался в центре, а неисправным, если пузырек сместился.

Для устранения такой 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 AA сетки должна быть перпендикулярна оси вращения JJ нивелира* (рис. 7.14, б). Это условие гарантируется заводом — изготовителем прибора, но небольшое исправление и доводка могут быть выполнены исполнителем.

Поверку выполняют в такой последовательности: ось вращения нивелира приводят по круглому уровню в отвесное положение, на расстоянии 20...30 м от нивелира устанавливают рейку и берут отсчет, наводят левый конец средней горизонтальной нити на рейку и берут отсчет, перемещают винтом трубу в горизонтальной плоскости до пересечения правого конца средней горизонтальной нити и берут отсчет. Если нивелир исправен, то отсчет по рейке не изменится или изменится в пределах 1 мм, если неисправен — изменится более чем на 1 мм.

Чтобы устранить неисправность, ослабляют исправительные винты сетки и разворачивают диафрагму с сеткой нитей за счет люфта винтов.

3. *Визирная ось VV зрительной трубы должна быть параллельна оси или цилиндрического уровня* (рис. 7.14, в, г).

Последовательность выполнения поверки: на местности выбирают две точки *A* и *B* с расстоянием между ними 70...80 м, точки закрепляют кольями, нивелир устанавливают в точке  $C_1$  и берут отсчеты  $a_1, b_1$  по рейкам. После этого вычисляют превышение  $h_1 = a_1 - b_1$ . Далее нивелир устанавливают в точке  $C_2$  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 разнице между ними менее 4 мм нивелир пригоден к эксплуатации. Если разница превышений больше 4 мм, то вычисляют правильный отсчет по дальней рейке  $a_2 = b_2 + h_1$ .

Горизонтальную нить сетки наводят винтом 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 горизонтальную нить сетки устанавливают на правильный отсчет с помощью исправительных винтов сетки нитей.

4. *Нивелир не должен иметь недокомпенсации (поверка выполняется только для самоустанавливающихся нивелиров)*.

Поверку выполняют в такой последовательности: нивелир устанавливают посередине между рейками, отстоящими одна от другой на 100 м, и приводят в отвесное положение. Далее по рейкам берут отсчеты  $a_1$  и  $b_1$  и определяют превышение  $h_1 = a_1 - b_1$ . Затем смещают пузырек круглого уровня (рис. 7.14,  $d$ , позиции 2...5) и при каждом смещении берут по два отсчета по рейкам:  $a_2$  и  $b_2$ , ...,  $a_5$  и  $b_5$ . После этого определяют превышения  $h_2$ , ...,  $h_5$ .

Элученные в позициях 2...5 круглого уровня, не отличаются от среднего значения позиции 1 более чем на 7 мм. При большем расхождении нивелир неисправен. (Его исправляют в заводских условиях.)

При выполнении второй поверки неисправность ликвидируют следующим образом. Ослабляют исправительные винты сетки нитей и разворачивают ее до совпадения отсчетов по левому и правому концам горизонтальной нити.

При выполнении третьей поверки установку горизонтальной нити на вычисленный отсчет производят исправительными винтами сетки.

#### 7.4. Проведение геометрического нивелирования

Геометрическое нивелирование сводится к установке визирной оси прибора в горизонтальное положение и взятию отсчетов по рейкам.

Нивелирование, как правило, начинают с репера ( $R_p$ ) или с точки, отметка которой известна. В этом случае на начальной и следующей (определяемой) точках устанавливают рейки. Нивелир размещают приблизительно посередине между точками. Пользуясь подъемными винтами, пузырек круглого уровня приводят в нуль-пункт. Трубу нивелира наводят на рейку задней (начальной) точки. Далее, пользуясь элевационным винтом, пузырек цилиндрического уровня приводят в нуль-пункт (совмещают изображения концов пузырька контактного уровня) и берут отсчет по черной стороне рейки. Результаты нивелирования записывают в специальный журнал (табл. 7.1).

Первый отсчет заносят в колонку 3 журнала (последовательность записей указана цифрами, заключенными в скобки после четырехзначных цифр в колонках). Наводят трубу на черную сторону передней рейки, берут отсчет по средней нити и заносят в четвертую графу (запись 2). Затем поворачивают рейки красными сторонами к нивелиру и берут отсчеты по передней (запись 3) и задней (запись 4) рейкам. Если между задней и передней точками есть промежуточная точка, то переносят и устанавливают на нее заднюю рейку и берут отсчет по черной (запись 5) и красной (запись 6) сторонам.

Правильность отсчетов по рейкам контролируют, вычисляя разность: отсчет по красной стороне минус отсчет по черной сто-

Таблица 7.1

Станция	Точка нивелирования	Отсчет по рейке				$h_{\text{выч}}$		$h_{\text{ср}}$		$h_{\text{исп}}$		$H_p$	$H, \text{ м}$
		задний	передний	промежуточный	4	5	+	-	+	-	+		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
1	$R_{p1}$	2808(1)										110,110	
		7496(4)											
		4688			2106(7)				2107				
	ПК0		0702(2)		2107(8)		2106(9)					112,217	
			5389(3)										
			4687										
2	ПК0	1345(1)										112,217	
		6033(4)											
		4688											
	ПК1		1998(2)			0653(7)		+1			0651	111,566	
			6684(3)			0651(8)		0652(9)					
			4686										
3	ПК1	1300(1)				0389(7)		+1			112,866	111,566	
		5988(4)				0389(8)		0389(9)					
		4688											
	T+30,2			2011(5)									
				6698(6)									
				4687									
	ПК2		1689(2)								110,855	111,178	
			6377(3)										
			4688										

Станция	Точка нивелирования	Отсчет по рейке			$h_{\text{выч}}$		$h_{\text{ср}}$		$h_{\text{исп}}$		$H_p$	$H, \text{ м}$
		задний	передний	промежуточный	+	-	+	-	+	-		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
4	ПК2	2600(1)			1489(7)						113,778	111,178
		7288(4)			1489(8)							
	+Л20	4688		0810(5)								112,968
				5498(6)								
	+Л10			0723(5)								113,055
				5410(6)								
	+П26			2712(5)								111,066
				7400(6)								
	$R_{n_2}$		1111(2)				+1		1490			112,668
			5799(3)									
Постраничный контроль		$\Sigma_3 = 34858$	$\Sigma_4 = 29749$	-	$\Sigma_6 = 7191; +5109$	$\Sigma_7 = 2082$	$\Sigma_8 = 3595; +2554$	$\Sigma_9 = 1041$	$\Sigma_{10} = 3597; +2558$	$\Sigma_{11} = 1039$	$H_{p1} - H_{p2} = -2558$	

Примечание.  $H_{p2} - H_{p1} = 112,668 - 110,110 = +2,558 \text{ м} + 2558 \text{ мм}$ ;  $f_h = \Sigma h_{\text{ср}} - (H_{p2} - H_{p1}) = 2554 - 2558 = -4 \text{ мм}$ ;

$f_{h_{\text{ан}}} = (50\sqrt{L} \text{ км}) \text{ мм} = 50\sqrt{0,36} = 30 \text{ мм}$ , где  $L$  — длина хода.

роне. Разность отсчетов не должна отличаться более чем на 5 мм от разности в подписи начальных делений сторон рейки.

Контроль наблюдений производят также по превышениям: отсчет по черной стороне (запись 1) задней рейки минус отсчет по черной стороне (запись 2) передней рейки и то же по красным сторонам: (запись 4) минус (запись 3). Разность превышений  $h_{\text{выч}}$ , вычисленных по черной (запись 7) и красной (запись 8) сторонам, не должна быть более 5 мм.

Если это условие выполнено, то вычисляют среднее (запись 9) превышение  $h_{\text{ср}}$ . Например, для станции 1

$$h_{\text{ср}} = (h_{p_1} + h_{\text{пк0}})/2.$$

После контроля наблюдений на каждой станции переходят на другую станцию и работу проводят в такой же последовательности.

В случаях, когда на нивелируемом отрезке есть промежуточные точки, по окончании нивелирования связующих точек зданий реечник последовательно устанавливает на них рейку. Наблюдатель, каждый раз приводя визирную ось в горизонтальное положение, делает отсчеты по черной стороне рейки. Отсчеты записывают в графу 5. После этого реечник, находящийся сзади, устанавливает рейку на следующей точке.

Если нивелирование в одном ходе выполняют с двух станций и более, то заканчивать его следует на точке с известной отметкой. Как правило, ход заканчивают на втором репере  $R_{p_2}$ , что обеспечивает контроль правильности нивелирования.

Теоретически сумма полученных превышений должна равняться разности отметок конечного и начального реперов. В тех случаях, когда ход начат и закончен на одной и той же точке, сумма превышений должна равняться нулю. Отличие практически полученной суммы средних превышений от теоретического значения называется *невязкой*. Невязка  $f_h = \sum_i h_i - (H_k - H_n)$ , где  $H_k$  и  $H_n$  — отметки конечной и начальной точек.

Полученная невязка не должна превышать определенной величины. Для технического нивелирования она не должна быть больше 50 мм на 1 км хода или 5 мм на одну станцию. При  $n$  станциях  $f_{h_{\text{дон}}} \leq 10\sqrt{n}$ .

Если полученная невязка больше допустимой, значит качество нивелирования низкое, и работу следует переделать. Если полученная невязка меньше предельной, то ее распределяют в виде поправок  $\delta_h$  (мм) во все превышения с обратным знаком. Поправки вычисляют по формуле  $\delta_h = f_h/n$ , где  $n$  — число превышений.

Поправки округляют до целых миллиметров, а сумма их должна равняться невязке с обратным знаком. Этот процесс называют *увязкой превышений*.

Отметки связующих точек вычисляют по исправленным превышениям  $h_{\text{исп}}$ , отметки промежуточных точек вычисляют через горизонт прибора по вычисленным отметкам связующих точек. Горизонт прибора равен  $H_A + a = H_B + b$ , где  $a$  и  $b$  — отсчеты по рейкам в точках  $A$  и  $B$ .

Правильность вычислений проверяют в журнале постраничным контролем. Для этого в каждой из граф (3, 4, 6...9) суммируют все записанные в них числа. В 3-й и 4-й графах складывают отсчеты по черной и красной сторонам. Найденные суммы записывают в итоговой строке ( $\Sigma$ ). Полуразность 3-й и 4-й граф должна равняться сумме средних превышений. Суммируя превышения в 6-й и 7-й графах, находят суммы удвоенных положительных и отрицательных превышений, их алгебраическую сумму и полусумму. Эта полусумма представляет собой алгебраическую сумму средних превышений — сумму значений 8-й и 9-й граф. Незначительные отклонения (1...2 мм) допустимы, так как являются результатом округления средних превышений (ими пренебрегают).

Для того чтобы избежать при нивелировании грубых погрешностей, контролируют взятие отсчетов и вычисление превышений. Взятие отсчетов контролируют их повторением: обычно на станции берут два отсчета по каждой рейке — отсчитывание по черной и красной сторонам. Применяют рейки, отсчеты которых, совмещенные с нижними гранями красных сторон двух реек комплекта, различаются на 100 мм. При использовании таких реек надо помнить, что на черной стороне счет делений идет от нуля. С пятками красных сторон совмещены отсчеты 4687 и 4787 мм. Если на красной стороне реек нанесены деления с шагом 11 мм, а не 10 мм, как на черной, превышения, полученные из разности отсчетов по красной стороне, следует умножить на коэффициент 1,1. Если используют рейки с односторонней разграфкой, то поступают так. Берут отсчеты по задней и передней рейкам. Нивелир со штативом снимают и устанавливают вновь, изменяя его высоту примерно на 0,1 м. После этого повторно берут отсчеты по задней и передней рейкам.

До снятия нивелира на станции в случае применения двусторонних реек вычисляют: разность отсчетов по черной и красной сторонам и превышение по отсчетам по черной и красной сторонам. Для технического нивелирования эти расхождения не должны превышать 5 мм. Перемещение реек с точки на точку с правильным их чередованием и своевременным снятием помогает исключить промахи в работе, поэтому реечников инструктируют о порядке перемещения и сигналах для снятия реек.

Места установки нивелира выбирают с таким расчетом, чтобы расстояния от нивелира до связующих точек были примерно равны. Соблюдение этого условия исключает или значительно уменьшает величину погрешности и непараллельности визирной оси и



оси цилиндрического уровня. Нивелир устанавливают в рабочее положение на предварительно проверенном штативе, с подтянутыми болтами и барашками. Ножки вдавливают в грунт. Если наблюдения ведут на большой высоте над землей и при ветре, например на строящемся здании, то на штативе подвешивают металлические стержни, пластины, чтобы он был устойчивее. Винт прочно, но не жестко зажимают. Ножки штатива располагают в направлениях, не препятствующих удобному подходу к окуляру при наблюдении задней и передней реек.

Точки установки реек закрепляют на местности деревянными кольями длиной не менее 30 см и диаметром не менее 5 см. В верхний торец вбивают гвозди со сферической головкой. При установке реек на костыли или башмаки проверяют прочность их сцепления с грунтом или другими поверхностями.

Для того чтобы колебания воздушных потоков меньше искажали отсчеты по рейкам, соблюдают следующие предосторожности. Избегают располагать створы линий над местностью с разными подстилающими поверхностями. Если это все-таки необходимо, то связующие точки располагают на границах зон: асфальт — луг — газон; водная поверхность — берег и т. п.; уменьшают расстояния между нивелируемыми точками. Кроме того, высоту визирного луча не опускают ниже 0,3 м над землей.

На время перерыва в работе рядом с последней связующей закрепляют кольями или костылями еще две точки и определяют превышения между тремя точками до и после перерыва. По значениям этих превышений судят о неизменности положения связующей точки нивелирного хода, на которой оканчивалась работа до перерыва. Если ее положение нарушено, то нивелирование по ходу повторяют вновь.

Исходной или конечной точкой нивелирования может служить марка (знак) с отверстием в центре, установленная в стене. Отметка марки относится к этому отверстию. В отверстие вставляют штифт, а на него рейку. Если рейка располагается ниже штифта, то отсчеты будут со знаком «минус», если выше — со знаком «плюс». Эту особенность надо учитывать и обязательно об этом делать запись в нивелирном журнале.

## Глава 8

### УГЛОВЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ

#### 8.1. Принципы измерения углов. Теодолиты

Измерение горизонтальных и вертикальных углов на местности выполняют специальными приборами — теодолитами.

*Горизонтальный угол* — это ортогональная проекция пространственного угла на горизонтальную плоскость.

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

Принцип измерения горизонтального угла (рис. 8.1, *а*) заключается в следующем. В вершине *A* измеряемого угла *BAC* устанавливают теодолит, основной частью которого является круг с делениями. Круг располагают горизонтально, т.е. параллельно уровенной поверхности, а его центр совмещают с точкой *A*. Проекции направлений *AB* и *AC*, угол между которыми измеряют, пересекут шкалу круга по отсчетам (делениям) *b* и *c*. Разность этих отсчетов дает искомый угол  $\beta = \widehat{BAC} = c - b$ .

Вертикальный угол измеряют по вертикальному кругу (рис. 8.1, *б*) аналогичным образом, но одним из направлений служит фиксированная горизонтальная линия. Из рисунка видно, что если наблюдаемая точка расположена выше горизонта, то вертикальный угол (+ $\nu$ ) положителен, если ниже — отрицателен (- $\nu$ ).

На этом принципе основано устройство теодолитов (рис. 8.1, *в*). Прибор состоит из подставки, которую устанавливают на три подъемных винта *1*. В отверстие подставки *2* входит ось *11* вращения лимба *3*, в которую, в свою очередь, входит ось *10* алидады *4*. Лимб — рабочая мера теодолита — представляет собой круг с делениями. Алидада — часть прибора, расположенная соосно с лимбом, на которой имеются элементы отсчетного устройства и две подставки *5*, несущие ось вращения *HH* зрительной трубы *8* вертикального круга с алидадой *6* и лимбом *7*. На защитном корпусе алидады укреплен цилиндрический уровень *9*. Зрительная труба теодолита представляет собой визирное устройство, содержащее объектив, окуляр и сетку нитей. Уровень служит для приведения в определенное положение прибора в целом и отдельных узлов относительно отвесной линии. К основным частям теодолитов от-

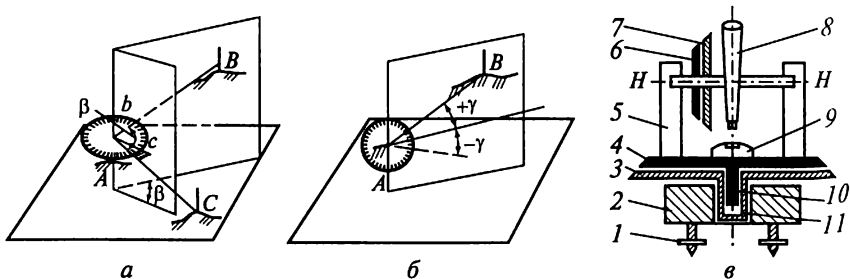


Рис. 8.1. Измерение углов теодолитом:

*а* — горизонтального; *б* — вертикального; *в* — принципиальная схема устройства теодолита; *1* — винт; *2*, *5* — подставки; *3*, *7* — лимбы; *4*, *6* — алидады; *8* — зрительная труба; *9* — уровень; *10*, *11* — оси

носятся наводящее и закрепительное устройства, служащие для наведения зрительной трубы на визирную цель и закрепления подвижной части прибора в заданном направлении.

Для получения с помощью теодолита неискаженного значения результатов его геометрические элементы должны быть соответственным образом ориентированы относительно друг друга. Геометрические условия (рис. 8.2) теодолита записывают так:  $VV \perp FF$ ,  $HH \perp VV$ ,  $PP \perp HH$ ,  $HH \perp BB$ ,  $UU \perp LL$ ,  $L'L' \perp VV$ ,  $LL \perp HH$ , где  $VV$  и  $FF$  — вертикальная ось прибора и плоскость горизонтального круга;  $HH$  — горизонтальная ось трубы;  $PP$  — визирная ось трубы;  $BB$  — плоскость вертикального круга;  $LL$ ,  $UU$  и  $L'L'$  — оси накладного уровня и уровней на горизонтальном и вертикальном кругах;  $RR$  — оси подъемных винтов;  $KK'K''$  — визирная ось оптического отвеса.

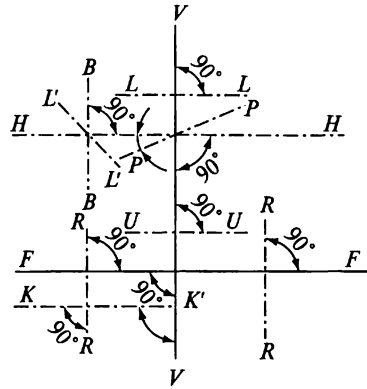


Рис. 8.2. Геометрическое условие теодолита: оси  $PP$  перпендикулярны плоскости рисунка, остальные оси взаимно-перпендикулярны, углы равны  $90^\circ$

Выяснение в полевых условиях сохранности взаимного расположения частей теодолитов называют *поверками*.

Отечественная промышленность выпускает теодолиты, измерения которыми выполняют с погрешностью  $0,5 \dots 30,0''$ . Максимальная погрешность указывается в марке прибора, например  $3Т5КП-5,0''$ ,  $3Т30-30,0''$  и т.д.

Рассмотрим устройство наиболее часто применяемых теодолитов. Особый интерес представляют теодолиты серии  $3Т$  — высокопроизводительные, удобные в работе, многофункциональные угломерные приборы, эксплуатация которых возможна в пределах температур  $-40 \dots +50^\circ\text{C}$ .

В строительстве, изыскательских работах, при монтаже машин, оборудования, конструкций чаще всего применяют теодолиты типа  $3Т5КП$  (рис. 8.3). Как правило, теодолиты укомплектовывают принадлежностями, существенно расширяющими область их применения. К стандартной комплектации относятся: буссоль, линзовая насадка на объектив, окулярная насадка на зрительную трубу и отсчетный микроскоп, электроосвещение отсчетных шкал, требующееся при работе в шахтах, ночью, визирная вешка, устанавливаемая в ручку для переноски теодолита, штатив.

Теодолит  $3Т5КП$  имеет полую цилиндрическую систему осей вращения горизонтального круга. На прижимной к штативу плас-

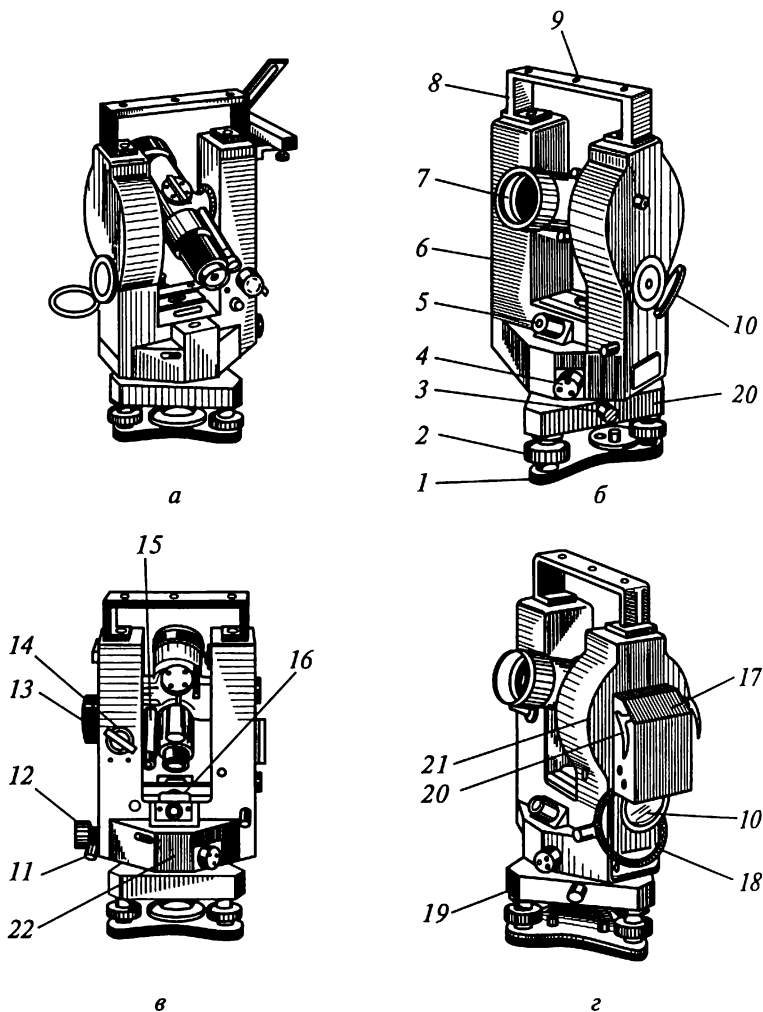


Рис. 8.3. Теодолит 3Т5КП в рабочем состоянии:

*a* — с буссолью; *б...г* — в различных ракурсах; 1 — прижимная пластина; 2 — подъемные винты; 3, 11, 12, 14 — зажимные винты; 4 — винт установки отсчета; 5 — окуляр центрира; 6 — стойка; 7 — объектив трубы; 8 — ручка для переноски; 9 — отверстие для установки вехи; 10 — зеркало подсветки; 13 — винт совмещения шкалы вертикального круга; 15 — микроскоп; 16 — уровень; 17 — электроосветительное устройство; 18 — электрокабель; 19 — трегер; 20 — защелка; 21, 22 — вертикальный и горизонтальный круги

тине 1 на трех подъемных винтах 2 в трегере 19 винтом 3 фиксируют верхнюю часть прибора. Отсчетные шкалы горизонтального круга закрыты кожухом, на котором укреплены стойки 6. На одной из стоек укреплена шкала для снятия отсчетов по вертикаль

ному кругу 21. Центрирование теодолита осуществляют встроенным в алидадную часть оптическим центриром 5. Отсчеты по шкалам вертикального и горизонтального кругов, проходя через систему преломляющих призм, сводятся в микроскоп 15. Цена деления лимба  $1^\circ$ .

В поле зрения микроскопа (рис. 8.4) видны более мелкие деления шкалы — минуты. Отсчет определяют по штриху лимба на отсчетной шкале, например, отсчет по горизонтальному кругу Г равен  $174^\circ 55,2'$ , по вертикальному В —  $2^\circ 04,3'$ . Если штрих совпадает с целым делением, то десятые доли самого мелкого деления определяют «на глаз». В данном случае это будут десятые доли минуты.

Вертикальный круг теодолита жестко скреплен со зрительной трубой, а с алидадой вертикального круга — цилиндрический уровень. Наличие уровня на алидаде вертикального круга позволяет устанавливать ее начальные штрихи горизонтально. В теодолите ЗТ5К уровня при вертикальном круге нет, его роль выполняет оптический компенсатор. Индекс компенсатора занимает горизонтальное положение, и при измерении вертикальных углов показания отсчитывают по шкале без дополнительных действий.

Теодолит ЗТ30 (рис. 8.5) отличается от теодолита ЗТ5КП тем, что в его отсчетном устройстве нет шкалы. Цена деления лимба  $10'$ .

Отсчеты по кругам выполняют по вертикальному отсчетному штриху 1 (рис. 8.6). Минуты определяют «на глаз» ( $70^\circ 05'$  — по горизонтальному кругу,  $358^\circ 48'$  — по вертикальному). Зрительная труба 8 (см. рис. 8.5, а) теодолита ЗТ30 может применяться для центрирования над точкой, для чего используют окулярную насадку и полую вертикальную ось. Эту же насадку используют для визирования вертикально вверх. Фокусировку трубы производят винтом-кремальерой 11. Резкость изображения сетки регулируют в соответствии со зрением наблюдателя вращением кольца окуляра 3. У наблюдателя должно быть зрение  $\pm 5$  диоптрий, в противном случае ему необходимо работать в очках. Зрительную трубу наводят, поворачивая ее в горизонтальной плоскости при отпущенном зажимном винте 15, который закрепляют при подведении трубы к цели, а наводящим винтом 16 точно вводят в биссектор (пространство, ограниченное двумя вертикальными нитями сетки поля зрения трубы). Зрительную трубу наводят на цель в вертикальной плоскости наводящим винтом 12, при этом закрепительный винт 9 при точной подводке зажимают. Для наведения зрительной трубы вместе с лимбом и алидадой служит закрепля-

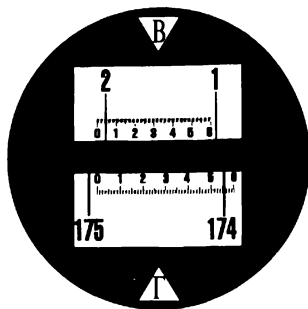


Рис. 8.4. Поле зрения отсчетного микроскопа теодолита ЗТ5

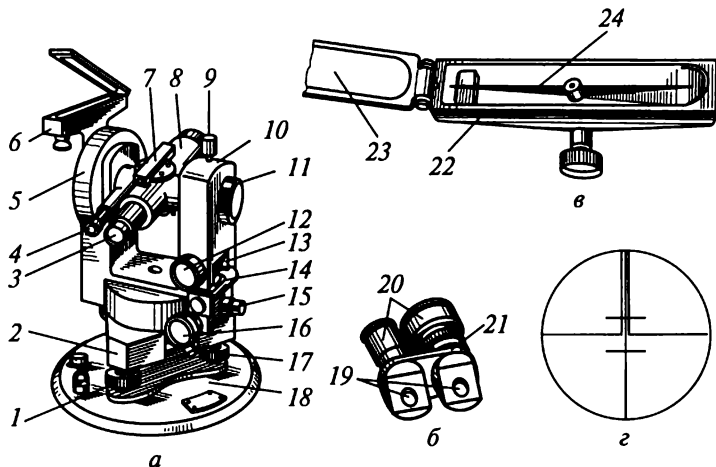


Рис. 8.5. Теодолит 3Т30:

*a* — внешний вид; *б* — окулярная насадка; *в* — общий вид ориентир-буссоли; *г* — поле зрения трубы; 1, 9, 11...13, 15...17 — винты; 2 — подставка; 3, 4 — окуляры; 5 — вертикальный круг; 6 — ориентир-буссоль; 7 — визир; 8 — зрительная труба; 10 — колонка; 14 — уровень; 18 — основание; 19, 20 — призмы; 21 — обойма; 22 — корпус; 23 — зеркало; 24 — магнитная стрелка

тельный винт 17 и наводящий винт, который расположен на подставке теодолита. На зрительной трубе установлен оптический визир 7, с помощью которого трубу «на глаз» наводят на предмет. Рядом с окуляром зрительной трубы находится окуляр 4 отсчетного микроскопа.

Теодолит имеет стеклянный круг с делениями от 0 до 360°. Каждое градусное деление оцифровано. Вертикальную ось прибора устанавливают в отвесное положение по цилиндрическому уровню 14. Уровень имеет юстировочные винты 15. Подставка 2 теодолита несъемная, жестко скреплена с основанием 18, служащим одновременно дном футляра. Ход подъемных винтов 1 подставки регулируется, что дает возможность устанавливать плавный ход.

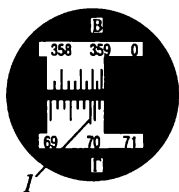


Рис. 8.6. Поле зрения отсчетного микроскопа теодолита 3Т30:

1 — отсчетный штрих

Окулярные насадки надевают на окуляры зрительной трубы и отсчетного микроскопа.

Окулярная насадка (см. рис. 8.5, б) представляет собой призму 19, изменяющую направление визирной оси на 90°. Призма 20 заключена в оправу, которая, в свою очередь, помещена в обойму 21. Оправа с призмой свободно вращается в обойме. На боковой крышке теодолита есть посадочный паз для установки ориентир-буссоли б.

Ориентир-буссоль (см. рис. 8.5, в) помещена в металлический корпус 22 с крышкой, в которую для удобства наблюдений вмонтировано зеркало. В корпусе нанесены два индекса и помещена магнитная стрелка 24. Для уравнивания магнитной стрелки на ее южный конец надет грузик, который можно перемещать вдоль стрелки. Ориентир-буссоль крепится к теодолиту таким образом, чтобы линия, проходящая через индексы, была параллельна визирной оси трубы. Перед работой стрелку буссоли, находящуюся постоянно в закрепленном положении, опускают (разарретируют) для свободного вращения в горизонтальной плоскости.

Трубу теодолита 3Т30 можно при необходимости располагать горизонтально. Для этого на трубу устанавливают уровень: трубу перемещают примерно горизонтально, визир снимают, а на его месте закрепляют уровень.

В настоящее время для автоматизации процесса измерения углов выпускают кодовые теодолиты. В кодовых теодолитах на лимбах вместо штрихов располагаются кодовые дорожки (диски), дающие возможность на основе сочетания прозрачных и непрозрачных полос получать при пропускании через них света лишь два сигнала: «темно»—«светло». В этом случае значение каждого наблюдаемого направления получается как сочетание двух таких сигналов, тем самым в основу кода кладется двоичная система исчисления, как в ЭВМ.

При работе с кодовым теодолитом в обязанность наблюдателя входит лишь наведение трубы на цель. Считывание отсчета по лимбу и последующая обработка выполняются автоматически, что ускоряет и упрощает процесс угловых измерений. Кодовые теодолиты выпускают различной точности, характеризуемой ошибкой измерения угла  $1 \dots 5''$ . Первым отечественным кодовым теодолитом является ТТ11, созданный на базе теодолита 2Т2.

Теодолит, особенно кодовый, является сложным и дорогостоящим прибором, требующим умелого и бережного с ним обращения. Поэтому до начала работы вновь осваиваемым теодолитом необходимо воспользоваться инструкцией, имеющейся у каждого экземпляра теодолита. Следует помнить, что все оптические, винтовые и другие части теодолитов после небрежного к ним отношения и поломки в основном не восстанавливаются.

## 8.2. Штативы, визирные цели и экеры

Для установки теодолитов на местности используют *штативы* (рис. 8.7). Верхняя часть штатива представляет собой горизонтально расположенную металлическую площадку 1, называемую *головкой*. В середине головки размещается отверстие, через которое пропускают становой винт 2, крепящий теодолит со штативом. С головкой соединены нераздвижные (постоянной длины) и раздвижные (перемещаемой длины) ножки 3. На заостренных наконечниках 4 ножек

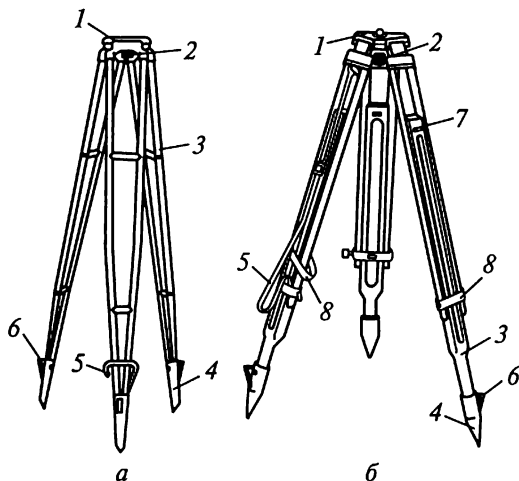


Рис. 8.7. Штативы:

*a* — типа ШН; *б* — типа ШР; 1 — головка (плошадка); 2 — становой винт; 3 — ножка; 4 — наконечник; 5 — ремень для переноски; 6 — упор; 7 — ограничитель; 8 — зажимной блок

есть упоры *б*, с помощью которых ножки вдавливают в грунт для придания устойчивости штативу. Раздвижные ножки позволяют регулировать высоту штатива. Штативы с нераздвижными ножками позволяют изменять высоту головки над поверхностью грунта в более ограниченных пределах, однако они более устойчивы.

Так как непосредственное визирование на точку, закрепленную в грунте знаком, бывает затруднено из-за неровностей местности и растительности, над знаком устанавливают визирные цели, марки, вехи, шпильки.

Если требуется измерить угол с большой точностью, используют комплект визирных целей (КВЦ), который состоит из визирных марок 1, подставок 2 и штативов 3 (рис. 8.8, *a*). Стандартный набор КВЦ включает в себя также аккумуляторы, шнуры с вилками и лампы электрической подсветки для работы в ночное время или в шахтах.

Для центрирования визирной марки над точкой применяют оптический двусторонний отвес (ОДО).

Марку центрируют следующим образом (рис. 8.8, *б*). Штатив устанавливают над точкой, следя за тем, чтобы его головка была примерно горизонтальна, а центр находился над точкой. Подставку с ОДО помещают на головке штатива. Глядя в окуляр 8, смещают по головке штатива подставку с ОДО до совпадения креста сетки нитей с точкой и в этом положении закрепляют ее. Выдвигая — вдвигая ножки штатива, приводят пузырьки двух взаимно-



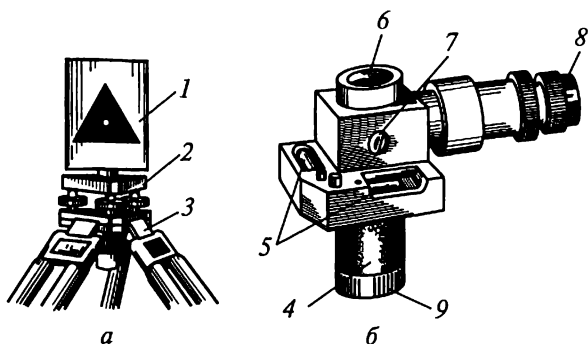


Рис. 8.8. Элементы установки визирных целей:

*а* — комплект визирных целей; *б* — оптический отвес; 1 — марка; 2 — подставка; 3 — штатив; 4 — вертикальная ось; 5 — уровень; 6, 9 — объективы; 7 — переключатель направлений; 8 — окуляр

перпендикулярных уровней 5 в нуль-пункт. При этом наведение креста сетки нитей на точку может немного нарушиться. Чтобы исправить положение, слегка открепляют винт и перемещением подставки вновь наводят ОДО на точку. В этом случае может незначительно нарушиться вертикальность оси ОДО. Восстанавливают ее подъемными винтами подставки. Центрирование и приведение оси ОДО в отвесное положение повторяют несколько раз, добиваясь совпадения креста сетки нитей визирной трубы отвеса с точкой при положении уровней в нуль-пункте. По окончании центрирования подставки над точкой ОДО вынимают и на его место в подставку устанавливают визирную марку.

Вехи устанавливают, непосредственно совмещая заостренную часть с центром точки. Отвесность вех проверяют по вертикальной нити сетки трубы теодолита (рис. 8.9). Центр сетки трубы совмещают с ее основанием.

Шпильки устанавливают при измерении углов с короткими сторонами. Острие шпильки совмещают с центром знака, а их отвесность проверяют по вертикальной нити сетки трубы.

С помощью оптического отвеса теодолит центрируют так же, как ОДО. Погрешность центрирования 0,5... 1,0 мм.

Для построения на местности прямых углов с небольшой точностью служит двухзеркальный геодезический эккер (ЭГ).

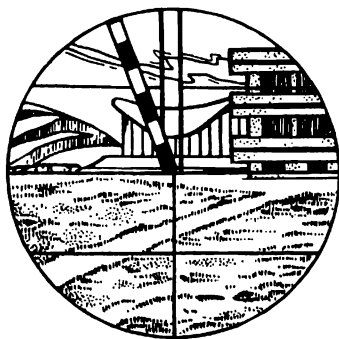


Рис. 8.9. Поле зрения трубы при наведении на веху (изображение перевернуто)

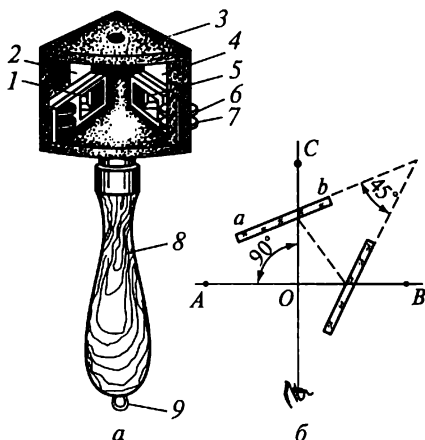


Рис. 8.10. Двухзеркальный ЭГ:  
*a* — внешний вид; *б* — построение прямого угла эккером над точкой *O*; 1, 5 — зеркала; 2, 4 — окна; 3 — корпус; 6, 7 — винты; 8 — ручка; 9 — кольцо

Эккер (рис. 8.10, *a*) состоит из трехгранного металлического корпуса 3, к граням которого с внутренней стороны под углом  $45^\circ$  прикреплены колодочки с зеркалами 1 и 5. Угол между зеркалами регулируют винтами 6 и 7. Над зеркалами вырезаны окна 2 и 4. К коробке эккера привинчена ручка 8. При построении прямого угла наблюдателю необходимо центрировать ручку эккера над точкой. Для этого на ручке есть кольцо 9, к которому крепится нитяной отвес.

Для построения прямого угла (рис. 8.10, *б*) в точке *O* к створу *AB* необходимо, чтобы в зеркале *ab* была видна исходная визирная цель, установленная в точке *A*. Одновремен-

но по створу в окне над зеркалом *ab* «на глаз» выставляют вторую визирную цель, перемещающую по створу до совпадения ее изображения с изображением исходной визирной цели.

Визирная цель устанавливается в точке, от которой должен быть опущен перпендикуляр к створу *AB*. Наблюдатель с эккером перемещается вдоль створа линии *AB* до совмещения визирных целей, видимых в окне.

Правильность работы эккера проверяют так. В створе линии *AB* в точке *C* дважды восстанавливают перпендикуляр: сначала ориентируясь по точке *A*, затем — по точке *B*. Если угол между зеркалами равен  $45^\circ$ , то визирные цели, устанавливаемые в точке *C*, совпадут. Исправления при необходимости выполняют регулировочными винтами 6 и 7.

### 8.3. Поверки и юстировки теодолитов

До начала работы с теодолитом внешним осмотром проверяют его устойчивость на штативе, плавность хода подъемных и наводящих винтов, а также прочность фиксации вращающихся частей закрепительными винтами.

Если теодолит получен с завода, после ремонта или от другого специалиста, то до ввода теодолита в эксплуатацию выполняют поверки. В процессе проверок удостоверяются в правильном взаимном расположении осей прибора (рис. 8.11, *a*).

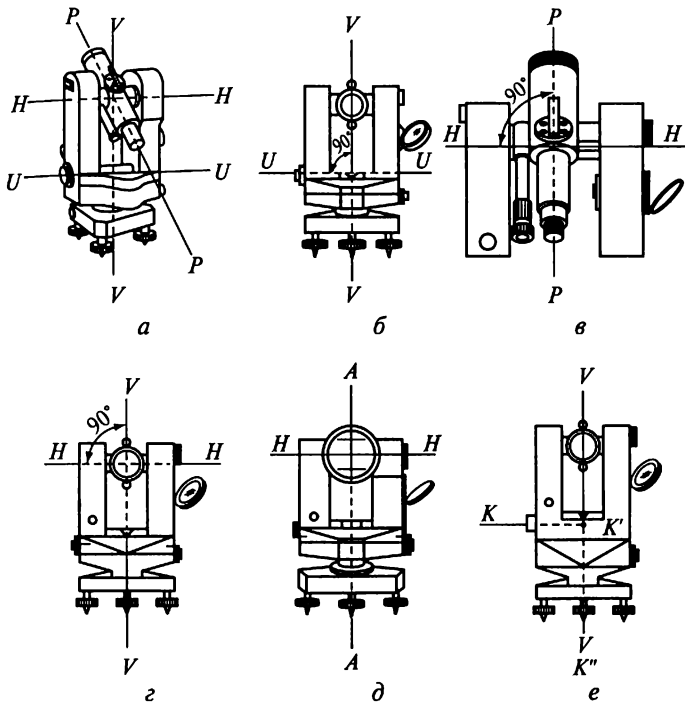


Рис. 8.11. Схемы (а...е) геометрических осей теодолита

1. Ось  $UU$  цилиндрического уровня горизонтального круга должна быть перпендикулярна оси  $VV$  вращения прибора (рис. 8.11, б).

Проверку выполняют в следующей последовательности. Теодолит устанавливают на штативе так, чтобы уровень был расположен по направлению двух любых подъемных винтов и, вращая их в разные стороны, приводят пузырек уровня в нуль-пункт, затем поворачивают горизонтальный круг теодолита на  $180^\circ$ . Если пузырек остался на середине или отклонился не более чем на одно деление, то уровень исправен, если более чем на одно деление — неисправен.

Для устранения неисправности пузырек перемещают исправительными винтами уровня к нуль-пункту на одну половину дуги отклонения, а подъемными винтами — на вторую.

После выполнения проверки удостоверяются, что теодолит сохраняет рабочее положение. Для этого горизонтальный круг поворачивают на  $90^\circ$ , приводят пузырек цилиндрического уровня на середину и поворачивают горизонтальный круг в произвольном направлении. Если при различных положениях круга относительно подъемных винтов пузырек остался на середине, то проверка считается выполненной.

2. *Визирная ось PP трубы должна быть перпендикулярна оси HH вращения трубы* (рис. 8.11, в).

Поверку выполняют в следующей последовательности. Вертикальную ось теодолита приводят в отвесное положение. Для этого сначала устанавливают уровень теодолита по направлению двух подъемных винтов и, вращая их в разные стороны, приводят пузырьки на середину ампулы. Поворачивают теодолит на  $90^\circ$  и вращением третьего подъемного винта приводят пузырьки снова на середину. Наводят трубу на удаленную, ясно видимую точку, закрепляют лимб и берут отсчет  $a_1$  по горизонтальному кругу. Отпускают зажимной винт зрительной трубы и переводят трубу через зенит. Открепляют зажимной винт алидады и, наводя трубу на ту же точку, берут повторный отсчет  $a_2$ . Если отсчеты  $a_1$  и  $a_2$  равны или отличаются не более чем на двойную точность отсчетного устройства, то теодолит исправен, если больше — неисправен.

Чтобы устранить неисправность, из отсчетов  $a_1$  и  $a_2$  находят среднее значение:  $a_{cp} = (a_1 + a_2)/2$ . Микрометренным винтом устанавливают на горизонтальном круге средний отсчет  $a_{cp}$  (изображение точки сместится от вертикальной нити). Снимают с окулярного колена трубы колпачок, ослабляют вертикально расположенные винты и вращением боковых исправительных винтов смещают сетку до совпадения перекрестия сетки нитей с точкой визирования. После юстировки закрепляют винты.

Можно измерять угол и при нарушенном соотношении осей. В этом случае отсчеты берут при двух положениях трубы — левом (Л) и правом (П) и из этих отсчетов определяют среднее.

3. *Ось HH вращения трубы должна быть перпендикулярна оси VV вращения прибора* (рис. 8.11, г).

Поверку выполняют в следующей последовательности. Теодолит устанавливают на расстоянии 10... 15 м от стены здания. Вертикальную ось вращения приводят в отвесное положение. Трубу наводят на точку, высоко расположенную на здании, и закрепляют горизонтальный круг. Трубу плавно опускают до горизонтального положения. На стене отмечают проекцию точки. Переводят трубу через зенит, опускают закрепительный винт алидады и снова наводят на ту же точку. Проецируют точку на тот же уровень и закрепляют. Если проекции точки совпадают, то теодолит исправен, если не совпадают — неисправен.

Условия этой поверки гарантируются заводом-изготовителем. При нарушении условий прибор направляют в мастерскую для ремонта.

При работе с нарушенным соотношением осей измерения делают только при двух положениях круга. При подъеме трубы до  $30^\circ$  и расстоянии до проектируемой точки до 20 м допускается несоответствие проекций до 30 мм; за окончательный результат принимают среднее из двух наведений.

4. *Вертикальная нить АА сетки зрительной трубы должна быть перпендикулярна оси НН ее вращения (рис. 8.11, д).*

Поверку выполняют в следующей последовательности. Вертикальную ось вращения теодолита приводят в отвесное положение. На расстоянии 8...10 м от теодолита закрепляют отвес. Вертикальную нить наводят на отвес. Если вертикальная нить сетки совпадает с нитью отвеса, то теодолит исправен, если отклонилась от отвеса — неисправен.

Чтобы исправить соотношение осей, снимают с окулярного колена трубы колпачок, ослабляют исправительные винты сетки и поворачивают диафрагму так, чтобы вертикальная нить сетки совместилась с нитью отвеса.

При нарушении условия поверки визируют только перекрестием сетки нитей.

После выполнения этой поверки повторно делают вторую поверку.

5. *Компенсатор вертикального круга должен обеспечивать неизменный отсчет по вертикальному кругу при наклонах вертикальной оси теодолита в пределах  $\pm 2,0'$  (для теодолитов ЗТ5К).*

Поверку выполняют в такой последовательности. Вертикальную ось вращения теодолита приводят в отвесное положение, расположив один из подъемных винтов в направлении выбранной точки местности. Трубу наводят на точку, расположенную на расстоянии 50 м, и закрепляют закрепительными винтами трубы и горизонтального круга. Действуя подъемными винтами, наклоняют теодолит на 3...4 деления уровня, вновь наводят трубу на ту же точку и делают отсчет по вертикальному кругу. Повторяют те же действия, наклонив теодолит на 3...4 деления уровня в другую сторону.

Если разность отсчетов, полученных при первом и втором наклонах теодолита, не превышает  $\pm 0,1'$ , то теодолит исправен, если превышает — неисправен.

При нарушении этого условия работать нельзя, теодолит направляют в оптико-механическую мастерскую для исправления.

6. *Визирная ось КК'К'' оптического отвеса должна совпадать с осью К'К'' вращения теодолита, т.е. VV (рис. 8.11, е).*

Поверку выполняют в такой последовательности. Вертикальную ось вращения теодолита приводят в отвесное положение. Отмечают на местности точку, в которую проецируется наблюдаемый в окуляр центр отвеса. Повернув теодолит на  $180^\circ$ , снова отмечают проекцию центра отвеса. Если проекции точек совпадают до 1 мм, то теодолит исправен, если не совпадают до 1 мм — неисправен.

Чтобы устранить неисправность, снимают крышку, под которой расположены два винта, скрепляющие отвес с теодолитом, отпускают винты и передвигают окулярную часть до совмещения

проекций первой и второй точек. Нельзя выполнять работы при несовпадении проекций центра отвеса свыше 3 мм: теодолит в этом случае отправляют в ремонт.

#### 8.4. Измерение горизонтальных и вертикальных углов на местности

Горизонтальный угол  $BAC$  (рис. 8.12) на местности измеряют так. В вершине измеряемого угла устанавливают теодолит. Головку штатива располагают примерно над знаком, а ее верхнюю площадку приводят в горизонтальное положение. Наконечники ножек штатива вдавливают в грунт.

Теодолит центрируют над точкой  $A$  и по уровню на алидаде горизонтального круга с помощью подъемных винтов приводят ось вращения теодолита в вертикальное положение. На точках  $B$  и  $C$ , фиксирующих направления, между которыми измеряется угол, устанавливают визирные цели: марки, вехи, шпильки и т. п.

Сетку нитей трубы устанавливают в соответствии со зрением наблюдателя. Для этого трубу наводят на светлый фон (небо, белую стену) и, вращая окулярное кольцо, в поле зрения трубы добиваются четкого изображения сетки нитей.

Глядя вверх трубы, совмещают крест визира с визирной целью (визирная цель должна появиться в поле зрения трубы). После попадания в поле зрения трубы визирной цели фиксируют направление, зажимая закрепительные винты алидады и трубы. Вращением фокусирующей кремальеры добиваются резкого изображения визирной цели. Наводящими винтами алидады и трубы совмещают центр сетки с изображением визирной цели.

Существует несколько способов измерения углов. Наиболее простой способ — совмещение нулей лимба и алидады или «от нуля». В этом случае нуль алидады совмещают с нулем лимба. Али-

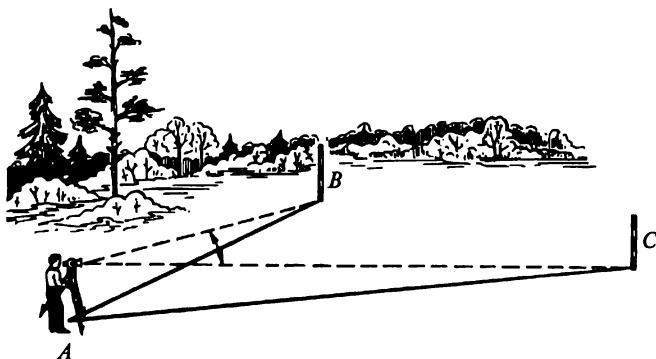


Рис. 8.12. Измерение горизонтального угла

Таблица 8.1

Станция	Точка наблюдения	Отсчет			Угол		
		1-й	2-й	средний	в полуприемах	средний	
А	Л						
	14	263°18,6'	18,8'	263°18,7'	55°23,5'	55°23,2'	
	16	318°42,3'	42,2'	318°42,2'			
	П						
	14	150°44,8'	44,8'	150°44,8'	55°22,8'		
	16	46°07,7'	07,4'	46°07,6'			

даду закрепляют, оставляя незакрепленным лимб. Трубу наводят на визирную цель и закрепляют лимб. После этого алидаду открывают, наводят трубу на другую визирную цель и закрепляют алидаду. Отсчет на лимбе даст значение измеряемого угла. Как правило, отсчеты по лимбу производят дважды.

Описанный способ прост, но недостаточно точен, поэтому чаще применяют способ приемов. В этом случае совмещение трубы с первой визирной целью производят при произвольном отсчете по лимбу.

Измерение угла при одном положении круга называют *полуприемом*. Как правило, работу по измерению угла на точке заканчивают полным приемом — измерением при правом и левом положениях вертикального круга. Более точных результатов можно достичь, если измерения выполнять несколькими приемами. Результаты измерений записывают в полевой журнал (табл. 8.1). Из полученных отсчетов (например, на левую точку 14) 263°18,6' и 18,8' берут среднее значение — 263°18,7'. На правую точку 16 получают средний отсчет 318°42,2'. Разность средних отсчетов (П – Л) является измеренным значением угла 55°23,5'. Расхождение значений измеренного угла в полуприемах не должно превышать полуторной точности отсчета. Если измерения производят несколькими приемами, то лимб между ними переставляют на угол  $\gamma = 180^\circ/n$ , где  $n$  — число приемов.

В вертикальной плоскости теодолитом измеряют углы наклона или зенитные расстояния (рис. 8.13).

Принято различать положительные и отрицательные углы наклона. Положительный угол образуется разностью между направлением на предмет, располагаемым выше уровня горизонтальной оси вращения трубы, и направлением, соответствующим горизонтальному положению визирной оси. Отрицательный угол образуется между горизонтальным положением визирной оси трубы и направлением на точку, располагаемую ниже горизонтальной оси вращения трубы.

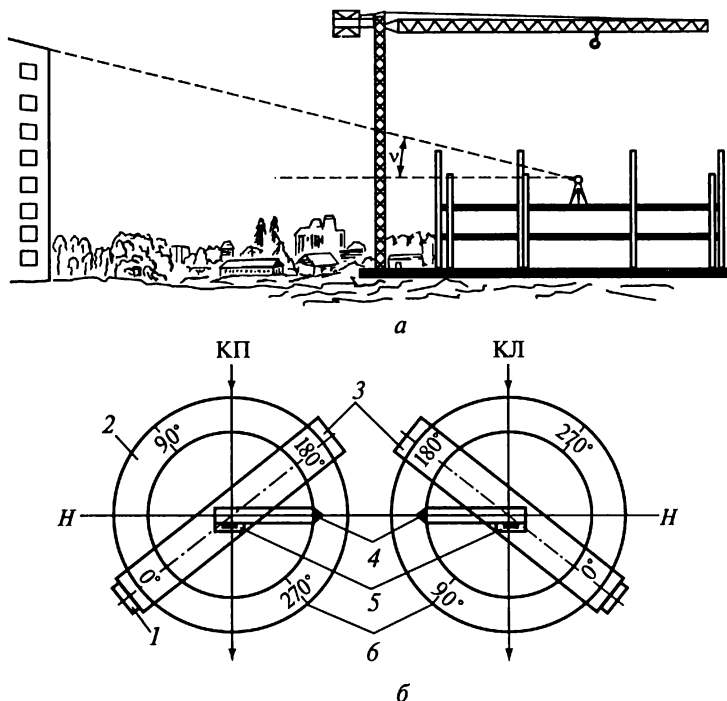


Рис. 8.13. Измерение вертикального угла:

*a* — схема; *б* — положение оси визирования; 1 — окуляр; 2 — вертикальный круг; 3 — объектив; 4 — отсчетный индекс; 5 — уровень; 6 — оцифровка; *HH* — горизонтальная ось

При измерении вертикальных углов (см. рис. 8.13, *a*) исходным (основным) направлением является горизонтальное. Отсчеты ведут по шкалам, нанесенным на вертикальный круг 2 теодолита [на вертикальном круге (см. рис. 8.13, *б*) показана подпись делений от 0 до 360°]. У некоторых типов теодолитов подпись шкал на вертикальном круге иная, но во всех случаях с горизонтальным направлением визирной оси трубы совпадает целое число градусов: 0°, 90°. У теодолитов ЗТ30 начальный индекс, относительно которого производят отсчеты по вертикальному кругу, приводится в горизонтальное положение уровнем при горизонтальном круге. Уровень скреплен с алидадой так, что его ось установлена параллельно коллимационной плоскости зрительной трубы.

Для вычисления значений углов наклона определяют место нуля (М0). *Место нуля* — это отсчет по вертикальному кругу, соответствующий горизонтальному положению визирной оси и положению уровня при алидаде вертикального круга в нуль-пункте, или горизонтальности отсчетного индекса у теодолитов с компенсатором при вертикальном круге.



Место нуля определяют так: устанавливают теодолит, приводят его в рабочее положение, находят хорошо видимую точку и наводят на нее трубу при круге «лево» (КЛ). При наличии уровня при вертикальном круге приводят его пузырек в нуль-пункт и берут отсчет по вертикальному кругу. Трубу переворачивают через зенит, теодолит — на 180° и вновь, теперь уже при круге «право» (КП), наводят крест сетки нитей на ту же точку. Вновь приводят пузырек уровня в нуль-пункт и берут второй отсчет по вертикальному кругу.

При работе с теодолитом 3Т30 место нуля вычисляют по следующей формуле:  $M_0 = (\Pi + Л + 180^\circ)/2$ , где  $\Pi$  и  $Л$  — отсчеты по вертикальному кругу теодолита при измерении углов приема КП и КЛ соответственно.

При работе с теодолитом 3Т5КП место нуля вычисляют по следующей формуле:  $M_0 = (\Pi + Л)/2$ . При работе с другими теодолитами формулу для вычислений  $M_0$  узнают из паспорта, прикладываемого к каждому теодолиту.

Результаты измерения записывают в журнал (табл. 8.2).

Место нуля может иметь любое значение. Важно, чтобы при измерении вертикальных углов оно оставалось постоянным. Для удобства вычислений желательно, чтобы  $M_0$  было близким, а еще лучше равным нулю. Место нуля исправляют так. После определения  $M_0$  вращением трубы теодолита при  $Л$  устанавливают отсчет по вертикальному кругу, равный вычисленному углу наклона. В этом случае средняя горизонтальная нить сетки сойдет с изображения точки. Вертикальными исправительными винтами сетки среднюю горизонтальную нить наводят на точку.

Измерение вертикальных углов основано на конструктивной особенности теодолита, лимб вертикального круга которого жестко скреплен на лимбе вертикального круга: 0...180° или 90...270°. Лимб, вращаясь вместе с трубой, подводит к отсчетным индексам различные отсчеты. Разность отсчетов между двумя направлениями, между направлением и горизонтальным отсчетным индексом даст значение вертикального угла  $\nu$  или угла от горизонта до измеряемого направления.

Таблица 8.2

Станция	Точка наблюдения	Отсчет				$M_0$	
		$\Pi$		$Л$			
		°	'	°	'	°	'
А	1	2	45	117	18	0	01,5
	2	5	35	174	29	0	02

Таблица 8.3

Дата 3.15.92  
Наблюдатель Михальчук

Погода: облачно,  $t = +26^\circ\text{C}$   
Теодолит: ЗТЗ0 № 0285Р

Станция		Точка	Отсчет				(П + Л)/2		D, м	Абрис				
			°	'	°	'	°	'						
1	П	5	295	08	124	48	124,0	47,5	Прямо 154,07					
		2	171	20										
	Л	5	12	31					Среднее 154,12					
		2	247	44	124	47								
	Вычислил:					Проверил:								

Для решения некоторых инженерных задач требуется определить зенитное расстояние, которое является дополнением угла наклона до  $90^\circ$ :  $z = 90^\circ - v$ . Зенитное расстояние образуется визирной линией и отвесной линией, называемой *направлением на точку зенита*.

При измерении зенитных расстояний вместо М0 определяют место зенита (МЗ). Отсчеты по вертикальному кругу производят при положении пузырька уровня при вертикальном круге в нуль-пункте, что означает приведение отсчетного индекса в горизонтальное положение. Если теодолиты снабжены компенсатором, то отсчетный индекс автоматически приводится в горизонтальное положение. Если у теодолита нет уровня при вертикальном круге и компенсатора (например, теодолиты ЗТЗ0), то перед отсчетом по вертикальному кругу приводится в нуль-пункт уровень при горизонтальном круге.

Хотя оцифровка делений на вертикальных кругах теодолитов различна, правила придания знаков вертикальным углам общие: поднятие визирной оси трубы над горизонтом образует положительные углы наклона. Поэтому при определении угла наклона разными теодолитами его вычисляют по следующим формулам:

$$\text{для ЗТЗ0: } v = Л - М0, v = М0 - П - 180^\circ, v = (Л - П - 180^\circ)/2;$$

$$\text{ЗТ5К, 2Т5П: } v = Л - М0, v = М0 - П, v = (Л - П)/2.$$

Если из уменьшаемого отсчета нельзя вычесть вычитаемое, то к отсчету, меньшему  $90^\circ$ , прибавляют  $360^\circ$ .

Результаты измерений и вычислений записывают в полевых журналах (табл. 8.3).

## 8.5. Теодолитные ходы

*Теодолитным ходом* (рис. 8.14) называют систему закрепленных в натуре точек, например 1, 4, 5, координаты которых определены из измерения углов  $\beta$  и расстояний  $D$ .

Теодолитный ход начинают создавать с осмотра местности — рекогносцировки, цель которой — определить наиболее благоприятные места для закрепления вершин теодолитного хода и створов для промеров углов и линий между ними. Как правило, теодолитные ходы прокладывают между точками государственной геодезической сети, например II, III. Связь теодолитных ходов с пунктами более высокого класса называют *привязкой*.

Если теодолитные ходы не привязаны к государственным геодезическим сетям, то 20 % точек закрепляют железобетонными знаками. Эти знаки, в свою очередь, привязывают к предметам местности: зарисовывают глазомерно план и измеряют расстояния не менее чем до трех постоянных предметов местности — углов капитальных зданий, колодцев, деревьев.

Длины сторон между точками теодолитных ходов колеблются в пределах 20...350 м, а длины ходов зависят от многих факторов. Из них главные: масштабы топографической съемки и застроенность территории, по которой прокладывают ход. Например, уменьшение масштаба съемки с 1:500 до 1:1000 позволяет увеличить длину хода с 0,8 до 1,2 км.

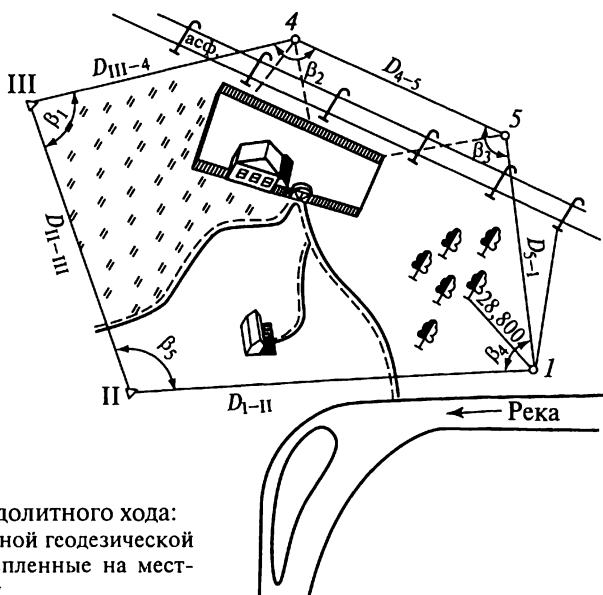


Рис. 8.14. Схема теодолитного хода:  
 $\nabla$  — точки государственной геодезической  
сети;  $\circ$  — точки, закрепленные на мест-  
ности

Если производят съемку в масштабе 1 : 2000, то на застроенной территории длина хода допускается до 2 км, а на незастроенной — до 3 км.

После того как выбраны и закреплены вершины сторон теодолитного хода, производят измерения сторон и горизонтальных углов.

Общепринятая погрешность измерения сторон в теодолитных ходах от 1 : 1000 до 1 : 2000. Это означает, что если, например, измерена линия длиной 154 м, то при заданной предельной относительной погрешности измерения 1 : 1000 результат измерения «прямо» может отличаться от результата измерения «обратно» не более чем на  $154 \text{ м} / 1000 = 15 \text{ см}$ . Результаты измерений записывают в графу 9 (табл. 8.4).

Измерение горизонтальных углов между точками теодолитного хода (либо левые, либо правые по ходу продвижения) выполняют теодолитами.

В зависимости от применяемых теодолитов правильность измерений контролируют по разности углов между полуприемами П и Л (см. графы 5, 6 табл. 8.4).

В журнале измерения горизонтальных углов часть места отводят для схематической зарисовки (абриса) положения точек теодолитного хода и пояснительных записей (см. графу 10 табл. 8.4). Абрис служит основным документом, по которому находят на местности точки теодолитного хода.

Для передачи координат на точки теодолитных ходов производят привязку их к геодезическим пунктам более высокого класса. Привязка состоит в том, что определяют положение хотя бы одной точки хода относительно точек более высокого класса: измеряют между ними расстояние и примычный угол. Плановую привязку называют передачей координат и дирекционных углов с пунктов привязки на точки ходов.

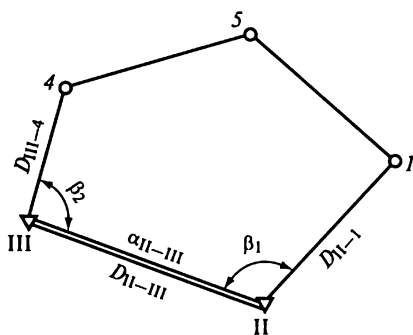


Рис. 8.15. Схема привязки теодолитного хода к твердым пунктам II и III

В зависимости от числа пунктов государственной геодезической сети и удаленности их от точек теодолитного хода привязку производят разными способами. Например, пункты государственной геодезической сети II, III включают в теодолитный ход, измеряют примычные углы  $\beta_1$  и  $\beta_2$  и линии  $D_{II-1}$ ,  $D_{III-2}$  (рис. 8.15).

Результаты линейных и угловых измерений обрабатывают. Первичную обработку (полевой контроль и оценку их

Таблица 8.4

Станция	Точка	Отсчет		Угол		(П + Л)/2		D, м	Абрис	Примечание	
		°	'	°	'	°	'				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
I	Л	II	183	56	91	44	91	43,5	115,89		В линии III—4 измерен вертикаль- ный угол $v = 6^{\circ}51'$
			92	12					<u>115,91</u>		
	П	II	2	37	91	43	106	17,5	<u>115,90</u>		
			5	270					54		
	П	III	12	25	106	18	106	17,5	<u>182,84</u>		
			1	266					07		
	Л	III	155	41	106	17	76	06	147,7		
			1	49					24		
	Л	4	170	49	76	06	76	06,5	<u>147,45</u>		
			II	94					43		
П	II	4	11	76	07	101	59	95,98			
		4	288					04	<u>95,94</u>		
П	III	291	38	101	59	101	58,5	<u>95,96</u>			
		5	189					39	95,96		
4	Л	III	200	05	101	58	163	52,5	88,67		
			5	98					07	<u>88,69</u>	
	Л	4	102	23	163	52	163	52,5	<u>88,68</u>		
			1	298					31	88,68	
	П	4	208	33	163	53	163	52,5	88,67		
			III	44					40	<u>88,68</u>	

пригодности для последующих вычислений) выполняют непосредственно в полевых журналах. При первичной обработке находят среднее значение из множества измерений одной и той же величины, определяют допустимость отклонений, делают повторные вычисления (выполняет другой специалист).

№ вершины полигона	Угол				Азимут (дирекционный угол)		Румб			Длина линии (горизонтальное положение)	вычис		
	измененные		исправленные				название	°	'				
	°	'	°	'	°	'					±	Δх	
1	2		3		4		5			6		7	
II		+3			260	52,0							
III	76	06,5	76	06,8									-4
		+3			4	45,2	СВ	4	45,2	146,40	+	145,90	
4	101	58,5	101	58,8									-3
		+3			82	46,4	СВ	82	46,4	95,96	+	12,08	
5	163	52,5	163	52,8									-2
		+3			98	53,6	ЮВ	81	06,4	88,68	-	13,72	
1	91	43,5	91	43,8									-3
		+3			187	09,8	ЮЗ	7	09,8	115,90	-	115,04	
II	106	17,5	106	17,8									
III					260	52,0							00

Примечание.

$$\sum_{\text{поли}} 539 \ 585 \ 540 \ 00,0$$

$$\text{Длина хода} \quad \sum D \ 446,94 \ + \ 157,98$$

$$\sum_{\beta_T} = 180^\circ(n-2) = 540^\circ 00,0'$$

$$- 128,76$$

Угловая невязка:

$$\sum \Delta x_{\text{пр}} \ + \ 29,22$$

$$f_{\beta_{\text{пр}}} = \sum_{\beta_{\text{пр}}} - \sum_{\beta_T} =$$

$$\sum \Delta x_r \ + \ 29,10$$

$$= 539^\circ 58,5' - 540^\circ 00,0' = -0^\circ 01,5'$$

Допустимость невязки:

$$\text{Невязки} \quad f_x = +0,12 \text{ см}$$

$$f_{\beta_{\text{доп}}} = 2t\sqrt{n} = 2 \cdot 0,5' \cdot \sqrt{5} = 0^\circ 02,2'$$

приращений

$$t = 0,5'$$

$$\text{Абсолютная} \quad f_D = \sqrt{f_x^2 + f_y^2} = 0,13 \text{ см}$$

невязка хода

(n — число углов)

$$\text{Допустимость} \quad \frac{f_D}{\sum D} = \frac{1}{\sum D} = \frac{1}{3400} < \frac{1}{2000}$$

относительной невязки

Основную обработку результатов измерений в теодолитном ходе выполняют после полевого контроля и записывают на бланках-ведомостях.

Исходные данные для обработки: горизонтальные углы, длины сторон, дирекционный угол примычной стороны и координаты точек государственной геодезической сети, к которым привязывают теодолитный ход.

Последовательность обработки и записи результатов приведена в табл. 8.5.

Таблица 8.5

Приращения						±	x	±	y	№ вершины полигонов	Примечание
ленные		исправленные									
±	Δy	±	Δx	±	Δy						
8		9		10		11		12		13	14
	+1					+	29,90	-	190,10	II	
+	12,12	+	145,86	+	12,13	+	175,76	-	173,97	III	
+	+1					+	187,81	-	82,77	4	
+	95,19	+	12,05	+	95,20	+	174,07	+	4,85	5	
+	+1					+	59,00	-	9,98	1	
+	87,61	-	13,74	+	87,62					II	
-	14,44	-	115,07	-	14,43						

$$\begin{aligned}
 - & 194,92 & \sum \Delta x_{\tau} &= x_{\kappa} - x_{\text{н}} \\
 - & 14,44 & \sum \Delta x_{\tau} &= 59,00 - 29,90 \\
 \sum \Delta y_{\text{пр}} &+ 180,48 & \sum \Delta x_{\tau} &= 29,10 \\
 \sum \Delta y_{\tau} & 180,52 & \sum \Delta y_{\tau} &= y_{\kappa} - y_{\text{н}} \\
 & & \sum \Delta y_{\tau} &= -9,58 - (-190,10) \\
 & & \sum \Delta y_{\tau} &= 180,52
 \end{aligned}$$

$$f_y = -0,04 \text{ см} \quad 0 \quad 0$$

Вычислила  
Проверила

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 г.

1. Из граф 7 и 8 журнала в ведомость (см. табл. 8.5) выписывают средние значения измеренных углов.

2. Подсчитывают сумму измеренных углов (графа 2) и теоретическую сумму углов.

Для замкнутого теодолитного хода сумму углов подсчитывают как сумму углов многоугольника:  $\sum \beta_{\tau} = 180^{\circ}(n - 2)$ , где  $n$  — число углов. Подсчитывают практическую невязку  $f_{\beta_{\text{пр}}}$  в сумме углов, равную разности суммы измеренных практически и теоретических углов:  $f_{\beta_{\text{пр}}} = \sum \beta_{\text{пр}} - \sum \beta_{\tau}$ .

Для разомкнутого теодолитного хода, т.е. хода, привязанного к пунктам государственной геодезической сети с двух сторон, невязку вычисляют по формуле  $f_{\beta_{пр}} = \alpha_{к.л} - \alpha_{н.л} \pm \sum \beta_{изм}$ , где  $\alpha_{к.л}$ ,  $\alpha_{н.л}$  — дирекционные углы сторон, к которым привязан теодолитный ход;  $\sum \beta_{изм}$  — сумма измеренных углов на вершинах теодолитного хода.

3. Определяют допустимость вычисленной угловой невязки по сравнению с заранее вычисленной:  $f_{\beta_{доп}} = 2t\sqrt{n}$ , где  $t$  — приборная точность измерения углов;  $n$  — число измеряемых углов.

4. При  $f_{\beta_{пр}} \leq f_{\beta_{доп}}$  невязку распределяют поровну на все углы введением поправок. Поправки вычисляют по формуле  $v_i = f_{\beta_{пр}}/n$  и вводят с обратным знаком в значения измеренных углов, получая исправленные углы (графа 3).

Как правило, поправки вводят с округлением до десятых долей минуты, если углы измерены с точностью до минут. Если измерения более точные, то при округлении удерживают один лишний знак по отношению к измеренным углам. Если невязку нельзя разделить поровну на все углы, то большую поправку вводят в углы, образованные короткими сторонами.

5. По исходному дирекционному углу, который, например, для стороны II...III равен  $260^\circ 52,5'$ , вычисляют дирекционные углы (рис. 8.16) остальных сторон теодолитного хода. Вычисления ведут по следующему правилу: дирекционный угол последующей стороны равен дирекционному углу предыдущей стороны плюс  $180^\circ$

и минус горизонтальный угол, лежащий справа по ходу:  $\alpha_{III-4} = \alpha_{II-III} + 180^\circ - \beta_{III-4}$ . Если при вычислении уменьшаемый угол окажется меньше вычитаемого, то к уменьшаемому углу прибавляют  $360^\circ$ . Если вычисленный дирекционный угол окажется больше  $360^\circ$ , то из него вычитают  $360^\circ$ .

Если измерены левые углы, то дирекционный угол последующей стороны вычисляют по формуле  $\alpha_{посл} = \alpha_{пред} + \beta - 180^\circ$ .

6. Вычисляют значения румбов  $r$  и записывают их в графу 5.

7. Вычисляют горизонтальные проложения длины линий и записывают их значения в графу 9. Горизонтальные проложения линии вычисляют по формуле  $d = D - \Delta d_h$ , где  $D$  — измеренная длина

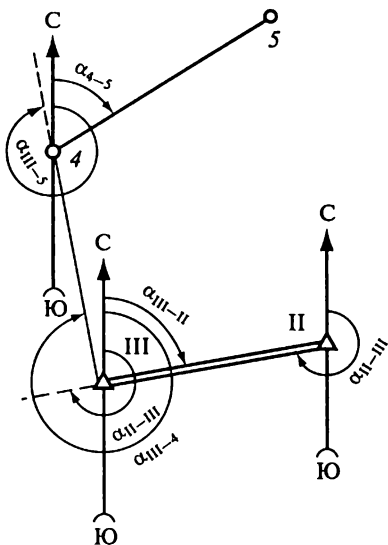


Рис. 8.16. Схема вычисления дирекционных углов



стороны;  $\Delta d_h$  — поправка к измеренной длине за наклон к горизонту.

8. В графе 6 подсчитывают длину теодолитного хода  $\Sigma D$ .

9. Используя таблицы приращений координат, вычисляют  $\Delta x$  и  $\Delta y$  по формулам  $\Delta x = D \cos r$ ,  $\Delta y = D \sin r$ .

В таблицах приращений координат помещены произведения синусов и косинусов углов от 0 до 90° через 1' на горизонтальные проложения, кратные 10, 20, ..., 90 м. Приращения координат выбирают из таблиц, сохраняя второй знак после запятой. Вычисление приращений координат можно вести на микрокалькуляторе, с помощью таблиц натуральных значений тригонометрических функций и таблиц логарифмов.

10. Подсчитывают алгебраическую сумму положительных и отрицательных значений приращений координат  $\Sigma \Delta x_{\text{пр}}$  и  $\Sigma \Delta y_{\text{пр}}$ .

11. Из каталогов координат в графы 11 и 12 выписывают координаты  $x$  и  $y$  исходных пунктов II и III и подсчитывают теоретические суммы приращений координат:  $\Sigma \Delta x_{\text{т}} = x_k - x_n = x_{\text{II}} - x_{\text{III}}$ ,  $\Sigma \Delta y_{\text{т}} = y_k - y_n = y_{\text{II}} - y_{\text{III}}$ .

12. С учетом знаков находят абсолютные невязки  $f_x$  и  $f_y$  хода по осям  $x$  и  $y$ :  $f_x = \Sigma \Delta x_{\text{пр}} - \Sigma \Delta x_{\text{т}}$ ;  $f_y = \Sigma \Delta y_{\text{пр}} - \Sigma \Delta y_{\text{т}}$ .

13. Определяют абсолютную невязку хода  $f_D = \sqrt{f_x^2 + f_y^2}$  и записывают в ведомость с погрешностью до сотых долей метра.

14. Вычисляют относительную линейную невязку  $f_D / \Sigma D$ , где  $\Sigma D$  — сумма длин сторон хода, выражаемая простой дробью с единицей в числителе. Для ее нахождения сумму длин сторон хода делят на абсолютную линейную невязку.

15. Если относительная невязка меньше 1/2000, то невязки  $f_x$  и  $f_y$  распределяют, вводя поправки в вычисленные значения координат. Поправки вычисляют по следующим формулам:  $\Delta x_i = f_x D_i / \Sigma D$ ,  $\Delta y_i = f_y D_i / \Sigma D$ , где  $\Delta x_i$ ,  $\Delta y_i$  — поправки в вычисленные значения координат, вводимые с обратным невязкам знаком.

Исправленные значения приращений записывают в графах 9 и 10. Алгебраическая сумма координат по каждой оси должна быть равна  $\Sigma \Delta x_{\text{т}}$  и  $\Sigma \Delta y_{\text{т}}$ .

16. Координаты вершин теодолитного хода получают последовательным алгебраическим сложением координат предыдущей точки хода с соответственно исправленными приращениями:

$$\begin{array}{ll} x_4 = x_{\text{III}} + \Delta x_{\text{III-4}} & y_4 = y_{\text{III}} + \Delta y_{\text{III-4}} \\ x_5 = x_4 + \Delta x_{4-5} & y_5 = y_4 + \Delta y_{4-5} \\ \dots\dots\dots & \dots\dots\dots \\ x_{\text{II}} = x_1 + \Delta x_{1-\text{II}} & y_{\text{II}} = y_1 + \Delta y_{1-\text{II}} \end{array}$$

Последние выражения  $x_{\text{II}}$ ,  $y_{\text{II}}$  являются контролем правильности вычислений.

Вычисления координат точек теодолитного хода могут быть выполнены на компьютере.

В настоящее время во всех геодезических пакетах компьютерных программ есть программа для вычислений координат точек теодолитного хода или системы ходов. Чтобы избежать погрешностей при обработке результатов угловых и линейных измерений, нужно учитывать следующее.

Выписывая и вписывая данные, необходимо, чтобы надписи были в соответствующей графе журнала или ведомости.

Прежде чем пользоваться таблицами и вычислительной техникой, рекомендуется восстановить в памяти правила пользования ими.

При переводе дирекционных углов в румбы следует не упускать из виду шестеричности градусного счисления (в окружности —  $360^\circ$ , градусе —  $60'$ , минуте —  $60''$ ).

При определении знака приращения рекомендуется иметь перед собой чертеж и схему для вычисления дирекционных углов (см. рис. 8.16).

Наиболее действенный контроль при вычислении координат теодолитного хода — дублирование вычислений вторым специалистом, а также замена способа вычислений.

## Глава 9

### СОВРЕМЕННЫЕ ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ

#### 9.1. Лазерные геодезические приборы

В лазерных геодезических приборах в качестве излучателя светового потока используют оптические квантовые генераторы (ОКГ).

Оптические квантовые генераторы (лазеры) бывают: твердотельные, газовые, жидкостные и полупроводниковые. В геодезических приборах используют газовые и полупроводниковые лазеры. Газовые лазеры применяют в приборах, задающих положение вертикальной или горизонтальной опорной линии: лазерных нивелирах, указателях направлений, лазерных центрирах и других приборах различного назначения. В практике геодезического обеспечения строительства используют газовые гелий-неоновые лазеры непрерывного излучения, работающие в видимой части светового диапазона и излучающие узконаправленный пурпурно-красный пучок света. Полупроводниковые лазеры применяют в основном в приборах для измерения расстояний — светодальномерах.

Лазерные геодезические приборы конструируют таким образом, чтобы лазер был установлен параллельно визирной оси прибора, на котором он смонтирован, или лазерный пучок направлялся бы через зрительную трубу прибора. Как правило, при измерениях используют визуальную или фотоэлектрическую инди-

кацию лазерного пучка. При визуальной индикации для отсчетов по лучу применяют экран в виде сетки квадратов или концентрических окружностей, а также нивелирную рейку. При более точной фотоэлектрической индикации используют специальные фотоприемные устройства с фотоэлементами.

Рассмотрим некоторые типы известных лазерных приборов, применяемых в строительстве.

Лазерные нивелиры предназначены для измерения превышений и передачи высотных отметок. Нивелир излучает видимый пучок света, относительно которого производят измерения превышений. В одних приборах пучок лазерного излучения направляют по оптической оси зрительной трубы, в других зрительная труба соединена параллельно с излучателем ОКГ.

В нивелирах с уровнем ось пучка приводят в горизонтальное положение цилиндрическим уровнем, а в нивелирах-автоматах — компенсатором. По условиям геометрического нивелирования оси лазерного пучка и цилиндрического уровня должны быть параллельны.

В настоящее время лазерные нивелиры выпускают в основном с автоматическим горизонтирующимся пучком излучения, вращающимся лазерным пучком и другими особенностями.

Примером может служить лазерный нивелир LNA2L фирмы «Вильд» (рис. 9.1, *а*), задающий вращающуюся световую горизонтальную плоскость. Положение этой плоскости фиксируется на специальной рейке или стенах зданий (рис. 9.1, *б*). Нивелир может быть установлен так, чтобы формировалась вертикальная свето-

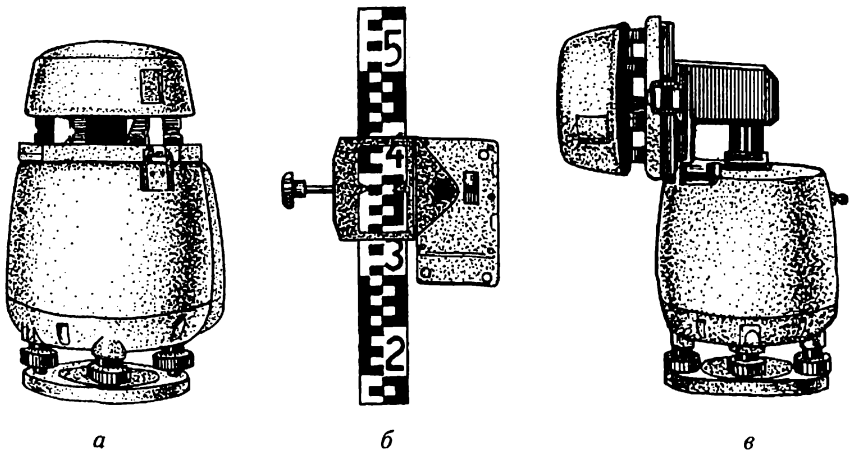


Рис. 9.1. Лазерный нивелир:

*а* — общий вид; *б* — отсчет по рейке; *в* — положение для развертки вертикальной плоскости

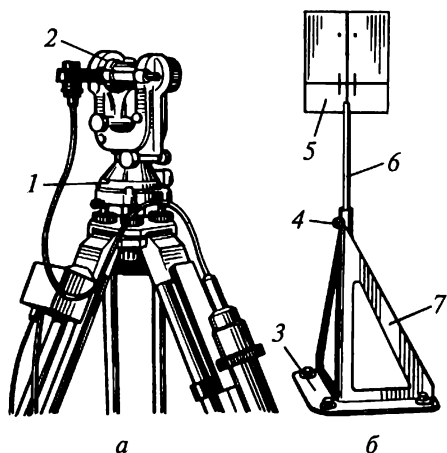


Рис. 9.2. Лазерный теодолит (а) и визирная марка (б):

1, 2 — горизонтальный и вертикальный круги; 3 — опора; 4 — закрепительный винт; 5 — марка; 6 — стержень; 7 — стойка

вая плоскость (рис. 9.1, в). Он снабжен вычислительным устройством, выполняющим автоматическое вычисление высот. Кроме того, с помощью этого нивелира по рейке можно определять расстояния до 100 м.

В лазерных теодолитах (рис. 9.2, а), предназначенных для задания створов и измерения углов, вместо визирной оси в пространстве создается узконаправленный пучок света. Наличие горизонтального 1 и вертикального 2 кругов позволяет придавать пучку излучения нужную ориентировку. Как правило, визирная марка (рис. 9.2, б) лазерных теодолитов на строительной площадке совмещена с шаблоном для разметки ориентирных рисок. Марка 5 со стержнем 6 крепится на опоре 3, а ее высота регулируется стойкой 7 и фиксируется закрепительным винтом 4. Ориентирные риски проводят по щечкам опоры 3.

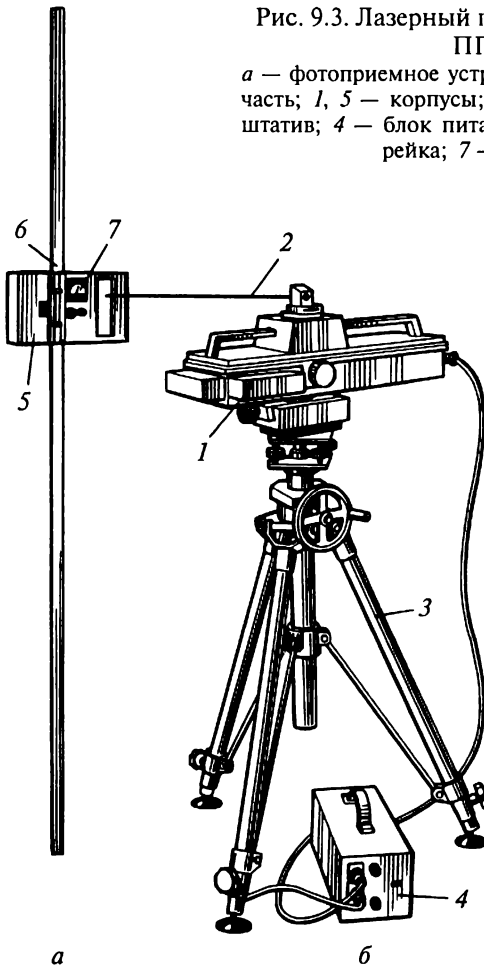
Многоцелевые приборы, предназначенные для контрольно-измерительных операций при установке конструкций, опалубки, выемке грунта, устройстве земляного полотна, укладке бетона, совмещают в себе визирную оптическую трубу и установленный на нее квантовый генератор. Рассмотрим некоторые из этих приборов.

Прибор ПГЛ-1 состоит из фотоприемного устройства (рис. 9.3, а) и передающей части (рис. 9.3, б). Фотоприемное устройство состоит из фотоприемника импульсных сигналов и измерительной рейки б. Результаты измерений регистрируются на стрелочном приборе. Фотоприемник перемещают вдоль рейки до появления показаний на стрелочном приборе. Передающая часть включает в себя: лазерный передатчик, формирующий излучение в виде световых линий и плоскости, блок питания 4 и штатив 3 для установки передатчика.

Конструкция штатива позволяет в широких пределах изменять высоту ПГЛ-1 над местностью. Угол сканирования (поворота)

Рис. 9.3. Лазерный геодезический прибор ПГЛ-1:

*a* — фотоприемное устройство; *б* — передающая часть; 1, 5 — корпуса; 2 — визирный луч; 3 — штатив; 4 — блок питания; 6 — измерительная рейка; 7 — вольтметр



лазерного прибора составляет  $180^\circ$ . Погрешность измерения от лазерного пучка или плоскости до контролируемой поверхности  $\pm 3$  мм при дальности действия 150 м.

Прибор задания вертикали ПВЗЛ-1 имеет передающую и приемную части. Передающая часть включает в себя: лазерный передатчик в виде цилиндра диаметром 120 мм и длиной 382 мм (масса 3,1 кг), горизонтирующее устройство и автономный блок питания размерами  $200 \times 106 \times 138$  (масса 2,6 кг) на гальванических элементах. Световой пучок попадает в насадку и, проходя через пентапризму (пятиугольную стеклянную призму), изменяет направление с горизонтального на вертикальное.

Насадка с пентапризмой съемная, что позволяет использовать луч прибора в горизонтальной плоскости. Приемная часть состоит

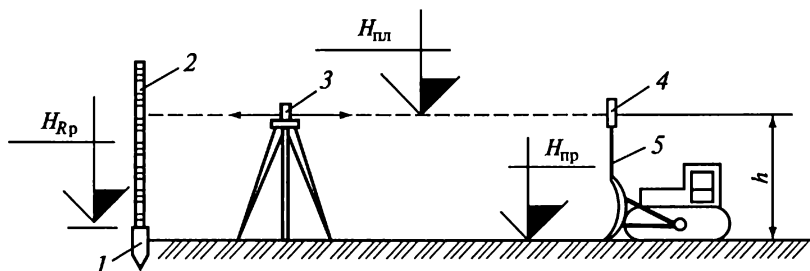


Рис. 9.4. Планировочные работы:

1 — репер; 2 — нивелирная рейка; 3 — лазерный нивелир; 4 — фотоприемник, блок и индикатор решающего устройства на ноже бульдозера; 5 — штанга, по которой перемещается фотоприемник;  $H_{Rp}$ ,  $H_{пл}$ ,  $H_{пр}$  — отметки репера, плоскости лазерного прибора и проектная;  $h$  — рабочее превышение

из регистратора и фотомишени, перемещающейся по взаимно-перпендикулярным измерительным линейкам.

Лазерный передатчик устанавливают на исходном горизонте по уровням, что формирует в пространстве вертикальную световую линию. Фотомишень с регистратором размещают на монтажном горизонте и по линейкам перемещают до совмещения с центром проекции лазерного пучка. При совмещении показания индикаторов регистратора будут нулевыми. Возможные отклонения от задаваемой вертикали считают по линейкам фотомишени. Дальность действия прибора с фотоэлектрической регистрацией составляет 20 м, погрешность измерения отклонения объекта от задаваемой вертикали — 1 мм, а задания вертикали — 2 мм. Некоторые типы лазерных приборов устроены так, что испускаемый луч направляется вертикально вверх, и тогда с помощью насадки с пентапризм

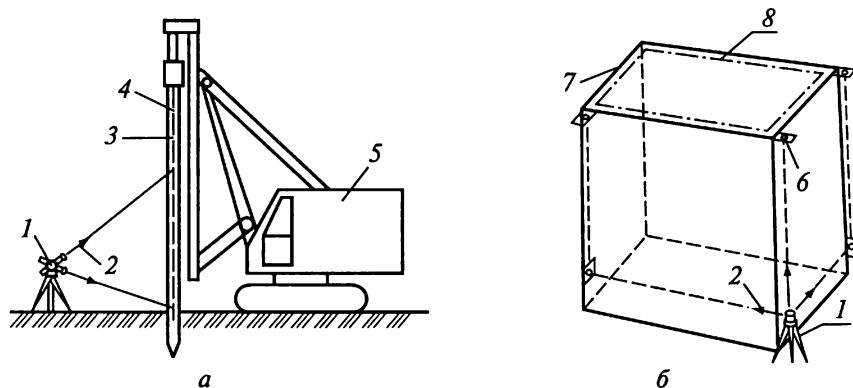


Рис. 9.5. Применение лазерных приборов:

*a* — выверка по вертикали; *б* — разбивка осей; 1 — лазерный теодолит; 2 — луч; 3 — свая; 4 — разметочная риска оси свай; 5 — сваебойный агрегат; 6 — визирная марка; 7 — контур здания; 8 — ось

мой при необходимости изменяют его направление на горизонтальное.

Особую группу приборов составляют лазерные указки. К ним относятся лазерные указки укладки труб, визирования, вертикали и др.

Так, лазерная указка укладки труб состоит из корпуса, на одном конце которого прикреплена горизонтирующая основа. В ней устроены оправа с лазером, уровень и шкала уклонов, что позволяет направлять луч под заданным углом к горизонту. Погрешность задания уклона составляет не более  $\pm 10$  мм на 100 м длины.

Лазерные указки просты в обращении, дешевы в изготовлении, имеют автономное питание (12 В) от батареек для карманных фонарей, могут включаться и выключаться с помощью дистанционного управления.

Применение лазерных указок повышает производительность труда пользователей на 50 %, машин и механизмов — на 10 %.

Некоторые примеры применения лазерных геодезических приборов показаны на рис. 9.4 и 9.5.

## 9.2. Электронные теодолиты и тахеометры

К высокоточным современным и высокопроизводительным геодезическим средствам измерений относится новое поколение приборов, позволяющих выполнять все измерения в автоматизированном режиме. Такие измерительные приборы снабжены встроенными вычислительными средствами и запоминающими устройствами, создающими возможность регистрации и хранения результатов измерений, дальнейшего их использования на ЭВМ для обработки. Применение ЭВМ пятого поколения предполагает интеллектуализацию компьютеров, т. е. возможность работы с ними непрофессионального пользователя на естественном языке, в том числе в речевой форме.

Речевой ввод топографо-геодезической информации в полевых условиях обеспечивает улучшение условий труда и уменьшение числа ошибок наблюдателя. Скорость ввода информации измерений значительно увеличивается по сравнению с вводом при помощи клавишей.

Для автоматизации полевых измерений при производстве топографической съемки и других видов инженерно-геодезических работ созданы высокоточные электронные тахеометры. Электронный тахеометр содержит угломерную часть, сконструированную на базе кодового теодолита, светодалномер и встроенную ЭВМ. С помощью угломерной части определяются горизонтальные и вертикальные углы, светодалномера — расстояния, а ЭВМ решает различные геодезические задачи, обеспечивает управление прибором, контроль результатов измерений и их хранение.

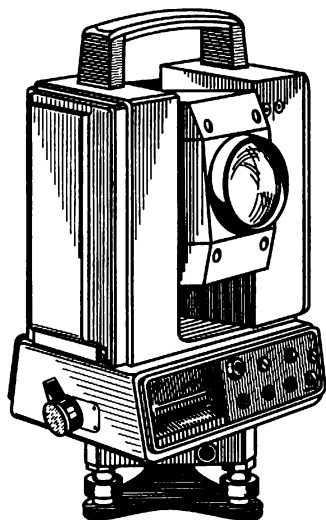


Рис. 9.6. Электронный тахеометр Та3М

Примером может служить отечественный электронный тахеометр Та3М (рис. 9.6), с помощью которого можно определить: горизонтальные углы с погрешностью  $4''$ , зенитные расстояния с погрешностью  $5''$ , наклонные дальности с погрешностью  $10$  мм, горизонтальные проложения, превышения или высоты точек визирования, приращення координат или координаты точек визирования.

Прибор может работать в четырех режимах: разделенном, полуавтоматическом, автоматическом и режиме слежения. Геодезические задачи решаются с учетом поправок: на кривизну Земли, рефракцию атмосферы, температуру и давление, разность высот штативов прибора и отражателя.

Информация об угловых значениях выдается в гонах или градусах. Датчик углов прибора — кодовый, накопительного типа. В комплект тахеометра входят: отражатели, штативы, источники питания, зарядно-зарядное устройство, принадлежности для юстировки прибора и ухода за ним.

Тахеометр Та3М снабжен электрооборудованием для работы ночью. Выдаваемая на цифровое табло оперативная информация может быть введена в память тахеометра или внешний накопитель.

Выпускаемый отечественной промышленностью электронный тахеометр 2Та5 решает те же задачи, что и Та3М, но имеет иные технические характеристики: погрешность измерения горизонтального угла  $5''$ , погрешность измерения зенитного расстояния  $7''$ , погрешность измерения наклонной дальности  $(5 + 3D)$  км мм.

Зарубежные фирмы (США, Германия, Швеция, Япония и др.) выпускают электронные тахеометры различные по точности измерения: углов от  $0,5$  до  $20''$ , расстояний от  $2$  до  $10$  мм и с внутренней памятью, размещающей результаты наблюдений до  $10000$  точек.

Существуют роботизированные электронные тахеометры, например «Геодиметр 640» фирмы «Геотроникс» (Швеция), который по заданной программе сам находит положение отражателей, измеряет расстояние до них, горизонтальные и вертикальные углы и вычисляет координаты каждого отражателя. С помощью такого прибора определяют деформации бортов карьера.

К новому поколению измерительных станций относятся приборы, определяющие координаты  $X$ ,  $Y$  и высоту  $H$  точки по сигналам со специальных геодезических спутников, вращающихся



вокруг Земли по строго определенным орбитам. О них будет сказано в гл. 14.

### 9.3. Приборы вертикального проектирования

Задание отвесной линии (вертикальное проектирование) при строительстве, проходке горных выработок и других инженерно-геодетических работах — необходимая и весьма ответственная задача.

Для вертикального проектирования применяют специальные оптические и лазерные зенит- (вверх) и надир- (вниз) приборы.

Оптические и лазерные приборы вертикального проектирования по способу приведения визирной оси или светового луча в отвесное положение могут быть уровенными или с компенсатором наклона. В свою очередь, компенсаторные приборы подразделяют на одно- или двухкоординатные.

Однокоординатный зенит-прибор вертикального проектирования ПЗЛ фирмы «Карл-Цейсс» (рис. 9.7, а) — высокоточный прибор с самоустанавливающейся линией визирования. На корпусе 5 прибора закреплен круглый уровень 1, по которому прибор приводят в рабочее положение. Корпус размещается на подставке 9 и

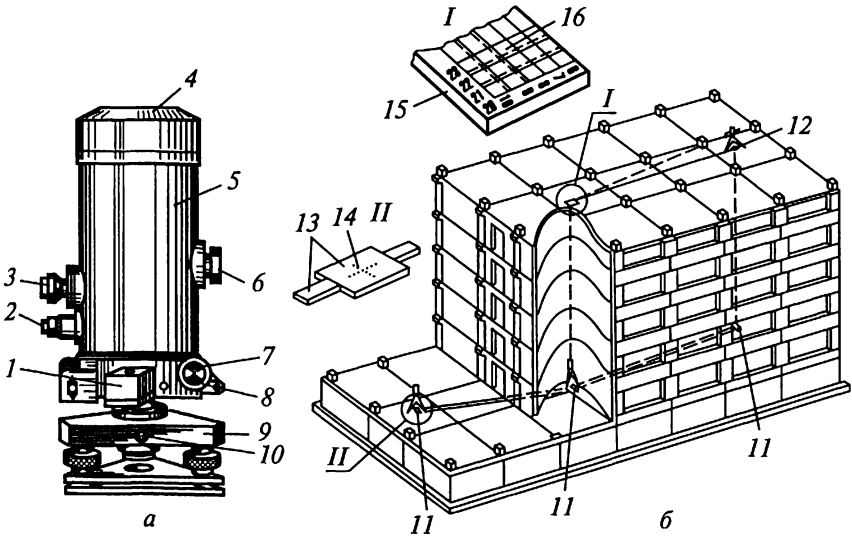


Рис. 9.7. Прибор вертикального проектирования ПЗЛ:

а — внешний вид; б — перенесение осей вертикальным визированием; 1 — круглый уровень; 2, 3 — окуляры отсчетного микроскопа и зрительной трубы; 4 — объектив зрительной трубы; 5 — корпус; 6 — фокусирующее приспособление; 7 — наводящее устройство; 8, 10 — закрепительные винты; 9 — подставка; 11 — точки на исходном горизонте; 12 — проекция точки на монтажный горизонт; 13 — металлический знак; 14 — ось; 15 — палетка; 16 — калька с разграфкой

Таблица 9.1

Точка	0°	180°	Среднее значение	90°	270°	Среднее значение
1	21,4	22,2	21,8	8,4	9,2	8,8
2	26,5	26,3	26,4	3,8	3,6	3,7
3	29,7	29,5	29,6	6,9	6,7	6,8

закрепляется винтами 8, 10. Окуляр зрительной трубы расположен под углом 90° к объективу 4.

Примером может служить применение однокоординатного зенит-прибора при монтаже конструкций зданий. Чтобы перенести оси вертикальным визированием, зенит-прибор центрируют над точкой 11 пересечения осей или линий, которые параллельны осям, располагаемым обычно внутри корпуса. На монтажном горизонте по отвесной линии над зенит-прибором закрепляют палетку 15 (рис. 9.7, б).

Палетка представляет собой кальку 16 с координатной сеткой, наклеенную на прозрачное оргстекло, вставленное в металлическую рамку. Во всех перекрытиях над переносимой точкой оставляют отверстия, минимальные размеры которых 100 мм при высоте зданий до 60 м и 150 мм при высоте до 100 м. В отверстие перекрытия монтажного горизонта над зенит-прибором устанавливают рамку с палеткой.

Визирование на палетку производят таким образом, чтобы горизонтальная нить сетки была параллельна одной из линий палетки. Отсчет (21,4) в делениях палетки делают по горизонтальной нити сетки и записывают в журнал (табл. 9.1). Далее прибор поворачивают на 180° и производят второй отсчет (22,2) по этой же шкале. Установив горизонтальную нить прибора параллельно другим линиям палетки и повернув его на 90°, делают отсчет (8,4), а повернув прибор на 180° — следующий отсчет (9,2). Средние значения из попарно выполненных отсчетов будут координатами точки на палетке. Погрешность перенесения точек допускается в пределах 2...4 мм.

В МИИГАиК разработаны двухкоординатные приборы вертикального проектирования ПВП-Т и ПВП-В. Прибор ПВП-Т (рис. 9.8, а) имеет подставку 4 с горизонтальным кругом 3, зрительную ломаную трубу с объективом 1, окуляром 2 и фокусирующей рукояткой 5. Прибор снабжен горизонтальным кругом и дополнительной насадкой, позволяющей повернуть визирную линию в горизонтальное положение. Это делает прибор универсальным для применения на строительной площадке.

Высокоточный прибор ПВП-В (рис. 9.8, б) представляет собой вертикальную зрительную трубу 6, на концах которой навинчены оправы с объективами. Внутри трубы размещается стакан с компенсатором. Стакан может перемещаться внутри трубы с помо-

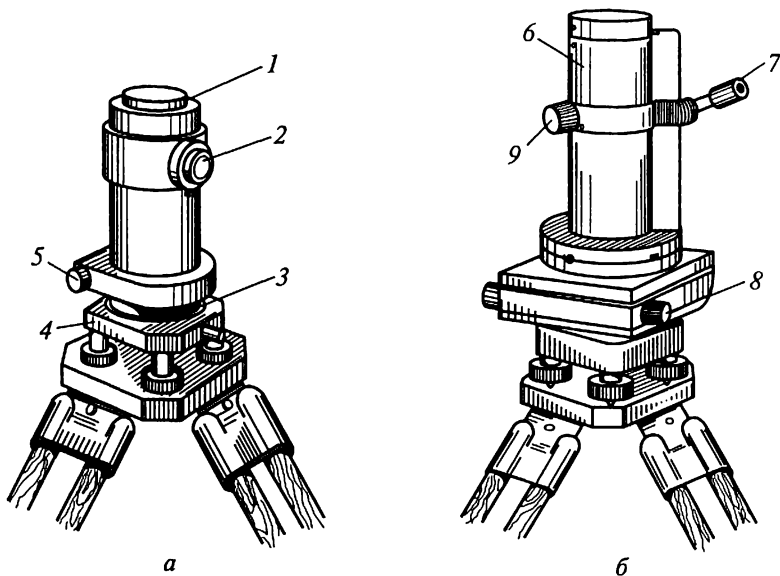


Рис. 9.8. Приборы вертикального проектирования:  
*a* — ПВП-Т; *б* — высокоточный ПВП-В; 1 — объектив; 2, 7 — окуляры; 3 — горизонтальный круг; 4 — подставка; 5, 9 — рукоятки; 6 — зрительная труба; 8 — каретка

щью рукоятки 9. Там же снаружи размещается окуляр 7. Все это образует двойную зрительную трубу, которая крепится с возможностью вращения вокруг вертикальной оси на каретках 8. Каретки перемещаются в двух взаимно-перпендикулярных направлениях; величина их перемещения фиксируется микрометренными измерительными винтами. Нижняя каретка крепится к трегеру с подъемными винтами. Точность работы прибора характеризуется средней квадратической погрешностью передачи координат по вертикали 0,5 мм на 100 м длины визирования. Оптические приборы вертикального проектирования выпускаются рядом фирм Германии, Японии, Швейцарии, Украины и других стран.

## Глава 10

### ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ СЕТИ

#### 10.1. Общие сведения о геодезических сетях

Для составления карт и планов, решения геодезических задач, в том числе геодезического обеспечения строительства, на поверх-

ности Земли располагают ряд точек, связанных между собой единой системой координат. Эти точки маркируют на поверхности Земли или в зданиях и сооружениях центрами (знаками). Совокупность закрепляемых на местности или зданиях точек (пунктов), положение которых определено в единой системе координат, называют *геодезическими сетями*.

Геодезические сети подразделяют на плановые и высотные: первые служат для определения координат  $X$  и  $Y$  геодезических центров, вторые — для определения их высот  $H$ .

Принцип построения плановых геодезических сетей заключается в следующем. На местности выбирают точки, взаимное положение которых представляется в виде геометрических фигур: треугольников, четырехугольников, ломаных линий и т.д. Причем точки выбирают с таким расчетом, чтобы некоторые элементы фигур (стороны, углы) можно было бы непосредственно измерить, а все другие элементы вычислить по данным измерений. Например, в треугольнике достаточно измерить одну сторону и три угла (один для контроля правильности измерений) или две стороны и два угла (один для контроля правильности измерений), а остальные стороны и углы вычислить. Для вычисления плановых координат вершин выбранных точек необходимо кроме элементов геометрических фигур знать еще дирекционный угол стороны одной из фигур и координаты одной из вершин.

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

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

Государственные геодезические сети служат исходными для построения всех других видов сетей.

## 10.2. Плановые геодезические сети

Началом единого отсчета плановых координат в Российской Федерации служит центр круглого зала Пулковской обсерватории в Санкт-Петербурге.

Государственные плановые геодезические сети подразделяют на четыре класса. В современной схеме построения государственных плановых геодезических сетей используют метод триангуляции (рис. 10.1).

В настоящее время для построения государственных сетей применяют также спутниковые методы измерений.

С этой целью принята концепция построения трех уровней государственной геодезической спутниковой сети. Эта концепция предусматривает построение:

фундаментальной астрономо-геодезической сети (ФАГС);  
 высокоточной астрономо-геодезической сети (ВАГС);  
 спутниковой геодезической сети 1-го класса (СГС-1).

Фундаментальная астрономо-геодезическая сеть реализуется в виде системы закрепленных на всей территории России 50...70 пунктов со средними расстояниями между ними 700...800 км. Часть этих пунктов (10...15) должна стать постоянно действующими астрономическими обсерваториями, оснащенными радиотелескопами для наблюдений удаленных источников радиозлучения (квazarов) и спутниковыми приемниками GPS-ГЛОНАСС. Взаимное положение этих пунктов будет определяться с погрешностью 1...2 см.

Высокоточная астрономо-геодезическая сеть должна заменить звенья триангуляции 1-го класса и представлять собой однородные по точности пространственные построения с расстоянием между смежными пунктами 150...300 км. Общее число пунктов ВАГС должно составлять 500...700, при этом часть пунктов будет совмещена с пунктами ФАГС. Взаимное положение таких пунктов будет определяться спутниковыми методами с относительной погрешностью  $5 \cdot 10^{-8}$  или 2...3 см.

Спутниковая геодезическая сеть 1-го класса должна заменить триангуляции 1, 2-го классов со средними расстояниями между пунктами 30...35 км, общим числом 10...15 тыс. и средней квадратической погрешностью взаимного положения 1...2 см. Построение такой сети предполагается осуществить в течение десяти ближайших лет.

Сети сгущения строят для дальнейшего увеличения плотности (числа пунктов, приходящихся на единицу площади) государственных сетей. Плановые сети сгущения подразделяют на 1-й и 2-й разряды.

Съемочные сети — это тоже сети сгущения, но с еще большей плотностью. С точек съемочных сетей производят непо-

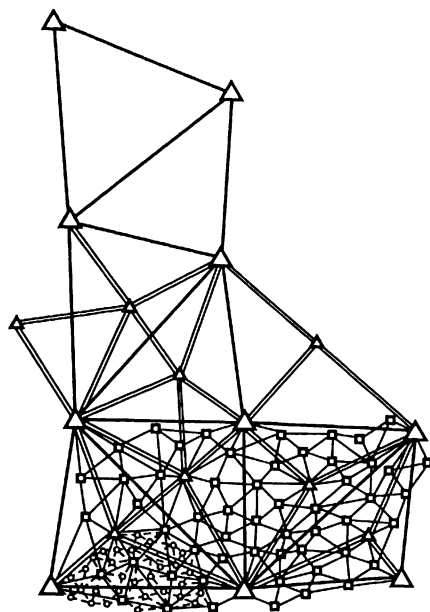


Рис. 10.1. Схема построения методом триангуляции государственных плановых геодезических сетей:

△ — 1-го класса; ▲ — 2-го класса; ■ — 3-го класса; ○ — 4-го класса

средственно съемку предметов местности и рельефа для составления карт и планов различных масштабов.

Специальные геодезические сети создают для геодезического обеспечения строительства сооружений. Плотность пунктов, схема построения и точность этих сетей зависят от специфических особенностей строительства.

### 10.3. Высотные геодезические сети

Государственные высотные геодезические сети создают для распространения по всей территории страны единой системы высот. За начало высот в Российской Федерации и некоторых других странах принят средний уровень Балтийского моря, определение которого проводилось в период с 1825 до 1840 г. Этот уровень отмечен горизонтальной чертой на медной металлической пластине, укрепленной в устье моста через обводной канал в Кронштадте.

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 рисунке, где размещены пункты высотной сети, соединить эти пункты линиями, то получатся фигуры, которые называют *ходами*. Несколько пересекающихся ходов называют *сетями*. Как правило, сети создают из ходов, прокладываемых между тремя или более точками (рис. 10.2). В целом точки (реперы) высотных сетей, называемых *нивелирными*, достаточно равномерно распределены на территории страны. На незастроенной территории расстояния между реперами составляют 5...7 км, в городах сеть реперов в 10 раз плотнее.

Для решения ограниченного круга вопросов при изысканиях, строительстве и эксплуатации зданий и сооружений создают высотную сеть технического класса.

Нивелирные сети на строительных площадках и при создании внешних разбивочных сетей созда-

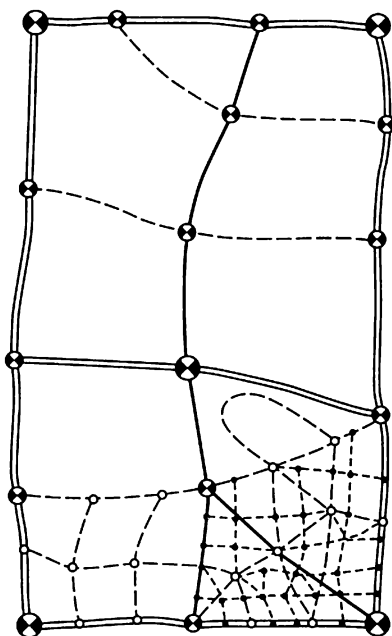


Рис. 10.2. Схема государственной высотной сети:

- — 1-го класса; ● — 2-го класса;
- — 3-го класса; • — 4-го класса

ют на базе плановых сетей, т. е. для части плановых сетей определяют высотные отметки.

Как правило, сети образуют полигоны с узловыми точками (общими точками пересечения двух или более ходов одного и того же класса). Каждый нивелирный ход опирается обоими концами на реперы ходов более высокого класса или узловые точки.

### 10.4. Знаки для закрепления геодезических сетей

Точки геодезических сетей закрепляют на местности знаками. По местоположению знаки бывают: грунтовые и стенные, заложенные в стены зданий и сооружений; металлические, железобетонные, деревянные, в виде откраски и т. д.; по назначению — постоянные, к которым относятся все знаки государственных геодезических сетей, и временные, устанавливаемые на период изысканий, строительства, реконструкции, наблюдений и т. д.

**Постоянные знаки.** Их закрепляют подземными знаками — центрами. Конструкции центров обеспечивают их сохранность и неизменность положения в течение длительного периода времени. Как правило, подземный центр представляет собой бетонный монолит (рис. 10.3), закладываемый ниже глубины промерзания грунта и не в насыпной массив. У поверхности земли в монолите устанавливают чугунную марку, на которой наносят центр в виде креста или точки. Положению этого центра соответствуют координаты  $X$  и  $Y$  и во многих случаях отметки  $H$ .

Для того чтобы с одного знака был виден другой (смежный), над подземными центрами устанавливают наружные знаки в виде металлических или деревянных трех- или четырехгранных пирамид или сигналов.

Пирамиды или сигналы имеют высоту 3... 30 м и более. Геодезический сигнал 3 с подземным центром 2 и столиком 5 предназначен для установки измерительных приборов и настила 4 при работе на нем наблюдателя. Верх сигнала или пирамиды заканчивается визирной целью 6, на которую при измерении углов направляют зрительную трубу теодолита. На столик устанавливают также отражатель, если измеряют расстояния между пунктами светодальномером. Для спутниковых измерений сигналы и пирамиды строить не надо.

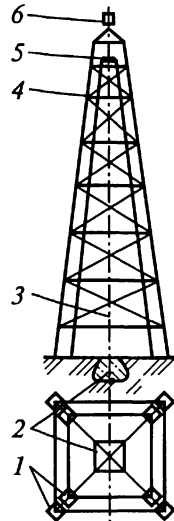


Рис. 10.3. Наружный металлический сигнал над подземным центром плановой сети: 1 — фундаменты; 2 — подземный центр; 3 — сигнал; 4 — настил; 5 — столик; 6 — визирная цель

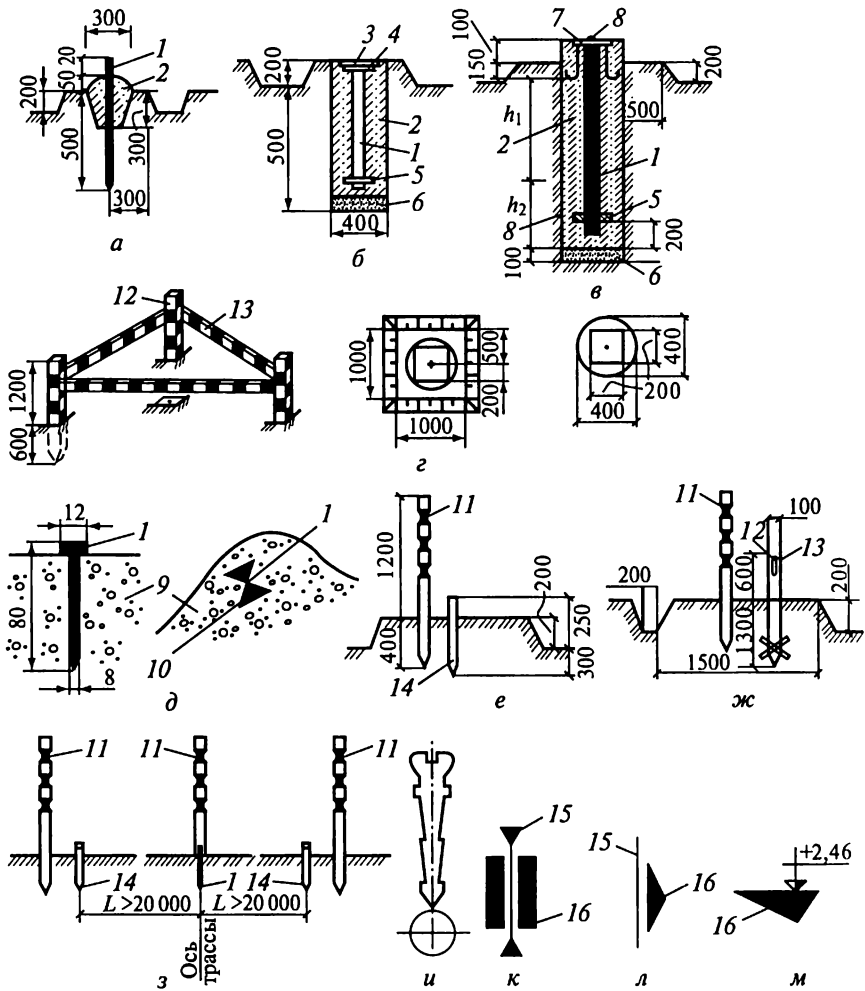


Рис. 10.4. Знаки закрепления:

*a* — основных или главных разбивочных осей зданий высотой до пяти этажей, сооружений высотой до 15 м с продолжительностью строительства до полугодя; *б* — то же, более полугодя; *в* — то же, с глубиной промерзания согласно таблице; *г* — ограждения знаков; *д* — знак закрепления разбивочных осей на скалах и бетоне ограждения в виде тура из камней; *е*, *ж*, *з* — осей и отметок линейных сооружений; *и* — осей и отметок дюбелями на зданиях, твердых покрытиях дорог; *к* — откраска закрепления створа оси; *л* — то же, ориентирной риски; *м* — то же, отметки; *1* — металлический стержень; *2* — бетон; *3* — деревянная крышка; *4* — металлическая пластина; *5* — якорь; *6* — песок; *7* — анкер; *8* — деревянные металлические столб и перекладина; *9* — скальный грунт; *10* — откраска пересечения осей; *11* — ориентирная вежа; *12* — полочка-зарубка на деревянном столбе для установки рейки; *13* — деревянный столб-репер; *14* — постоянный знак — деревянный кол; *15* — карандашная черта створа оси и ориентирной риски; *16* — откраска



Как правило, пункты плановых разбивочных сетей и сетей сгущения закрепляют подземными центрами, такими же как и пункты государственных сетей. Так как расстояния между этими пунктами сравнительно небольшие, оформления их наружными знаками не требуется. Иногда над ними устанавливают Г-образные металлические или деревянные вехи. В городах знаки оформляют в виде специальной надстройки на крышах зданий. Знаки могут закладывать в зданиях и сооружениях, в этом случае их называют *стенными*.

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

**Временные знаки.** Точки съёмочных, а иногда и разбивочных сетей закрепляют временными знаками — деревянными или бетонными столбами, металлическими штырями, отрезками рельсов и т. д. (рис. 10.4, *а...э*). Их закрепляют в земле на глубину до 2 м. В верхней части такого знака крестом, точкой или риской отмечают местоположение центра или точки с высотной отметкой.

При продолжительности использования (более полугода) временные знаки закладывают на глубину 0,5 м (минимальное расстояние до подземных коммуникаций от поверхности грунта принято 0,7 м). При наличии твердого покрытия и отсутствии интенсивного движения транспорта используют штыри из отрезков арматуры и труб, деревянные столбики (рис. 10.4, *д...и*). В процессе строительства на возведенных конструкциях и близрасположенных зданиях высоты и створы осей фиксируют открасками (рис. 10.4, *к...м*).

## Глава 11

### ТОПОГРАФИЧЕСКИЕ СЪЕМКИ

#### 11.1. Съёмка и съёмочное обоснование

*Топографическая съёмка* — это комплекс геодезических работ, выполняемых на местности для составления топографических карт и планов. Различают съёмки для составления топографических планов крупных масштабов (1:500, 1:1000, 1:2000, 1:5000) и мелких (1:10000, 1:25000 и мельче). В инженерной геодезии выполняют в основном съёмки крупных масштабов.

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

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

На топографические планы наносят пункты плановых и высотных геодезических сетей, а также все точки, с которых производят съемку, если они закреплены постоянными знаками. На специализированных планах допускается отображение не всей ситуации местности, а только тех объектов, которые необходимы: применение нестандартных высот сечений рельефа, снижение или повышение точности изображения контуров и съемки рельефа.

Топографическую съемку выполняют с точек местности, положение которых в принятой системе координат известно. Такими точками служат пункты опорных государственных и инженерно-геодезических сетей. Однако их количества, приходящегося на площадь снимаемого участка, большей частью бывает недостаточно, поэтому геодезическая основа сгущается обоснованием, называемым *съемочным*.

Съемочное обоснование развивается от пунктов плановых и высотных опорных сетей. На участках съемки площадью до 1 км<sup>2</sup> съемочное обоснование может быть создано в виде самостоятельной геодезической опорной сети.

При построении съемочного обоснования одновременно определяют положение точек в плане и по высоте. Плановое положение точек съемочного обоснования определяют: проложением теодолитных и тахеометрических ходов, построением аналитических сетей из треугольников и различного рода засечками. Высоты точек съемочного обоснования чаще всего определяют геометрическим и тригонометрическим нивелированием.

Самый распространенный вид съемочного планового обоснования — теодолитные ходы, опирающиеся на один или два исходных пункта, или системы ходов, опирающихся не менее чем на два исходных пункта. В системе ходов в местах их пересечений образуются узловые точки, в которых могут сходиться несколько ходов.

Длины теодолитных ходов зависят от масштаба съемки и условий снимаемой местности. Например, для съемки застроенной территории в масштабе 1:5000 длина хода не должна превышать 4,0 км; в масштабе 1:500 — 0,8 км; на незастроенной территории — соответственно 6,0 и 1,2 км. Длины линий в съемочных теодолитных ходах должны быть не более 350 м и не менее 20 м. Относительные линейные невязки в ходах не должны превышать 1:2000, а при неблагоприятных условиях измерений (заросли, болото) — 1:1000.

Углы поворота на точках ходов измеряют теодолитами со средней квадратической погрешностью  $0,5'$  одним приемом. Расхождение значений углов в полуприемах допускают не более  $0,8'$ . Длину линий в ходах измеряют оптическими или светодальномерами, мерными лентами и рулетками. Каждую сторону измеряют дважды — в прямом и обратном направлениях. Расхождение в измеренных значениях допускается в пределах  $1:2000$  от измеряемой длины линии.

При определении высот точек съемочного обоснования геометрическим нивелированием невязка в ходе не должна превышать  $5\sqrt{L}$  см, тригонометрическим нивелированием —  $20\sqrt{L}$  см, где  $L$  — длина хода, км.

Точки съемочного обоснования, как правило, закрепляют на местности временными знаками: деревянными кольями, столбами, металлическими штырями, трубами. Если эти точки предполагается использовать в дальнейшем для других целей, их закрепляют постоянными знаками.

Для составления топографических планов применяют: аналитический, мензульный, тахеометрический, аэрофототопографический, фототеодолитный методы съемок, съемку нивелированием поверхности и с помощью спутниковых приемников. Применение того или иного метода зависит от условий и масштаба съемки.

## 11.2. Аналитический метод съемки

Горизонтальную съемку выполняют в масштабах  $1:2000$ ,  $1:1000$  и  $1:500$ . Съемке подлежат фасады зданий и ситуация проездов, а также внутриквартальная (внутризаводская) застройка и ситуация. Съемку производят с линий и точек теодолитных ходов съемочного обоснования.

Результаты съемки отображают на схематическом чертеже — абрисе (рис. 11.1), на котором дается зарисовка всех контуров и предметов местности [например: трамвайный путь, канава, трамвайная мачта, дома № 10, 12, 14 каменные (К), жилые (Ж), нежилые (Н) и соответствующие промеры].

Абрис ведут на плотной бумаге в произвольном масштабе, но придерживаясь условных знаков, принятых для составления плана. Прямые линии вычерчивают по линейке, кривые — от руки. Ситуацию вычерчивают более толстыми линиями, вспомогательные промеры — тонкими. При ведении абриса некоторые детали изображают в укрупненном масштабе. Перпендикуляры и засечки прочерчивают пунктиром или тонкими сплошными линиями, длины их подписывают в середине линий или под ними. Расстояния по линии съемочного хода нарастающим итогом подписывают у подошв перпендикуляров или засечек с противоположной стороны. При обмерах надписи располагают перпенди-

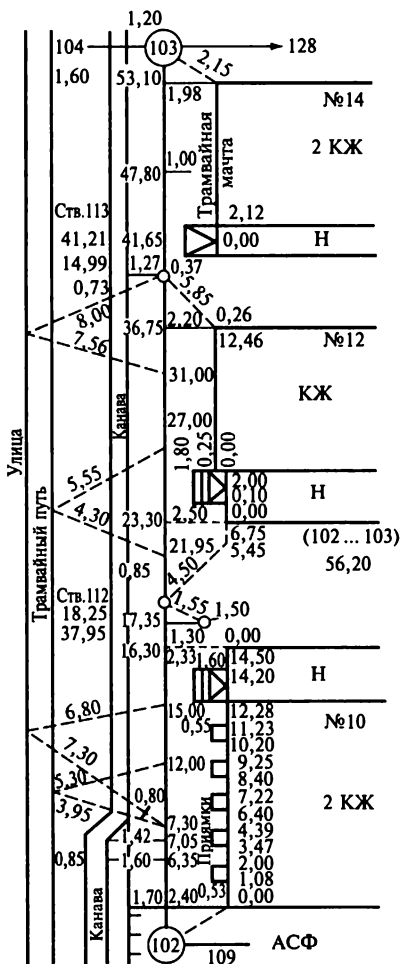


Рис. 11.1. Пример абриса

ют расстояния до определяемой точки контура. При этом длина засечек не должна превышать длины рулетки. Для контроля делают третий промер.

Способом угловой засечки может быть выполнена съемка недоступных точек. Засечки наносят не менее чем с трех направлений.

Способ полярных координат (рис. 11.2, а) применяют для съемки точек ситуации, удаленных от съемочного хода. Наиболее часто этот способ применяют при съемке внутриквартальной застройки, а также нетвердых контуров (границы угондий, кусты, деревья). Теодолит устанавливают над соответствующей

кулярно фасадной линии. Нулевой отсчет промеров по фасаду берут от надежно определенной точки, все остальные отсчеты записывают нарастающим итогом от нулевого. Промежуточные отсчеты заключают в скобки.

Съемку выполняют разными способами.

Способ перпендикуляров применяют в основном для съемки проездов, когда съемочный ход проходит от фасадов не далее 8 м при съемке в масштабе 1 : 2000, не далее 6 м — в масштабе 1 : 1000 и не далее 4 м при съемке в масштабе 1 : 500. Если длина перпендикуляра больше указанных размеров, то применяют эккер или подкрепляют промер по перпендикуляру засечкой с ленты. При съемке стальную ленту укладывают по точкам, отмеченным в створе линии съемочного теодолитного хода с помощью теодолита.

Способом линейных засечек ленту, так же как и способом перпендикуляров, укладывают в створе съемочной линии. От двух точек на ленте, соответствующих целым метрам и составляющих основание приблизительно равностороннего треугольника, рулеткой измеряют

шей точкой съёмочного хода (например, точка 2). Расстояния от съёмочной точки до точек ситуации [например, до элемента городской канализации (ГК), углов зданий] измеряют мерным прибором или дальномером, углы — при одном круге с ориентированием нулевого штриха лимба на смежную точку съёмочного хода. По этому направлению (показано стрелкой) в абрисе делают запись  $0^{\circ}00'$ . С направления полярного луча может быть произведена съёмка ситуации, как с линии съёмочного обоснования способом перпендикуляров и засечек.

Створный способ (рис. 11.2, б), как правило, применяют при съёмке внутриквартальной ситуации, когда съёмка основных контуров проведена. Створ может быть задан продолжением линии здания; линией, соединяющей два твердых контура. От линии створа (например, расстояние  $BC$ ) производят съёмку ситуации способом перпендикуляров и линейных засечек (съёмка дерева, ГК). Расстояние  $BC$  измеряют полностью.

Помимо съёмки всех точек ситуации со съёмочных линий для уточнения составляемого плана производят обмеры по фасадам, всех строений с архитектурными выступами, уступами, крыльцами, ступеньками, приямками. Обмеры производят также по всем заборам и границам между точками изломов. При наличии зданий со сложной конфигурацией делают дополнительные контрольные промеры между углами. На перекрестках проездов измеряют диагональные расстояния между углами кварталов и ширину проездов. Кроме того, в характерных местах измеряют ширину между противоположными фасадами проезда. Контрольные промеры делают также между снятыми со съёмочной линии смотровыми колодцами подземных коммуникаций, мачтами, столбами воздушных линий связи и другими точками ситуации.

Результаты полевых измерений, отображенные в абрисе, используют для составления топографического плана, нанося их на планшет. Планшет представляет собой тонкий лист фанеры или алюминия, оклеенный сверху чертежной бумагой. На планшете предварительно разбивают координатную сетку квадратов со стороной 10 см и общим размером  $50 \times 50$  см. По координатам на планшет наносят пункты геодезического и съёмочного обоснований. Пра-

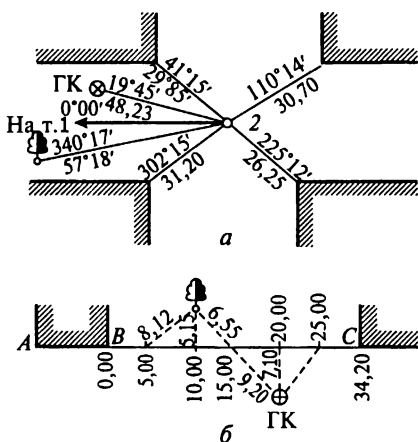


Рис. 11.2. Абрисы съёмок, выполненных способами полярных координат (а) и створным (б)

вильность накладки пунктов контролируют по расстояниям между ними. Расхождения не должны превышать 0,2 мм на плане. У каждого пункта пишут его номер или название, а также наносят отметку пункта с округлением до сантиметров.

Положение контуров ситуации определяют на планшете по промерам, данным в абрисе. При этом с учетом масштаба плана выполняют те же построения, что и при полевых измерениях. Например, если съемка контура велась способами перпендикуляров и линейных засечек, то на планшете с помощью циркуля-измерителя также строят перпендикуляры и линейные засечки; если применялся полярный способ, то на планшете откладывают полярные углы и расстояния.

Как правило, высотную съемку выполняют методом геометрического нивелирования после того, как вся ситуация снята и нанесена на планшет.

Нивелирование начинают с точек высотного съемочного обоснования. На всех характерных точках нивелируемой площади, но не реже чем через 50 м при съемке в масштабе 1:2000 и 20 м при съемке в масштабе 1:500 определяют высоты съемочных точек (пикетов). Расстояние от нивелира до рейки не должно превышать 150 м. Положение пикетов на плане определяют по ситуации, для чего в поле используют копию плановой съемки.

Улицы (проезды) нивелируют по поперечникам, разбиваемым с помощью рулетки через 20...40 м. Кроме того, поперечники разбивают в местах перегиба рельефа, по осям пересекающихся улиц и в местах их излома. При нивелировании поперечников определяют высоты фасадной линии, бордюрного камня тротуара, оси улицы и других характерных точек рельефа, высоты земли у входов, порогов и полов в зданиях.

### 11.3. Тахеометрическая съемка

**Основные сведения.** Тахеометрическая съемка — основной вид съемки для создания планов небольших незастроенных и малозастроенных участков, а также узких полос местности вдоль линий будущих дорог, трубопроводов и других коммуникаций. С появлением тахеометров-автоматов этот способ съемки стал основным и для значительных по площади территорий, особенно когда необходимо получить цифровую модель местности. При тахеометрической съемке ситуацию и рельеф снимают одновременно, но в отличие от мензульной съемки план составляют в камеральных условиях по результатам полевых измерений.

Съемку производят с исходных точек — пунктов любых опорных и съемочных геодезических сетей. Съемочная сеть может быть создана в виде теодолитно-нивелирных ходов, когда отметки точек теодолитного хода определяют геометрическим нивелиро-

ванием. В большинстве случаев для съемки прокладывают тахеометрические ходы, отличающиеся тем, что все элементы хода (углы, длины линий, превышения) определяют теодолитом или тахеометром-автоматом. При этом одновременно с проложением тахеометрического хода производят съемку. В этом главное отличие тахеометрической съемки от других видов топографических съемок.

**Съемка теодолитом.** Порядок работ на станции тахеометрического хода при работе теодолитом следующий.

В первую очередь выполняют измерения, относящиеся к проложению съемочного хода. Теодолит устанавливают над точкой и приводят его в рабочее положение. На смежных точках хода устанавливают дальномерные (обычно нивелирные) рейки. Одним полным приемом измеряют горизонтальный угол хода. При двух положениях вертикального круга теодолита измеряют вертикальные углы на смежные точки хода. По дальномеру теодолита определяют расстояния до смежных точек. Измеряют высоту прибора.

Далее приступают к съемке. Для этого в первую очередь при левом круге (КЛ) ориентируют лимб теодолита на предыдущую точку. С этой целью нуль алидады совмещают с нулем лимба и, закрепив алидаду, вращением лимба наводят зрительную трубу на ориентирную точку. Трубу наводят на съемочные пикеты только вращением алидады. На съемочные пикеты устанавливают дальномерные рейки и измеряют на них при одном круге горизонтальные и вертикальные углы, а по дальномеру — расстояния. Если съемочный пикет является только контурной точкой, то вертикальный угол не измеряют.

Результаты измерений записывают в журнал тахеометрической съемки (табл. 11.1).

Положение съемочных пикетов 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 ситуации определяют: границы угодий, гидрографию, дороги, контуры зданий, колодцы, т.е. все то, что подлежит нанесению на план в данном масштабе. Чем крупнее масштаб съемки, тем больше число съемочных пикетов и тем меньше расстояние между пикетами и от станции до пикетов. Так, если при съемке масштаба 1:5000 максимальное расстояние до твердых контуров ситуации ограничено 150 м, а до нетвердых — 200 м, то в масштабе 1:500 — 60 и 80 м соответственно.

В процессе съемки на каждой станции составляют абрис (рис. 11.3). На нем показывают: положение станции хода, направление на предыдущую и последующую точки, расположение всех

Таблица 11.1

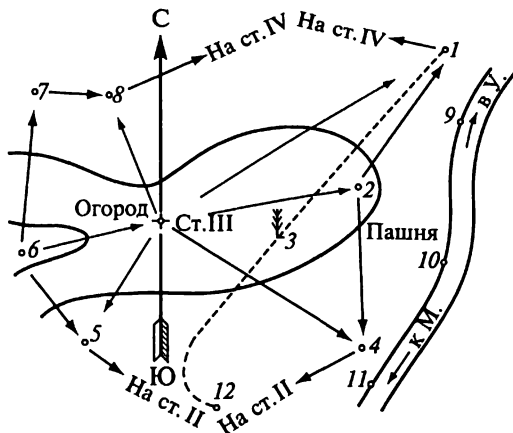
Станция II. Высота прибора  $i = 1,44$  м  
 Отметка станции  $H = 148,05$  м

Дата \_\_\_\_\_  
 Наблюдатель \_\_\_\_\_

Точка	Отсчет по даль-номеру	Отсчеты по кругам			M0		v		d, м	K', м	v, м	h, м	H, м	Примечание
		горизон-тальному	верти-кальному	'	°	'	°	'						
Л														
I	174,4	0	00	359	19	0	01	+0	42	174,4	+2,14	3,50	+0,08	—
III	150,8	293	09	359	35	0	02	+0	27	150,8	+2,19	2,50	+0,13	—
П														
I	174,3	330	24	0	43	—	—	—	—	—	—	—	—	—
III	150,9	263	31	0	29	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Л														
1	—	0	00	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1	49,0	18	40	2	22	0	02	-2	20	48,9	-1,99	1,44	-1,99	147,0
2	65,0	83	36	1	56	0	02	-1	54	64,9	-2,15	1,44	-2,15	146,8
3	125,8	116	38	1	00	0	02	0	58	125,8	-2,12	1,44	-2,12	146,8
4	114,3	131	16	0	19	0	02	0	17	114,3	-0,57	1,44	-0,57	148,4
5	148,0	131	32	2	08	0	02	-2	06	147,8	-5,42	2,00	-5,98	143,0
1	—	0	00	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
На границе пашни и луга														
Урез воды реки														



Рис. 11.3. Абрис тахеометрической съемки



съемочных пикетов, рельеф и ситуацию местности. Съемочные пикеты отмечают теми же номерами 1 ... 12, что и в полевом журнале, ситуация местности изображается условными знаками, рельеф — горизонталями. Между точками на абрисе проводят стрелки, указывающие направление понижения местности.

По окончании работы на станции проверяют ориентирование лимба теодолита, для чего снова визируют на предыдущую точку хода. Если повторный отсчет отличается от начального более чем на  $5'$ , то съемку на данной станции переделывают. Для контроля на каждой станции определяют несколько пикетов, расположенных в полосе съемки со смежных станций.

В простейшем случае составление плана по результатам тахеометрической съемки начинают с построения координатной сетки и нанесения по координатам точек теодолитного хода. Правильность нанесения точек хода контролируют по длинам его сторон: измеряют расстояния между вершинами — выраженные в масштабе, они должны быть равны расстояниям между соответствующими точками на плане или отличаться не более чем на  $0,2$  мм.

Вслед за этим наносят на план пикетные точки циркулем-измерителем, масштабной линейкой и транспортиром. Данные для нанесения берут из журнала тахеометрической съемки.

Направление на пикеты со станции (рис. 11.4) строят по транспортиру. Например, при съемке на станции II лимб теодолита был ориентирован по направлению на точку 1. Транспортир прикладывают центром к точке II плана, а отсчет  $0^{\circ}00'$  совмещают с направлением на точку 1. Направление на точку 1 получают, отложив по дуговой шкале транспортира  $18^{\circ}40'$ , а расстояние до точки I от станции II — отложив в масштабе плана горизонтальное проложение  $48,9$  м. Для этого по направлению  $18^{\circ}40'$  проводят карандашом тонкую линию, а измерителем по масштабной

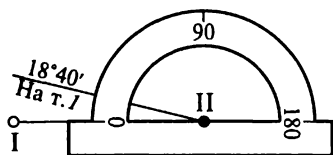


Рис. 11.4. Построение направлений на пикеты со станции тахеометрического хода

линейке находят отрезок 48,9 м и откладывают его по створу линии от станции II на точку I. Аналогично наносят и другие точки.

Для ускорения работы поступают следующим образом. По внешней окружности транспортира карандашом отмечают направления на все пикеты. Рядом с каждой точкой ставят номер. Если есть углы более  $180^\circ$ , то транспортир перекалывают, поворачивая

его на  $180^\circ$ . После этого по нему отмечают значения угла минус  $180^\circ$ . Когда все углы отмечены, транспортир снимают. Из станции, как из центра, на все точки проводят лучи и откладывают расстояния. Конец каждого отложенного расстояния дает положение точки. Точку изображают кружком, рядом выписывают из журнала его отметку.

Вместо транспортира применяют также линейки-тахеографы. Они представляют собой прозрачный круг с разграфкой от 0 до  $359^\circ$ . По отметкам станций и речных точек на плане проводят горизонтали с принятым сечением рельефа. Следы горизонталей отыскивают графической интерполяцией между точками, которые в абрисе соединены стрелками. Соединение каких-либо двух точек в абрисе говорит о том, что местность между ними имеет один скат, без перегибов.

Все контуры и рельеф, изображаемые на плане, вычерчивают тушью в соответствии с условными знаками. Над северной рамкой делают заглавную надпись, под южной рамкой подписывают числовой масштаб, высоту сечения рельефа, вычерчивают линейный масштаб и график заложений.

**Автоматизация тахеометрической съемки.** С появлением электронных тахеометров стала возможна частичная или полная автоматизация тахеометрической съемки.

При съемке электронный тахеометр устанавливается на съёмочных точках, а на пикетных точках — специальные вешки с отражателями, входящими в комплект тахеометра. При наведении на отражатели вешки в автоматическом режиме определяются горизонтальные и вертикальные углы, а также расстояние до смежных съёмочных и пикетных точек. С помощью микроЭВМ тахеометра производят обработку результатов измерений и в итоге получают приращения  $\Delta x$  и  $\Delta y$  координат и превышения  $h$  на смежные съёмочные и пикетные точки. При этом автоматически учитываются все поправки в измеряемые расстояния и за наклон вертикальной оси прибора в измеряемые углы. Результаты измерений могут быть введены в специальное запоминающее устройство (накопитель информации) или переписаны на магнитную кассету.

В дальнейшем из накопителя или с магнитной кассеты информация поступает в ЭВМ, которая по специальной программе производит окончательную обработку результатов измерений, включающую в себя вычисление координат съемочных и пикетных точек, уравнивание съемочного хода и другие вычисления, необходимые для графического построения топографического плана или цифровой модели местности. Графическое построение топографического плана осуществляется графопостроителем, соединенным с ЭВМ.

## 11.4. Нивелирование поверхности

Съемку в равнинной местности с небольшим числом контуров при высоте сечения рельефа через 0,1; 0,25; 0,5 м выполняют нивелированием поверхности. Существует несколько способов такой съемки: по квадратам, параллелям, характерным линиям рельефа. Во всех способах высоты пикетов определяют геометрическим нивелированием. Различие состоит лишь в схеме определения планового положения пикетных точек.

При нивелировании по квадратам с помощью теодолита и мерного прибора на местности разбивают и закрепляют колышками сетку квадратов. Вначале разбивают квадраты со сторонами 100, 200 или 400 м. Затем с помощью вешек и мерного прибора разбивают сетку на более мелкие квадраты со стороной 40 м для съемки в масштабе 1:2000 и 20 м для съемки в масштабах 1:1000 и 1:500. При разбивке квадратов ведут съемку ситуации, определяя положение контурных точек на пересечении со сторонами квадратов. Результаты съемки заносят в абрис (рис. 11.5). К пунктам государственной геодезической сети сетку привязывают проложением теодолитных и нивелирных ходов.

Порядок нивелирования квадратов зависит от их размера. При сторонах квадратов 100 м и более с одной станции нивелируют вершины одного квадрата, при меньшем размере — нескольких квадратов. При этом нивелир устанавливают примерно посередине большого квадрата, а рейку последовательно размещают на

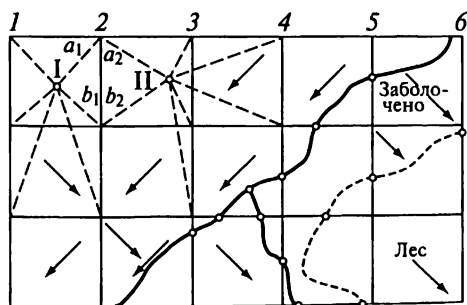


Рис. 11.5. Абрис съемки способом нивелирования по квадратам (стрелками указано направление скатов)

всех вершинах и берут отсчеты. Отсчеты записывают непосредственно на схеме квадратов. Последовательно переставляя нивелир и рейки, нивелируют вершины всех квадратов. С каждой последующей станции нивелируют две или более связующие точки предыдущего квадрата. Это позволяет помимо передачи отметки выполнять контроль измерений. Результаты измерений контролируют, сравнивая суммы  $a_1 + b_2 = a_2 + b_1$  накрест лежащих отсчетов по общей стороне двух смежных квадратов. Расхождение между этими суммами не должно превышать 10 мм. Высоты вершин квадратов вычисляют как по связующим точкам, так и через горизонт прибора.

При нивелировании по параллельным линиям на участке съемки прокладывают один или несколько параллельных магистральных ходов. В обе стороны от каждого хода разбивают перпендикулярные линии (поперечники). По ходам и поперечникам через равные промежутки закрепляют пикетные точки через 40 м при съемке в масштабе 1 : 2000 и через 20 м при съемке в масштабах 1 : 1000 и 1 : 500. Вместе с разбивкой производят съемку ситуации. Высоты пикетных точек определяют геометрическим нивелированием.

Магистральные ходы можно прокладывать и по характерным линиям рельефа: водоразделам, тальвегам и др.

## 11.5. Фототопографическая съемка

Для больших территорий топографические карты и планы всех масштабов, в том числе и крупных, составляют преимущественно аэрофототопографическим методом, сущность которого заключается в следующем. С самолета или другого воздушного носителя с определенной высоты, зависящей от масштаба съемки, местность фотографируют автоматическим аэрофотоаппаратом (АФА) при почти вертикальной его оптической оси. В результате получают снимок местности, близкий к горизонтальному. Для того чтобы заснять всю необходимую площадь, делают несколько снимков, причем с перекрытием — изображение на последующем снимке перекрывает изображение на предыдущем.

*Крупномасштабная аэрофотосъемка* выполняется в масштабе, который в 4...6 раз мельче масштаба создаваемого плана, при этом стремятся, чтобы отдельные населенные пункты, городские кварталы, предприятия по возможности располагались в пределах одного аэрофотоснимка. Продольное перекрытие снимков должно составлять около 60 %.

Для съемки применяют аэрофотоаппараты с высокими изобразительными свойствами, минимальными геометрическими искажениями снимаемых объектов, размерами снимков 18×18 и 23×23 см.

Лучшее время для выполнения аэрофотосъемки — ранняя весна или поздняя осень, когда нет листьев на деревьях (меньше тени, повышается качество дешифрирования), растительный покров имеет небольшую высоту или отсутствует (увеличивается точность изображения рельефа). На застроенной территории аэрофотосъемка может быть выполнена при сплошной облачности, когда тени меньше закрывают сооружения. Иногда производят две аэрофотосъемки местности: первую — крупного масштаба с небольшой высоты (300...400 м) в период, когда влияние растительного покрова на точность высотных измерений незначительно и может быть обеспечено изображение рельефа с сечением через 0,5 м, и вторую — более мелкого масштаба для составления фотопланов.

До проведения аэрофотосъемки выполняют *маркирование* пунктов геодезической основы, возможных опознавательных знаков, колодцев и камер подземных коммуникаций, а также других точек сооружений, координаты которых необходимо определить. Маркировочные знаки делают из недорогих, контрастных по отношению к местности материалов и придают им форму квадрата, креста с размерами не менее 0,2 мм на аэрофото-снимке.

Плановые опознавательные знаки обычно располагают по поперечникам (в зоне поперечных перекрытий) через 7...8 базисов. Высотные опознавательные знаки при сечении рельефа через 1 м проектируют через 3...4 базиса. При высоте сечения рельефа 0,5 м производят сплошную высотную привязку, обеспечивая каждую стереопару шестью опознавательными знаками.

Для привязки опознавательных знаков применяют геодезические методы, рекомендуемые для определения координат и высот опознавательных знаков (аналитические засечки, светодальномерную полигонометрию, триангуляционные и трилатерационные построения, теодолитные ходы; геометрическое и тригонометрическое нивелирование; спутниковые определения).

Для уточнения некоторых характеристик ситуации и рельефа, например названий населенных пунктов и рек, этажности и материалов зданий, вида и средних размеров лесных насаждений, производят полевое обследование — дешифрирование. На застроенных территориях корректируют изображения оснований высоких сооружений, а также координируют углы капитальных зданий и сооружений, центры колодцев, стрелочных переводов и др., обмеряют габаритные размеры строений. При съемке водоемов определяют высоты уровня воды и глубины по поперечникам. Производится до съемки подземных коммуникаций и других не образившихся на снимках объектов.

Топографический план по снимкам создают в основном с помощью цифровых фотограмметрических систем, позволяющих вы-

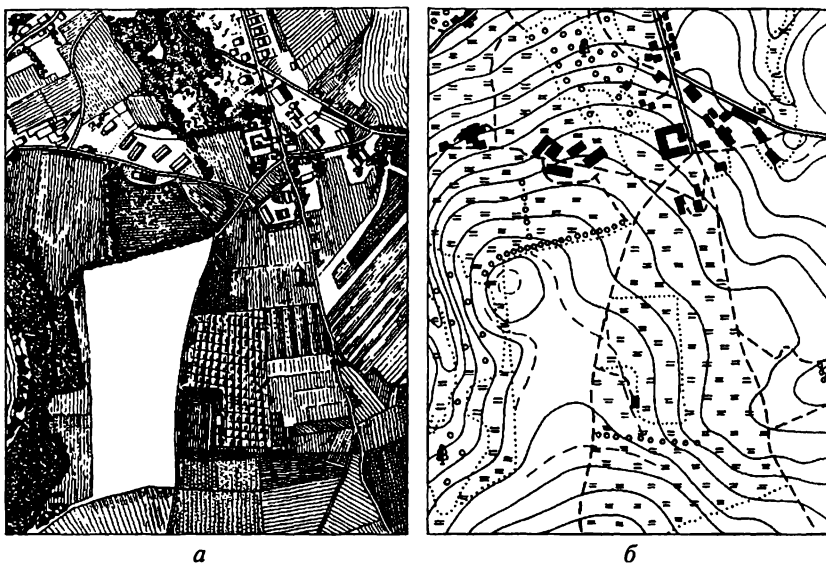


Рис. 11.6. Аэрофотографическое изображение местности (а) и составленный по нему план (б)

полнять все процессы преобразования снимков, а также получать цифровые модели местности (рис. 11.6).

Для составления планов площадок и трасс в горной местности, а также при исполнительных съемках транспортных узлов, карьеров, надземных сооружений и других объектов применяют метод наземной стереофотограмметрии. В этом методе съемку производят фототеодолитом или специальными цифровыми камерами с базисов.

*Базисы* выбирают на возвышенных местах, чтобы с них можно было заснять всю территорию без «мертвых» пространств, разрывов, излишних перекрытий и получить на плане изображение наиболее удаленных предметов и контуров местности с требуемой точностью. По возможности базисы ориентируют параллельно общему направлению снимаемого участка, чтобы хорошо просматривались элементы рельефа и ситуации. Как правило, на каждом базисе предусматривают съемку с двух станций при нормальных и равноотклоненных на угол скоса  $\varphi$  осях. Смежные стереопары снимают с перекрытием 20...40 %.

Для составления по стереопаре топографического плана необходимо знать длину базиса фотографирования и координаты (в плане и по высоте) нескольких опознавательных знаков на местности. Стереопары обрабатывают для получения топографического плана так же, как и аэрофотоснимки, с помощью цифровых фотограмметрических систем.

## 11.6. Специальные ме

К специальным методам крупн съемки можно отнести съемку с п сканеров наземного и воздушного б ковых приемников.

Типовая лазерная сканирующая си ного работающего в автоматическом р е и полевого персонального компьютера программным обеспечением. На экран ком бражение, позволяющее оператору контр сканера. Сканирование прибор осуществля зерные сканеры обладают способностью п, точностью от 5 мм до 5 см на расстоянии от н 2500 м за время от нескольких секунд до дес поля зрения может составлять 360° по горизо, вертикали.

Камеральная обработка лазерного сканировани с помощью программного обеспечения, позволяюще мерную модель снимаемой местности, визуализиров, приводить ее к нужной системе координат, проводи между любыми точками или моделируемыми поверхно

Сущность топографической съемки спутниковым, ками состоит в том, что с их помощью в реальном погрешностью 2...3 см определяют плановые координаты точек местности, описывающих ее топографию. Для э пользуются, как минимум, два приемника, один из которых вый, устанавливается на точке с известными координата другой, подвижный, — на определяемой точке.

Базовая станция снабжена передающим радиомодемом с диоантенной, транслирующим необходимую информацию на п подвижный приемник.

Комплект подвижной станции включает в себя: спутниковы, приемник, закрепленный на специальной вехе с круглым уров нем; приемный радиомодем и многофункциональный контрол лер, предназначенный для управления комплектом, записи и со хранения результатов измерений.

Обработку результатов измерений, как правило, выполняют не посредственно в поле. Собранные данные переносят из контроллера в портативный полевой компьютер, снабженный специальным программным обеспечением для рисовки топографического плана. При полевой рисовке исполнитель может определить недостаточно подробно снятые участки, выявить ошибки и исправить их.

На тех участках съемки, где применение спутниковых приемников затруднено или нецелесообразно, используют электронный тахеометр.

позволяют ги и служат ровдения инженерно- ию геоде- ных мас- ание ли- ических кой раз-

**ГЕОДЕЗ**

**ИН** ичес- ение о явле- и т. п. стро-

**Г** десят- ног, при- бот, по же, то- ус, се- в, о, м, о, е, и

## Глава 12

**ИНЖЕНЕРНЫЕ ИЗЫСКАНИЯ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА****12.1. Виды и задачи инженерных изысканий**

Проектирование, а в последующем и строительство инженерного сооружения ведется на основе комплекса специальных работ, называемых *инженерными изысканиями*. Основные задачи инженерных изысканий — изучение природных и экономических условий района будущего строительства, составление прогнозов взаимодействия объектов строительства с окружающей средой, обоснование их инженерной защиты и безопасных условий жизни населения.

Каждая стадия изысканий должна обеспечивать материалами соответствующую стадию проектирования. В связи с этим различают следующие изыскания:

предварительные на стадии технико-экономического обоснования (ТЭО) или технико-экономического расчета (ТЭР);

на стадии проекта;

на стадии рабочей документации.

Изыскания делятся на экономические и технические.

Экономические изыскания проводят для определения экономической целесообразности строительства сооружения в конкретном месте с учетом обеспеченности его строительными материалами, сырьем, транспортом, водой, энергией, рабочей силой и т. п. Экономические изыскания обычно предшествуют техническим.

Технические изыскания ведут для того, чтобы дать исчерпывающие сведения о природных условиях участка для наилучшего учета и использования их при проектировании и строительстве.

Для оценки участка предполагаемого строительства комплексно проводят следующие изыскания: основные — инженерно-геодезические; инженерно-геологические и гидрогеологические; гидрометеорологические, климатологические, метеорологические; почвенно-геоботанические и др. Основные изыскания выполняют в первую очередь на всех типах сооружений.



Инженерно-геодезические изыскания позволяют получить информацию о рельефе и ситуации местности и служат основой не только для проектирования, но и для проведения других видов изысканий и обследований. В процессе инженерно-геодезических изысканий выполняют работы по созданию геодезического обоснования и топографической съемке в разных масштабах на участке строительства, производят трассирование линейных сооружений, геодезическую привязку геологических выработок, гидрологических створов, точек геофизической разведки и многие другие работы.

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

К инженерным изысканиям для строительства также относятся: геотехнический контроль, оценка опасности и риска от природных и техногенных процессов; обоснование мероприятий по инженерной защите территорий; локальный мониторинг компонентов окружающей среды, научные исследования в процессе инженерных изысканий, авторский надзор за использованием изыскательской продукции; кадастровые и другие сопутствующие работы и исследования в процессе строительства, эксплуатации и ликвидации объектов.

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

Различные виды сооружений, технология строительства которых имеет много общего и изыскания для которых проводятся по схожей схеме, могут быть объединены в группы: площадные и линейные сооружения. К площадным сооружениям относятся: населенные пункты, промышленные предприятия, аэропорты и т. п., к линейным — дороги, линии электропередачи (ЛЭП), трубопроводы и т. п.

Порядок, методика и точность инженерных изысканий устанавливаются в основном в строительных нормах, например СНиП 11-02—96 и СП 11-104—97.

Гидрометеорологические изыскания дают сведения о водном режиме рек и водоемов, основные характеристики климата района.

В процессе гидрометеорологических изысканий определяют характер изменения уровней, уклоны, изучают направление и скорости течений, вычисляют расходы воды, производят промеры глубин, ведут учет наносов и т. д.

## 12.2. Изыскания площадных сооружений

Состав и объем инженерных изысканий зависят от размеров площадного сооружения. Состав изысканий на небольших площадках ограничивается основными изысканиями: инженерно-геодезическими, инженерно-геологическими и гидрометеорологическими. Для больших площадных сооружений выполняют все инженерные изыскания: инженерно-геологические, инженерно-геодезические; гидрометеорологические, почвенно-геоботанические и санитарно-гигиенические; для земельно-хозяйственного устройства, озеленения и вертикальной планировки территории; по инженерным сетям, транспорту, строительным материалам и т. п.

Каждая площадка, которая предназначается для строительства сооружения, должна отвечать определенным техническим требованиям, удовлетворяющим условиям нормальной эксплуатации и минимальных затрат на подготовительные работы и освоение. Поэтому одна из важнейших задач изысканий — выбор в данном районе площадки с заданными техническими требованиями.

Площадку выбирают по возможности в малопересеченной, малопригодной для сельского хозяйства местности с благоприятными для строительства геологическими и гидрогеологическими условиями. Размеры площадки и ее конфигурация должны соответствовать размерам проектируемого сооружения и расположению коммуникаций с учетом перспективы его расширения в будущем. Площадка должна располагаться таким образом, чтобы ее можно было соединить с ближайшими железнодорожными и автодорожными магистралями без большого объема земляных работ и возведения больших мостовых переходов, которые не только удорожают строительство, но и удлиняют сроки освоения площадки.

Рельеф площадки должен быть спокойным, с уклоном в одну сторону или от середины к краям, обеспечивающим быстрый сток поверхностных вод. Желательно, чтобы общее направление горизонталей было вдоль длинной стороны площадки, чтобы вертикальная планировка не требовала большого объема земляных работ, т. е. минимальные уклоны местности должны составлять 0,003...0,005, максимальные — 0,06...0,08.

Грунты площадки должны выдерживать такое давление, чтобы при строительстве зданий и сооружений можно было обойтись без устройства дорогостоящих фундаментов. Уровень грунтовых вод должен быть ниже отметок дна подвалов и галерей. Участок не должен затопляться высокими паводковыми водами.

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

дорогами, снабжением газом, электроэнергией, топливом, водой в бассейнах для сброса технических вод.

Вблизи отдельно расположенных промышленных объектов, аэропортов, гидроузлов должен быть участок свободной территории для строительства жилого поселка. Наличие вблизи площадки карьеров строительных материалов значительно удешевляет и ускоряет строительство.

Выбор площадки начинают в камеральных условиях. Путем сравнения вариантов выбирают наиболее выгодную площадку для полевого обследования. В натуре в первую очередь уточняют инженерно-геологические и гидрогеологические условия площадки; обследуют возможные подходы подъездных железных и шоссейных дорог, намечаемые выпуски канализационных коллекторов; определяют примерные расходы на подготовительные работы по освоению площадки; согласовывают возможность отвода территории, присоединения трасс и ряд других организационных вопросов.

Для разработки проекта намеченную площадку и часть прилегающей к ней территории снимают в масштабе 1 : 2000 с сечением рельефа через 1 м. Дополнительно по имеющимся планам и картам, обновленным и дополненным на местности, составляют ситуационный план района строительства в масштабах 1 : 10 000... 1 : 25 000. На этот план наносят: контуры площадок промышленного предприятия, жилого поселка, водозаборных и очистных сооружений, существующие автомобильные и железные дороги, реки, населенные пункты, лесные массивы, карьеры и места нахождения строительных материалов, подсобные предприятия, а также намечают трассы подъездных дорог, водоводов, выпусков канализации и др.

Одновременно с топографической съемкой производят крупномасштабную инженерно-геологическую съемку площадки. Для составления рабочих чертежей площадку для основных сооружений снимают в масштабах 1 : 1000... 1 : 500 с сечением рельефа через 0,5 м и проводят на ней детальную инженерно-геологическую и гидрогеологическую разведку. Съемку площадки производят топографическими или фотограмметрическими методами. На стадии изысканий под проект наиболее целесообразно проводить аэрофотосъемку в масштабах 1 : 7000... 1 : 10 000, с тем чтобы можно было ее использовать для составления подробного плана площадки в масштабе 1 : 2000 и карты района строительства в масштабе 1 : 10 000.

При изысканиях площадки на стадии рабочей документации основные сооружения и участок жилого поселка снимают в масштабах 1 : 1000... 1 : 500.

В таких же масштабах снимают застроенные территории, с густой сетью подземных коммуникаций. Съемка также может быть

выполнена как фотограмметрическими, так и геодезическими методами. При слабо выраженном рельефе часто производят нивелирование поверхности по квадратам  $20 \times 20$  или  $30 \times 30$  м. Независимо от метода съемки на площадке должен быть изображен рельеф, закоординированы углы капитальных зданий и сооружений и узловые точки коммуникаций, занивелированы полы зданий и складских площадок, бровки дорог, колодцы и т. д.

### 12.3. Изыскания для линейных сооружений

В ходе изысканий для линейных сооружений в первую очередь решают вопрос о плановом и высотном положении трассы.

*Трасса* — это линия, определяющая ось проектируемого линейного сооружения, обозначенная на местности, топографическом плане или нанесенная на карте, или обозначенная системой точек в цифровой модели местности. Основные элементы трассы: план — ее проекция на горизонтальную плоскость и продольный профиль — вертикальный разрез по проектируемой линии сооружения. В плане трасса должна быть по возможности прямолинейной, так как всякое отклонение от прямолинейности приводит к ее удлинению и увеличению стоимости строительства, затрат на эксплуатацию. В продольном профиле трассы должен обеспечиваться определенный допустимый уклон.

В условиях реальной местности одновременно трудно соблюсти требования к плану и профилю, так как приходится искривлять трассу для обхода препятствий, участков с большими уклонами рельефа и неблагоприятных в геологическом и гидрогеологическом отношении. Таким образом, план трассы (рис. 12.1) состоит из прямых участков разного направления, которые сопрягаются между собой кривыми с различными радиусами. Продольный профиль трассы состоит из линий различных уклонов, соединяющихся между собой вертикальными кривыми. На некоторых трассах (электропередачи, канализации) горизонтальные и вертикальные кривые не проектируют, и трасса представляет собой пространственную ломаную линию.

В зависимости от назначения трасса должна удовлетворять определенным требованиям, которые устанавливаются техническими условиями на ее проектирование. Так, для дорожных трасс

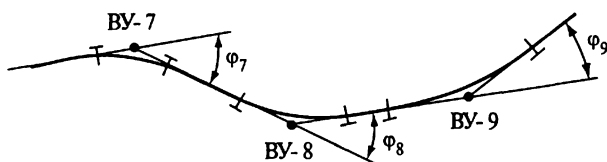


Рис. 12.1. Элементы плана трассы

основные требования — плавность и безопасность движения с расчетными скоростями. Поэтому на дорожных трассах устанавливаются минимально допустимые уклоны и максимально возможные радиусы кривых. На самотечных каналах и трубопроводах необходимо выдержать проектные уклоны при допустимых скоростях течения воды.

Степень искривления трассы определяется значениями углов поворота. *Углом поворота трассы* называют угол с вершиной  $\phi$  ( $B\Upsilon-\phi$ ), образованный продолжением направления предыдущей стороны и направлением последующей стороны. На трассах магистральных железных дорог, трубопроводов и линий электропередачи углы поворота не должны превышать  $15 \dots 20^\circ$ . Это приводит к незначительному удлинению линии будущей дороги или трубопровода.

Прямолинейные участки трасс железных и автомобильных дорог, трубопроводов сопрягаются в основном круговыми кривыми, представляющими собой дугу окружности определенного радиуса. На железных дорогах минимально допустимые радиусы составляют  $400 \dots 200$  м, на автомобильных в зависимости от категории дороги —  $600 \dots 60$  м, на каналах — не меньше пятикратной ширины канала (ирригационные каналы) или шестикратной длины судна (судоходные каналы), на трассах трубопроводов —  $1000d$ , где  $d$  — диаметр трубопровода.

На железных и автомобильных дорогах при радиусах кривых, соответственно меньших  $3000$  и  $1500$  м, для более плавного и безопасного движения прокладывают сложные кривые — круговые с переходными.

Важнейший элемент профиля трассы — ее продольный уклон. Чтобы соблюсти определенный допустимый уклон, особенно в сложной пересеченной местности, приходится не только отступать от прямолинейного следования трассы, но и увеличивать длину трассы (развивать трассу). Необходимость развития трассы чаще всего возникает в горной и предгорной местности.

На трассах магистральных железных дорог I и II категорий уклон не должен превышать  $0,012$ , на дорогах местного значения —  $0,020$ ; на горных дорогах, где применяется транспорт с усиленной тягой, уклоны могут достигать  $0,030$ ; на автомобильных дорогах уклоны колеблются от  $0,040$  до  $0,090$ . На трассах ирригационных и водопроводных каналов уклоны, которые назначают из расчета получения так называемых неразмываемых и незаиляемых скоростей течения воды по каналу, составляют  $0,001 \dots 0,002$ . На трассах напорных трубопроводов уклоны могут быть весьма значительными, а для ЛЭП они практически не имеют значения.

Радиусы вертикальных кривых в зависимости от вида сооружения и направления кривой (выпуклая, вогнутая) колеблются в широком диапазоне — от  $10000$  до  $200$  м.

Комплекс инженерно-изыскательских работ по проложению трассы, отвечающей всем требованиям технических условий и требующей наименьших затрат на ее возведение и эксплуатацию, называется *трассированием*.

Оптимальную трассу находят путем технико-экономического сравнения различных вариантов. Если трассу определяют по топографическим планам или аэрофотоматериалам, то трассирование называют *камеральным*, если ее выбирают непосредственно на местности, то *полевым*.

При трассировании различают плановые и высотные (профильные) параметры. К плановым параметрам относятся углы поворота, радиусы горизонтальных кривых, длины переходных кривых, прямые вставки, к высотным — продольные уклоны, длины элементов в профиле («шаг проектирования»), радиусы вертикальных кривых. Для одних сооружений (самотечные трубопроводы, каналы) наиболее важно выдержать продольные уклоны, для других (напорные трубопроводы, линии электропередачи и связи) уклоны местности мало влияют на проект трассы и ее стремятся выбрать наиболее краткой, расположенной в благоприятных условиях. При трассировании дорожных трасс необходимо соблюдать как плановые, так и профильные параметры. Независимо от характера линейных сооружений и параметров трассирования все трассы должны вписываться в ландшафт местности, не нарушая природной эстетики. По возможности трассу располагают на землях, которые имеют наименьшую ценность для народного хозяйства.

Технология изысканий линейных объектов определяется стадиями изысканий.

На стадии ТЭО проводят рекогносцировочные работы. Их выполняют главным образом камеральным путем, изучая имеющиеся на район изысканий топографические карты, материалы инженерно-геологических съемок и данные изысканий прошлых лет. По этим данным намечают на карте несколько вариантов трасс и по каждому из них составляют продольный профиль. Путем технико-экономического сравнения выбирают наиболее выгодные варианты для дальнейшего обследования и разрабатывают техническое задание на проектирование.

На стадии изысканий под проект по заданному в техническом задании направлению трассы выполняют детальное камеральное и полевое трассирование, в процессе которого выбирают наилучшую трассу и собирают материалы для разработки технического проекта этого варианта трассы и сооружений на ней.

Для составления рабочего проекта трассы производят предпостроечные полевые изыскания. В процессе полевых изысканий на основании проекта трассы и рекогносцировки местности определяют в натуре положение углов поворота и производят трассировочные работы: вешение линий, измерение углов и сторон хода

по трассе, разбивку пикетажа и поперечных профилей, нивелирование, закрепление трассы, а также, при необходимости, дополнительную крупномасштабную съемку переходов, пересечений мест со сложным рельефом.

#### **12.4. Современные методы инженерных изысканий**

Прогресс в области измерительной техники, совершенствование методик измерений и результатов их обработки, повсеместное использование ЭВМ для вычислительных и графических операций не могли не сказаться на технологии всех видов инженерных изысканий. Так, например, в инженерной геологии наряду с традиционными способами исследования грунтов (шурфованием или разведочным бурением) используются динамическое и статическое зондирование, геофизические способы электро- и сейсморазведки.

В гидрометеорологических изысканиях широко используются аэрокосмические методы съемки с различного рода носителей, включая искусственные спутники и космические станции. При русловых съемках и съемках морских акваторий используются радиотехнические средства измерений и различные типы эхолотов.

В практику инженерно-геодезических изысканий успешно внедряются светодальномеры, электронные теодолиты, электронные тахеометры, спутниковые приемники. Обработка результатов измерений в основном ведется на ЭВМ. Графическое изображение местности на основе топографических съемок меняется на математическое представление ее в виде цифровой модели местности и рельефа.

Разработаны программы для системы автоматизированного проектирования (САПР) трасс линейных сооружений, генеральных планов на основе ЦММ и т. п. На основе ЦММ также вычисляются объемы водохранилищ и земляных масс. Возможность создания цифровой модели местности не исключает использования графического изображения, полученного с помощью разного рода графопостроителей.

Наряду с широким использованием наземных и аэрометодов при изучении поверхности и природных ресурсов Земли для целей изысканий применяется информация, полученная из космоса. С помощью материалов космических съемок могут решаться многие практические задачи.

Спектрзональные снимки высокого разрешения могут использоваться для проведения мероприятий по защите природного ландшафта и вод от загрязнения. Космические съемки используются при проектировании объектов, занимающих большие площади, а также для нужд картографии, расширяя и углубляя информацию о таких протяженных объектах, как магистральные дороги, трубопроводы, каналы.

## ИНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ ОПОРНЫЕ СЕТИ

### 13.1. Назначение, виды и особенности построения опорных сетей

Для обеспечения практически всех видов инженерно-геодезических работ создаются опорные сети, пункты которых хранят на территории работ плановые и высотные координаты. Эти сети служат основой: для производства топографических съемок при изысканиях; выполнения различных работ на территории городов; разбивочных работ при строительстве зданий и сооружений, при составлении исполнительной документации; для наблюдений за осадками и деформациями оснований сооружений и самих сооружений. Такое широкое использование опорных геодезических сетей определяет различные схемы и методы их построения.

Инженерно-геодезические плановые и высотные опорные сети представляют собой систему геометрических фигур, вершины которых закреплены на местности специальными знаками, координаты которых определены в единой системе координат. Плановые и высотные опорные сети создают в соответствии с заранее разработанным проектом производства геодезических работ (ППГР). При составлении этого проекта собирают сведения, относящиеся к опорным геодезическим сетям во всех организациях, производящих работы на территории города или поселка в районе строительства; в территориальных инспекциях Федеральной службы геодезии и картографии России, управлениях (отделах) по делам строительства и архитектуры; краевых, областных и городских администрациях; изыскательских и проектно-изыскательских организациях.

По собранным материалам составляют схему расположения пунктов ранее выполненных опорных геодезических сетей всех классов и разрядов в пределах территории предстоящих работ. В инженерно-геодезической практике достаточно часто встречаются случаи, когда сеть создается заново, даже при наличии близкорасположенных пунктов ранее созданных сетей. Это делается для обеспечения повышенной точности определения взаимного положения пунктов.

Инженерно-геодезические сети обладают следующими характерными особенностями:

часто создаются в условной системе координат с привязкой к государственной системе координат;

форма сети определяется обслуживаемой территорией или формой объектов, группы объектов;



имеют ограниченные размеры, часто с незначительным числом фигур или полигонов;  
длины сторон, как правило, короткие;  
условия наблюдений, как правило, неблагоприятные;  
к пунктам сети предъявляются повышенные требования по стабильности положения в сложных условиях их эксплуатации.

Необходимо отметить особенности, связанные с целевым назначением сети. Такие особенности свойственны сетям, создаваемым для гидротехнического строительства, строительства мостов, тоннелей различного назначения, прецизионных сооружений. Например, при строительстве плотин значительной высоты в узких речных долинах возникает необходимость в построении многорусяной сети, позволяющей осуществлять поярусную разбивку строящегося объекта. При построении сети для строительства мостового перехода затруднительно проводить измерения вдоль берегов. При строительстве тоннелей и некоторых видов прецизионных сооружений повышенные требования предъявляются к точности построений лишь по одному определенному направлению.

Приведенные требования определяют значительное разнообразие опорных сетей как по конфигурации, так и по точности их создания.

Выбор вида построения зависит от многих причин: типа объекта, его формы и занимаемой площади, назначения сети, физико-географических условий, требуемой точности, наличия измерительных средств у исполнителя работ. Например, триангуляцию применяют в качестве исходного построения на значительных по площади или протяженности объектах в открытой пересеченной местности; полигонометрию — на закрытой местности или застроенной территории (полигонометрия — наиболее маневренный вид построения); линейно-угловые построения — при необходимости создания сетей повышенной точности; трилатерацию — обычно на небольших объектах, где требуется высокая точность; строительные сетки — на промышленных площадках.

В зависимости от площади, занимаемой будущим объектом, и технологии строительства инженерно-геодезические сети могут строиться в несколько последовательных стадий (ступеней). При этом возможно сочетание различных видов построений. Например, для съемочных и разбивочных работ триангуляция или линейно-угловые сети могут служить основой для дальнейшего сгущения полигонометрическими и теодолитными ходами. Развитие измерительных средств во многом определяет выбор метода построения опорных сетей. Широкое внедрение в производство электронных тахеометров привело к тому, что линейно-угловые сети и полигонометрия используются наиболее часто.

Высотные опорные сети создают, как правило, методом геометрического нивелирования в виде одиночных ходов или систем

ходов и полигонов, проложенных между исходными реперами. Использование электронных тахеометров позволяет заменять в отдельных случаях метод геометрического нивелирования методом тригонометрического.

### **13.2. Принципы проектирования и расчет точности построения опорных сетей**

При проектировании инженерно-геодезических сетей, исходя из назначения работ, вида и площади объекта, необходимо решить следующие основные задачи:

- выяснить исходные требования к точности построения сети;
- определить число ступеней развития сети;
- выбрать для каждой ступени вид построения сети;
- назначить общие требования к точности построения сети на каждой ступени;
- найти требуемую точность отдельных видов измерений на каждой ступени построения сети.

Эти задачи могут быть решены двумя путями.

*Первый путь.* Исходя из условий проектирования, определяют конкретный вид сети и выбирают класс ее построения. Для выбранного класса сети существуют геометрические и точностные параметры, определяемые нормативными документами. Руководствуясь ими, разрабатывают проект и выполняют его оценку. Результаты оценки по каким-либо конечным параметрам сравниваются с заданными или нормативными, и делаются соответствующие выводы. Далее выбираются рекомендованные инструкциями методы и средства измерений. Такой принцип решения обычно применяют при проектировании опорных сетей для производства крупномасштабных топографических съемок и выноса в натуре основных осей зданий и сооружений при строительстве населенных пунктов.

*Второй путь.* Для опорных сетей специального назначения проектирование и расчет точности ведут, руководствуясь назначением сетей, для которых задаются или рассчитываются исходные точностные требования. Исходя из необходимой плотности и возможных мест расположения пунктов, проектируется схема построения сети. При этом можно руководствоваться геометрическими параметрами, приблизительно соответствующими определенному классу. Далее на основе расчетов определяется действительный класс построений для каждой ступени развития сети. Так же на основе расчетов определяется методика и выбираются средства измерений на каждой ступени.

Основу расчетов для обоих случаев проектирования составляет решение известного точностного уравнения

$$m_F = \mu \sqrt{\frac{1}{P_F}},$$

где  $m_F$  — погрешность функции наиболее слабо определяемого или требуемого элемента в уравненной сети;  $\mu$  — погрешность единицы веса измерений;  $1/P_F = Q_F$  — обратный вес оцениваемого элемента.

В первом случае, найдя обратный вес и задавая погрешность единицы веса, соответствующую какому-либо нормативному классу, определяют погрешность  $m_F$  функции оцениваемого элемента сети и сравнивают ее с нормативной. Во втором — по вычисленной величине обратного веса и заданной погрешности функции оцениваемого элемента находят погрешность единицы веса  $\mu$ . На основе полученной величины  $\mu$  выбирают методику измерений.

Таким образом, во всех случаях расчета точности сети необходимо определить обратный вес и погрешность функции оцениваемого элемента.

При строгом решении обратный вес функции оцениваемого элемента обычно находят из уравнивания. Так как измерения пока не проводились, вопрос об уравнивании отпадает. Но, поскольку оценивается обратный вес функции уравненных элементов, то для его вычисления, принимая свободные члены соответствующих уравнений равными нулю, можно использовать принципы и приемы уравнивания.

Например, при применении коррелятного способа составляют условные уравнения, присоединяют к ним уравнение оцениваемой функции, переходят к нормальным уравнениям и из их решения находят обратный вес.

Основу любого геодезического проектирования составляют требования к точности выполнения работ. Применительно к построению опорных инженерно-геодезических сетей задача состоит в назначении или расчете погрешности функции того или иного элемента сети. Поскольку опорные сети могут развиваться в несколько этапов, то существуют понятия исходной и поэтапной точностей.

Под *исходной точностью* понимают точность определения положения съемочной точки, осадок реперов и т. п.

*Поэтапная точность* является функцией от исходной, ее долей, приходящейся на каждый этап построения.

При одностадийном построении исходная и поэтапная точности совпадают.

В практике инженерно-геодезических работ существуют различные пути решения задачи по определению исходной и поэтапной точностей.

Исходная точность может быть задана в техническом задании, нормативных документах или получена расчетным путем.

Так, например, при расчете точности планового обоснования для съемочных работ в качестве исходной принимают среднюю квадратическую погрешность планового положения съемочной точки. Рассчитывают ее по формуле

$$m_{\text{исх}} = 0,2 \text{ мм} \cdot M, \quad (13.1)$$

где  $M$  — знаменатель масштаба съемки.

При расчете точности высотного обоснования для съемочных работ в качестве исходной может быть принята погрешность в определении отметки точки по горизонталям. Ее определяют по формуле

$$m_{h_{\text{исх}}} = \frac{1}{5} h,$$

где  $h$  — высота сечения рельефа.

Для определения поэтапной точности наиболее распространенным является следующий путь.

Пусть опорная сеть проектируется в  $n$  ступеней. Общая погрешность будет складываться из суммарных случайных погрешностей  $m_1, m_2, \dots, m_n$  построения для каждой ступени. Если погрешности слабо зависимы, то можно написать

$$m_{\text{общ}}^2 = m_1^2 + m_2^2 + \dots + m_n^2. \quad (13.2)$$

Исходя из практической необходимости для решения уравнения (13.2) ставится условие, чтобы для каждой последующей ступени построения сети погрешности предыдущей можно было считать пренебрежимо малыми. Это возможно, если погрешности каждой предыдущей ступени будут в  $K$  раз меньше погрешностей последующей, т. е.

$$m_1 = \frac{m_2}{K}; \quad m_2 = \frac{m_3}{K}$$

и т. д.

Коэффициент  $K$  называют *коэффициентом обеспечения точности*, показывающим, во сколько раз погрешность исходных данных должна быть меньше погрешности измерений, чтобы первой можно было пренебречь.

Для массовых геодезических работ, в том числе и для опорных сетей,  $K$  принимают равным двум и одинаковым для всех ступеней построения обоснования.

В качестве примера рассмотрим схему построения обоснования для съемки масштаба 1 : 500, состоящую из трех ступеней. Для этого случая

$$m_{\text{общ}}^2 = m_1^2 + m_2^2 + m_3^2. \quad (13.3)$$

Исходную погрешность найдем по формуле (13.1):

$$m_{\text{исх}} = 0,2 \cdot 500 = 100 \text{ мм} = 10 \text{ см.}$$

Выразив погрешности  $m_2$  и  $m_3$  через ошибку  $m_1$ , будем иметь

$$m_2 = Km_1; \quad m_3 = Km_2 = K^2m_1. \quad (13.4)$$

Подставляя выражения (13.4) в формулу (13.3) и принимая  $K = 2$ , получим

$$m_{\text{общ}}^2 = m_1^2 + 4m_1^2 + 16m_1^2 = 21m_1^2,$$

откуда

$$m_1 = \frac{10}{\sqrt{21}} = 2,2 \text{ см}; \quad m_2 = 4,4 \text{ см}; \quad m_3 = 8,8 \text{ см.}$$

Полученные величины представляют собой погрешности пунктов в самом слабом месте схемы построения сети для каждой ступени по отношению к пунктам, на которые эта ступень опирается. Например, можно считать, что  $m_3$  — это погрешность в середине теодолитного хода, опирающегося на пункты ходов полигонометрии соответствующего разряда;  $m_2$  — погрешность в середине полигонометрического хода, опирающегося на пункты триангуляции соответствующего класса, а  $m_1$  — погрешность в слабом месте сети триангуляции по отношению к ее исходному пункту или взаимного положения двух смежных пунктов триангуляции.

Следует отметить, что совместное переуровнивание всей опорной сети в целом, которое производят после ее полного завершения, позволяет получить более однородную по точности сеть. Это обстоятельство является важным при последующих разбивочных работах.

Для определения необходимой точности измерений на каждой ступени развития обоснования определяют зависимость между погрешностью этих измерений и погрешностью, полученной для данной ступени из общих расчетов.

Так, например, для вытянутого хода светодальномерной полигонометрии средняя квадратическая погрешность  $M$  в положении конечной точки хода определяется формулой

$$M^2 = m_s^2 n + \frac{m_\beta^2}{\rho^2} L^2 \frac{n+3}{12}, \quad (13.5)$$

где  $m_s$  и  $m_\beta$  — погрешности соответственно линейных и угловых измерений;  $n$  — число сторон в ходе;  $\rho$  — плотность сети;  $L$  — длина хода.

Если из общих расчетов для данной ступени получена погрешность (например,  $m_2$ ) пункта в середине (слабом месте) уравнированного полигонометрического хода, то погрешность в конце хода будет вдвое больше. Далее, принимая принцип равных влияний погрешностей угловых и линейных измерений, из выражения (13.5) для конкретной схемы хода можно найти  $m_s$  и  $m_p$ .

Аналогичные расчеты могут быть выполнены для любого вида построения инженерно-геодезических сетей.

Принципы проектирования и расчета точности высотных сетей те же, что и для плановых. Однако следует иметь в виду, что если в качестве единицы веса  $\mu$  принимается погрешность на 1 км нивелирного хода, то обратный вес в секциях следует принять равным длине секции; если  $\mu$  — погрешность определения превышения на станции, то обратный вес в секциях равен числу станций.

Исходная точность в зависимости от назначения высотной сети может определяться требованиями к точности рисовки рельефа на топографических планах, определения осадок, к высотной разбивке и т. п.

### 13.3. Триангуляционные сети

Триангуляционные сети в инженерно-геодезических работах используются в качестве основы для топографических съемок и разбивочных работ, а также для наблюдений за деформациями сооружений.

Для съемочных работ триангуляционная сеть позволяет сократить длины развиваемых на ее основе сетей сгущения и способствует уменьшению погрешностей в сетях низших разрядов и съемочных сетях. Выбор класса сети для этой цели определяется в основном площадью съемки. Так, для крупнейших городов применяется триангуляция до 2-го класса включительно. В большинстве случаев исходным обоснованием для съемочных работ служит триангуляция 4-го класса. Триангуляция используется и для построения сетей сгущения 1-го и 2-го разрядов.

Приведем основные характеристики триангуляции для инженерно-геодезических работ широкого назначения (табл. 13.1).

Для разбивочных работ триангуляция может служить непосредственной основой, с пунктов которой производится разбивка сооружений, или опорой для развития сетей низших разрядов, в свою очередь используемых для разбивки. Примером может служить триангуляция для строительства гидротехнических сооружений, тоннелей, мостов.

Приведем основные характеристики тоннельной (табл. 13.2) и гидротехнической (табл. 13.3) триангуляций.

Из приведенных таблиц следует, что характеристики специальных триангуляций отличаются от государственных в основном

Таблица 13.1

Класс (разряд) сети	Длина стороны, км	Средняя квадратическая погрешность измеренного угла, "	Относительная средняя квадратическая погрешность исходной стороны	Относительная средняя квадратическая погрешность слабой стороны
3-й кл.	5...8		1:200000	1:100000
4-й кл.	2...5	2,0	1:200000	1:70000
1-й р.	0,5...5	5,0	1:50000	1:20000
2-й р.	0,25...3	10,0	1:20000	1:10000

Таблица 13.2

Разряд	Длина тоннеля, км	Длина стороны, км	Средняя квадратическая погрешность измеренного угла, "	Относительная средняя квадратическая погрешность исходной стороны	Относительная средняя квадратическая погрешность слабой стороны	Средняя квадратическая погрешность дирекционного угла слабой стороны, "
I	Свыше 8	4...10	0,7	1:400000	1:200000	1,5
II	5...8	2...7	1,0	1:300000	1:150000	2,0
III	2...5	1,5...5	1,5	1:200000	1:120000	3,0
IV	1...2	1...3	2,0	1:150000	1:70000	4,0

Таблица 13.3

Разряд	Длина стороны, км	Средняя квадратическая погрешность измеренного угла, "	Относительная средняя квадратическая погрешность исходной стороны	Относительная средняя квадратическая погрешность слабой стороны
I	Устанавливаются специальными расчетами			
II	0,5...1,5	1,0	1:400000	1:200000
III	0,3...1,0	1,5	1:300000	1:150000
IV	0,2...0,8	2,0	1:150000	1:70000

длинами сторон, причем в сторону уменьшения. Это обстоятельство неизбежно приводит к повышению требований к отдельным измерительным операциям, таким как центрирование теодолита и визирных целей при угловых измерениях и т. п.

Особенностью разбивочной триангуляции является необходимость соблюдения точностных требований во взаимном положении смежных пунктов или пунктов, разделенных двумя-тремя сторонами. Это требование обусловлено тем, что с пунктов сети требуется вынести в натуре систему точек, как правило, принадлежащих единому сооружению или единому комплексу сооружений, связанных конструктивно или технологически.

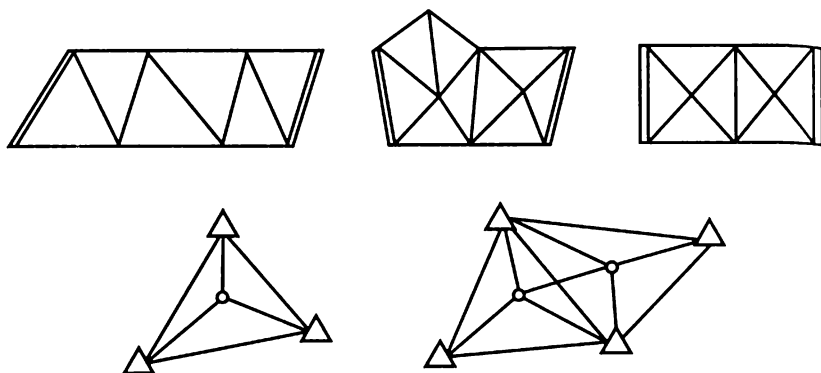


Рис. 13.1. Инженерно-геодезические сети триангуляции

Триангуляционные сети, предназначенные для наблюдений за плановыми смещениями сооружений, чаще всего применяются на крупных гидротехнических объектах. В основном они используются для измерения смещений недоступных точек и контроля устойчивости исходных опорных пунктов других построений. Характерной особенностью триангуляционных сетей для этого вида работ являются высокие требования к точности определения координат пунктов (2...5 мм) при небольших длинах сторон.

При развитии инженерно-геодезических сетей методом триангуляции наиболее типичными построениями являются (рис. 13.1): цепи треугольников (для линейно протяженных объектов), центральные системы (для городских и промышленных территорий), геодезические четырехугольники (для мостовых и гидротехнических сооружений), вставки пунктов в треугольники и небольшие сети из этих фигур. Возможны и комбинированные построения.

В сетях триангуляции треугольники стараются проектировать близкими к равносторонним; в особых случаях острые углы допускают до  $20^\circ$ , а тупые — до  $140^\circ$ . В свободных сетях для контроля масштаба сети необходимо иметь не менее двух непосредственно измеренных базисных сторон.

Уравнивание результатов измерений выполняют строгими способами.

При разработке проектов триангуляционных сетей расчет ожидаемой точности производят, как правило, на ЭВМ, используя различные программы.

Для предварительной оценки ожидаемой точности некоторых применяемых в инженерной практике схем и построений можно пользоваться приближенными формулами.

Так, продольный сдвиг ряда, состоящего из приближенно равносторонних треугольников, при уравнивании результата измерения по направлению вычисляется по формуле



$$m_L = L \sqrt{\left(\frac{m_b}{b}\right)^2 + \left(\frac{m_\rho}{\rho}\right)^2 \frac{4n^2 + 3n + 5}{9n}},$$

где  $n$  — число промежуточных сторон в диагонали ряда  $L$ ;

$\left(\frac{m_b}{b}\right)$  — относительная средняя квадратическая погрешность измерения базисной стороны;  $m_\rho$  — средняя квадратическая погрешность измеренного угла; знак «плюс» перед  $3n$  берется при четном числе треугольников в ряду, знак «минус» — при нечетном.

Поперечный сдвиг такого же ряда и при тех же условиях вычисляется по следующим формулам:

при четном числе треугольников в ряду

$$m_q = \frac{L}{\rho} \sqrt{m_\alpha^2 + \frac{2}{15} m_\beta^2 \frac{n^2 + n + 3}{n}};$$

при нечетном числе треугольников в ряду

$$m_q = \frac{L}{\rho} \sqrt{m_\alpha^2 + \frac{m_\beta^2}{15} \frac{2n^2 + 5n + 5}{n}},$$

где  $m_\alpha$  — средняя квадратическая погрешность дирекционного угла исходной стороны.

Средняя квадратическая относительная погрешность длины связующей стороны треугольника с номером  $K$  вычисляется по формуле

$$\left(\frac{m_S}{S}\right)_K = \sqrt{\left(\frac{m_b}{b}\right)^2 + \frac{2}{3} \left(\frac{m_\rho}{\rho}\right)^2 K}.$$

То же для дирекционного угла по формуле

$$m_{\alpha_K} = \sqrt{m_\alpha^2 + m_\beta^2 \frac{2K + 5}{10}}.$$

Для треугольников произвольной формы со связующими углами  $A$  и  $B$

$$\left(\frac{m_S}{S}\right)_K = \sqrt{\left(\frac{m_b}{b}\right)^2 + \frac{2}{3} \left(\frac{m_\rho}{\rho}\right)^2 \left[ \sum_{i=1}^K (\text{ctg}^2 A_i + \text{ctg}^2 B_i + \text{ctg} A_i + \text{ctg} B_i) \right]}. \quad (13.6)$$

Если расчет для промежуточной стороны ряда ведется от двух исходных базисов, то среднее весовое из двух погрешностей, полученных по формуле (13.6), может быть подсчитано по формуле

$$\left(\frac{m_{S_K}}{S_K}\right)_{\text{ср.в.}} = \frac{\left(\frac{m_S}{S}\right)_{K_1} + \left(\frac{m_S}{S}\right)_{K_2}}{\sqrt{\left[\left(\frac{m_S}{S}\right)_{K_1}^2\right] + \left[\left(\frac{m_S}{S}\right)_{K_2}^2\right]}}$$

### 13.4. Трилатерационные сети

Метод трилатерации применяют для построения инженерно-геодезических сетей 3-го и 4-го классов, а также сетей сгущения 1-го и 2-го разрядов различного назначения. Приведем наиболее распространенные требования к сетям (табл. 13.4).

Сети трилатерации, создаваемые для решения инженерно-геодезических задач, часто строят в виде свободных сетей, состоящих из отдельных типовых фигур: геодезических четырехугольников, центральных систем или их комбинаций с треугольниками.

Типовой фигурой трилатерации является треугольник с измеренными сторонами  $a$ ,  $b$  и  $c$  (рис. 13.2).

Углы в треугольнике трилатерации вычисляют по одной из следующих формул:

$$\sin \frac{\alpha}{2} = \sqrt{\frac{(p-b)(p-c)}{bc}}; \quad \cos \frac{\alpha}{2} = \sqrt{\frac{p(p-a)}{bc}};$$

$$\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = \sqrt{\frac{(p-b)(p-c)}{p(p-a)}}; \quad p = \frac{a+b+c}{2}.$$

Таблица 13.4

Основные показатели	4-й класс	1-й разряд	2-й разряд
Длина стороны, км	1...5	0,5...6	0,25...3
Предельная относительная погрешность определения длин сторон	1:50000	1:20000	1:10000
Минимальный угол в треугольнике, °	20	20	20
Минимальный угол в четырехугольнике, °	25	25	25
Число треугольников между исходными пунктами	6	8	10

Средняя квадратическая погрешность вычисленного угла может быть определена по формуле

$$m_{\alpha}^2 = \rho^2 (A m_a^2 + B^2 m_b^2 + C^2 m_c^2),$$

где  $m_a$ ,  $m_b$  и  $m_c$  — средние квадратические погрешности измерения сторон;

$$A = \frac{1}{h_a}; \quad B = A \sqrt{1 - \left(\frac{h_a}{b}\right)^2};$$

$$C = A \sqrt{1 - \left(\frac{h_a}{c}\right)^2},$$

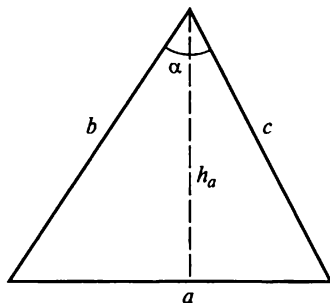


Рис. 13.2. Схема треугольника трилатерации

где  $h_a$  — высота треугольника, опущенная из вершины на сторону  $a$ .

Для линейно протяженных объектов сеть трилатерации создают из цепочки треугольников (рис. 13.3, а). Одним из основных недостатков вытянутого ряда цепочки треугольников с измеренными сторонами является то, что в таких сетях поперечный сдвиг ряда  $m_u$  существенно превышает продольный  $m_l$ .

При оценке ожидаемой точности ряда равносторонних треугольников трилатерации используют следующие формулы:

а) для продольного сдвига

$$m_l = m_S \sqrt{\frac{N}{2}} \quad (\text{при } N \text{ четном});$$

$$m_l = m_S \sqrt{\frac{N-1}{2}} \quad (\text{при } N \text{ нечетном}),$$

где  $m_S$  — средняя квадратическая погрешность измерения сторон;  $N$  — число фигур ряда;

б) для поперечного сдвига

$$m_u = m_S \sqrt{0,111k^3 + 0,25k^2 + 1,3k},$$

где  $k$  — порядковый номер связующей стороны;

в) для дирекционного угла связующей стороны

$$m_{\alpha_k} = \frac{m_S \rho}{S} \sqrt{1,33k + 0,67},$$

где  $S$  — длина сторон треугольников.

Еще одним недостатком трилатерационных сетей из треугольников является отсутствие полевого контроля качества измере-

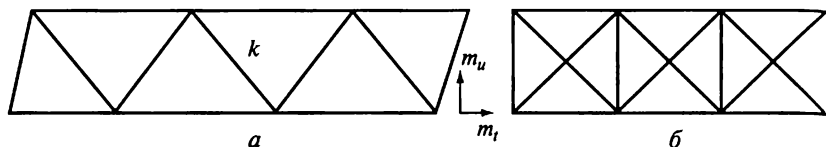


Рис. 13.3. Схемы сети трилатерации:

*a* — из цепочки треугольников; *б* — из геодезических четырехугольников

ний для каждой фигуры, так как сумма вычисленных углов треугольника всегда равна  $180^\circ$  при любых погрешностях измерений длин сторон, даже при грубых промахах. В связи с этим на практике часто используют сети из геодезических четырехугольников (рис. 13.3, б).

В каждом геодезическом четырехугольнике измерено шесть сторон, причем одна из них (любая) является избыточной и может быть вычислена с помощью результатов измерений других сторон. Это может служить полевым контролем качества измерений длин линий.

Кроме того, геодезический четырехугольник является более жесткой фигурой, и ряд, составленный из таких фигур, обладает более высокой точностью.

Оценка точности ряда геодезических четырехугольников, состоящего из квадратов и уравненных с ними из условия фигур, может быть выполнена по следующим формулам:

$$m_t = m_S \sqrt{0,9N};$$

$$m_u = m_S \sqrt{0,67N^3 - 0,13N^2 + 0,98N + 1,4};$$

$$m_{\alpha_k} = \frac{m_S \rho}{S} \sqrt{2N}.$$

Широкое распространение в практике инженерно-геодезических работ сети трилатерации получили при строительстве высокоэтажных зданий, дымовых труб, градирен, атомных электростанций, а также при монтаже сложного технологического оборудования. В таких сетях высокую точность измерения длин сторон (до десятых долей миллиметра) обеспечивают, используя высокоточные светодальномеры, инварные проволоки, а в некоторых случаях и жезлы специальной конструкции. Сети трилатерации с короткими сторонами принято называть *сетями микротрилатерации*. Иногда сети микротрилатерации являются единственно возможным методом создания геодезического обоснования для производства разбивочных работ.

### 13.5. Линейно-угловые сети

Широкое внедрение в практику геодезических работ электронных тахеометров привело к распространению линейно-угловых построений. В линейно-угловых сетях измеряются все или часть углов и сторон. По сравнению с триангуляцией и трилатерацией сеть, в которой удачно сочетаются угловые и линейные измерения, в меньшей степени зависит от геометрии фигуры, существенно уменьшается зависимость между продольным и поперечным сдвигами, обеспечивается жесткий контроль угловых и линейных измерений. Линейно-угловая сеть позволяет вычислить координаты пунктов точнее, чем в сетях триангуляции и трилатерации, примерно в 1,5 раза.

При уравнивании линейно-угловых сетей возникает вопрос о соотношении погрешностей угловых и линейных измерений. Это соотношение считается приемлемым при выполнении следующего условия:

$$\frac{m_{\beta}}{\rho} = \frac{m_S}{S}.$$

На практике стремятся это соотношение выдержать в пределах

$$\frac{1}{3} > \frac{m_{\beta}}{\rho} \frac{S}{m_S} < 3,$$

так как при  $\frac{m_{\beta}}{\rho} \frac{S}{m_S} \leq \frac{1}{3}$  линейные измерения практически не повышают точность элементов сети; при  $\frac{m_{\beta}}{\rho} \frac{S}{m_S} \geq 3$  влияние угловых измерений на повышение точности элементов сети незначительно. В качестве примера повышения точности в линейно-угловых сетях можно привести формулы вычисления погрешностей уравненных длин сторон и углов треугольника при измерении всех его элементов:

$$m_{\beta_{\text{урав}}}^2 = m_{\beta}^2 \left( 1 - \frac{m_S^2 + \frac{S^2}{\rho^2} m_{\beta}^2}{3m_S^2 + \frac{S^2}{\rho^2} m_{\beta}^2} \right); \quad m_{S_{\text{урав}}}^2 = m_{\rho}^2 \left( 1 - \frac{2m_S^2}{3m_S^2 + \frac{S^2}{\rho^2} m_{\beta}^2} \right),$$

где  $m_S$  и  $m_{\beta}$  — средние квадратические погрешности измерения длин линий и углов;  $S$  — длина стороны равностороннего треугольника.

Значительное повышение точности в линейно-угловых сетях возникает при определении погрешностей координат пунктов.

При уравнивании линейно-угловых сетей важно правильно установить соотношение весов измеренных углов и длин сторон. Веса измеренных длин сторон и углов обычно вычисляют по формулам

$$P_{\beta} = \frac{\mu^2}{m_{\beta}^2}; \quad P_S = \frac{\mu^2}{m_S^2}.$$

Для удобства вычислений обычно принимают  $\mu^2 = m_{\beta}^2$  и при уравнивании по углам получают

$$P_{\beta} = 1; \quad P_S = \frac{m_{\beta}^2}{m_S^2}.$$

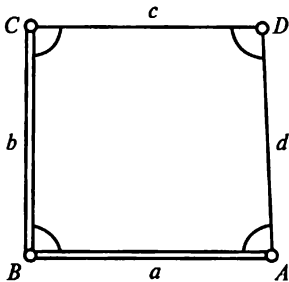
При вычислении весов следует помнить, что размерности  $m_{\beta}$  и  $m_S$  должны соответствовать размерности вычисляемой невязки. Например, если невязки вычисляются в угловых секундах и сантиметрах, то эти размерности должны использоваться и при вычислении весов.

Оригинальным линейно-угловым построением, применяемым лишь в инженерно-геодезической практике, является четырехугольник без диагоналей (рис. 13.4), в котором измерены две смежные стороны, например  $a$  и  $b$ , и все углы. В бездиагональном четырехугольнике стороны  $c$  и  $d$  вычисляют по следующим формулам:

$$c = \frac{a \sin A + b \sin (C + D)}{\sin D}; \quad d = \frac{b \sin C + a \sin (A + D)}{\sin D}.$$

Если измерены две несмежные стороны, например  $b$  и  $d$ , то в этом случае стороны  $a$  и  $c$  могут быть вычислены по следующим формулам:

$$a = \frac{d \sin D - b \sin C}{\sin (A + D)}; \quad c = \frac{d \sin A - b \sin B}{\sin (A + D)}.$$



В сложных сетях, составленных из бездиагональных четырехугольников, нет необходимости измерять две стороны в каждом четырехугольнике. Они могут быть получены из решения предыдущих фигур.

При равноточных угловых измерениях средние квадратические погрешности вычисления длины стороны для прямоугольного четырехугольника:

Рис. 13.4. Схема четырехугольника без диагоналей

$$m_c^2 = m_a^2 + 2 \frac{m_{\beta}^2}{\rho^2} b^2; \quad m_d^2 = m_b^2 + 2 \frac{m_{\beta}^2}{\rho^2} a^2.$$

Бездиагональные четырехугольники применяются в основном для создания строительных сеток.

Другим примером линейно-угловой сети служит опорная сеть, применяемая при строительстве мостовых переходов. В таких сетях измеряют все четыре стороны и четыре угла. В связи с этим такие сети иногда рассматриваются как своеобразный замкнутый полигонометрический ход, в котором измерены два левых и два правых угла.

### 13.6. Полигонометрические сети

Полигонометрия является наиболее распространенным видом инженерно-геодезических опорных сетей. Применяется она для всех видов инженерно-геодезических работ, включая наблюдения за плановыми смещениями сооружений.

В зависимости от площади объекта, его формы, обеспеченности исходными пунктами полигонометрию проектируют в виде одиночных ходов, опирающихся на исходные пункты высшего класса (разряда), систем ходов с узловыми точками или систем замкнутых полигонов.

Наиболее широко применяемые в практике инженерно-геодезических работ полигонометрические сети состоят из ходов 4-го класса, 1-го и 2-го разрядов. При этом полигонометрия 4-го класса существенно отличается от той же полигонометрии, создаваемой для построения государственной геодезической сети, допустимыми длинами ходов и погрешностями измерения углов. Приведем основные характеристики полигонометрии (табл. 13.5).

В настоящее время разрешены некоторые отклонения от требований, приведенных в табл. 13.5. При измерении сторон светодальномерами в отдельных случаях разрешается увеличивать длины привязочных сторон до 30 %. В порядке исключения допускается абсолютная невязка 10 см в коротких ходах полигонометрии 1-го разряда длиной до 1 км и 2-го разряда — до 0,5 км. Если в ходах полигонометрии 1-го и 2-го разрядов не реже чем через 15 сторон или 3 км хода дополнительно определены дирекционные углы сторон с погрешностью менее 7", то длины этих ходов могут быть увеличены до 30 %.

При проектировании полигонометрии стремятся не допускать близкого расположения пунктов, принадлежащих разным ходам, так как в этом случае погрешность их взаимного положения может значительно превосходить погрешности соединяющего их хода, что затруднит их использование в качестве исходных данных для сетей более низкого класса точности. Лишь при построении городской полигонометрии возможно параллельное прокладывание ходов одного класса или разряда на расстоянии 2,5 км друг от друга для 4-го класса и 1,5 км для 1-го разряда.

Таблица 13.5

Основные показатели	4-й класс	1-й разряд	2-й разряд
Предельная длина хода, км:			
отдельного	15	5	3
между исходной и узловой точками	10	3	2
между узловыми точками	7	2	1,5
Предельный периметр полигона, км	30	15	9
Длина стороны хода, км:			
наибольшая	2,0	0,8	0,35
наименьшая	0,25	0,12	0,08
средняя расчетная	0,5	0,3	0,2
Число сторон в ходе, не более	15	15	15
Относительная погрешность хода, не более	1:25 000	1:10 000	1:5 000
Средняя квадратическая погрешность измерения угла (по невязкам в ходах и полигонах), ″, не более	3	5	10
Угловая невязка хода или полигона ( $n$ — число углов в ходе), ″, не более	$5\sqrt{n}$	$10\sqrt{n}$	$20\sqrt{n}$

При создании полигонометрии наиболее трудоемким считается процесс линейных измерений. Различают два основных метода: непосредственные и косвенные измерения. В *методе непосредственных измерений* длины сторон измеряют светодальномерами или подвесными мерными приборами, а в *методе косвенных определений* длины сторон вычисляют по измеренным вспомогательным величинам. В связи с этим по методу линейных измерений полигонометрию подразделяют: на светодальномерную, короткобазисную, створно-короткобазисную, параллактическую и траверсную (линии измеряются подвесными мерными приборами). В современных условиях наибольшее распространение получила светодальномерная полигонометрия.

Поскольку значительную долю инженерно-геодезических работ приходится выполнять на застроенной территории, то при производстве угловых измерений в ходах полигонометрии возникают особенности организационного и точностного порядка, связанные с влиянием внешних условий. Из-за застройки приходится проектировать ходы со сравнительно короткими длинами сторон, что приводит к необходимости более тщательного центрирования теодолита и визирных целей. Сочетание каменной застройки, асфальтированных поверхностей с зелеными насаждениями создает на застроенных территориях устойчивые температурные поля; в результате измеряемые углы искажаются влиянием боковой рефракции. Кроме того, на нагретом асфальте штативы становятся неустойчивыми. Все это приводит к необходимости выбирать наиболее благоприятное время для измерений, напри-



мер утренние и вечерние часы, пасмурную погоду и т. п. Интенсивное движение на городских улицах создает организационные трудности при производстве геодезических работ вообще и для полигонометрии в частности.

Оценка проектов полигонометрических сетей заключается в определении ожидаемых погрешностей координат узловых пунктов, относительных погрешностей ходов и сравнении их с допустимыми. Выполняется она строгими и приближенными способами.

Строгая оценка, как правило, выполняется на ЭВМ по специальным программам.

Приближенная оценка одиночных полигонометрических ходов с примерно одинаковыми сторонами, опирающихся на два исходных пункта, может быть выполнена для вытянутого хода по формуле (13.5), а для изогнутого хода по формуле

$$M^2 = m_S^2 n + \frac{m_B^2}{\rho^2} [D_{0,i}^2],$$

где  $[D_{0,i}]$  — расстояния от каждой вершины хода до его центра тяжести.

По вычисленной ожидаемой погрешности  $M$  определяют предельную относительную невязку хода и сравнивают ее с допустимой. При этом используют формулу

$$\frac{2M}{[S]} \leq \frac{1}{T},$$

где  $[S]$  — длина хода;  $T$  — знаменатель допустимой относительной погрешности хода соответствующего класса (разряда).

Для упрощения расчетов ожидаемые погрешности проектируемых ходов произвольной формы вычисляют по формуле (13.5) для вытянутого хода. В этом случае получается несколько преувеличенное значение  $M$ , что создает некоторый запас точности по отношению к реальной.

### 13.7. Геодезическая строительная сетка

Строительная сетка создается в основном на промышленных площадках и служит основой для разбивочных работ, монтажа технологического оборудования и производства исполнительных съемок.

Характерной особенностью строительной сетки как инженерно-геодезической сети является расположение пунктов, образующих сетку квадратов или реже прямоугольников, стороны которых параллельны осям проектируемых сооружений или осям расположения технологического оборудования. Таким образом, стро-

ительная сетка представляет собой закрепленную на местности систему прямоугольных координат, облегчающую привязку осей сооружений и производство разбивочных работ.

В отличие от других видов опорных сетей точную конфигурацию и расположение пунктов строительной сетки проектируют заранее. Проектирование выполняют на генеральном плане будущего сооружения. При этом места расположения пунктов строительной сетки намечают таким образом, чтобы обеспечить сохранность наибольшего их числа в процессе производства строительных работ на площадке.

В зависимости от назначения строительной сетки и типа строящегося объекта длину стороны квадрата сетки принимают от 100 до 400 м. Наибольшее распространение получила сетка со стороной 200 м. В цеховых условиях для расстановки технологического оборудования сетку проектируют со стороной 10... 20 м.

При создании строительной сетки используют частную прямоугольную систему координат. Начало этой системы выбирают таким образом, чтобы все пункты строительной сетки имели положительные значения абсцисс и ординат. Координатные оси в большинстве случаев обозначают буквами  $A$  и  $B$ . Для обозначения номера пункта к буквам добавляют индекс, указывающий число сотен метров по оси абсцисс или ординат. Так, например, номер пункта, обозначенный  $A3/B5$ , будет указывать, что этот пункт имеет координаты  $A = 300$  м,  $B = 500$  м. Для точек, координаты которых не кратны 100 м, запись их обозначений производят подобно пикетажным. Например, запись  $A14 + 25,65/B8 + 30,50$  будет означать, что точка имеет координаты  $A = 1425,65$  м,  $B = 830,50$  м.

Требования к точности построения строительной сетки определяют исходя из ее назначения. Опыт строительства крупных промышленных комплексов показывает, что в большинстве случаев для выполнения основных разбивочных работ и исполнительных топографических съемок в масштабе 1 : 500 погрешности во взаимном положении смежных пунктов строительной сетки в среднем должны составлять 1 : 10000 или 2 см для расстояний между ними в 200 м. Прямые углы сетки должны быть построены со средней квадратической погрешностью 20".

Вынос в натуру строительной сетки с соблюдением (в пределах заданной точности) намеченных мест расположения ее вершин производят в несколько этапов.

Первоначально выносят в натуру исходные направления. На одном из них выбирают две точки  $A$  и  $B$  (рис. 13.5), координаты которых определяют графически и, используя координаты пунктов плановой основы, как правило, имеющихся в районе строительства, решают обратные геодезические задачи и вычисляют полярные координаты  $S_1$  и  $S_2$ ,  $\beta_1$  и  $\beta_2$ . Для исключения грубых ошибок целесообразно вынести в натуру третью точку  $C$  по эле-

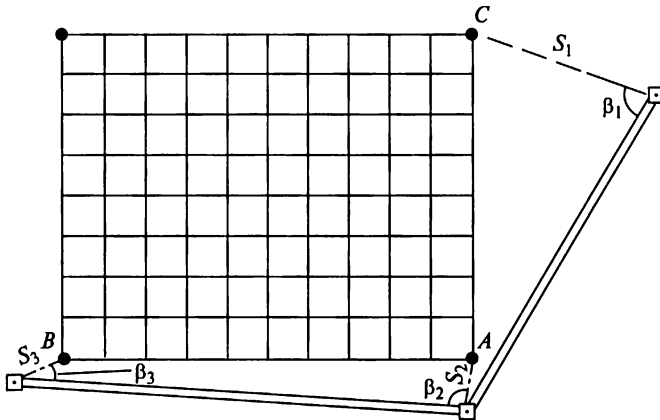


Рис. 13.5. Схема выноса в натуру исходных направлений строительной сетки

ментам  $S_3$ ,  $\beta_3$ . После закрепления точек  $A$ ,  $B$  и  $C$  на местности измеряют угол  $BAC$ , по отклонению которого от  $90^\circ$  можно судить о точности выполненных работ.

Так как координаты точек  $A$ ,  $B$ ,  $C$  определялись по генеральному плану графически, то точность их выноса в натуру составит около  $0,2 \dots 0,3$  мм на плане. Но это не играет существенной роли, так как на эту величину сместится весь комплекс проектируемых сооружений.

Однако таким способом нельзя выносить в натуру строительную сетку при реконструкции или расширении строящегося предприятия. В этом случае новую строительную сетку следует развивать как продолжение существующей. Если знаки построенной (старой) сетки не сохранились, следует восстановить на местности основные оси существующих цехов или установок, с которыми технологически связаны вновь создаваемые сооружения, и уже от них (как от исходных направлений) разбивать новую строительную сетку.

От вынесенного и закрепленного в натуре исходного направления выполняют детальную разбивку строительной сетки осевым способом и способом редуцирования.

При осевом способе разбивки строительную сетку сразу строят на местности с расчетной точностью путем точного отложения проектных элементов. Для этого, опираясь на закрепленные исходные направления, стремятся вынести два взаимно-перпендикулярных направления  $AB$  и  $AC$ , пересекающихся примерно в середине площадки (рис. 13.6). Так как исходные направления вынесены в натуру с небольшой точностью, то угол  $BAC$  может значительно отличаться от прямого. Измеряют угол  $\beta$  двумя-тремя приемами теодолитом типа 2Т2 и, вычислив величину отклонения его

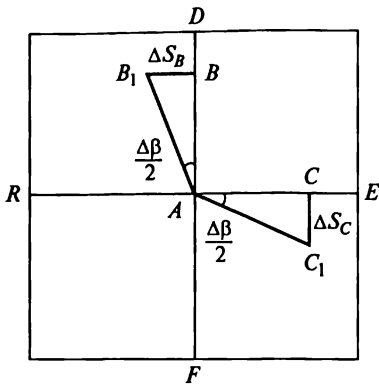


Рис. 13.6. Схема разбивки строительной сетки осевым способом

от прямого угла  $\Delta\beta = 90^\circ - \beta$ , исправляют положение точек *B* и *C* линейными поправками  $\Delta S_B$  и  $\Delta S_C$ , чтобы направления *AB* и *AC* стали строго перпендикулярными. Поправки вычисляют по следующим формулам:

$$\Delta S_B = AB_1 \frac{\Delta\beta}{2\rho}; \quad \Delta S_C = AC_1 \frac{\Delta\beta}{2\rho},$$

причем расстояния  $AB_1$  и  $AC_1$  берут с генерального плана с точностью до 1 м.

Исправленное положение точек *B* и *C* закрепляют на местности и вдоль этих осей откладывают в створе по теодолиту отрезки, равные длинам сторон сетки. Измерения выполняют рулетками или лентами с натяжением по кольям с учетом поправок за температуру, наклон, компарирование. Целесообразно применять электронные тахеометры, позволяющие быстро вычислять горизонтальные проложения с учетом всех поправок. Закончив разбивку в конечных пунктах *F*, *R*, *D*, *E*, строят на них прямые углы и продолжают разбивку по периметру сетки. После этого временные знаки заменяют на постоянные. Затем по створам между соответствующими пунктами основных четырех полигонов разбивают и закрепляют заполняющие пункты сетки.

Если площадка небольшая, а разбивку вершин сетки производят с высокой точностью, то полученные координаты вершин сетки будут незначительно отличаться от проектных. Однако при разбивке сеток больших размеров трудно с высокой степенью точности выполнить разбивку и учесть все поправки при откладывании длин линий. В результате этого фактические результаты могут существенно отличаться от проектных, что вызовет определенные затруднения при разбивке сооружений. Поэтому применять осевой способ целесообразно на небольших площадках или там, где точность разбивочных работ невелика и отклонением координат пунктов сетки от их проектных значений в пределах 3...5 см можно пренебречь.

Для проектирования разбивочных работ удобнее иметь такую сетку, координаты пунктов которой практически не отличаются от проектных. Это можно получить при построении сетки способом редуцирования.

При способе редуцирования сетку сначала строят с точностью 1:1000...1:2000 согласно проекту на всей площадке и закрепляют временными знаками. Затем создают на площадке пла-

новые сети и определяют точные координаты всех закрепленных временными знаками пунктов сетки.

На больших площадках плановые сети строят в несколько этапов. В качестве главной основы могут служить сети триангуляции, трилатерации, светодальномерной полигонометрии или линейно-угловые сети.

Пункты главной основы стремятся расположить по углам площадки; между ними по периметру прокладывают ходы первого порядка, между которыми развивают ходы второго порядка.

Наиболее эффективным методом определения координат пунктов строительной сетки первого порядка является светодальномерная полигонометрия.

Координаты пунктов в заполняющих сетях могут определяться различными методами: ходами полигонометрии (светодальномерной, траверсной, короткобазисной), триангуляцией, бездиагональными четырехугольниками, линейными засечками, угловыми двухфигурными засечками проф. А. И. Дурнева и др.

Для создания сетей второго порядка особенно эффективным является метод четырехугольников без диагоналей.

Положение заполняющих пунктов строительной сетки может быть получено на местности также способом створов с пунктов основных полигонов.

Так как предварительная разбивка строительной сетки производится с точностью порядка  $1 : 1000 \dots 1 : 2000$ , то после уравнивания координаты пунктов сетки будут существенно отличаться от их проектных значений.

Чтобы найти на местности проектное положение пунктов, выполняют редуцирование. По фактическим и проектным координатам путем решения обратных геодезических задач определяют угловые  $\beta$  и линейные  $l$  элементы редуций (рис. 13.7) и откладывают их от временных знаков.

Для редуцирования составляют разбивочный чертеж, на который выписывают дирекционные углы всех направлений и элементы редуций.

Редуцирование выполняется следующим образом. Над временным знаком, например  $A'$ , устанавливается и приводится в рабочее положение теодолит. От направления  $A'B'$  откладывается угловой элемент редуции  $\beta_A$  и фиксируется направление  $A'A$ . Вдоль этого направления при помощи рулетки откладывается линейный элемент редуции  $l_A$ . Таким образом, на местности будет определено положение точки  $A$ , координаты которой соответствуют проектным значениям. Аналогичным образом редуцируют все пункты строительной сетки.

Отредуцированные пункты сетки закрепляют постоянными знаками, представляющими собой железобетонные монолиты или забетонированные отрезки рельсов, металлических труб с прива-

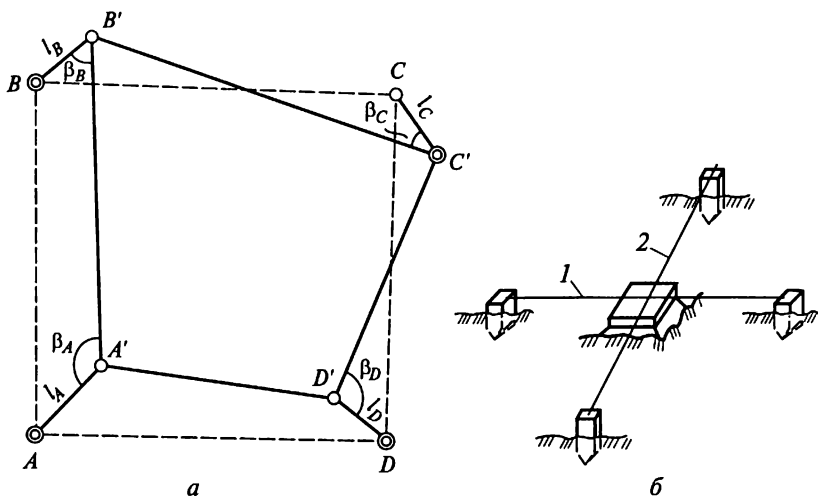


Рис. 13.7. Редуцирование пунктов строительной сетки: *a* — схема редуцирования; *б* — закрепление пункта постоянным знаком; 1, 2 — створы

ренными сверху марками или металлическими пластинами размером  $200 \times 200$  мм. Чтобы при закладке постоянного знака не утратить положение редуцированного пункта, поступают следующим образом. Перед установкой знака положение пункта фиксируют двумя створами 1 и 2 на кольях. После установки знака по меткам на верхних торцах кольев натягивают струны (леску) и восстанавливают на знаке положение вершины сетки.

После закрепления сетки постоянными знаками необходимо выполнить контрольные измерения. Линейные измерения производят выборочно. Обычно проверяют длину отдельных сторон сетки в наиболее слабых местах (между ходами второго порядка). Контрольные угловые измерения выполняют на пунктах, расположенных в шахматном порядке, с таким расчетом, чтобы охватить все стороны сетки.

Под влиянием неизбежных погрешностей измерений контрольные промеры будут отличаться от теоретических. Эти отклонения не должны превышать 20 мм в длинах сторон,  $40''$  — в прямых углах.

Если в результатах контрольных промеров промахов не обнаружено, то в дальнейшем при разбивке сооружений принимают координаты пунктов сетки, равными проектным, а углы между сторонами — прямыми.

По пунктам строительной сетки прокладывают ходы нивелирования III...IV классов. В этом случае строительная сетка служит высотной основой.

### 13.8. Высотные опорные сети

В качестве высотной основы для создания топографических планов, производства разбивочных работ и наблюдений за осадками инженерных сооружений используют систему знаков, абсолютные высоты которых определяют проложением нивелирных ходов II, III и IV классов (табл. 13.6). Высотные опорные сети, как правило, опираются не менее чем на два репера государственного нивелирования более высокого класса. Однако бывают случаи, особенно при наблюдениях за деформациями инженерных сооружений, когда высотная опорная сеть является свободной и лишь для привязки опирается на один репер государственной сети.

На территориях крупных городов площадью, превышающей 500 км<sup>2</sup>, высотной основой служит нивелирование I класса. Наибольшие требования к точности основных разбивочных работ по высоте возникают при строительстве метрополитенов и крупных самотечных канализационных коллекторов.

Все работы на строительных площадках производятся в единой системе высот, принятой в период изысканий для проектирования сооружений. Для достижения особо высокой точности при строительстве уникальных объектов или наблюдений за осадками сооружений она повышается за счет особой методики измерений при существенном уменьшении длин визирных лучей, расстояний между реперами и узловыми пунктами.

Таблица 13.6

Основные показатели	Класс нивелирования		
	II	III	IV
Средняя квадратическая погрешность нивелирования на 1 км хода, мм	2	5	10
Систематическая погрешность на 1 км хода, мм	0,4	—	—
Допустимые невязки и расхождения сумм превышений прямого и обратного ходов, мм	$5\sqrt{L}$	$10\sqrt{L}$	$20\sqrt{L}$
Максимальная длина хода, км:			
замкнутого	40	25	10
между пунктами высшего класса	—	15	5
между узловыми точками	10	5	3
Расстояние между рабочими реперами на строительной площадке, км	0,5	0,5	0,5
Наибольшее расстояние от нивелира до рейки, м	75	75	100
Наименьшая высота визирного луча, м	0,5	0,3	0,2

Высотная опорная сеть на строительной площадке должна обеспечивать выполнение разбивочных работ со средней квадратической погрешностью 10 мм и возможность наблюдений за величинами осадок возводимых сооружений со средней квадратической погрешностью 5 мм.

Проектирование высотной опорной сети состоит из следующих этапов:

разработка схемы размещения марок на территории строительства; расчет точности определения отметок реперов, обеспечивающий требуемые допуски;

детальное ознакомление с территорией строительства для уточнения типов и местоположения марок;

составление сметы стоимости работ.

Проект высотной основы должен содержать: схему сети, чертежи закладываемых знаков и описание имеющихся, пояснительную записку с расчетом необходимой точности и стоимости производства работ.

В зависимости от размеров территории объекта и вида возводимого сооружения нивелирные сети обычно развивают в две или три ступени.

### **13.9. Особенности закрепления геодезических пунктов на территории городов и промышленных площадок**

Пункты инженерно-геодезических сетей на территории городов и промышленных объектов закрепляют постоянными геодезическими знаками, имеющими особенности в конструкциях, местах расположения и способах их использования. Эти особенности определяются: производственной и хозяйственной деятельностью города и промышленного комплекса; требованиями различных служб, направленных на соблюдение архитектурных и эстетических норм, а также правил техники безопасности; наличием препятствий для прохождения визирного луча; физико-географическими условиями района и т. д.

На незастроенной территории, как правило, закладывают грунтовые знаки. Однако закладка грунтовых знаков, особенно в крупных городах, значительно усложняется расширяющимся подземным хозяйством, а быстрый рост городов, реконструкция проездов и кварталов, усовершенствование дорожных покрытий приводят к уничтожению значительного числа грунтовых знаков. Кроме того, в зимнее время снежный покров затрудняет их поиск.

Стенные знаки по сравнению с грунтовыми имеют существенные преимущества и им по возможности отдают предпочтение. Стенные знаки более устойчивы, стоимость их изготовления и закладки значительно меньше, ими удобнее пользоваться в любое время года. Стенные знаки закладывают в прочные каменные,



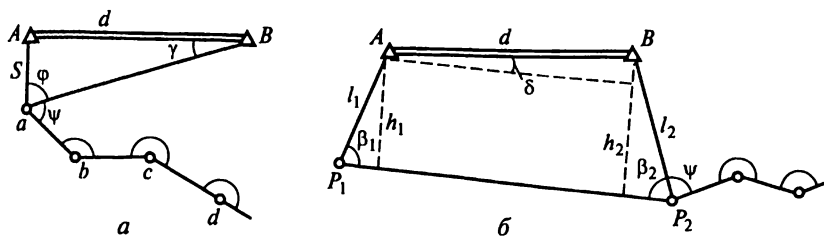


Рис. 13.8. Схемы привязки полигонометрического хода к стенным знакам: а — при прямой видимости; б — при отсутствии прямой видимости смежных знаков

кирпичные, железобетонные здания и сооружения на высоте 0,3... 1,2 м от поверхности земли.

При закреплении пунктов стенными знаками возникает необходимость привязки к ним. Центры знаков располагаются на расстоянии 4...5 см от стены или цоколя здания, что исключает возможность центрирования над ними геодезических приборов.

Наиболее простая схема привязки для полигонометрического хода состоит в следующем. Теодолит устанавливают над точкой  $a$  (рис. 13.8, а) полигонометрического хода. Эта точка выбирается вблизи знака  $A$  с соблюдением условия видимости на знак  $B$ . Если измерить расстояние  $S$  и угол  $\varphi$ , то из решения треугольника по известным сторонам  $AB$  и  $S$  можно вычислить любой его элемент. Передача дирекционного угла линии  $AB$  на стороны полигонометрического хода производится через вычисленный угол  $\gamma$  и измеренный угол  $\psi$ , передача координат — через сторону  $S$  и вычисленный угол при точке  $A$ . Такая же схема может быть применена при передаче координат с рабочего центра на стенной знак.

Если нельзя выбрать для установки прибора такое место, с которого были бы видны одновременно два смежных знака, то поступают следующим образом. Напротив двух смежных стенных знаков выбирают две временные точки  $P_1$  и  $P_2$  (рис. 13.8, б) с таким расчетом, чтобы углы  $\beta_1$  и  $\beta_2$  были в пределах 88...92°, а длины линий  $l_1$  и  $l_2$  не превышали 20 м.

На этих точках измеряют расстояния  $l_1$  и  $l_2$  и углы  $\beta_1$  и  $\beta_2$ . Координаты временной точки  $P_2$  и дирекционный угол линии  $P_1$  и  $P_2$ , которые будут служить в качестве исходных для привязываемого хода, можно определить по следующим формулам:

$$\alpha_{P_1P_2} = \alpha_{AB} + \delta; \quad \alpha_{BP_2} = \alpha_{P_1P_2} + \beta_2 = \alpha_{AB} + \beta_2 + \delta;$$

$$h_1 = l_1 \sin \beta_1; \quad h_2 = l_2 \sin \beta_2; \quad \sin \delta = (h_2 - h_1)/d;$$

$$x_{P_2} = x_B + l_2 \cos \alpha_{BP_2}; \quad y_{P_2} = y_B + l_2 \sin \alpha_{BP_2}.$$

Привязку хода к трем-четырем одинарным смежным знакам, расположенным на противоположных углах кварталов на перекрестке улиц, можно осуществить методом обратной засечки.

Иногда закрепляют центры системой из двойных или тройных смежных знаков. Привязка к ним полигонометрического хода осуществляется также путем геометрических построений с измерением соответствующих угловых и линейных элементов и последующих вычислений.

В случаях когда при привязке полигонометрии к стенным знакам нет возможности измерить примычные углы, определение необходимых дирекционных углов выполняют методом так называемой координатной привязки.

На схеме полигонометрического хода без примычных углов (рис. 13.9)  $A$  и  $B$  — исходные пункты, координаты которых известны. В городской полигонометрии это стенные знаки, а в закрытой местности — пункты полигонометрии и триангуляции. Все необходимые вычисления продемонстрируем на конкретном примере при следующих исходных данных, м:

$$x_A = 7836,971;$$

$$y_A = 5731,710;$$

$$x_B = 7967,054;$$

$$y_B = 6597,376.$$

Результаты полевых измерений в данном полигонометрическом ходе представлены в табл. 13.7.

Вначале полезно вычислить дирекционный угол замыкающей стороны  $AB$ :

$$\operatorname{tg} \alpha_{AB} = (y_B - y_A)/(x_B - x_A) = 865,666 : 130,083;$$

$$\alpha_{AB} = 81^\circ 27' 14,9''.$$

Назначим любой дирекционный угол первой стороны полигонометрического хода  $\alpha_{A-1}$ , например  $\alpha_{AB} \approx \alpha_{A-1} = 90^\circ$ , и вычислим координаты конечного пункта  $B'$ , используя результаты полевых измерений (табл. 13.8).

Таблица 13.7

Пункты	$\beta_i$ , углы левые	$S_i$ , м
$A$	—	192,322
1	168°42'10"	164,813
2	124°33'33"	211,128
3	179°02'18"	440,032
$B$	—	—

Таблица 13.8

Пункты	Углы поворота	Дирекционные углы	$S_i$ , м	$\cos \alpha_i$	$\sin \alpha_i$	$\Delta X_i$ , м	$\Delta Y_i$ , м	$X_i$ , м	$Y_i$ , м
A		90°00'00"	192,322	0,000000	1,000000	0,000000	192,322	7836,971	5731,710
I"	168°42'10"							7836,971	5924,032
2"	124°33'33"	78°42'10"	164,813	0,195899	0,980624	32,287	161,620	7869,258	6085,652
3"	179°02'18"	23°15'43"	211,128	0,918709	0,394935	193,965	83,382	8063,223	6169,034
B"		22°18'01"	440,032	0,925208	0,379461	407,121	166,975	8470,344	6336,009

Таблица 13.9

Пункты	Углы поворота	Дирекционные углы	$S_i$ , м	$\cos \alpha_i$	$\sin \alpha_i$	$\Delta X_i$ , м	$\Delta Y_i$ , м	$X_i$ , м	$Y_i$ , м
A		127°47'59,3"	192,322	-0,612904	0,790157	-117,875	-4	7836,971	5731,710
I"	168°42'10"	116°30'09,3"	164,813	-0,446238	0,894914	-73,546	-4	7719,096	5883,675
2"	124°33'33"	61°03'42,3"	211,128	0,483867	0,875142	102,158	-5	7645,550	6031,168
3"	179°02'18"	60°06'00,3"	440,032	0,498486	0,866897	219,350	-8	7747,708	6215,935
B"							381,462	7967,058	6597,397
B								7967,054	6597,376

 $\delta_x = +0,004$      $\delta_y = +0,021$

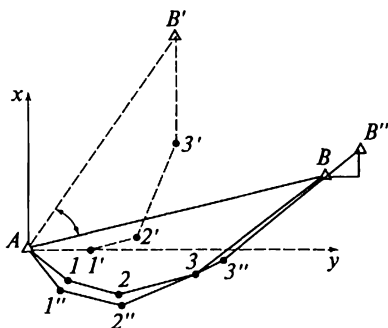


Рис. 13.9. Схема полигонометрического хода без примычных углов

Используя полученные координаты конечного пункта  $B'$ , вычислим дирекционный угол замыкающей стороны  $AB'$ :

$$\alpha_{AB'} = \arctg (y_{B'} - y_A) / (x_{B'} - x_A) = \\ = \arctg 604,299 : 633,373 = 43^\circ 39' 15,6''.$$

Определим разность между дирекционными углами замыкающих сторон  $\alpha_{AB}$  и  $\alpha_{AB'}$ :

$$\Delta\alpha_{AB'} = \alpha_{A-B} - \alpha_{AB'} = \\ = 81^\circ 27' 14,9'' - 43^\circ 39' 15,6''; \\ \Delta\alpha_{AB'} = 37^\circ 47' 59,3''.$$

Таким образом стало ясно, что дирекционный угол стороны  $\alpha_{A-1'}$  отличается от желаемого на угол  $\Delta\alpha_{AB'}$ . Исправим дирекционный угол первой стороны полигонометрического хода на величину  $\Delta\alpha_{AB'}$ :

$$\Delta\alpha_{A-1''} = \alpha_{A-1'} + \Delta\alpha_{AB'} = 90^\circ + 37^\circ 47' 59,3''; \\ \Delta\alpha_{A-1''} = 127^\circ 47' 59,3''$$

и повторим вычисления координат пунктов (табл. 13.9) с уточненным значением дирекционного угла первой стороны полигонометрического хода.

Контролем вычислений служит отсутствие поперечного сдвига хода

$$u = \frac{f_y(x_B - x_A) - f_x(y_B - y_A)}{L} = 0.$$

Выполнив контроль вычислений, можно приступить к уравниванию полигонометрического хода.

В табл. 13.9 приведен пример приближенного метода уравнивания, в котором невязка координат распределяется пропорционально приращениям координат:

$$\vartheta_{\Delta x} = -\frac{\Delta x_i \delta_x}{x_B - x_A}; \quad \vartheta_{\Delta y} = -\frac{\Delta y_i \delta_y}{y_B - y_A}.$$

По уравненным значениям координат вычисляют дирекционные углы интересующих линий.

## СПУТНИКОВЫЕ МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЙ В ИНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ РАБОТАХ

### 14.1. Глобальные системы определения местоположения ГЛОНАСС и NAVSTAR GPS

Бурное развитие науки и техники в последние десятилетия позволило создать принципиально новый метод определения координат и приращений координат — *спутниковый*. В этом методе вместо привычных геодезистам неподвижных пунктов геодезической сети с известными координатами используются подвижные спутники, координаты которых можно вычислить на любой интересующий геодезиста момент времени.

В настоящее время используются две спутниковые системы определения координат: российская система ГЛОНАСС (это является аббревиатурой более длинного и точного названия: ГЛОбальная НАвигационная Спутниковая Система) и американская система NAVSTAR GPS (NAVigation System with Time And Range Global Positioning System — навигационная система определения расстояний и времени, глобальная система позиционирования). В данном случае под словом «позиционирование» подразумевается определение координат. Обе системы создавались для решения военных задач, но в последние годы нашли широкое применение в геодезии, обеспечивая исключительно высокие точности определения приращений координат со средней квадратической погрешностью  $5 \text{ мм} + D \cdot 10^{-6}$ , координаты одиночного приемника могут быть определены со средней квадратической погрешностью от 10 до 100 м.

В связи с тем что в геодезических измерениях GPS применяется существенно шире, особое внимание будет уделено именно этой системе.

Всю навигационную спутниковую систему определения местоположения принято делить на три сегмента: космический сегмент, сегмент контроля и управления, сегмент пользователей (приемники спутниковых сигналов).

Современные системы NAVSTAR GPS и ГЛОНАСС в полной комплектации должны состоять из 21 действующего спутника и трех запасных. Орбиты спутников практически круговые, расположены в трех орбитальных плоскостях (рис. 14.1) и в шести орбитальных плоскостях (рис. 14.2). Спутники оснащены солнечными батареями, которые обеспечивают энергией все системы, в том числе и во время прохождения спутника в тени Земли.

Орбиты спутников расположены на геодезической высоте, равной 20 180 км, и на расстоянии 26 600 км от центра Земли. Такое

ис. 14.1. Спутниковая навига-  
ционная система ГЛОНАСС

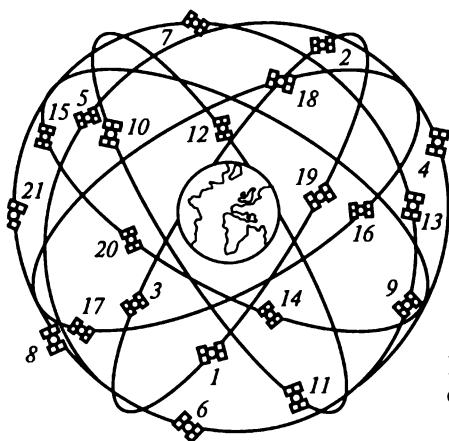
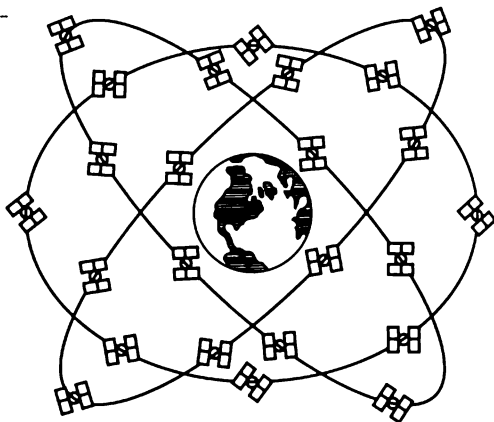


Рис. 14.2. Спутниковая навига-  
ционная система NAVSTAR GPS:  
1...21 — номера спутников

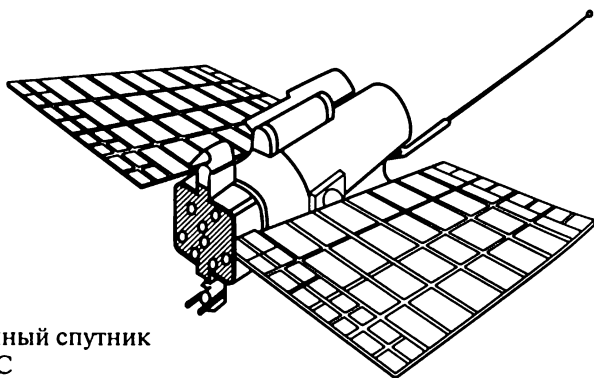


Рис. 14.3. Навигационный спутник  
ГЛОНАСС

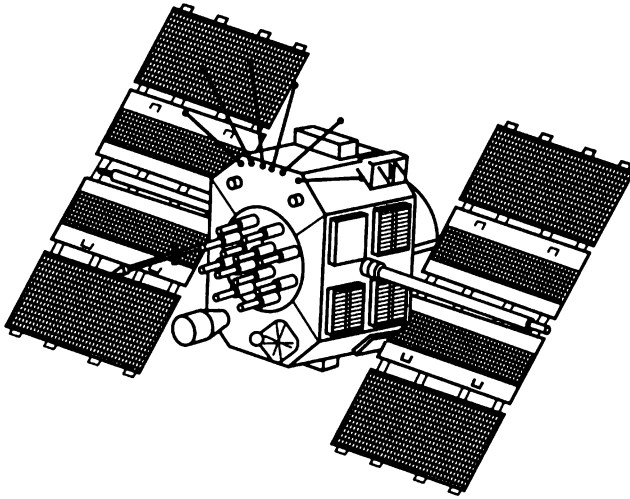


Рис. 14.4. Навигационный спутник NAVSTAR GPS

число спутников и их расположение обеспечивают одновременный прием сигналов, как минимум, от четырех спутников в любой части Земли.

Все спутники равномерно расположены в шести орбитальных плоскостях. Период обращения спутников составляет 12 ч звездного времени, в связи с чем каждый спутник появляется в том же месте ежедневно на 4 мин раньше вчерашнего положения. Электроэнергией спутники (рис. 14.3, 14.4) обеспечивают две солнечные батареи площадью  $7,2 \text{ м}^2$  каждая, заряжая также аккумуляторы для обеспечения работоспособности спутника во время его полета в тени Земли. Каждый спутник снабжен кварцевым стандартом частоты, двумя цезиевыми и двумя рубидиевыми стандартами частоты, которые поддерживают стабильность часов спутника в пределах  $1 \cdot 10^{-12} \dots 1 \cdot 10^{-13}$ . Цезиевые и рубидиевые стандарты частоты координируют и управляют основной частотой — кварцевым стандартом частоты, генерирующим  $10,23 \text{ МГц}$ . Из основной частоты формируют две частоты  $L$ -диапазона, МГц:

$$L_1 = 10,23 \cdot 154 = 1575,42 \text{ (длина волны } 19,05 \text{ см);}$$

$$L_2 = 10,23 \cdot 120 = 1227,60 \text{ (длина волны } 24,45 \text{ см).}$$

Эти две частоты (называемые несущими) через модуляторы поступают на антенну и передают на Землю информацию. Информация накладывается на несущую частоту методом импульсно-фазовой модуляции. *Модуляция сигнала* — это изменение какого-либо параметра электрического сигнала (при амплитудной модуляции изменяется амплитуда сигнала, а при частотной — частота сигнала). При импульсно-фазовой модуляции фаза сигнала

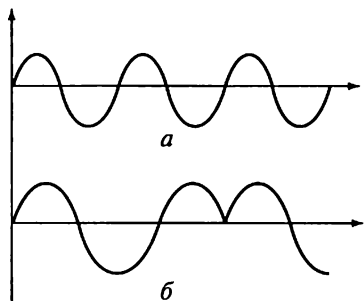


Рис. 14.5. Импульсно-фазовая модуляция:  
*a* — сигнал до модуляции; *б* — сигнал после модуляции

скачком изменяется на  $180^\circ$  (рис. 14.5). На частотах  $L_1$  и  $L_2$  передаются навигационные сигналы (коды), а также другая навигационная и системная информация.

В системе NAVSTAR GPS все спутники излучают на двух одинаковых частотах  $L$ -диапазона ( $L_1$  и  $L_2$ ), но каждый спутник излучает свой личный код (индивидуальная последовательность переключения фазы на  $180^\circ$ ), по которому ведется распознавание спутников. В российской системе ГЛОНАСС спутник излучает на своей частоте, а код общий для всех спутников. Российские спутники передают информацию на двух частотах:

$$L_1 = f_{01} + k\Delta f_1; \quad L_2 = f_{02} + k\Delta f_2,$$

где  $f_{01} = 1602$  МГц;  $f_{02} = 1246$  МГц;  $k$  — номер спутника ( $k = 0, 1, 2 \dots$ );  $\Delta f_1 = 0,4375$  МГц;  $\Delta f_2 = 0,5625$  МГц.



Рис. 14.6. Размещение станций контроля и управления системы ГЛОНАСС: ЦУС — центр управления системой ГЛОНАСС; ЦС — центральный синхронизатор; КС — контрольная станция; СКФ — система контроля фаз; КОС — квантово-оптическая станция; АКП — аппаратура контроля параметров; КСС — контрольная станция слежения



Отношение частот  $L_1$  и  $L_2$  равно 9/7.

Наземный сегмент системы ГЛОНАСС состоит из следующих взаимосвязанных стационарных элементов: центр управления системой (ЦУС), контрольные станции (КС), командная станция слежения (КСС), квантово-оптические станции и другие станции слежения за работой бортовых устройств спутников.

На рис. 14.6 показана схема расположения станций наземного сегмента системы ГЛОНАСС. На рис. 14.7 показано расположение

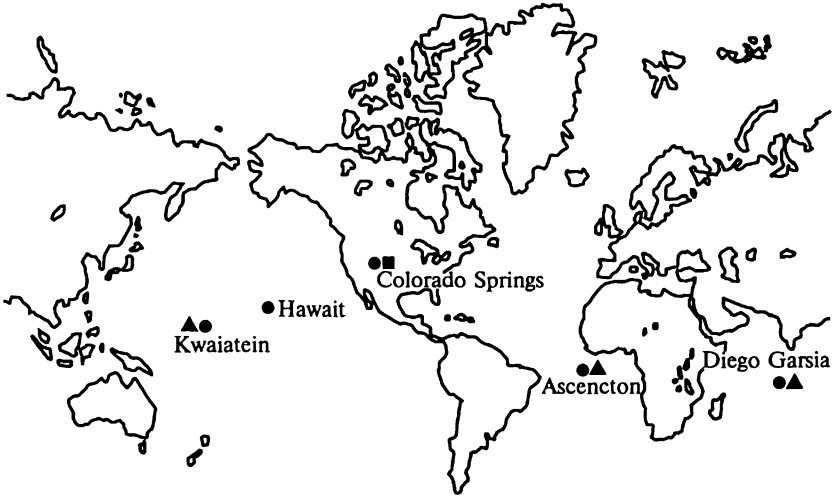


Рис. 14.7. Размещение станций контроля и управления системой NAVSTAR GPS:

● — станции слежения; ■ — главные станции контроля; ▲ — наземные антенны

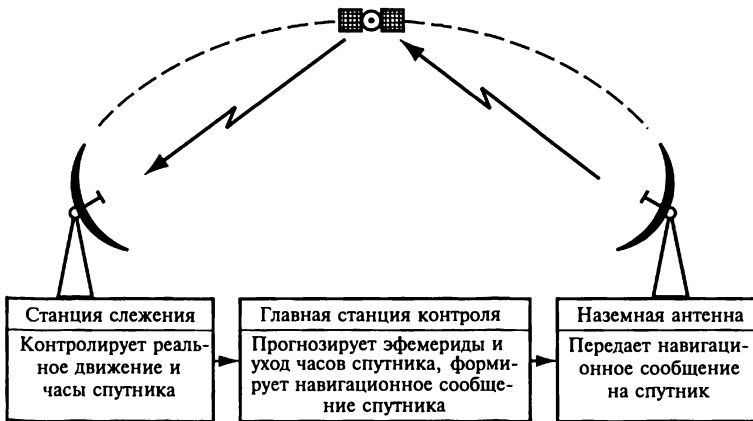


Рис. 14.8. Измерение, прогнозирование и обновление эфемерид спутника

станций контроля и управления системой NAVSTAR GPS. Все станции системы NAVSTAR GPS расположены вдоль экватора.

Станции слежения принимают все сигналы с проходящих над ними спутников, вычисляют расстояния до спутников, измеряют местные метеорологические параметры и передают информацию на главную станцию контроля.

На главной станции контроля обрабатывают всю поступающую информацию, вычисляют и прогнозируют эфемериды и поправки в часы спутников, формируют навигационные сообщения. Наземные антенны передают на спутник навигационное сообщение, сформированное на главной станции слежения. Наземные передающие антенны расположены так, что каждый спутник ежедневно имеет по крайней мере три сеанса связи с системой слежения. Схема обновления бортовых эфемерид спутников приведена на рис. 14.8.

## 14.2. Системы отсчета времени и координат

Основной астрономической единицей измерения времени являются *сутки* (86400 с) — интервал времени, за который Земля делает один полный оборот вокруг своей оси относительно какой-либо точки на небесной сфере. Звездные сутки отсчитываются между двумя последовательными верхними положениями точки весеннего равноденствия. Для точного расчета времени приходится учитывать, что ось вращения Земли совершает медленное периодическое колебательное движение, состоящее из прецессии (движение по конусу) и нутации (колебания оси). Кроме этого суточное вращение Земли и длительность суток нестабильны.

В связи с этим в 1967 г. решением XIII Генеральной конференции по мерам и весам принято понятие атомной секунды как более стабильной единицы времени. Атомная секунда равна интервалу времени, в течение которого совершается 9 192 631 770 колебаний, соответствующих резонансной частоте энергетического перехода между уровнями атома цезия-133 при отсутствии внешних воздействий. Атомная секунда принята в настоящее время за единицу времени в системе СИ. Осреднение показаний различных атомных эталонов времени позволило создать шкалу международного атомного времени.

Каждый навигационный спутник оснащен своими собственными часами наиболее совершенной конструкции, достигнутой в наше время. Относительная погрешность таких часов  $1 \cdot 10^{-13}$ , т.е. часы могут «отстать» или «спешить» всего на 0,000003 с за год (табл. 14.1). Но и эта величина погрешности считается слишком большой, и часы на спутнике постоянно контролируются с Земли и сравниваются с эталонными часами на Земле, для которых создают наиболее стабильные условия. Эта операция называется *синхронизацией часов*. Эталонные часы на Земле являются основными опорными

Таблица 14.1

Тип генератора	Относительная нестабильность за сутки	Отклонение часов за 1000 лет, с
Рубидиевый	$5 \cdot 10^{-12}$	0,15
Цезиевый	$3 \cdot 10^{-13}$	0,01
Водородный	$2 \cdot 10^{-14}$	0,0004

часами, которые создают свою шкалу времени для спутниковой навигационной системы.

Начало отсчета времени в GPS ведется от 05.01.80 с 0 ч. Поэтому начало недели в GPS ведется от полуночи (время универсальное) между субботой и воскресеньем. Время в системе GPS имеет свою собственную шкалу и определяется часами главной станции контроля. Длительность секунды в GPS отличается от шкалы времени UTS, т.е. время в GPS не идентично времени в UTS. Это различие отслеживается и передается в навигационном сообщении. На 1 июля 1992 г. различие составляло около 8 с (время в GPS опережает время в UTS).

В приемниках, которые используют геодезисты для координатных определений, тоже используются достаточно стабильные часы. Но в связи с тем что геодезический приемник должен быть компактным, легким и дешевым, часы в приемнике примерно в 1 000 000 раз менее стабильны часов, установленных на спутнике. В связи с этим при каждом сеансе измерений производится синхронизация часов приемника с часами навигационной спутниковой системы.

Движение искусственных спутников Земли происходит по законам небесной механики под действием сил инерции и сил притяжения Земли. Для описания такого движения используется геоцентрическая инерциальная система координат  $X_0 Y_0 Z_0$  (рис. 14.9). Начало координат расположено в центре массы Земли, ось  $X_0$  лежит в плоскости экватора и направлена в точку весеннего равноденствия (точку Весны), ось  $Z_0$  направлена вдоль оси вращения Земли в сторону Северного полюса  $P_N$ , ось  $Y_0$  дополняет прямоуголь-

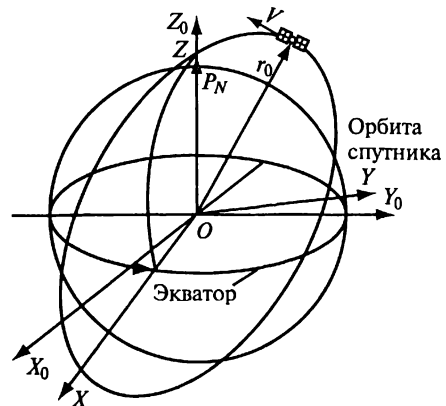


Рис. 14.9. Геоцентрическая инерциальная система координат

ную систему координат до полной (правой). Кроме этого используется геоцентрическая подвижная система координат  $XYZ$ . В навигационной системе координат ГЛОНАСС ее называют ПЗ-90, а в NAVSTAR GPS — WGS-84. Центр этой системы координат совпадает с центром системы  $X_0Y_0Z_0$ , ось  $Z$  также совпадает с осью  $Z_0$ , а ось  $X$  проходит через Гринвичский меридиан. Ось  $X$  в процессе суточного вращения Земли периодически проходит через точку весеннего равноденствия. Интервал времени между двумя такими последовательными моментами соответствует одним звездным суткам.

Информация о движении спутников прогнозируется и вычисляется в геоцентрической подвижной системе координат.

### 14.3. Орбитальное движение спутников. Эфемериды

Под невозмущенным (кеплеровым) движением спутника понимают его движение под воздействием только силы притяжения Земли. В соответствии со вторым законом Ньютона движение центра масс спутника в инерциальной системе координат  $X_0Y_0Z_0$  определяется следующим уравнением:

$$F = mg,$$

где  $F$  — вектор силы притяжения Земли;  $m$  — масса спутника;  $g$  — вектор центростремительного ускорения, или

$$F = k \frac{Mm}{r^2} = \frac{\mu m}{r^2},$$

где  $k = 6,672 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3/\text{кгс}^2$  — универсальная гравитационная постоянная;  $M = 5,974242 \cdot 10^{24} \text{ кг}$  — масса Земли;  $r$  — расстояние от центра Земли до спутника;  $\mu = kM = 3,9860044 \text{ м}^3/\text{с}^2$  — геоцентрическая гравитационная постоянная Земли.

В соответствии с первым законом Кеплера любая траектория спутника, движущегося в поле тяготения Земли, лежит в неподвижной плоскости, так называемой орбитальной плоскости, проходящей через центр тяготения, и представляет собой кривую второго порядка, в одном из фокусов которой находится центр притяжения.

Ориентацию орбитальной плоскости характеризуют ее положением относительно экваториальной плоскости  $XOY$  (рис. 14.10). Линию пересечения этих плоскостей называют *линией узлов*. Узлами орбиты спутника являются точки пересечения орбиты с экваториальной плоскостью. Узел  $U$ , соответствующий движению спутника из южной небесной полусферы в северную, называют *восходящим*, а узел  $D$ , соответствующий движению из северной небесной полусферы в южную, — *нисходящим*.

Положение плоскости орбиты спутника относительно экваториальной плоскости определяют два орбитальных элемента — дол-

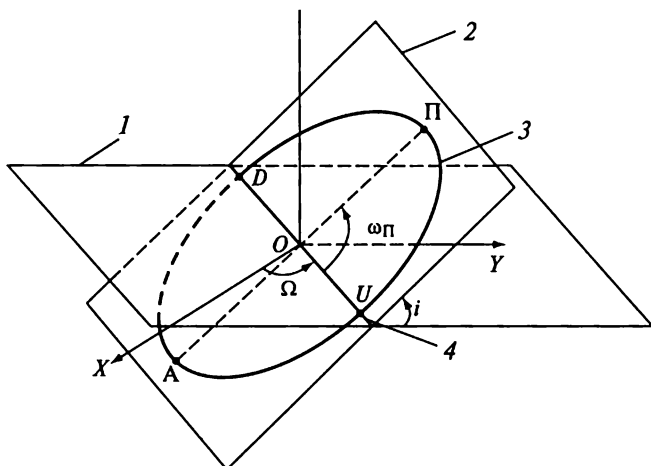


Рис. 14.10. Ориентация орбитальной плоскости:

1 — плоскость экватора; 2 — плоскость орбиты; 3 — орбита навигационного спутника (НС); 4 — линия узлов

гота восходящего узла  $\Omega$  и наклонение орбиты  $i$ . Угол  $\Omega$  отсчитывается в экваториальной плоскости от оси  $X$  до линии узлов и может изменяться от  $0$  до  $180^\circ$ . При  $i = 90^\circ$  орбита называется *полярной*, при  $i = 0^\circ$  — *экваториальной*, в остальных случаях — *наклонной*.

Уравнение орбиты спутника в орбитальной плоскости полярной системы координат  $(r_0, \nu)$  с центром, совпадающим с центром Земли, имеет следующий вид:

$$r = \frac{P}{1 + \varepsilon \cos(\nu - \nu_0)},$$

где  $P$  — фокальный параметр;  $\varepsilon$  — эксцентриситет;  $\nu_0$  — угол между положительным направлением полярной оси и фокальной осью.

На рис. 14.11 приведена эллиптическая орбита спутника. В одном из фокусов эллипса находится Земля. Прямую линию, проходящую через фокусы эллипса, называют *линией апсид*. Точки пересечения этой линии с эллипсом называют *апсидами*. Точку, ближайшую к Земле, называют *перигеем* или *перифеем* ( $\Pi$ ), а удаленную — *апоцентром* или *апогеем* ( $A$ ). Ориентация орбиты в орбитальной плоскости характеризуется углом перигея (аргументом)  $\omega_{\Pi}$  между направлением на перигей и линией узлов.

Размеры орбиты спутников характеризуются следующими параметрами:

большая полуось эллипса

$$a = \frac{P}{1 - \varepsilon^2};$$

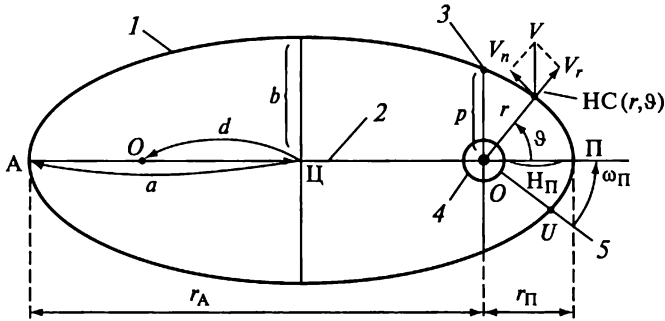


Рис. 14.11. Эллиптическая орбита спутника:

1 — эллиптическая орбита НС; 2 — линия апсид; 3 — НС ( $r = p, \theta = 90^\circ$ );  
4 — Земля; 5 — линия узлов

линейный эксцентриситет

$$d = a\varepsilon.$$

Если спутник движется строго в соответствии с законами Кеплера (при отсутствии возмущающих воздействий), то пять параметров орбиты  $\Omega, i, \omega_{\Pi}, p, \varepsilon$  постоянны и не меняются при движении спутника, а шестой параметр  $\nu$  (истинная аномалия) характеризует положение спутника на орбите в каждый фиксированный момент времени  $t_k$ . Время  $t_k$ , характеризующее нахождение спутника в конкретной точке орбиты, называется *эпохой*. Время нахождения спутника в какой-либо характерной точке орбиты имеет собственное название, например время перигея  $t_{\Pi}$ .

В связи с тем что генераторы частоты, установленные на каждом спутнике, имеют некоторые погрешности, показания часов на спутнике отличаются от времени GPS. Для приведения времени спутника в систему времени GPS необходимо вычислить и ввести поправку в часы спутника, используя полиномиальные коэффициенты, которые передаются в спутниковом сообщении. Время спутника исправляют на величину  $\Delta t_s$ :

$$t = t_s - \Delta t_s,$$

где  $\Delta t_s = a_0 + a_1(t - t_{0,c}) + a_2(t - t_{0,c})^2$ .

Вычисляют промежуток времени от опорной эпохи до момента данного измерения

$$t_k = t - t_{0,c}.$$

В дальнейших расчетах потребуются следующие константы:

$\omega_e = 7,2921151467 \cdot 10^{-5}$  рад/с — угловая инерциальная скорость вращения Земли;

$\mu = 3986005 \cdot 10^8$  м<sup>3</sup>/с<sup>2</sup> — гравитационный параметр Земли;

$\pi = 3,1415926535898$  — точное значение числа  $\pi$ .

Среднее движение на момент  $t_{0,e}$  вычисляется по формуле

$$n_0 = \sqrt{\frac{\mu}{A^3}},$$

а скорректированное среднее движение — по формуле

$$n = n_0 + \Delta n.$$

Средняя аномалия вычисляется по формуле

$$M_k = M_0 + nt_k.$$

Используя уравнение Кеплера, находят эксцентрическую аномалию на момент излучения сигнала

$$E_k = M_k + \varepsilon \sin E_k.$$

Эта задача решается итерациями. Эксцентриситет орбит спутника мал ( $\varepsilon \leq 0,001$ ), поэтому в первом приближении принимают

$$E_1 = M_1,$$

затем уточняют по формуле

$$E_i = M + \varepsilon \sin E_{i-1}, \quad i = 1, 2, \dots$$

и вычисляют истинную аномалию по следующим формулам:

$$\cos v_k = \frac{\cos E_k - \varepsilon}{1 - \varepsilon \cos E_k}; \quad \sin v_k = \frac{\sqrt{1 - \varepsilon^2} \sin E_k}{1 - \varepsilon \cos E_k}.$$

Приближение к аргументу широты

$$v_{0k} = v_k + \dot{\omega}.$$

В связи с тем что спутник движется по возмущенной орбите, из-за неравномерного распределения масс в теле Земли, солнечного давления Солнца на спутник в навигационном сообщении спутника кроме шести параметров Кеплера содержится девять корректирующих поправок.

Корректирующую поправку к аргументу широты вычисляют по формуле

$$\delta U_{0k} = C_{uc} \cos 2U_{0k} + C_{us} \sin 2U_{0k}.$$

Аргумент широты на момент излучения

$$U_k = U_{0k} + \delta U_k.$$

Корректирующую поправку к радиус-вектору вычисляют по следующей формуле:

$$\delta r_k = C_{rc} \cos 2U_{0k} + C_{rs} \sin 2U_{0k},$$

где радиус-вектор на момент времени  $t_k$  составляет

$$r_k = A(1 - \varepsilon \cos E_k) + \delta r_k.$$

Найденные величины  $r_k$  и  $E_k$  позволяют вычислить координаты спутника в плоскости оскулирующей орбиты:

$$X_{0k} = r_k \cos U_k;$$

$$Y_{0k} = r_k \sin U_k;$$

$$Z_{0k} = 0.$$

Коррекцию за наклон орбиты к плоскости экватора вычисляют по следующей формуле:

$$\delta i_k = C_{ic} \cos 2U_{0k} + C_{is} \sin 2U_{0k},$$

а наклон орбиты к плоскости экватора — по формуле

$$i_k = i_j + it_k + \delta i_k.$$

Долготу узла на момент времени  $t_k$  вычисляют по следующей формуле:

$$\lambda_k = \Omega_0 + (\Omega - \omega_e)t_k - \omega_e t_{0,c}.$$

Координаты спутника в системе координат WGS-84 могут быть получены по следующим формулам:

$$X_k = X_{0k} \cos \lambda_k - Y_{0k} \sin \lambda_k \cos i_k;$$

$$Y_k = X_{0k} \sin \lambda_k + Y_{0k} \cos \lambda_k \cos i_k;$$

$$Z_k = \sin i_k.$$

Под *эфемеридами спутников* понимают прогнозируемые координаты положения спутников на момент времени, интересующий пользователя. Применительно к спутниковым навигационным системам эфемериды спутников состоят из двух частей:

математической модели движения спутников, которая опубликована в научной литературе;

параметров математической модели, которые передаются в навигационном сообщении спутника.

Поскольку описать с высокой точностью реальное движение спутников не удастся даже при наличии столь значительного числа коэффициентов, то прогнозируемую орбиту спутника разбивают на интервалы длительностью 1 ч. Каждый час в навигационном сообщении обновляются все параметры и корректирующие коэффициенты.



#### 14.4. Измерения, выполняемые спутниковыми приемниками

Отметим, что основное назначение системы GPS — военное. Для исключения несанкционированного использования системы в эфемериды спутников умышленно вносятся искажения, а также искажаются показания часов спутников и несущая частота [так называемый режим Selective Availabilig (SA)]. Исключить эти искажения может лишь приемник, имеющий доступ к P-коду (только военный приемник). В этом случае предельная погрешность определения абсолютных координат составляет 10... 20 м. В настоящее время режим SA выключен. Обычный приемник, работающий лишь по C/A коду, может определить абсолютные координаты с предельной погрешностью 150... 200 м. В систему ГЛОНАСС искажения не вносятся, и любой пользователь может определить координаты своего местоположения с предельной ошибкой 20 м.

Приведем некоторые возможные классификации современных приемников.

Приемники, способные принимать:

C/A код;

C/A код + фазовые измерения на частоте  $L_1$ ;

C/A код + фазовые измерения на частотах  $L_1$  и  $L_2$ ;

C/A код + P-код + фазовые измерения на частотах  $L_1$  и  $L_2$ .

В геодезии широкое применение нашли приемники, занимающие 2-ю и 3-ю позиции в приведенной выше классификации. Кроме того, по области применения приемники подразделяют на геодезические, навигационные, военные и приемники времени.

В геодезических работах в основном используют приемники, способные производить фазовые измерения на частоте  $L_1$  или двух частотах  $L_1$  и  $L_2$ . Однако для определения поправок в часы приемника и обеспечения синхронной работы нескольких одновременно работающих приемников параллельно с фазовыми измерениями производят кодовые измерения с использованием C/A кода. По кодовым измерениям микропроцессор приемника автоматически вычисляет поправку и корректирует часы приемника с точностью 1 мс = 0,001 с. Следовательно, несинхронность работы приемников, производящих измерения на различных пунктах, не превышает 2 мс. Основные блоки GPS приемника представлены на рис. 14.12.

Для того чтобы производить фазовые измерения на несущей частоте, необходимо произвести демодуляцию сигнала (очистить сигнал от модуляции). Одним из способов демодуляции сигнала является квадратурование, т. е. умножение сигнала самого на себя.

Если модулированный сигнал

$$x = P(t) \sin \omega t,$$

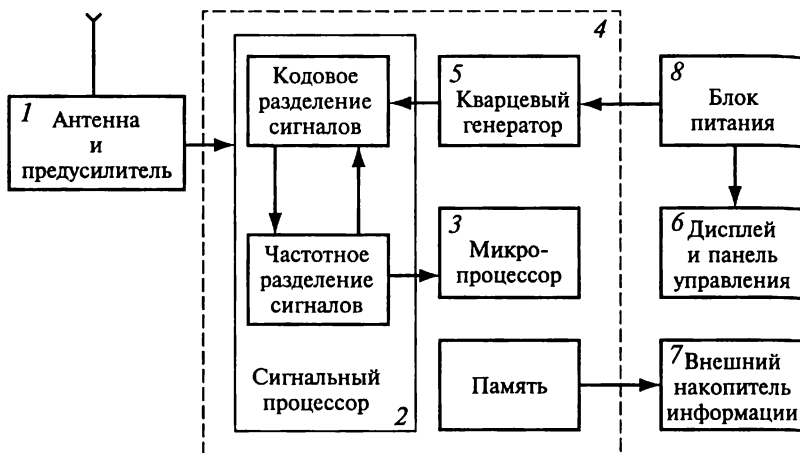


Рис. 14.12. Структурная схема приемника:

1 — антенна с предуслителем; 2 — идентификатор сигналов и распределение частот по каналам; 3 — микропроцессор для управления работой приемника; 4 — расшифровка принятой информации, вычисление абсолютных координат и поправок в часы приемника, выполнение фазовых измерений; 5 — стабильный кварцевый генератор; 6 — дисплей и панель управления; 7 — блок памяти для записи и хранения информации; 8 — блок питания

где  $P(t)$  — амплитуда сигнала, которая в определенные моменты времени принимает значения  $+1$  или  $-1$ , то после возведения в квадрат этого сигнала амплитуда его изменяться не будет, но частота удвоится (см. рис. 14.11):

$$x^2 = P^2(t) \sin^2 \omega t = \frac{P^2}{2} (1 - \cos 2\omega t).$$

В другом способе демодуляции сигнал разделяют на два, в одном из сигналов изменяют фазу на  $\pi/2$  и вновь сигналы складывают. В результате получают гармонический синусоидальный сигнал.

В настоящее время наибольшее распространение получили приемники одночастотные ( $L_1$ ) двенадцатиканальные и двухчастотные ( $L_1$  и  $L_2$ ) по 12 каналов на каждую частоту. Такими приемниками можно одновременно принимать сигналы от 12 спутников.

Частота сигнала, принятая приемником, слишком высокая, чтобы на ней можно было производить высокоточные измерения, поэтому ее понижают путем вычитания из принятой частоты генератора приемника (эта операция называется гетеродинированием). Гетеродинирование производят в несколько этапов, но суммарная частота, которую вычитают из принятого сигнала, близка к частоте, излучаемой спутником. На выделенной разностной частоте производят фазовые измерения.

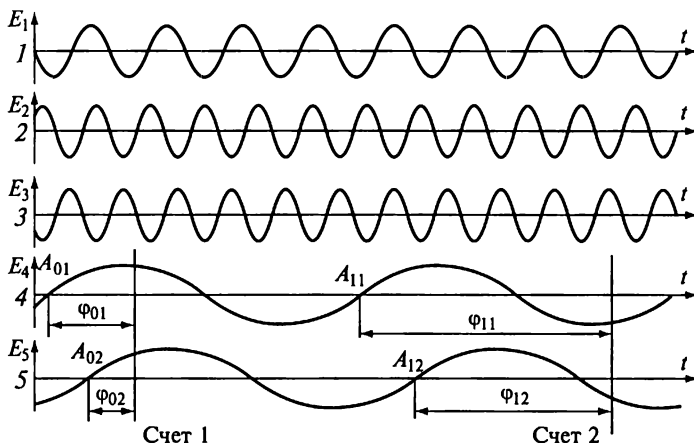


Рис. 14.13. Принцип фазовых измерений в двух каналах:  
1...5 — временные оси

Приемник принимает сигналы от нескольких спутников (как правило, не менее четырех) и фазовые измерения производятся по всем каналам одновременно. Рассмотрим принцип фазовых измерений в двух каналах (в остальных каналах принцип аналогичен) (рис. 14.13). На временных осях 1 и 2 показаны принятые сигналы  $E_1$  и  $E_2$  от двух различных спутников (после снятия с них модуляции). На временной оси 3 показана частота гетеродина (суммарная частота гетеродинирования) общая для всех спутниковых сигналов. На временных осях 4 и 5 представлен результат гетеродинирования (разностная частота)

$$\Delta f = f_g - f_s,$$

где  $f_g$  и  $f_s$  — частоты генератора и сигнала соответственно.

Если частота принятого сигнала меньше частоты гетеродина, результат фазовых измерений имеет знак «плюс»; если принятая частота больше частоты гетеродина — знак «минус».

Начало фазовых измерений определяется точкой перехода разностного сигнала через ноль (команда «Старт»). Если в течение целого периода не поступила команда «Счет», то результат измерения обнуляется и счет начинается вновь. Таким образом, при поступлении первой команды «Счет» записывается результат измерения от стартовых точек  $A_{01}$  и  $A_{02}$  (см. рис. 14.13) до команды «Счет 1»:  $\varphi_{01}$  и  $\varphi_{02}$ . При этом первый результат измерения по абсолютному значению всегда меньше единицы и составляет долю фазового цикла. При поступлении следующих команд «Счет» измерения и заносятся в память число фазовых циклов и доли цикла от начальных точек  $A_{01}$ ,  $A_{02}$  до поступления очередной команды «Счет». Команды «Счет» поступают во все каналы одновременно.

Влияние погрешностей, свойственных спутниковым методам измерения, существенно уменьшается, если одновременно используется несколько приемников, установленных на определяемых пунктах, синхронно принимающих сигналы от одних и тех же спутников. В таком случае в разностях координат любой пары приемников все приведенные источники погрешностей будут существенно уменьшены. Разности координат по С/А кодовым измерениям, производившимся синхронно несколькими приемниками по одним и тем же спутникам, имеют среднюю квадратическую погрешность  $0,3 \dots 3,0$  м. Разность координат, вычисленных по результатам фазовых измерений, характеризуется средней квадратической погрешностью  $0,5 \text{ см} + D \cdot 10^{-6}$ , где  $D$  — расстояние между приемниками. Основные источники погрешностей, сопровождающие спутниковые измерения, подразделяются на три группы.

В табл. 14.2 приведены источники погрешностей, свойственные GPS при включенном режиме зашумления сигнала (SA); погрешности измерения с использованием Р-кода не приводятся, так как он недоступен геодезистам.

При кодовых измерениях приемник принимает специальный сигнал, называемый *кодом*, который состоит из некоторого числа единичных сигналов, чередование которых для непосвященного человека воспринимается как случайный процесс. Такие сигналы называют *псевдослучайными кодами*. Каждый спутник NAVSTAR GPS излучает свой код, а спутники ГЛОНАСС используют единый код на все спутники. В памяти приемника хранятся все коды, по которым производится распознавание номера спутника (для NAVSTAR GPS), российские спутники распознаются по частоте излучения. В приемнике формируются точно такие же коды, что и на спутниках. Сравнивая кодовые сигналы, принятые со спутников, с аналогичными сигналами, созданными в приемнике, решают две задачи:

псевдослучайная последовательность позволяет принимать сигналы малой мощности с помощью компактных антенн;

надежно регистрировать время приема кодового сигнала по часам приемника.

В связи с тем что часы приемника не столь стабильны, как часы на спутниках (часы приемника примерно в 1 000 000 раз менее стабильны, чем часы на спутнике), одновременно с координатами приемника ( $X_n$ ,  $Y_n$ ,  $Z_n$ ) определяется и поправка в часы приемника  $\delta t$ , всего четыре неизвестных.

Интервал времени между излучением сигнала на спутнике  $T_c$  и приемом его в приемнике  $T_n$ , умноженный на скорость распространения электромагнитных волн  $v$ , называют *псевдодальностью*, так как она содержит значительную погрешность часов приемника:

$$D' = (T_n - T_c)v.$$

Таблица 14.2

Источники погрешностей	С/А код. Режим зашумления сигнала включен*	Пояснения
Эфемериды спутника	20... 50 м	Источники на спутнике
Показания часов спутника	10... 50 м	То же
Влияние ионосферы: модель ионосферы для одно- частотного приемника	2... 100 м	Источники на пути рас- пространения сигнала
двухчастотный приемник	Дециметры	То же
Влияние тропосферы	»	»
Влияние отраженных сигналов	5 м	»
Шумы при измерениях	1...10 м	Источники приемника
Задержка сигнала в аппаратуре	Миллиметры — сантиметры	То же
Смещение фазового центра антенны	То же	»

\* Включен с ноября 1991 г. Выключен с мая 2000 г.

Расстояние между спутником и приемником на момент измерения связано с результатами измерений следующим соотношением:

$$D + \delta t v = (T_n - T_c) v$$

или

$$\sqrt{(X_c - X_n)^2 + (Y_c - Y_n)^2 + (Z_c - Z_n)^2} + \delta t v = (T_n - T_c) v.$$

Дальномерных измерений, которые решаются как пространственная линейная задача, должно быть минимум четыре.

При фазовых измерениях псевдослучайные коды не используются, а измерения выполняют на несущей частоте, которую освобождают от модуляции. В связи с тем что длина волны несущей частоты величина небольшая — 19 см, а точность измерения разности фаз составляет  $\approx 1\%$ , то потенциальная точность фазовых измерений составляет 2 мм, а при длительных измерениях за счет осреднения эта точность в некоторых случаях может быть еще увеличена.

В связи с тем что частота на спутнике не совпадает с частотой приемника, начальные фазы этих частот не совпадают, поэтому

техническая реализация таких измерений довольно сложна. Суть ее сводится к тому, что с нескольких спутников (обычно не менее четырех) принимают сигналы и подсчитывают число фазовых циклов принятых сигналов за единый интервал времени.

Составление результатов измерений фазовых циклов является основой для вычисления приращений координат пунктов, на которых были выполнены синхронные измерения.

### 14.5. Поправки, вводимые в результаты измерений

**Поправка за вращение Земли.** Координаты спутников вычисляют на определенный момент времени относительно геоцентрической системы координат. За время распространения сигнала  $\tau$  от спутника до приемника вследствие вращения Земли приемник переместится на некоторую величину. Так как время распространения сигнала от спутника до приемника составляет приблизительно 0,07...0,08 с, а Земля за это время повернется на угол  $1,5''$ , то приемник переместится на 40...50 м (рис. 14.14). В связи с этим возникает необходимость приведения координат спутника или приемника к единому моменту времени. Если координаты приемника в момент излучения сигнала со спутника были  $X, Y, Z$ , а в момент приема сигнала стали  $X', Y', Z'$ , то можно записать следующие соотношения:

$$\begin{aligned} X' &= X \cos \alpha + Y \sin \alpha; \\ Y' &= Y \cos \alpha - X \sin \alpha; \\ Z' &= Z, \end{aligned}$$

где  $\alpha = \omega_e \tau$  — угол поворота Земли вокруг оси вращения за время распространения сигнала  $\tau$ .

**Поправка за релятивистские эффекты.** Необходимость введения поправок за релятивистские эффекты связана с тем, что основные часы, определяющие шкалу времени системы GPS, и часы

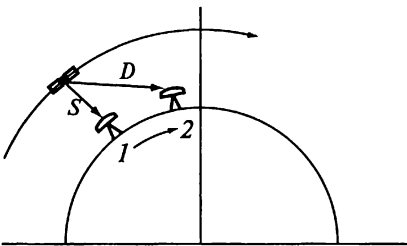


Рис. 14.14. Смещение приемника за время распространения сигнала: 1, 2 — положения приемника

на спутнике расположены в разных местах с различными гравитационными потенциалами и перемещаются с различными скоростями. Релятивистские эффекты являются причиной смещения частот генераторов на спутниках (основная частота генератора спутника смещается на величину 0,0045 Гц). Величина смещения содержит небольшую постоянную компоненту, зави-

сящую от орбитальной высоты спутника, и периодическую компоненту. Постоянная часть смещения часов учтена в поправочном коэффициенте часов спутника  $a_1$ . Периодическую часть поправки вычисляют по формуле

$$\Delta t_r = -4,43 \cdot 10^{-10} \varepsilon \sqrt{A} \sin E.$$

Дрейф спутниковых часов характеризуется следующей формулой:

$$\Delta t_r = -4,43 \cdot 10^{-10} \varepsilon \sqrt{A} \cos E \frac{dE}{dt}.$$

Максимальная величина поправки в спутниковые часы составляет 70 нс, а дрейф часов — 0,01 нс.

**Влияние ионосферы и тропосферы.** В различных областях науки и техники атмосферу разделяют по высоте над поверхностью Земли на различные участки с самостоятельными названиями (табл. 14.3).

Электромагнитные колебания распространяются в среде, обладающей дисперсией (зависимость скорости распространения от частоты колебаний), и обладают двумя различными скоростями распространения:

фазовой скоростью, т. е. скоростью распространения фазы несущей частоты;

групповой скоростью сигнала, состоящего из группы волн (в нашем случае модулирующего сигнала — кода).

Соотношение между групповой  $v_g$  и фазовой  $v_p$  скоростями распространения электромагнитного колебания определяется уравнением Рэлея:

$$v_g = v_p - \lambda \frac{dv_p}{d\lambda},$$

где  $\lambda$  — длина электромагнитной волны.

Соответствующие этим скоростям групповой и фазовой показатели преломления связаны между собой следующими соотношениями:

$$n_g = n_p + f \frac{dn}{df}. \quad (14.1)$$

Ионосфера обладает дисперсией для электромагнитных волн, поэтому при фазовых измерениях для вычисления поправок за влияние ионосферы используют фазовый показатель преломления  $n_p$ , а при кодовых измерениях — групповой  $n_g$ . Тропосфера не обладает ярко выраженной дисперсией для волн радиочастотного диапазона, следовательно,

$$\frac{dn}{df} = 0 \quad \text{и} \quad n_g = n_p.$$

Таблица 14.3

Высота, км	Температура	Ионизация	Магнитное поле	Условия распространения электромагнитных волн	Технические характеристики
100 000		Протосфера			Верхняя атмосфера
10 000		Ионосфера			
1000			Динамосфера	Тропосфера	
100					Термосфера
		Мезосфера			
10	Стратосфера				
	Тропосфера				

Показатель преломления принято определять из следующей формулы:

$$N = 1 + N,$$

где  $N$  — индекс преломления в единицах шестого знака.

Индекс преломления для тропосферы  $N_T$  в радиочастотном диапазоне характеризуется двумя компонентами (сухая и влажная):

$$N_T = N_d + N_w = C_1 P/T + C_2 P/T^2,$$

где  $N_d = 77,6P/T$  — сухая компонента индекса преломления;  $N_w = 3,73 \cdot 10^5 e/T^2$  — влажная компонента индекса преломления;  $C_1 = 77,6$ ;  $C_2 = 3,73 \cdot 10^5$ ;  $T$  — температура Кельвина.

Зависимость индекса преломления тропосферы от высоты при вычислении поправок в спутниковые измерения принято описывать с использованием эффективных высот  $H_d$  и  $H_w$  (модель Хопфильда):

$$H_d = 40,136 + 148,72 (T - 273,16) \text{ (м)}; \quad H_w = 11000 \text{ м.}$$

Уменьшение индекса преломления с высотой  $h$  над поверхностью Земли представляют в следующем виде:

$$N_{d(h)} = N_{d_0} \left( \frac{H_d - h}{H_d} \right)^4; \quad N_{w(h)} = N_{w_0} \left( \frac{H_w - h}{H_w} \right)^4,$$

где  $N_{d_0}$  и  $N_{w_0}$  — сухие и влажные компоненты индекса преломления в точке стояния приемника.



Поправки во время распространения сигнала в тропосфере вычисляются методом интегрирования:

$$\delta T_{\tau} = \delta T_d + \delta T_w = \frac{10^{-6}}{C} \int_0^{H_d} N_d dS + \frac{10^{-6}}{C} \int_0^{H_w} N_w dS,$$

где  $C$  — скорость света, м/с;  $C = 299792458$  м/с.

Интегрирование вдоль пути распространения электромагнитных волн — задача довольно сложная, поэтому часто пользуются приближенными формулами для расчета поправок:

$$\delta T_{\tau} = \frac{K_d}{C \sin \sqrt{E^2 + 6,25}} + \frac{K_w}{C \sin \sqrt{E^2 + 2,25}},$$

где  $E$  — угол возвышения спутника над горизонтом (в градусах) в точке стояния приемника;

$$K_d = 155,2 \cdot 10^{-7} \frac{P}{T} H_d; \quad K_w = 155,2 \cdot 10^{-7} \frac{4810e}{T^2} H_w,$$

где  $T$ ,  $P$  и  $e$  — соответственно температура воздуха (в градусах Кельвина), давление воздуха и давление водяных паров (в гектопаскалях).

Ионосфера вносит существенно большие искажения в результаты измерений, структура ионосферы более сложная и трудно учитывается. Она характеризуется электронной плотностью (числом электронов в  $1 \text{ м}^3$ ), которая может меняться в большом диапазоне даже в течение суток, так как зависит от солнечного излучения, солнечной активности (числа пятен на Солнце), космического излучения и некоторых других факторов. За состоянием ионосферы ведут постоянные наблюдения, и ее обобщенные характеристики учитывают при приеме навигационных сообщений со спутника и передаче команд на него.

Ионосферу делят на четыре основных слоя, которые называют  $D$ ,  $E$ ,  $F_1$  и  $F_2$  (табл. 14.4).

Таблица 14.4

Параметры слоя	$D$	$E$	$F_1$	$F_2$
Высота, км	60...85	85...140	140...200	200...1000
Электронная плотность $n_e$ , эл/м <sup>3</sup> :				
днем	$10^2 \dots 10^4$	$10^5$	$5 \cdot 10^5$	$10^6$
ночью	—	$2 \cdot 10^3$	$1 \cdot 10^3$	$3 \cdot 10^5$

Важной характеристикой ионосферы (для описания распространения электромагнитных волн) является электронное содержание (electron content)

$$I = \int_S^R n_{e(s)} dS.$$

Интеграл содержит общее число электронов в столбе площадью  $1 \text{ м}^2$  и высотой столба, равной расстоянию от спутника до приемника. Единицей измерения  $I$  является TECU (Total Electron Content Unit):

$$1 \text{ TECU} = 1 \cdot 10^{16} \text{ эл/м}^2.$$

Ионосфера обладает дисперсией для радиоволн, и фазовый показатель преломления ионосферы характеризуется следующей формулой:

$$n^2 = 1 - n_e \frac{C^2 e^2}{\pi f^2 m_e},$$

где  $e$  — заряд электрона;  $m_e$  — масса электрона.

Для практических расчетов обычно используют следующую формулу:

$$n_p = 1 - \frac{40,3 n_e}{f^2}.$$

Для более строгого описания фазового показателя преломления ионосферы используют следующий ряд:

$$n_p = 1 + \frac{C_2}{f^2} + \frac{C_3}{f^2} + \frac{C_4}{f^2} + \dots,$$

где  $C_2 = -40,3$ .

Для вычисления группового показателя преломления необходимо найти величину дисперсии:

$$\frac{dn}{df} = -\frac{2C_2}{f^3} - \frac{3C_3}{f^4} - \frac{4C_4}{f^5},$$

и в соответствии с формулой (14.1) имеем

$$n_g = n_p - \frac{2C_2}{f^2} - \frac{3C_3}{f^3} - \frac{4C_4}{f^4}$$

или

$$n_g = 1 - \frac{C_2}{f^2} - \frac{C_3}{f^3} - \frac{C_4}{f^4}.$$

Таблица 14.5

Частота	Погрешность, м		
	первого порядка, $f^{-2}$	второго порядка, $f^{-3}$	третьего порядка, $f^{-4}$
$L_1$	32,5	0,036	0,002
$L_2$	53,5	0,076	0,007
$L_1 + L_2$	0,0	0,026	0,006

В практических расчетах часто пользуются следующей приближенной формулой:

$$n_{\text{пр}} = 1 + \frac{40,3n_e}{f^2}.$$

При фазовых измерениях двухчастотным приемником появляется возможность в значительной степени ослабить влияние ионосферы, образуя новую комбинацию из результатов фазовых измерений на несущих частотах  $f_1$  и  $f_2$ :

$$\varphi_{(L_0)} = \frac{f_1^2}{f_1^2 - f_2^2} \varphi_{(L_1)} - \frac{f_2^2}{f_1^2 - f_2^2} \varphi_{(L_2)}.$$

Максимальные погрешности, которые может вносить ионосфера в расстояние между спутником и приемником, расположенным в зените, приведены в табл. 14.5.

**Влияние зашумления сигнала.** В связи с тем что в стандарт частоты спутника (10,23 МГц) вносятся искажения, несущая частота спутника также содержит эти искажения. Эта погрешность может составлять значительную величину. На рис. 14.15 представлены

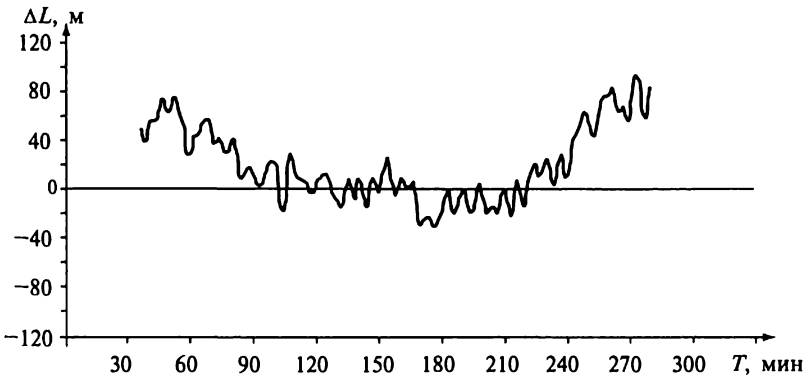


Рис. 14.15. Влияние искажения стандарта частоты

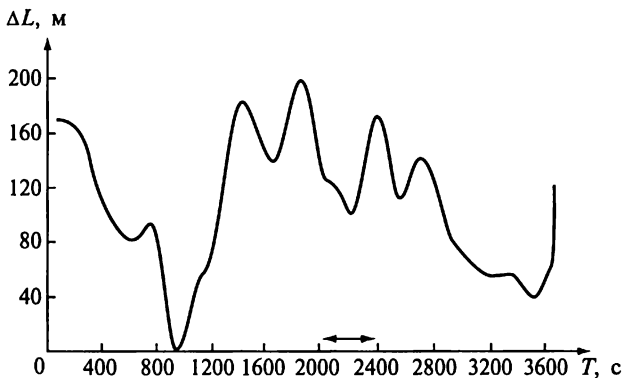


Рис. 14.16. Влияние искажения сигналов

результаты исследований влияния искажения стандарта частоты спутника на результаты вычисления расстояния между спутником и приемником. На рис. 14.16 представлены результаты совместно влияния зашумления стандарта частоты и эфемерид спутника.

Влияние этих погрешностей может быть существенно ослаблено путем синхронизированных измерений приращений координат несколькими приемниками. В связи с тем что российская система ГЛОНАСС не использует систему зашумления сигнала, она может иметь преимущества при геодезических измерениях.

**Влияние отраженных сигналов.** Сигнал со спутника приемник может принять вместе с сигналами, отраженными от поверхности Земли или окружающих предметов (рис. 14.17). В результате фазовые измерения производятся по суммарному сигналу, имеющему значительные искажения. Представим основной сигнал со спутника в виде

$$A_D = A \cos \varphi_D,$$

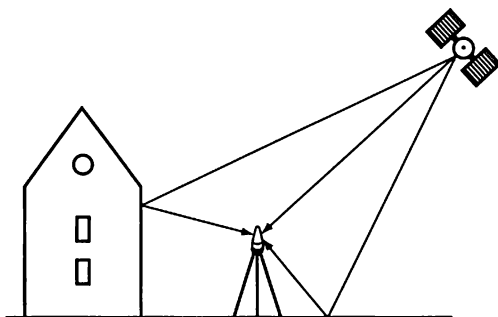


Рис. 14.17. Влияние отраженных сигналов

а сигнал, отраженный от местного предмета, в виде

$$A_R = kA \cos(\varphi_D + \varphi),$$

где  $k$  — коэффициент отражения ( $0 < k < 1$ );  $A$  — амплитуда сигнала, поступающего со спутника;  $kA$  — амплитуда отраженного сигнала;  $\varphi_D$  — фаза неискаженного сигнала;  $\varphi_D + \varphi$  — фаза отраженного сигнала.

Суммарный сигнал будет иметь следующий вид:

$$A = A_D + A_R = \alpha A \cos(\varphi_D + \Delta\varphi);$$

$$\operatorname{tg} \Delta\varphi = \frac{\sin \varphi}{1/k + \cos \varphi};$$

$$\alpha = \sqrt{1 + k^2 + 2 \cos \varphi}.$$

При сильном отраженном сигнале ( $k - 1$ ) максимальная величина искажений результатов фазовых измерений может достигать  $90^\circ$ , а в линейной мере результаты фазовых измерений могут быть искажены на 5 см. Наличие отраженных сигналов можно выявить при обработке результатов измерений и исключить искаженные результаты измерений из расчетов.

## 14.6. Режимы наблюдений

Режимы наблюдений спутниковыми приемниками подразделяют на абсолютные и относительные. При абсолютных наблюдениях, используя кодовые измерения, определяют координаты пунктов, а при относительных — приращения координат (иногда их называют вектором базы между пунктами).

В геодезической практике часто используются относительные измерения как наиболее точные. Существуют несколько режимов относительных наблюдений, которые, в свою очередь, подразделяются на две группы: статические и кинематические. При любом режиме относительных измерений один из приемников находится на пункте с известными координатами, а другие — на определяемых пунктах.

**Статика.** Статический режим наблюдений как наиболее точный является основным методом при создании сетей, однако он требует наибольших временных затрат. Время измерения одного пункта колеблется от 40 мин до нескольких часов (в зависимости от требуемой точности измерений, числа и расположения наблюдаемых спутников, состояния ионосферы и т. п.).

**Быстрая статика.** Быстрая статика — это разновидность статического режима измерений, при котором время наблюдений может быть сокращено до 10... 15 мин. Информацию о необходимом времени наблюдений оператор получает от приемника, когда по-

лучен достаточный объем информации. Чтобы избежать неоднозначности при обработке результатов наблюдений, практикуют возврат приемника на ранее определенный пункт или меняют местами антенны.

**Кинематика.** При кинематическом режиме измерений передвижной приемник, который иногда называют *роверным* (от англ. *rover* — скиталец), устанавливают в определенных пунктах на короткое время. Такой метод называют «stop and go» («стой и иди»). Кинематический режим измерений начинают с инициализации, т. е. с начальных измерений, при которых выполняется разрешение неоднозначности.

Для инициализации оба приемника устанавливают в нескольких метрах друг от друга, и время измерений составляет примерно 15 мин; если роверный приемник устанавливают вдалеке от опорного, то время инициализации увеличивается и может достичь 1 ч.

После завершения инициализации роверный приемник переключают в режим кинематики и перемещают к следующему определяемому пункту. При перемещении роверный приемник должен оставаться в рабочем режиме и обеспечивать прием сигналов от не менее четырех одних и тех же спутников. На крытой местности и особенно под мостами могут возникать срывы непрерывных измерений, о чем приемник информирует наблюдателя звуковым сигналом и записью на дисплее. В таком случае необходимо вернуться на один из ранее определенных пунктов или перейти в режим статики и повторить инициализацию приемников. При установке роверного приемника на определяемом пункте оператор записывает его название (или номер), определяет высоту приемника над пунктом и вводит эти данные в приемник.

**Кинематика «в полете» (on the fly — OTF).** Кинематика «в полете» — это разновидность кинематического режима наблюдений без инициализации приемников. Он используется в тех случаях, когда есть уверенность, что время непрерывного приема достаточного числа спутников составляет не менее 20 мин. За это время накапливается достаточное количество информации для успешного разрешения неоднозначности.

**Кинематика в реальном времени.** При необходимости выполнить обработку результатов наблюдений на роверном приемнике одновременно с измерениями используют режим «кинематика в реальном времени» (Real Time Kinematics — RTK). С этой целью на опорном приемнике устанавливают радиомодем, который обеспечивает дополнительную цифровую радиосвязь с роверными приемниками, снабженными также приемными радиомодемами. На опорном приемнике вычисляют необходимые поправки в результаты измерений и передают на роверные приемники. На роверных приемниках осуществляется обработка результатов фазовых измерений с учетом принятых поправок. Время получения приращений координат занимает несколько секунд.

## 14.7. Преобразование координат

Для отображения пространственного положения пункта или любой точки в геодезии используют две системы координат:

пространственную геоцентрическую систему криволинейных координат (широта  $B$  и долгота  $L$ ), которые определяют положение нормали к референц-эллипсоиду Красовского;

нормальную высоту  $H$  — расстояние от точки до квазигеоида по нормали к эллипсоиду.

Спутниковые системы определяют прямоугольные координаты в общеземных системах GPS — в системе координат WGS-84, ГЛОНАСС — в ПЗ-90. В связи с этим возникает задача пересчета (преобразования, или трансформирования) координат в систему координат СК-42 или СК-65, которые используют в нашей стране, или в местную систему координат, которую часто используют в инженерной геодезии.

Для того чтобы выполнить преобразование координат, необходимо определить параметры преобразования. К параметрам преобразования относятся:

координаты смещения начал двух систем координат  $\Delta X_0$ ,  $\Delta Y_0$ ,  $\Delta Z_0$ ;

углы разворота осей координат  $\omega_x$ ,  $\omega_y$ ,  $\omega_z$ ;

масштабный коэффициент  $1 + \mu$ . Используется лишь в тех случаях, когда точность определения масштабного коэффициента достаточно высока (при большом числе избыточных измерений).

Пересчет координат из одной системы координат в другую производится по следующим формулам:

$$X_R = X_r(1 + \mu) - Z_r\omega_y + Y_r\omega_z + \Delta X_0;$$

$$Y_R = Y_r(1 + \mu) + Z_r\omega_x - X_r\omega_z + \Delta Y_0;$$

$$Z_R = Z_r(1 + \mu) - Y_r\omega_x + X_r\omega_y + \Delta Z_0.$$

Для того чтобы определить параметры преобразования координат, необходимо иметь несколько пунктов (по крайней мере три-четыре), координаты которых известны в обеих системах координат. В таком случае можно вычислить разности координат одноименных пунктов:

$$\delta X_i = \Delta X_0 - Z_{r_i}\omega_y + Y_{r_i}\omega_z + X_{r_i}\mu - (X_{R_i} - X_{r_i});$$

$$\delta Y_i = \Delta Y_0 + Z_{r_i}\omega_x - X_{r_i}\omega_z + Y_{r_i}\mu - (Y_{R_i} - Y_{r_i});$$

$$\delta Z_i = \Delta Z_0 - Y_{r_i}\omega_x + X_{r_i}\omega_y + Z_{r_i}\mu - (Z_{R_i} - Z_{r_i}).$$

При наличии избыточных измерений параметры преобразования находят, используя следующую целевую функцию:

$$\sum_{i=1}^n \delta X_i^2 + \sum_{i=1}^n \delta Y_i^2 + \sum_{i=1}^n \delta Z_i^2 \rightarrow \min.$$

Эту операцию нельзя считать идеально точной, так как для вычисления пространственных координат  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  по криволинейным координатам  $B$  (широта),  $L$  (долгота) и  $H$  (нормальная высота) необходимо знать аномалию высоты  $a$ , чтобы перейти от нормальной высоты к геодезической высоте:

$$H_{\Gamma} = H_{\text{н}} + a.$$

Аномалия высоты известна в редких случаях, поэтому параметры преобразования определяют на ограниченную территорию, как правило, не более 20... 30 км.

## Глава 15

### ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ О ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ РАЗБИВОЧНЫХ РАБОТАХ

#### 15.1. Назначение и организация разбивочных работ

Разбивочные работы являются одним из основных видов инженерно-геодезической деятельности. Выполняют их для определения на местности планового и высотного положений характерных точек и плоскостей строящегося сооружения в соответствии с рабочими чертежами проекта.

Проект сооружения составляют на топографических планах крупных масштабов. Определяют расположение проектируемого сооружения относительно окружающих предметов и сторон света. Кроме того, топографический план определяет общегеодезическую систему координат, задающую положение характерных точек проектируемого сооружения относительно этой системы.

Разбивочные работы диаметрально противоположны съемочным. При съемке на основании натуральных измерений определяют координаты точек относительно пунктов опорной сети. Точность этих измерений зависит от масштаба съемки. При разбивке, наоборот, по координатам, указанным в проекте, находят на местности положение точек сооружения с заранее заданной точностью. При разбивочных работах

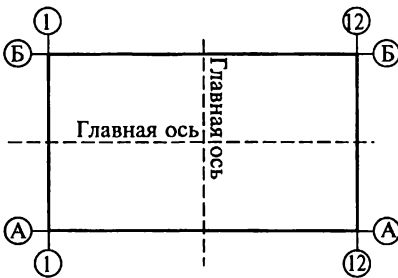


Рис. 15.1. Главные оси здания



углы, расстояния и превышения не измеряют, а откладывают на местности. В этом основная особенность разбивочных работ.

Компоновка сооружения определяется его геометрией, которая, в свою очередь, задается осями. Относительно осей сооружения в рабочих чертежах указывают местоположение всех элементов сооружения.

В нормативных документах существует понятие разбивочной оси. На практике различают главные, основные, промежуточные, или детальные, оси.

Главными осями линейных сооружений (дорог, каналов, плотин, мостов и т. п.) служат продольные оси этих сооружений. В промышленном и гражданском строительстве в качестве главных осей принимают оси симметрии зданий (рис. 15.1).

Основные оси определяют форму и габаритные размеры зданий и сооружений.

Промежуточные, или детальные, оси — это оси отдельных элементов зданий, сооружений.

На строительных чертежах оси проводят штрихпунктирными линиями и обозначают цифрами или буквами в кружках. Для обозначения продольных осей служат арабские цифры, а для поперечных осей — прописные буквы русского алфавита, за исключением букв З, И, О, Х, Ы, Ъ, Ь. Оси обозначают слева направо и снизу вверх.

Указанные в проекте сооружения координаты, углы, расстояния и превышения называют *проектными*.

Высоты плоскостей и отдельных точек проекта задают от условной поверхности. В зданиях за условную поверхность (нулевую отметку) принимают уровень «чистого пола» первого этажа. Высоты относительно нулевой отметки обозначают следующим образом: вверх — со знаком «плюс», вниз — со знаком «минус».

Для каждого сооружения условная поверхность соответствует определенной абсолютной отметке, которая указывается в проекте.

При проектировании зданий, сооружений и их элементов, строительных конструкций пользуются модульной системой координации размеров в строительстве (МКРС). МКРС предусматривает в основном применение прямоугольной модульной пространственной системы. *Модуль* — условная единица измерения, применяемая для координации размеров зданий и сооружений, строительных конструкций и т. п. Основной модуль, равный 10 мм, обозначается М. Более крупные модули (мультимодули), обозначаемые 60М, 30М, 15М, ..., 3М, соответственно равны 6000, 3000, 1500, ..., 300 мм, а более мелкие — дробные модули (субмодули) равны 50, 20, ..., 1 мм.

Весь процесс разбивки сооружения определяется общим геодезическим правилом перехода от общего к частному. Разбивка главных и основных осей определяет положение всего сооружения на местности, т. е. его размеры и ориентирование относительно

но сторон света и существующих контуров местности. Детальная разбивка определяет взаимное положение отдельных элементов и конструкций сооружения.

Разбивочные работы — это комплексный взаимосвязанный процесс, являющийся неотъемлемой частью строительно-монтажного производства, поэтому организация и технология разбивочных работ целиком зависят от этапов строительства.

В подготовительный период на местности строят плановую и высотную геодезическую разбивочную основу соответствующей точности, определяют координаты и отметки пунктов этой основы.

Затем производится геодезическая подготовка проекта для перенесения его в натуру.

Непосредственную разбивку сооружений выполняют в три этапа. На первом этапе производят основные разбивочные работы. По данным привязки от пунктов геодезической основы находят на местности положение главных или основных разбивочных осей и закрепляют их.

На втором этапе, начиная с возведения фундаментов, проводят детальную строительную разбивку сооружений. От закрепленных точек главных и основных осей разбивают продольные и поперечные оси отдельных строительных элементов и частей сооружения, одновременно определяя уровень проектных высот.

Детальная разбивка производится значительно точнее, чем разбивка главных осей, поскольку она определяет взаимное расположение элементов сооружения, а разбивка главных осей — лишь общее положение сооружения и его ориентирование.

Если главные оси могут быть определены на местности со средней квадратической погрешностью 3...5 см, а иногда и грубее, то детальные оси разбивают со средней квадратической погрешностью 2...3 мм и точнее.

Третий этап заключается в разбивке технологических осей оборудования. На этом этапе требуется наибольшая точность (в отдельных случаях — доли миллиметра).

## **15.2. Нормы и принципы расчета точности разбивочных работ**

Требования к точности разбивочных работ зависят от многих факторов: вида, назначения, местоположения сооружения; размеров сооружения и взаимного расположения его частей; материала, из которого возводится сооружение; порядка и способа производства строительных работ; технологических особенностей эксплуатации и т. п.

Нормы точности на разбивочные работы задаются в проекте или в нормативных документах: строительных нормах и правилах (СНиП), Государственном общесоюзном стандарте (ГОСТ), ве-

домственных инструкциях. Они могут быть указаны в явном виде, как это сделано в ГОСТ 21779—82 «Технологические допуски», или по видам измерений (угловые, линейные, высотные) — в СНиП 3.01.03—84 «Геодезические работы в строительстве».

Во многих случаях указывают нормы на установку строительных конструкций относительно теоретического (проектного) положения, откуда характеристики точности разбивочных работ могут быть получены лишь расчетным путем.

Точность геометрических параметров в нормативных документах и чертежах указывают в виде симметричных допусков  $\Delta$ , которые определяют допустимую разность между наибольшим и наименьшим значениями каждого параметра. Для расчетов пользуются разностью  $\delta$  между наибольшим или наименьшим значением параметра и его проектным значением, называемой *допускаемым (предельным) отклонением*, а также средним квадратическим отклонением (погрешностью)  $\sigma$ . Переход от допуска к предельному и среднему квадратическому отклонениям выполняют по формулам

$$\delta = \frac{\Delta}{2}; \quad \sigma = \frac{\delta}{3} = \frac{\Delta}{6}. \quad (15.1)$$

Таким образом, если пользоваться допусками, указанными в нормативных документах непосредственно на разбивочные работы, то можно по формулам (15.1) получить исходные показатели точности для выбора способов и средств геодезических измерений.

Если указываются допуски на положение строительных конструкций, то из полученных по формулам (15.1) нормативных величин необходимо определить долю, приходящуюся на геодезические измерения. Для этого с учетом конкретной технологии возведения строительной конструкции решается вопрос о соотношении погрешностей каждой технологической операции. Так, например, точность установки колонны здания на свое проектное место будет зависеть от погрешностей геодезических измерений, изготовления колонны, монтажных работ и влияния деформаций, которые по разным причинам могут происходить после монтажа.

Если принять принцип равных влияний всех  $n$  источников погрешностей, то на каждый из них, в том числе на геодезические измерения, придется доля от общей погрешности  $\delta_{\text{общ}}$  установки

$$\delta_i = \delta_i = \frac{\delta_{\text{общ}}}{\sqrt{n}}.$$

Когда точностные возможности строительного-монтажного производства ограничены, применяют принцип ничтожно малого влияния погрешностей геодезических измерений на общую погрешность, т. е.

$$\delta_i = k\delta_{\text{общ}},$$

где  $k$  — коэффициент, определяющий степень влияния погрешности геодезических измерений на общую погрешность.

Обычно коэффициент  $k$  принимают равным 0,2 ... 0,4. Для приведенного примера примем  $\delta_{\text{общ}} = 5$  мм,  $n = 4$ ,  $k = 0,3$ . Тогда по принципу равных влияний получим  $\delta_r = 2,5$  мм, а по принципу ничтожно малого влияния —  $\delta_r = 1,5$  мм.

Приведенный принцип расчета в основном относится к разбивкам деталей осей. Точность разбивки главных или основных осей зависит от способа определения положения точек проектируемого здания. В большинстве случаев размещение зданий, сооружений и их взаимную компоновку проектируют на крупно-

Таблица 15.1

Класс точности	Характеристика зданий, сооружений и конструкций	Величины средних квадратических погрешностей результатов измерений при разбивочных работах			
		Линейные измерения	Угловые измерения, "	Определение превышения на станции, мм	Передача отметок с исходного на монтажный горизонт, мм
1-р	Металлические конструкции с фрезерованными поверхностями, сборные железобетонные конструкции, монтируемые методом самофиксации в узлах, сооружениях высотой от 100 до 120 м с пролетами от 24 до 36 м	1:15 000	5	1	5
2-р	Здания от 16 до 25 этажей, сооружения высотой от 60 до 100 м с пролетами от 18 до 24 м	1:10 000	10	2	4
3-р	Здания от 5 до 16 этажей, сооружения высотой от 16 до 60 м с пролетами от 6 до 18 м	1:5 000	20	2,5	3
4-р	Здания до 5 этажей, сооружения высотой до 15 м с пролетами до 6 м	1:3 000	30	3	3
5-р	Деревянные конструкции, инженерные сети, дороги, подземные пути	1:2 000	30	5	10
6-р	Земляные и временные сооружения	1:1 000	45	10	20

масштабных топографических планах. Точность размещения объектов строительства определяется точностью плана. Следовательно, чтобы обеспечить подобие в положении объекта на проектном чертеже и на местности, необходимо выдержать точность плана. Известно, что точность плана характеризуется средней квадратической погрешностью определения положения точки, равной 0,2 мм на плане. С учетом того, что рабочие чертежи разрабатываются в основном на планах масштаба 1 : 500, эта погрешность на местности составит 10 см. Этой точности в основном и придерживаются при выносе в натуру точек, определяющих положение главных или основных осей.

При выполнении разбивочных работ на территории с плотной застройкой, насыщенной подземными коммуникациями, или при реконструкции комплекса зданий и сооружений основные оси выносят в натуру с точностью, определяемой не графическими построениями, а аналитическими расчетами. В этом случае погрешность выноса основных осей по отношению к существующей застройке составляет величину 2...3 см.

Расчетный путь определения точности разбивочных работ требует от исполнителя определенной инженерной подготовки. Для более простого решения этой задачи в СНиП 3.01.03—84 приводятся величины средних квадратических погрешностей, с которыми необходимо выносить на местность разбивочные элементы (расстояния, углы, высоты). Величины погрешностей разбивочных элементов (табл. 15.1) даны по шести классам точности (1-р, 2-р, ..., 6-р) в зависимости от этажности, конструктивных особенностей, способов выполнения соединений, сопряжений и узлов сооружений. Наличие одной из характеристик, указанных в таблице, служит основанием для назначения соответствующих требований к точности. В этом же СНиПе указываются приборы, применение которых может обеспечить требуемую нормативную точность разбивочных работ.

### 15.3. Вынос в натуру проектных углов и длин линий

**Проектная геометрия сооружения.** Разбивочные работы, по существу, сводятся к фиксации на местности точек, определяющих проектную геометрию сооружения. Плановое положение этих точек может быть определено с помощью построения на местности проектного угла от исходной стороны и отложения проектного расстояния от исходного пункта.

При построении проектного угла одна точка (вершина угла) и исходное направление обычно бывают заданы. Необходимо на местности отыскать второе направление, которое образовывало бы с исходным проектный угол  $\beta$  (рис. 15.2). В нашем случае  $VA$  — исходное направление,  $B$  — вершина проектируемого угла.

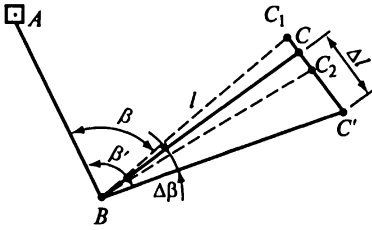


Рис. 15.2. Схема построения в натуре проектного угла

Работы ведут в следующем порядке. Устанавливают теодолит в точку  $B$ . Наводят зрительную трубу на точку  $A$  и берут отсчет по лимбу. Далее прибавляют к этому отсчету проектный угол  $\beta$  и, открепив алидаду, устанавливают вычисленный отсчет. Теперь визирная ось зрительной трубы теодолита указывает второе искомое направление. Это направление на соответствующем

проекту расстоянию фиксируют на местности в точке  $C_1$ . Аналогичные действия выполняют при другом круге теодолита и отмечают на местности вторую точку  $C_2$ . Из положения двух точек берут среднее (точку  $C$ ), принимая угол  $ABC$  за проектный.

Стандартные геодезические приборы, изготовленные серийно, по точности предназначены для выполнения измерений, а не построений. В результате точность отложения разбивочных элементов этими приборами оказывается ниже, чем точность измерений с использованием этих приборов. Поэтому, если необходимо построить проектный угол с повышенной точностью, поступают следующим образом.

Построенный в натуре угол измеряют несколькими приемами и определяют его более точное значение  $\beta'$ . Число приемов  $n$  измерения угла можно определить по приближенной формуле

$$n = \frac{(m'_\beta)^2}{m_\beta^2},$$

где  $m'_\beta$  — номинальная для данного теодолита средняя квадратическая погрешность измеренного угла;  $m_\beta$  — требуемая средняя квадратическая погрешность отложения угла.

Например, для того чтобы отложить угол со средней квадратической погрешностью  $3''$  теодолитом 2Т5, надо его измерить числом приемов

$$n = \frac{5^2}{3^2} = 6.$$

Измерив построенный в натуре угол, вычисляют поправку

$$\Delta\beta = \beta' - \beta,$$

которую необходимо ввести для уточнения построенного угла. Зная проектное расстояние  $BC = l$ , вычисляют линейную поправку  $CC' = \Delta l$ . Из геометрии построений (см. рис. 15.2) следует, что

$$\Delta l = l \frac{\Delta\beta}{\rho},$$

где  $\beta$  и  $\rho$  выражены в секундах.

Затем откладывают от точки  $C$  перпендикулярно линии  $BC$  величину вычисленной поправки  $\Delta l$  и фиксируют точку  $C'$ . Угол  $ABC'$  и будет равен проектному углу с заданной точностью. Для контроля угол  $ABC'$  измеряют. Если полученное значение отличается от проектного на допускаемую величину, то работу заканчивают. В противном случае требуется дальнейшее уточнение.

Точность построения на местности проектного угла зависит от инструментальных погрешностей, погрешностей собственно измерения (визирования и отсчета по лимбу), а также погрешностей из-за влияния внешних условий. Погрешности центрирования, редукиции и исходных данных (погрешности в положении пунктов  $A$  и  $B$ ) на точность отложения проектного угла влияния не оказывают, что позволяет учитывать их отдельно. В этом заключается еще одна особенность разбивочных работ. Однако эти погрешности вызывают смещение на местности направления  $BC$  и выносимой точки  $C$ .

Необходимая точность отложения линейной поправки (редукции)  $\Delta l$  может быть подсчитана по формуле

$$m_{\Delta l} = l \frac{m_{\Delta\beta}}{\rho}.$$

Если  $l = 200$  м,  $m_{\Delta\beta} = 2''$ , то получим  $m_{\Delta l} = 2$  мм. Очевидно, что с такой точностью линейную редукицию можно легко отложить при помощи рулетки или линейки с миллиметровыми делениями.

Для построения проектной длины линии необходимо от исходной точки отложить в заданном направлении расстояние, горизонтальное проложение которого равно проектному значению. Надо помнить, что в проекте задается именно горизонтальное проложение. Поправки в линию за компарирование, температуру и наклон местности необходимо вводить непосредственно в процессе ее построения. Но это затрудняет работу, особенно при необходимости вынесения линии с высокой точностью. Поэтому часто поступают таким же образом, как и при построении углов, т.е. используют способ редукиции. На местности от исходной точки  $A$  (рис. 15.3) сначала откладывают и закрепляют приближенное значение проектного расстояния  $l_{пр}$  (точка  $B'$ ). Это расстояние с необходимой точностью измеряют компарированными мерными приборами или точными дальномерами, учитывая все поправки. Вычислив длину закрепленного отрезка  $l_{изм}$ ,

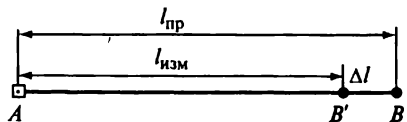


Рис. 15.3. Схема отложения проектной длины линии

Таблица 15.2

Поправки	При измерении линий	При отложении проектных расстояний
За компарирование	$\pm \Delta l_k$	$\mp \Delta l_k$
За температуру	$[\alpha l_0 (t - t_0) + \beta l_0 (t^2 - t_0^2)]$	$-[\alpha l_0 (t - t_0) + \beta l_0 (t^2 - t_0^2)]$
За наклон местности	$-\frac{h^2}{2l} - \frac{h^4}{8l^3}$	$+\frac{h^2}{2l} + \frac{h^4}{8l^3}$

сравнивают его с проектным значением, находят линейную поправку

$$\Delta l = l_{\text{пр}} - l_{\text{изм}}$$

и откладывают ее с соответствующим знаком от конечной точки  $B'$  отрезка. Затем для контроля построенную линию  $AB$  измеряют.

Точность построения проектного расстояния  $l_{\text{пр}}$  в способе редукции в основном зависит от точности линейных измерений расстояния  $AB'$ . Исходя из требуемой точности определения проектного расстояния, выбирают приборы для измерений.

Если проектное расстояние откладывается непосредственно в натуре, то поправки за компарирование, температуру и наклон местности вводят со знаками, обратными тем, которые учитывают при измерении линий (табл. 15.2).

**Поправки линейных измерений в случае применения проволок и мерных лент.** Уравнение мерного прибора можно записать в общем виде:

$$l_t = l_n + \Delta l_k + \alpha l_0 (t - t_0) + \beta l_0 (t^2 - t_0^2),$$

где  $l_t$  — длина мерного прибора при температуре измерения  $t$ ;  $l_n$  — номинальная длина прибора;  $\Delta l_k$  — поправка за компарирование;  $l_0$  — длина мерного прибора при температуре  $t_0$ , полученная из компарирования;  $\alpha$ ,  $\beta$  — коэффициенты линейного расширения.

Пусть, например, при выносе в натуре проектной линии использовался мерный прибор, длина которого при температуре измерения была меньше его номинальной длины. В этом случае отложенная линия будет короче проектной, следовательно, поправку надо вводить со знаком «плюс». Если этот прибор использовать для измерения линии, то поправку надо вводить со знаком «минус», так как при измерении укороченным мерным прибором результат получится большим, чем следует.

Если же мерный прибор при температуре измерения имеет длину, большую номинальной, то при измерении линии поправка будет иметь знак «плюс», а при отложении — «минус».



При измерении линии на наклонной местности поправка за наклон для приведения ее длины к горизонту вводится со знаком «минус», так как наклонное расстояние всегда больше горизонтального проложения.

При отложении линий все размеры в проекте приведены к горизонту, поэтому при отложении проектного размера на наклонной местности он укорачивается. Значит, поправку необходимо вводить со знаком «плюс».

В зависимости от требуемой точности для отложения проектных расстояний используют стальные и инварные мерные приборы, оптические дальномеры, а также светодальномеры.

#### 15.4. Вынос в натуру проектных отметок, линий и плоскостей проектного уклона

Все отметки, указанные в проекте сооружения, даются от уровня «чистого пола» или какого-либо другого условного уровня, поэтому предварительно их необходимо перевычислить в систему, в которой даны высоты исходных реперов.

Для выноса в натуру точки с проектной отметкой  $H_{пр}$  устанавливают нивелир примерно посередине между репером с известной отметкой  $H_p$  и выносимой точкой (рис. 15.4). На исходном репере и выносимой точке устанавливают рейки, взяв отсчет  $a$  по рейке на исходном репере, определяют горизонт прибора

$$H_{ГП} = H_p + a.$$

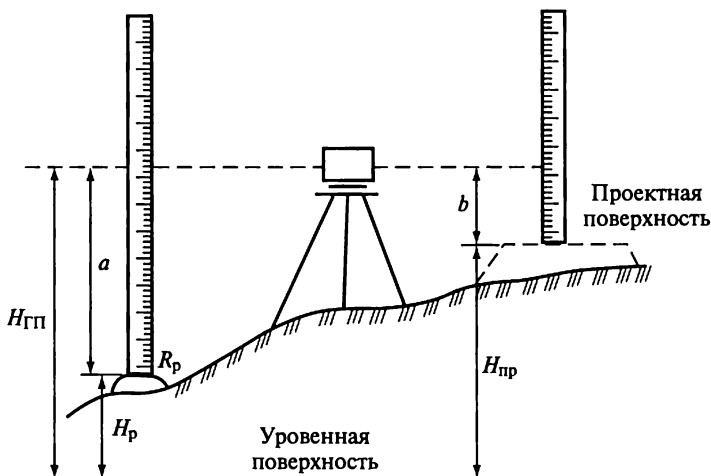


Рис. 15.4. Схема выноса в натуру проектной отметки

Для контроля желательно аналогичным образом проверить значение  $H_{ГП}$  по другому исходному реперу.

Чтобы установить точку на проектную отметку  $H_{ГП}$ , необходимо знать величину отсчета  $b$  по рейке на определяемой точке. Можно записать, что

$$b = H_{ГП} - H_{пр} = H_p + a - H_{пр}.$$

Вычислив отсчет  $b$ , рейку в точке на проектной поверхности поднимают или опускают до тех пор, пока отсчет по среднему штриху зрительной трубы нивелира не будет равен вычисленному. В этот момент пятка рейки будет соответствовать проектной высоте. Ее фиксируют в натуре, забивая колышек, ввинчивая болт или проводя черту на строительной конструкции.

Для контроля, нивелируя обычным способом, определяют фактическую отметку вынесенной точки и сравнивают ее с проектной. В случае недопустимых расхождений работу выполняют заново.

Если необходимо передать проектные отметки точек, лежащих в одной вертикальной плоскости (на стенах, колоннах и т. п.), то поступают следующим образом. На вертикальной плоскости отмечают проекцию среднего штриха сетки, т. е. фиксируют горизонт прибора. Затем, отмеряя вверх или вниз от этой линии соответствующее превышение, отмечают проектную отметку точки.

Проектная отметка точки может быть установлена в натуре путем, аналогичным редуцированию. Для этого выносимую точку приближенно устанавливают на проектную высоту. Нивелированием определяют превышение  $h$  между приближенно установленной точкой и исходным репером. Полученную величину сравнивают с проектной  $h_{пр}$ , вычисленной как  $h_{пр} = H_{пр} - H_p$ . С учетом знака разности  $h_{пр} - h$  изменяют высоту точки, добиваясь, чтобы  $h_{пр} = h$ . Этот способ более трудоемкий и применяется, когда производят бетонирование до проектной отметки или поднимают конструкцию путем последовательного подбора подкладок.

На точность вынесения в натуру проектных отметок в основном влияют: погрешность  $m_p$  в определении отметки исходного репера, погрешность  $m_a$  отсчета  $a$  по рейке на исходном репере, погрешность  $m_b$  установки рейки на проектный отсчет  $b$  и погрешность  $m_\phi$  фиксирования проектной отметки в натуре. При закреплении точки колышком  $m_\phi = 3 \dots 5$  мм, при использовании болтов или шурупов  $m_\phi = 1$  мм и меньше. При тщательной работе можно считать, что  $m_a = m_b$ , следовательно, средняя квадратическая погрешность вынесения проектной отметки в натуру

$$m_{пр}^2 = m_p^2 + 2m_a^2 + m_\phi^2.$$

Для построения в натуре линий проектных уклонов используют нивелиры, теодолиты, а также лазерные приборы. Сначала

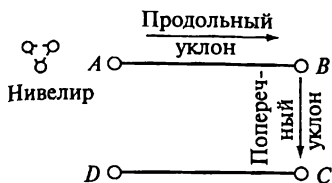


Рис. 15.5. Схема построения в натуре линий проектных уклонов

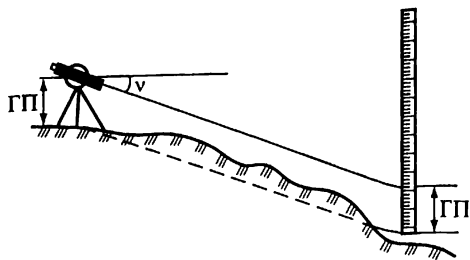


Рис. 15.6. Схема выноса в натуру теодолитом линии проектного уклона

конечные точки линии  $AB$  (рис. 15.5) устанавливают на проектные отметки. Если дана отметка  $H_A$  только одной точки  $A$  и проектный уклон  $i$ , то отметку другой точки  $B$  можно вычислить по формуле

$$H_B = H_A + l_{AB} i,$$

где  $l_{AB}$  — проектное расстояние  $AB$ .

На точках  $A$  и  $B$  устанавливают нивелирные рейки. Затем, наклоняя нивелир двумя подъемными винтами (или элевационным винтом), методом приближений добиваются, чтобы отсчеты по рейкам стали одинаковыми. В этом случае визирная линия зрительной трубы нивелира будет иметь проектный уклон. Далее устанавливают рейку в створе линии  $AB$  (например, через 5 м), добиваясь, чтобы отсчет по ней был равен отсчету на конечные точки. Пятка рейки будет определять точку линии проектного уклона. Эти точки фиксируют колышками соответствующей высоты.

При использовании теодолита его устанавливают в начальной точке с проектной отметкой и измеряют высоту прибора (рис. 15.6).

На вертикальном круге с учетом места нуля устанавливают отсчет в градусной мере, равный проектному уклону. Линия визирования зрительной трубы теодолита будет фиксировать угол наклона  $\nu$ , соответствующий проектному уклону. Затем, отметив на рейке или вехе высоту прибора, выполняют те же операции, что и при использовании нивелира.

С меньшей точностью линию проектного уклона (например, точки  $A, B, C$ ) можно вынести при помощи трех визирок одинаковой длины (рис. 15.7).

Две визирки задают опорную линию заданного уклона. В эту линию глазомерно вводят третью визирку, основание которой будет фиксировать точку линии проектного уклона.

Для вынесения в натуру проектной плоскости устанавливают на проектные отметки точки  $A, B, C, D$  (см. рис. 15.5). Действуя подъемными винтами нивелира, добиваются методом приближений, чтобы отсчеты на всех четырех точках были равны между

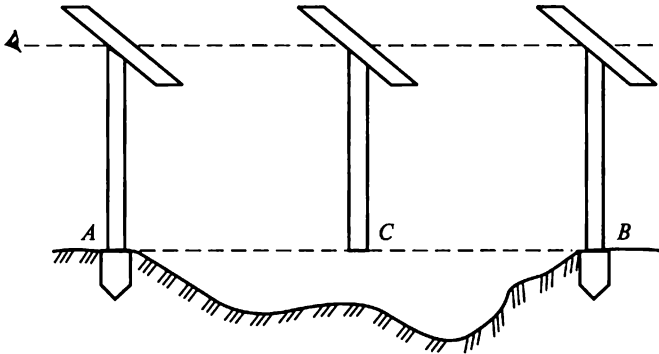


Рис. 15.7. Схема построения линии проектного уклона при помощи визирок

собой, т. е. чтобы линия визирования была параллельна заданной проектной плоскости. При установке на тот же отсчет рейки в любой точке внутри фигуры  $ABCD$  пятка ее будет лежать в проектной плоскости.

## Глава 16

### СПОСОБЫ РАЗБИВОЧНЫХ РАБОТ

#### 16.1. Основные источники погрешностей при разбивочных работах

Для выполнения разбивочных работ применяют следующие способы: полярных и прямоугольных координат, угловой, линейной и створной засечек, створно-линейный и бокового нивелирования.

Применение того или иного способа зависит: от вида сооружения, условий его возведения, схемы расположения пунктов опорной разбивочной сети, наличия измерительных средств, этапа производства разбивочных работ и других факторов. Целесообразнее использовать тот способ, который при прочих равных условиях обладает более высокой точностью. В свою очередь, точность разбивочных работ определяется различными источниками погрешностей, одна часть которых зависит от геометрии применяемого способа, другая является общей для всех способов.

Погрешности, зависящие от геометрии способа разбивки, т. е. от способа построения в натуре проектных линий и углов, называют *погрешностями собственно разбивочных работ*. Ожидаемые величины этих погрешностей  $m_{с,р}$  вычисляют по известным в геодезии формулам.

На точность разбивочных работ влияют погрешности исходных данных  $m_{исх}$ , т. е. погрешности в положении опорных пунктов, с

которых производится разбивка. Их учитывать довольно сложно, поэтому для каждого способа разбивки при расчете ожидаемых величин определяют их приближенные значения.

При выносе проектной точки в натуру необходимо зафиксировать ее положение, что приводит к погрешности фиксации  $m_{\text{ф}}$ . Погрешность фиксации в случае применения визирной цели, установленной на некоторой высоте над поверхностью фиксируемой точки, определяется способом проектирования. Применяя визирные марки с оптическим отвесом, можно зафиксировать точку с погрешностью 1 мм. При использовании нитяных отвесов эта погрешность увеличивается: в закрытых помещениях до 2...3 мм, а на открытой местности при небольшом ветре до 3...5 мм. Для фиксации точки в качестве визирной цели часто применяют карандаш, гвоздь или шпильку. В этом случае можно добиться точности фиксации порядка 0,5...1,0 мм.

При отложении проектных углов и задания проектного направления возникают погрешности центрирования угломерного прибора и визирных целей, а также погрешность визирования. Погрешности центрирования влияют не на точность откладываемого угла, как при угловых измерениях, а на положение выносимой в натуру точки. Их влияние аналогично влиянию погрешностей исходных данных. Погрешность визирования, зависящую от увеличения  $\Gamma^x$  зрительной трубы, подсчитывают по следующей формуле, угл. с:

$$m''_{\text{виз}} = \frac{20''}{\Gamma^x}. \quad (16.1)$$

В линейной мере эта погрешность имеет следующий вид:

$$m_{\text{виз}} = \frac{m''_{\text{виз}} S}{\rho''}, \quad (16.2)$$

где  $S$  — расстояние визирования, мм.

На точность выполнения разбивочных работ существенное влияние могут оказать погрешности из-за влияния внешних условий и особенно боковой рефракции. Для их уменьшения необходимо выбрать наиболее благоприятные время и условия производства разбивочных работ.

Оценку возможного влияния боковой рефракции на угловые и створные наблюдения можно выполнить соответственно по следующим формулам:

$$\delta_{\text{напр}} = -\frac{10,6 P_{\text{ср}} S}{(273 + t_{\text{ср}})^2} dt_{\text{ср}};$$

$$\sigma = \frac{0,05 P_{cp} d (S - d)}{(273 + t_{cp})^2} dt_{cp},$$

где  $\delta_{напр}$  и  $\sigma$  — поправки за боковую рефракцию соответственно для направления и створа, угл. с и мм;  $P_{cp}$  — среднее на створе давление воздуха, Па;  $S$  — общая длина створа или направления;  $t_{cp}$  — средняя на створе температура воздуха, °С;  $dt_{cp}$  — средний на створе градиент (изменение на длине) температуры в направлении, перпендикулярном створу, °С/м;  $d$  — расстояние от прибора до определяемой точки створа.

## 16.2. Способы прямой и обратной угловых засечек

Способ угловой засечки применяют для разбивки недоступных точек, находящихся на значительном расстоянии от исходных пунктов.

Различают прямую и обратную угловые засечки.

В способе прямой угловой засечки положение на местности проектной точки  $C$  (рис. 16.1) находят отложением на исходных пунктах  $A$  и  $B$  проектных углов  $\beta_1$  и  $\beta_2$ . Базисом засечки служит или специально измеренная сторона, или сторона разбивочной сети. Проектные углы  $\beta_1$  и  $\beta_2$  вычисляют как разность дирекционных углов сторон. Дирекционные углы находят из решения обратной геодезической задачи по проектным координатам определяемой точки и известным координатам исходных пунктов.

На точность разбивки способом прямой угловой засечки оказывают влияние погрешности: собственно прямой засечки  $m_{с.з.}$ , исходных данных, центрирования теодолита и визирных целей  $m_{ц.}$ , фиксации разбивочной точки, т. е.

$$m_C^2 = m_{с.з.}^2 + m_{исх}^2 + m_{ц.}^2 + m_{ф.}^2.$$

Средняя квадратическая погрешность собственно засечки

$$m_{с.з.} = \frac{m_b b}{\rho \sin^2 \gamma} \sqrt{\sin^2 \beta_1 + \sin^2 \beta_2}$$

или

$$m_{с.з.} = \frac{m_b}{\rho \sin \gamma} \sqrt{S_1^2 + S_2^2}, \quad (16.3)$$

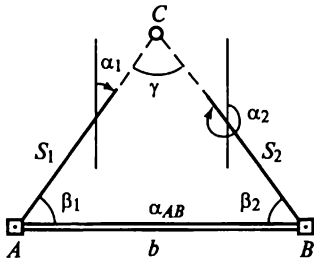


Рис. 16.1. Схема разбивки способами прямой угловой и линейной засечек

где  $m_b$  — средняя квадратическая погрешность отложения углов  $\beta_1$  и  $\beta_2$ .

Иногда возникает необходимость определить погрешность положения точки по осям координат. В этом случае погрешности засечки вычисляются по следующим формулам:

$$m_x^2 = \frac{m_\beta^2}{\rho^2 \sin^2 \gamma} (S_1^2 \cos^2 \alpha_2 + S_2^2 \cos^2 \alpha_1);$$

$$m_y^2 = \frac{m_\beta^2}{\rho^2 \sin^2 \gamma} (S_1^2 \sin^2 \alpha_2 + S_2^2 \sin^2 \alpha_1).$$

Для приближенных расчетов принимают  $S_1 = S_2 = S$ . Тогда формула (16.3) будет иметь следующий вид:

$$m_{с.з} = \frac{m_\beta \sqrt{2}}{\rho \sin \gamma} S. \quad (16.4)$$

При заданной погрешности  $m_\beta$  величина погрешности засечки будет зависеть от угла  $\gamma$  и расстояния  $S$  до определяемой точки. С учетом влияния угла  $\gamma$  и расстояния  $S$  погрешность засечки будет минимальной при  $\gamma = 109^\circ 28'$ .

Погрешность исходных данных является следствием погрешностей в положении пунктов  $A$  и  $B$ . Если принять, что  $m_A = m_B = m_{AB}$ , то

$$m_{исх}^2 = m_{AB}^2 \frac{\sin^2 \beta_1 + \sin^2 \beta_2}{\sin^2 \gamma} = m_{AB}^2 \frac{S_1^2 + S_2^2}{b^2}. \quad (16.5)$$

Для приближенных расчетов, приняв  $S_1 = S_2 = S$  и  $\gamma = 90^\circ$ , можно записать

$$m_{исх} = \frac{m_{AB} \sqrt{2}}{b} S. \quad (16.6)$$

По аналогии с формулами (16.5) и (16.6) совместное влияние погрешностей центрирования теодолита и визирной цели выразится следующими формулами:

$$m_{ц}^2 = e^2 \frac{\sin^2 \beta_1 + \sin^2 \beta_2}{\sin^2 \gamma} = e^2 \frac{S_1^2 + S_2^2}{b^2};$$

$$m_{ц} = \frac{e \sqrt{2}}{b} S,$$

где  $e$  — величина линейного элемента центрирования.

При разбивочных работах центрирование теодолита и визирных целей с помощью оптических отвесов, а также фиксация выносимой точки могут быть выполнены сравнительно точно. Поэтому основными погрешностями, определяющими точность способа прямой угловой засечки, являются погрешности собственно засечки и исходных данных. Суммарная величина этих погрешностей составит

$$m_C^2 = \left( \frac{m_B^2 b^2}{\rho \sin^2 \gamma} + m_{AB}^2 \right) \frac{\sin^2 \beta_1 + \sin^2 \beta_2}{\sin^2 \gamma} \quad (16.7)$$

или

$$m_C^2 = \left( \frac{m_B^2}{\rho^2 \sin^2 \gamma} + \frac{m_{AB}^2}{b^2} \right) (S_1^2 + S_2^2).$$

При  $S_1 = S_2 = S$ ,  $\gamma = 90^\circ$  погрешность в положении выносимой в натуру точки выразится приближенной формулой

$$m_C = \sqrt{\left( \frac{m_B}{\rho} \right)^2 b^2 + m_{AB}^2}. \quad (16.8)$$

Часто при проектировании разбивочных работ решают вопрос о необходимой точности отложения разбивочных элементов, если задана точность определения проектного положения выносимой в натуру точки. Для прямой угловой засечки определяют погрешность отложения проектных углов.

Так, например, для  $b = 500$  м,  $m_C = 20$  мм,  $m_{AB} = 8$  мм, используя формулу (16.8), будем иметь

$$m_B = \sqrt{\frac{(m_C^2 - m_{AB}^2) \rho^2}{b^2}} = \sqrt{\frac{(20^2 - 8^2)(2 \cdot 10^5)^2}{(5 \cdot 10^5)^2}} \approx 2,3''.$$

Отложить с такой точностью угол довольно сложно. Требуемая точность разбивки в этом случае может быть достигнута следующим образом. Отложив с возможной точностью углы  $\beta_1$  и  $\beta_2$ , определяют в натуре положение точки  $C$ . Затем на опорных пунктах соответствующим числом приемов измеряют точное значение отложенных углов. Для приведенного примера при использовании теодолита 2Т2 надо выполнить не менее четырех приемов. Измеряют также угол  $\gamma$  на точке  $C$ . Распределив невязку в треугольнике поровну на все три угла, определяют координаты точки  $C$ . Сравнивая их с проектными значениями, находят поправки (редук-



ции), по которым в натуре смещают (редуцируют) приближенно вынесенную точку  $C$ . Такой способ называют *способом замкнутого треугольника*.

На принципе редуцирования основано и применение для разбивки способа обратной угловой засечки. На местности находят приближенно положение  $O'$  разбиваемой проектной точки  $O$  (рис. 16.2). В этой точке устанавливают теодолит и с требуемой точностью измеряют углы не менее чем на три исходных пункта с известными координатами. По формулам обратной засечки вычисляют координаты приближенно определенной точки и сравнивают их с проектными значениями. По разности координат вычисляют величины редукции (угловой и линейный элементы) и смещают точку в проектное положение.

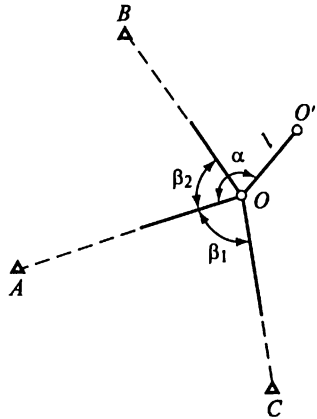


Рис. 16.2. Схема способа обратной угловой засечки

Для контроля на этой точке измеряют углы, вновь вычисляют ее координаты и сравнивают их с проектными. В случае недопустимых расхождений все действия повторяют.

Для вычисления координат точки  $O'$  можно использовать формулы Д'Аламбера и Гаусса. Применительно к рис. 16.2 они будут иметь следующий вид:

$$\operatorname{tg} \alpha_{AO'} = \frac{(Y_C - Y_A) \operatorname{ctg} \beta_1 + (Y_B - Y_A) \operatorname{ctg} \beta_2 - (X_B - X_C)}{(X_C - X_A) \operatorname{ctg} \beta_1 + (X_B - X_A) \operatorname{ctg} \beta_2 - (Y_B - Y_C)},$$

$$X_{O'} = \frac{X_B \operatorname{tg} \alpha_{BO'} - X_A \operatorname{tg} \alpha_{AO'} + (Y_A - Y_B)}{\operatorname{tg} \alpha_{BO'} - \operatorname{tg} \alpha_{AO'}};$$

$$Y_{O'} = Y_B + (X_{O'} - X_B) \operatorname{tg} \alpha_{BO'} \quad \text{или} \quad Y_{O'} = Y_C + (X_{O'} - X_C) \operatorname{tg} \alpha_{CO'};$$

$$\alpha_{BO'} = \alpha_{OA} + \beta_2 \pm 180^\circ; \quad \alpha_{CO'} = \alpha_{OA} - \beta_1 \pm 180^\circ.$$

На точность разбивки способом обратной угловой засечки оказывают влияние погрешности: собственно засечки, исходных данных, центрирования теодолита и визирных целей, фиксации разбивочной точки и редуцирования. Очевидно, что при сравнительно больших расстояниях от определяемого до опорных пунктов влияние первых двух источников будет наиболее существенным; остальными погрешностями можно пренебречь.

Погрешность собственно обратной засечки может быть подсчитана по приближенной формуле

$$m_{с.з} = \frac{m_{\beta} S_A}{\rho \sin(\beta_1 + \beta_2 + \omega_{BAC})} \sqrt{\left(\frac{S_B}{b_{AB}}\right)^2 + \left(\frac{S_C}{b_{AC}}\right)^2},$$

где  $S$  — расстояние от определяемого до соответствующих опорных пунктов;  $b$  — расстояние между соответствующими опорными пунктами;  $\omega_{BAC}$  — угол между исходными сторонами.

Если для приближенных расчетов принять  $S_A = S_B = S_C = S_{ср}$ ;  $b_{AB} = b_{AC} = b_{ср}$ , то формула (16.4) примет вид

$$m_{с.з} = \frac{m_{\beta} S_{ср} \sqrt{2}}{\rho \sin(\beta_1 + \beta_2 + \omega_{BAC})} \frac{S_{ср}}{b_{ср}}. \quad (16.9)$$

Погрешности исходных данных учитывают по формуле

$$m_{и} = \frac{m_{ABC}}{\sin \tau} \sqrt{\frac{S_A^2 + S_B^2}{b_{AB}^2} + \frac{S_A^2 + S_C^2}{b_{AC}^2} + \frac{S_B^2 S_C^2}{b_{AB} b_{AC}}} \cos \tau,$$

где  $m_A = m_B = m_C = m_{ABC}$  — погрешность в положении исходного пункта;  $\tau = \beta_1 + \beta_2 + \omega_{BAC} - 180^\circ$ .

Для приближенных расчетов

$$m_{и} = \frac{m_{ABC}}{\sin \tau} \frac{S_{ср}}{b_{ср}} \sqrt{4 + \cos \tau}. \quad (16.10)$$

В качестве примера соответственно по формулам (16.9) и (16.10) рассчитаем точность определения положения точки  $O'$  при  $S_{ср} \approx 1350$  м,  $b_{ср} \approx 2200$  м,  $\omega_{BAC} \approx 80^\circ$ ,  $m_{\beta} = 2''$ ,  $m_{ABC} = 5$  мм.

Получим  $m_{с.з} = 11,5$  мм,  $m_{и} = 6,2$  мм, а общая погрешность

$$m_{O'} = \sqrt{m_{с.з}^2 + m_{и}^2} = 13,1 \text{ мм.}$$

### 16.3. Способ линейной засечки

В способе линейной засечки положение выносимой в натуру точки  $C$  (см. рис. 16.1) определяют в пересечении проектных расстояний  $S_1$  и  $S_2$ , отложенных от исходных точек  $A$  и  $B$ . Этот способ обычно применяют для разбивки осей строительных конструкций в случае, когда проектные расстояния не превышают длины мерного прибора.

Наиболее удобно разбивку производить при помощи двух рулеток. От точки  $A$  по рулетке откладывают расстояние  $S_1$ , а от точки  $B$  по второй рулетке —  $S_2$ . Перемещая обе рулетки при со-

вмещенных нулях с центрами пунктов  $A$  и  $B$ , на пересечении концов отрезков  $S_1$  и  $S_2$  находят положение определяемой точки  $C$ .

Средняя квадратическая погрешность в положении определяемой точки в общем виде можно выразить формулой, аналогичной выражению (16.7) для угловой засечки. Погрешность собственно линейной засечки при одинаковой точности  $m_S$  отложения расстояний  $S_1$  и  $S_2$  может быть подсчитана по формуле

$$m_{c.з} = \frac{m_S \sqrt{2}}{\sin \gamma}.$$

Минимальной погрешность собственно линейной засечки будет при угле  $\gamma = 90^\circ$ . В этом случае

$$m_{c.з} = m_S \sqrt{2}.$$

Влияние погрешностей исходных данных в линейной засечке выражается по формуле

$$m_{исх}^2 = \frac{m_A^2 + m_B^2}{2 \sin^2 \gamma}.$$

При  $m_A = m_B = m_{AB}$

$$m_{исх} = \frac{m_{AB}}{\sin \gamma}.$$

Для засечки при  $\gamma = 90^\circ$   $m_{исх} = m_{AB}$ .

В случае применения мерных приборов погрешности центрирования отсутствуют. Тогда общая погрешность в определении положения разбиваемой точки  $C$  будет в основном зависеть от суммарной погрешности собственно засечки и исходных данных и вычисляться по формуле

$$m_C^2 = \frac{1}{\sin \gamma} (2m_S^2 + m_{AB}^2).$$

Для приближенных расчетов, приняв  $\gamma = 90^\circ$ , будем иметь

$$m_C = \sqrt{2m_S^2 + m_{AB}^2}. \quad (16.11)$$

Определить необходимую точность отложения разбивочных расстояний можно, если задана точность определения проектного положения выносимой в натуру точки и известна погрешность в положении исходных пунктов. Так, например, при  $m_C = 10$  мм и  $m_{AB} = 5$  мм из формулы (16.11) можно получить

$$m_S = \sqrt{\frac{m_C^2 - m_{AB}^2}{2}} = \sqrt{\frac{100 - 25}{2}} \approx 6 \text{ мм.}$$

В случае если для линейной засечки применяются дальномерные комплекты, которые центрируются при помощи штативов, то влияние погрешностей центрирования можно определить по формуле

$$m_{ц} = \frac{e}{\sin \gamma}.$$

### 16.4. Способ полярных координат

Способ полярных координат широко применяют при разбивке осей зданий, сооружений и конструкций с пунктов теодолитных или полигонометрических ходов, когда эти пункты расположены сравнительно недалеко от выносимых в натуру точек.

В этом способе положение определяемой точки *C* (рис. 16.3) находят на местности путем отложения от направления *AB* проектного угла  $\beta$  и расстояния *S*. Проектный угол  $\beta$  находится как разность дирекционных углов  $\alpha_{AB}$  и  $\alpha_{AC}$ , вычисленных как и расстояние *S* из решения обратных задач по координатам точек *A*, *B* и *C*. Для контроля положение зафиксированной точки *C* можно проверить, измерив на пункте *B* угол  $\beta'$  и сравнив его со значением, полученным как разность дирекционных углов  $\alpha_{BA}$  и  $\alpha_{BC}$ .

Средняя квадратическая погрешность выноса в натуру точки *C* определяется формулой

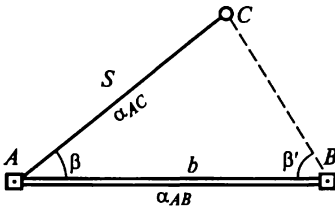
$$m_C^2 = m_{с.з}^2 + m_{исх}^2 + m_{ц}^2 + m_{\phi}^2.$$

Погрешность собственно разбивки полярным способом зависит от погрешности  $m_{\beta}$  построения угла  $\beta$  и погрешности  $m_S$  отложения проектного расстояния *S*:

$$m_{с.р}^2 = m_S^2 + \left(\frac{m_{\beta}}{\rho}\right) S^2. \quad (16.12)$$

Влияние погрешностей исходных данных при  $m_A = m_B = m_{AB}$  выражается формулой

$$m_{исх}^2 = m_{AB}^2 \left[ 1 + \left(\frac{S}{b}\right)^2 - \frac{S}{b} \cos \beta \right], \quad (16.13)$$



а погрешностей центрирования

$$m_{ц}^2 = e^2 \left[ 1 + \left(\frac{S}{b}\right)^2 - \frac{S}{b} \cos \beta \right]. \quad (16.14)$$

Рис. 16.3. Схема разбивки способом полярных координат

Формулы (16.13) и (16.14) аналогичны. Из этих формул следует, что для уменьшения влияния погрешностей исходных данных и центрирования необходимо, чтобы угол  $\beta$  и отношение  $S/b$  были минимальны, полярный угол был бы меньше прямого, а проектное расстояние — меньше базиса разбивки, т. е.  $\beta \leq 90^\circ$ ,  $S \leq b$ .

Для приближенных расчетов, приняв  $\beta = 90^\circ$  и  $S = b$ , получим

$$m_{исх} = m_{AB}\sqrt{2}; \quad m_{ц} = e\sqrt{2},$$

а для суммарной погрешности в положении точки, разбиваемой способом полярных координат,

$$m_C^2 = m_S^2 + \left(\frac{m_\beta}{\rho}\right)^2 S^2 + 2m_{AB}^2 + 2e^2 + m_\phi^2.$$

Для примера оценим точность разбивки проектного положения точки с пунктов ходов полигонометрии, для которой  $b = 250$  м,  $m_{AB} = 10$  мм. Примем  $S = 100$  м,  $\frac{m_S}{S} = \frac{1}{5000}$ ,  $\beta = 45^\circ$ ,  $m_\beta = 10''$ ,  $e = 1$  мм и  $m_\phi = 1$  мм.

Погрешность отложения проектной линии, мм,

$$m_S = \frac{100}{5000} = 20,$$

линейная величина погрешности построения проектного угла, мм,

$$\frac{m_\beta}{\rho} S = \frac{10 \cdot 100\,000}{206\,000} = 5,$$

величины  $m_\beta$  и  $\rho$  выражены в секундах и влияние погрешности исходных данных, мм,

$$m_{исх} = 10\sqrt{1 + (0,4)^2} - 0,4 \cdot 0,7 = 9,4.$$

Из соотношения полученных величин видно, что погрешностями, мм, центрирования и фиксации можно пренебречь:

$$m_C = \sqrt{20^2 + 5^2 + 9,4^2} = 23.$$

Расчет показывает, что для данных условий уменьшение погрешности в положении выносимой в натуру точки возможно лишь при существенном уменьшении погрешности отложения проектного расстояния — хотя бы в два раза.

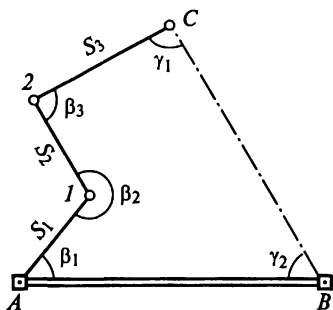


Рис. 16.4. Схема разбивки способом проектного полигона

Если разбиваемая точка находится на значительном расстоянии от исходного пункта, то приходится несколько раз откладывать полярным способом проектные углы и расстояния, прокладывая проектный ход (рис. 16.4). При наличии прямой видимости с точки  $C$  на точку  $B$  для контроля измеряют примычные углы  $\gamma_1$  и  $\gamma_2$ , образуя замкнутый угловой полигон, поэтому такой способ называют *способом проектного полигона*. При точных разбивочных работах углы полигона уравнивают, вычисляют по ним и проектным расстояниям координаты точки  $C$ , сравнивают их с проектными и при необходимости редуцируют в проектное положение.

При редкой разбивочной основе способ проектного полигона может быть использован для разбивки всех точек пересечения основных осей сооружения от одного исходного пункта. В этом случае проектный ход с проектными углами и расстояниями прокладывают полностью.

При редкой разбивочной основе способ проектного полигона может быть использован для разбивки всех точек пересечения основных осей сооружения от одного исходного пункта. В этом случае проектный ход с проектными углами и расстояниями прокладывают полностью.

## 16.5. Способы створной и створно-линейной засечек

Способы створной и створно-линейной засечек широко применяют для выноса в натуру разбивочных осей зданий и сооружений, а также монтажных осей конструкций и технологического оборудования.

Положение проектной точки  $C$  в способе створной засечки определяют на пересечении двух створов, задаваемых между исходными точками  $1-1'$  и  $2-2'$  (рис. 16.5). Створ задают обычно теодолитом, который центрируют над исходным пунктом (например,  $1$ ), а зрительную трубу ориентируют по визирной цели, отцентрированной на другом исходном пункте (в данном случае  $1'$ ). Положение точки  $C$  фиксируют в заданном створе.

Средняя квадратическая погрешность створной засечки зависит от погрешностей построения первого  $m_{ст1}$  и второго  $m_{ст2}$  створов, а также погрешности фиксации

$$m_C^2 = m_{ст1}^2 + m_{ст2}^2 + m_{\Phi}^2.$$

Основными погрешностями при построении каждого из створов являются погрешности положения исходных точек, погрешности центрирования теодолита и визирных целей, погрешность

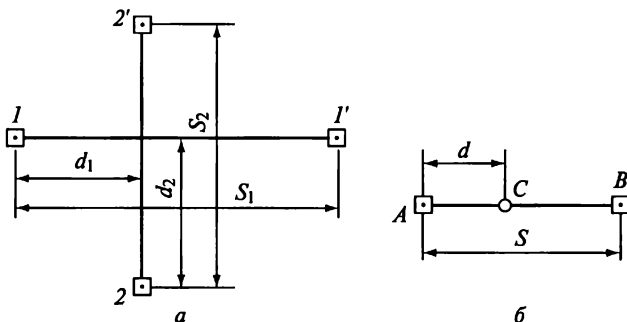


Рис. 16.5. Схемы разбивки способами:  
а — створной засечки; б — створно-линейной засечки

визирования и перемены фокусировки зрительной трубы при наведении на визирную цель и на определяемую точку, т. е.

$$m_{\text{ст}}^2 = m_{\text{исх}}^2 + m_{\text{ц}}^2 + m_{\text{виз}}^2 + m_{\text{фок}}^2. \quad (16.15)$$

Погрешности положения исходных точек для задания створа имеют значения только в направлении, перпендикулярном створу, т. е. для каждого створа по одной из координат  $x$  или  $y$ . Их влияние определяется формулой

$$m_{\text{исх}}^2 = m_{x,y}^2 \left[ \left( 1 - \frac{d}{S} \right)^2 + \left( \frac{d}{S} \right)^2 \right], \quad (16.16)$$

где  $d$  — расстояние от точки установки теодолита до определяемой точки;  $S$  — расстояние между исходными точками (длина створа).

Совместное влияние погрешностей центрирования теодолита и визирной цели определяется формулой

$$m_{\text{ц}}^2 = \frac{e^2}{2} \left[ \left( 1 - \frac{d}{S} \right)^2 + \left( \frac{d}{S} \right)^2 \right]. \quad (16.17)$$

Анализируя формулы (16.16) и (16.17), можно сделать вывод, что наименьшее влияние погрешности исходных данных и центрирования оказывают на положение определяемой точки в середине створа. По мере приближения ее к исходным пунктам эти погрешности возрастают.

Погрешность визирования в угловой или линейной мере подсчитывают соответственно по формулам (16.1) и (16.2).

При построении створа приходится визировать дважды: вначале на визирную цель, установленную на исходной точке, затем на

цель, фиксирующую положение разбиваемой точки в створе. В обоих случаях линейная величина погрешности визирования для определяемой точки будет пропорциональна расстоянию  $d$  от теодолита до этой точки. Следовательно, для створных построений погрешность визирования, мм:

$$m_{\text{виз}} = \frac{m''_{\text{виз}} d \sqrt{2}}{\rho''}, \quad (16.18)$$

или с учетом формулы (16.1)

$$m_{\text{виз}} = \frac{20'' \sqrt{2} d}{\Gamma^x \rho''}. \quad (16.19)$$

При построении створа приходится визировать на точки, расположенные от теодолита на разных расстояниях, что приводит к необходимости менять фокусировку трубы. Изменение хода фокусирующей линзы вызывает смещение визирной оси трубы и приводит к погрешности, которую необходимо учитывать при точных работах.

В современных высокоточных теодолитах погрешность из-за перефокусировки трубы примерно равна погрешности визирования. Поэтому для приближенных расчетов можно принять  $m_{\text{фок}} = m_{\text{виз}}$ . С учетом этого совместное влияние погрешностей визирования и фокусирования при створных построениях может быть выражено формулой

$$m_{\text{виз, фок}} = \frac{20'' \sqrt{3} d}{x \rho''}. \quad (16.20)$$

Для примера оценим точность разбивки проектного положения точки способом створной засечки, если точка находится посередине обоих створов. Примем  $d = 100$  м,  $\Gamma^x = 25$ ,  $m_{x,y} = 5$  мм,  $e = 1$  мм,  $m_{\phi} = 1$  мм.

Так как в каждом створе определяемая точка находится в одинаковых условиях, то достаточно сделать расчет для одного створа. Используя формулу (16.16), для погрешностей исходных данных будем иметь, мм:

$$m_{\text{исх}} = \sqrt{5^2 \left[ \left(1 - \frac{1}{2}\right)^2 + \left(\frac{1}{2}\right)^2 \right]} = 3,5.$$

По формуле (16.17) для погрешностей центрирования, мм:

$$m_{\text{ц}} = \sqrt{\left(\frac{1}{2}\right)^2 \left[ \left(1 - \frac{1}{2}\right)^2 + \left(\frac{1}{2}\right)^2 \right]} = 0,5 \text{ мм.}$$



На основании формулы (16.20) для погрешностей визирования и фокусирования запишем, мм,

$$m_{\text{виз, фок}} = \frac{20\sqrt{3 \cdot 100\,000}}{25 \cdot 206\,000} = 0,7.$$

Общая погрешность разбивки с учетом погрешностей двух створов, мм,

$$m_c = \sqrt{2[(3,5)^2 + (0,5)^2 + (0,7)^2] + (1,0)^2} = 5,3.$$

В приведенном расчете наиболее существенной оказалась погрешность исходных данных.

Створно-линейный способ позволяет определить проектное положение выносимой в натуру точки  $C$  (см. рис. 16.5) путем отложения проектного расстояния  $d$  по створу  $AB$ .

Средняя квадратическая погрешность положения точки  $C$  в этом способе может быть подсчитана по формулам створной засечки (16.15)...(16.19) с учетом в выражении (16.15) погрешности  $m_d$  отложения проектного расстояния  $d$ .

## 16.6. Способ прямоугольных координат

Способ прямоугольных координат применяют в основном при наличии на площадке или в цехе промышленного предприятия строительной сетки, в системе координат которой задано положение всех главных точек и осей проекта.

Разбивку проектной точки  $C$  (рис. 16.6) производят по вычисленным значениям приращений ее координат  $\Delta x$  и  $\Delta y$  от ближайшего пункта сетки. Большее приращение (на рисунке  $\Delta y$ ) откладывают по створу пунктов сетки  $AB$ . В полученной точке  $D$  устанавливают теодолит и строят от стороны сетки прямой угол. По перпендикуляру откладывают меньшее приращение и закрепляют полученную точку  $C$ . Для контроля положение точки  $C$  можно определить от другого пункта строительной сетки.

Схема способа прямоугольных координат, по существу, сочетает в себе схему створно-линейного и полярного способов.

Средняя квадратическая погрешность в положении точки  $C$ , определенной способом прямоугольных координат, может быть выражена формулой

$$m_c^2 = m_{\Delta x}^2 + m_{\Delta y}^2 + \left(\frac{m_\beta}{\rho}\right)^2 \Delta x^2 + m_{\text{исх}}^2 + m_c^2 + m_\phi^2, \quad (16.21)$$

где  $m_{\Delta x}$  и  $m_{\Delta y}$  — погрешности отложения приращения координат.

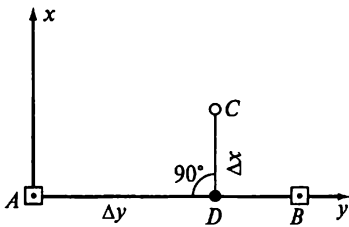


Рис. 16.6. Схема разбивки способом прямоугольных координат

Если по перпендикуляру откладывается ордината, то в формуле (16.21) величина  $\Delta x$  заменяется на  $\Delta y$ .

Из формулы (16.14) следует, что большее приращение необходимо откладывать по створу стороны сетки, а меньшее — по перпендикуляру. В этом случае влияние погрешности построения прямого угла будет меньшим.

Влияние погрешностей в положении исходных пунктов при условии  $m_A = m_B = m_{AB}$  определяется формулой

$$m_{исх}^2 = m_{AB}^2 \left[ 1 + \left( \frac{\Delta x}{b} \right)^2 + \left( \frac{\Delta y}{b} \right)^2 - \frac{\Delta y}{b} \right], \quad (16.22)$$

а погрешностей центрирования

$$m_{ц} = e^2 \left[ 1 + \left( \frac{\Delta x}{b} \right)^2 + \left( \frac{\Delta y}{b} \right)^2 - \frac{\Delta y}{b} \right], \quad (16.23)$$

где  $b$  — длина стороны строительной сетки.

При разбивке точки  $C$  по перпендикуляру от стороны абсцисс в формулах (16.22) и (16.23) в последнем члене вместо  $\Delta y$  следует принимать  $\Delta x$ .

Рассчитаем для примера точность выноса в натуру проектной точки  $C$ , расположенной в середине квадрата строительной сетки со стороной 200 м. Примем относительную погрешность отложения расстояния равной 1:10000,  $m_\beta = 10''$ ,  $m_{AB} = 10$  мм,  $e = 1$  мм,  $m_\phi = 1$  мм.

Поскольку точка  $C$  расположена в середине квадрата строительной сетки, то  $\Delta x = \Delta y = 100$  м. Для этого случая, мм:

$$m_{\Delta x} = m_{\Delta y} = \frac{100000}{10000} = 10; \quad m_{исх} = m_{AB} = 10;$$

$$m_{ц} = e = 1; \quad \frac{m_\beta}{\rho} \Delta x = \frac{10 \cdot 10000}{206000} = 5.$$

Подставив эти данные в формулу (16.21), получим, мм,

$$m_C = \sqrt{10^2 + 10^2 + 5^2 + 10^2} = 18.$$

Погрешности центрирования и фиксации можно не учитывать, так как они малы по сравнению с величинами других погрешностей.

### 16.7. Способ бокового нивелирования

Способ бокового нивелирования широко применяют для выноса осей при детальной разбивке и для установки строительных конструкций в проектное положение.

Сущность способа состоит в том, что по линии, параллельной основной оси  $AB$  (рис. 16.7), оптическим визированием, например теодолитом, задается створ  $A'B'$ . Точки  $A'$  и  $B'$  находят путем отложения некоторого расстояния  $l$  от точек  $A$  и  $B$  перпендикулярно линии  $AB$ . Расстояние  $l$  выбирают в пределах 1...2 м, исходя из удобства производства разбивочных работ. Положение оси конструкции определяют при помощи горизонтально устанавливаемой нивелирной рейки. При отсчете по рейке  $l$ , равному расстоянию параллельного створа  $A'B'$  от оси  $AB$ , пятка рейки определяет положение этой оси в данном месте.

Основными погрешностями бокового нивелирования являются: погрешность разбивки параллельного створа  $m_{\text{ств}}$ ;

центрирования оптического прибора и визирной цели при задании параллельного створа  $m_{\text{ц}}$ ;

установки рейки  $m_{\text{у}}$ ;

отсчета по рейке  $m_{\text{о}}$ .

Общая погрешность способа может быть подсчитана по формуле

$$m^2 = m_{\text{ств}}^2 + m_{\text{ц}}^2 + m_{\text{у}}^2 + m_{\text{о}}^2.$$

Погрешность разбивки параллельного створа складывается из погрешностей построения прямого угла и отложения расстояния  $l$ . Расчет их аналогичен полярному способу, используется формула (16.12).

Влияние погрешности центрирования можно подсчитать, как и в способе створной засечки, по формуле (16.17).

Погрешность установки рейки будет в основном зависеть от неперпендикулярности рейки к створу визирования. Эту погрешность можно вычислить так:

$$m_{\text{у}} = \frac{l\nu^2}{2\rho^2}, \quad (16.24)$$

где  $\nu$  — угол отклонения рейки от ее перпендикулярного положения.

Погрешность отсчета по рейке подсчитывают по формуле

$$m_{\text{о}} = 0,03t + 0,2 \frac{d}{\Gamma^x}, \quad (16.25)$$

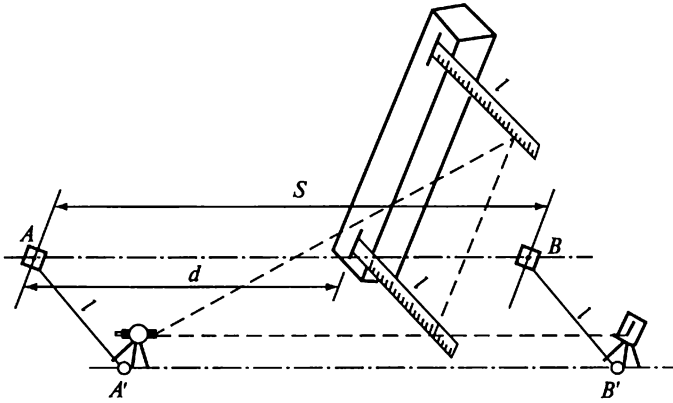


Рис. 16.7. Схема разбивки способом бокового нивелирования

где  $t$  — цена деления рейки;  $d$  — расстояние от прибора до рейки, м;  $\Gamma^x$  — увеличение зрительной трубы прибора.

Для примера определим погрешность способа бокового нивелирования при следующих данных:  $S = 100$  м;  $d = 50$  м;  $l = 2$  м;  $\nu = 2^\circ$ ;  $e = 1$  мм;  $t = 10$  мм;  $m_1 = 1$  мм;  $m_B = 30''$ ;  $\Gamma^x = 25$ .

В данном случае полярный способ применяется для двух точек. Тогда, используя частично формулу (16.12), будем иметь, мм,

$$m_{\text{ств}} = \sqrt{2 \left[ 1^2 + \left( \frac{30 \cdot 2000}{206000} \right)^2 \right]} = 1,5.$$

При  $d = \frac{S}{2}$  из формулы (16.17) получим, мм,

$$m_{\text{ц}} = e = 1.$$

По формуле (16.24) найдем, мм,

$$m_y = \frac{2000 \cdot 2^2}{2 \cdot (57 \cdot 3)^2} = 1,2.$$

По формуле (16.25) вычислим, мм,

$$m_o = 0,03 \cdot 10 + 0,2 \frac{100}{25} = 1,1.$$

Общую погрешность, мм, выразим так:

$$m = \sqrt{1,5^2 + 1,0^2 + 1,2^2 + 1,1^2} = 2,4.$$

Из расчета следует, что вынос в натуру точки способом бокового нивелирования для принятых исходных данных составляет 2,4 мм.

## Глава 17

### ОБЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ РАЗБИВОЧНЫХ РАБОТ

#### 17.1. Геодезическая подготовка проекта

Перед выносом в натуру проекта инженерного сооружения необходимо выполнить специальную геодезическую подготовку, которая предусматривает его аналитический расчет, геодезическую привязку проекта, составление разбивочных чертежей, разработку проекта производства геодезических работ.

Для выноса сооружения в натуру необходимо иметь на местности геодезические пункты с известными координатами. В этой же системе должны быть получены координаты основных точек сооружения, определяющих его геометрию. Координаты пунктов геодезической разбивочной основы определяют по результатам измерений, проводимых при ее создании. Координаты точек, принадлежащих сооружению, определяют графически или вычисляют аналитически. При этом используют основные чертежи проекта: генеральный план, определяющий состав и местоположение сооружения; рабочие чертежи, на которых в крупных масштабах показаны планы, разрезы, профили всех частей сооружения с размерами и высотами деталей; план организации рельефа; планы и профили дорог, подземных коммуникаций.

Весь комплекс геодезической подготовки проекта состоит из аналитического расчета элементов проекта. По значениям проектных размеров и углов находят в принятой системе проектные координаты основных точек сооружений, элементов планирования и благоустройства (осей проездов, коммуникаций, дорог и т. п.). Одновременно контролируют правильность нанесения размеров на чертежах.

Различают три способа геодезической подготовки проекта: аналитический, графо-аналитический и графический.

При аналитическом способе все данные для разбивки находят путем математических вычислений, причем координаты существующих зданий и сооружений определяют непосредственно геодезическими измерениями в натуре, а размеры элементов проекта задают, исходя из технологических расчетов. Этот способ применяют в основном при реконструкции и расширении предприятий, в стесненных условиях застройки.

Чаще применяют графо-аналитический способ, когда положение исходных точек определяют графически с топографи-

ческого плана, а остальных точек, жестко связанных с исходными, — аналитически. Например, для определения положения здания на местности по топографическому плану находят координаты одного из углов здания и дирекционное направление на другой угол. Далее по проектным размерам вычисляют координаты всех остальных углов здания.

Если проект сооружения не связан с существующими строениями, то иногда применяют графический способ проектирования, при котором все планировочные элементы определяются графически по топографическому плану. Расчет проекта производят по графическим координатам всех его главных точек. Чтобы уменьшить влияние деформации планов, до определения графических координат измеряют действительные размеры квадратов координатной сетки. Для крупномасштабных планов они должны быть равны 100 мм. При отклонении сторон квадрата на величину, не превышающую 0,2 мм, координаты определяют следующим образом. Через определяемую точку  $i$  проводят прямые, параллельные осям координат. Измеряют расстояния  $a$  и  $b$  соответственно от южной и северной сторон квадрата координатной сетки до определяемой точки,  $a_1$  и  $b_1$  — от западной и восточной сторон. Координаты точки вычисляют по следующим формулам:

$$x_i = x_0 + \frac{100}{a+b} a; \quad y_i = y_0 + \frac{100}{a_1+b_1} a_1,$$

где  $x_0$  и  $y_0$  — координаты юго-западного угла квадрата координатной сетки.

Для выноса проекта в натуре независимо от способа проектирования все его геометрические элементы должны быть строго математически увязаны между собой и с имеющимися на площадке капитальными зданиями и сооружениями. Это необходимо для устранения влияния на точность разбивочных работ погрешностей в принятых для проектирования исходных данных (координатах, вышотах, длинах линий), особенно взятых графически с плана.

При аналитическом расчете проекта решается ряд типовых геодезических задач. Наиболее распространенными являются прямая и обратная геодезические задачи.

Если точка  $i$  сооружения расположена на известных расстояниях  $S_i$  по направлению дирекционного угла  $\alpha_i$  от исходной точки  $A$  с координатами  $x_A$  и  $y_A$ , то координаты точки  $i$  определяют так:

$$x_i = x_A + S_i \cos \alpha_i; \quad y_i = y_A + S_i \sin \alpha_i.$$

Для заданного прямолинейного отрезка с координатами концевых точек  $x_A$ ,  $y_A$  и  $x_B$ ,  $y_B$  дирекционный угол  $\alpha_{AB}$  и длину  $S$  вычисляют по формулам

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \alpha_{AB} &= \frac{y_B - y_A}{x_B - x_A}; \quad S = \frac{y_B - y_A}{\sin \alpha} = \frac{x_B - x_A}{\cos \alpha} = \\ &= \sqrt{(y_B - y_A)^2 + (x_B - x_A)^2}. \end{aligned} \quad (17.1)$$

Часто возникает необходимость определить координаты  $x_0$  и  $y_0$  точки пересечения двух прямолинейных отрезков  $AB$  и  $CD$ , заданных координатами  $x_A, y_A; x_B, y_B; x_C, y_C; x_D, y_D$ . Для этого используют формулы

$$x_0 = x_A + \frac{m}{\lambda - \mu}; \quad y_0 = y_A + \lambda \frac{m}{\lambda - \mu},$$

где

$$\lambda = \frac{y_B - y_A}{x_B - x_A} = \operatorname{tg} \alpha_{AB}; \quad \mu = \frac{y_D - y_C}{x_D - x_C} = \operatorname{tg} \alpha_{CD}; \quad m = (y_C - y_A) - \mu(x_C - x_A).$$

Угол между двумя прямыми  $AB$  и  $CD$ , заданными координатами концов, определяется как разность дирекционных углов  $\alpha$  этих линий:

$$\beta = \alpha_{AB} - \alpha_{CD},$$

где  $\alpha_{AB}$  и  $\alpha_{CD}$  определяют, используя формулы (17.1).

Координаты точки  $K$  пересечения прямой  $AB$  и круговой кривой радиуса  $R$  вычисляют следующим образом. Если известны координаты точек  $A, B$  и центра  $O$  кривой, то по формулам (17.1) находят дирекционные углы  $\alpha_{AO}, \alpha_{AB}$  и длину  $S_{AO}$ . Сторону  $S_{AK}$  вычисляют по следующей формуле:

$$S_{AK} = R \frac{\sin \gamma}{\sin (\alpha_{AB} - \alpha_{AO})},$$

где  $\gamma = 180^\circ - \arcsin \left[ \frac{S_{AB}}{R} \sin (\alpha_{AB} - \alpha_{AO}) \right] - (\alpha_{AB} - \alpha_{AO})$ .

Используя координаты точки  $A$ , длину  $S_{AK}$  и дирекционный угол  $\alpha_{AK} = \alpha_{AB}$ , определяют координаты точки  $K$ .

Кроме приведенных решают задачи: по определению уравнений линий, параллельных и перпендикулярных заданным; координат центров круговых сооружений; главных элементов и координат характерных точек кривых.

При геодезической подготовке проекта выполняют его привязку.

*Привязкой проекта* называют расчеты геодезических данных (разбивочных элементов), по которым выносят его в натуру от пунктов разбивочной геодезической основы или опорных капи-

тальных строений. Разбивочными элементами служат расстояния, углы и превышения, выбор и расчет которых зависят от принятого способа разбивки.

Результаты геодезической подготовки проекта отображают на разбивочных чертежах. Разбивочный чертеж является основным документом, по которому в натуре выполняются разбивочные работы.

Его составляют в масштабах 1:500...1:2000, а иногда и крупнее в зависимости от сложности сооружения или его элементов, которые выносятся в натуру. На разбивочном чертеже показывают: контуры выносимых зданий и сооружений; их размеры и расположение осей; пункты разбивочной основы, от которых производится разбивка; разбивочные элементы, значения которых подписываются прямо на чертеже. Иногда на разбивочном чертеже указывают значения координат исходных пунктов в принятой системе, длины и дирекционные углы исходных сторон, отметки исходных реперов и другие данные, использовавшиеся для геодезической подготовки проекта. Эти данные могут служить и для контроля в процессе разбивки и после ее завершения.

Для обеспечения точности и своевременности выполнения геодезических работ на строительной площадке составляют специальный проект. В проекте производства геодезических работ, который является составной частью общестроительного проекта, рассматриваются: построение исходной разбивочной основы; организация и выполнение разбивочных работ, исполнительных съемок; применение соответствующих приборов для обеспечения требуемой точности измерений и другие вопросы, зависящие от конкретного объекта и условий его строительства.

## **17.2. Основные разбивочные работы**

*Основными* чаще всего называют разбивочные работы по выносу в натуру главных и основных осей, так как именно они определяют положение зданий и сооружений на местности. Кроме того, это понятие может включать в себя разбивку точек пересечения промежуточных осей с главными и основными осями.

Независимо от вида сооружения и условий производства работ существуют некоторые общие принципы разбивки главных и основных осей. Прежде всего на местности необходимо иметь исходную разбивочную систему. Это, например, пункты разбивочной основы, закрепленные линии регулирования застройки (оси проездов, границы кварталов и т. п.), углы капитальных зданий и сооружений, а в отдельных случаях и четко определяемые контуры местности. В проекте или на чертежах аналитической подготовки проекта должны быть указаны привязки выносимых в натуру осей к точкам исходной разбивочной основы. Для вычисления значе-



ний разбивочных элементов фактические координаты исходных точек и проектные координаты точек, выносимых в натуру, должны быть определены в одной системе. Если они различаются, то производят перевычисление координат из одной системы в другую по формулам

$$x'_i = (x_i - x_0) \cos \alpha - (y_i - y_0) \sin \alpha;$$

$$y'_i = (x_i - x_0) \sin \alpha + (y_i - y_0) \cos \alpha,$$

где  $x_i$  и  $x'_i$  — координаты точки  $i$  в различных плоских прямоугольных системах;  $x_0$  и  $y_0$  — координаты начала новой системы с осями  $x'$ ,  $y'$  в системе существующей с осями  $x$ ,  $y$ ;  $\alpha$  — угол поворота одной системы относительно другой.

При различных поверхностях относимости, например для государственной и условной строительных систем, приведенные формулы несколько усложняются за счет разных масштабов этих систем.

Выбор способов разбивки зависит в основном от вида сооружения и условий его возведения, схемы построения разбивочной основы, наличия приборов у исполнителя и требуемой точности выполнения разбивочных работ.

При наличии на площадке строительной сетки для сравнительно несложных по геометрии цеховых зданий обычно выносят габаритные (основные) оси способом прямоугольных координат. Так, например, положение точек здания А/1 и А/11 (рис. 17.1) определяют от ближайших пунктов сетки 17 и 18 по вычисленным при-

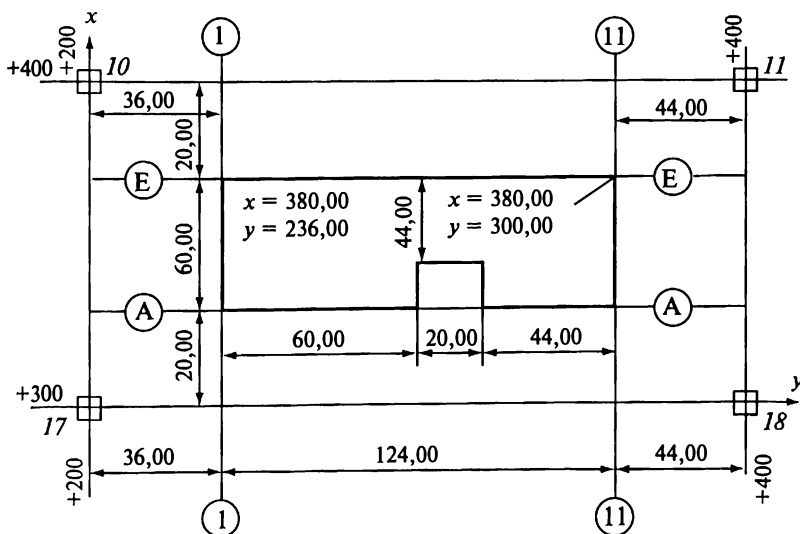


Рис. 17.1. Схема разбивки основных осей здания от пунктов строительной сетки

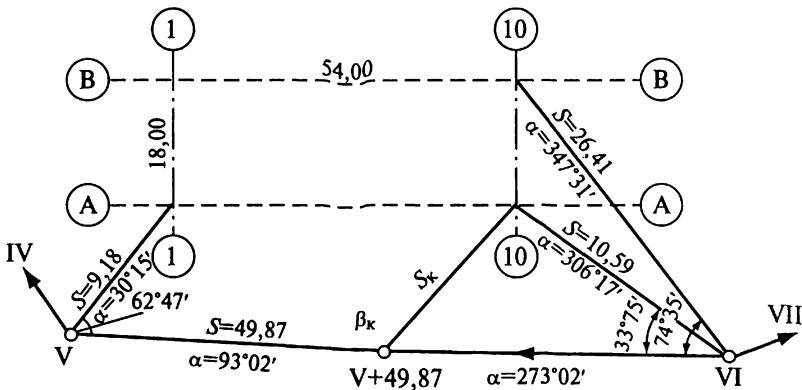


Рис. 17.2. Схема разбивки основных осей здания с точек полигонометрических или теодолитных ходов

ращением абсцисс и ординат. От пунктов *10* и *11* аналогичным образом определяют положение точек *Е/1* и *Е/11*. После закрепления вынесенных точек устанавливают на каждой из них теодолит и проверяют взаимную перпендикулярность осей. Кроме того, проверяют соответствие расстояний между осями проектным значениям. Следует иметь в виду, что взаимная перпендикулярность основных осей является одним из главных требований, предъявляемых к их разбивке. Перекос этих осей может в дальнейшем привести к перекосу всех остальных осей сооружения, так как основные оси служат исходными для детальной разбивки.

Для разбивки основных осей гражданских зданий с точек полигонометрических или теодолитных ходов чаще всего применяют способы полярных координат, угловых и линейных засечек, а также створно-линейный способ. Точка пересечения осей *А/1* выносят от точки *V* теодолитного хода путем отложения полярного угла и полярного расстояния (рис. 17.2). Аналогично с точки *VI* теодолитного хода выносят точки *А/10* и *В/10*. Можно было бы ограничиться выносом лишь двух точек длинной оси *А* здания, а две остальные точки найти путем построений прямых углов и соответствующих расстояний. Однако третью точку пересечения осей определяют для исключения разворота здания. Часто выносят и четвертую точку, контролируя выполненную разбивку путем измерения прямых углов и длин сторон по зданию. Также для контроля положения вынесенных точек выполняют независимые (отличные от основной разбивки) измерения. В приведенном примере на створе теодолитного хода намечают вспомогательную точку  $V + 49,87$ , измеряют на ней контрольный полярный угол  $\beta_k$  и контрольное полярное расстояние  $S_k$ . По полученным значениям вычисляют координаты точки *А/10* и сравнивают их с проектны-

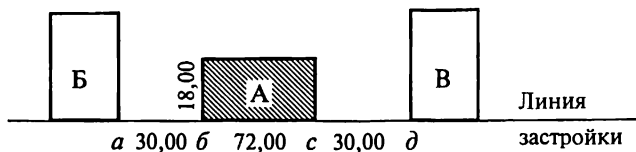


Рис. 17.3. Графический способ определения размещения здания для разбивки:  
 $a...д$  — углы зданий

ми. Такие определения производят не менее чем для трех точек пересечения осей здания.

Если на местности закреплены пункты, определяющие положение линий регулирования застройки, то разбивка с них выполняется так же, как с точек теодолитных или полигонометрических ходов, имея в виду, что координаты этих пунктов известны.

Размещение новых зданий и сооружений среди существующей застройки иногда производят графически по топографическому плану крупного масштаба (1:500...1:1000), а их разбивку — от существующих зданий по данным, полученным также графически. Например, чтобы разместить здание А (рис. 17.3) по линии застройки между зданиями Б и В, находят по плану расстояния между соответствующими углами этих зданий и выносимыми в натуре углами здания А. Так как в этом случае все размеры берутся с плана, то при разбивке в натуре расстояние между углами  $a$  и  $д$  существующих зданий окажется не равным проектному, т.е. появится невязка. Поскольку размер выносимого в натуре здания А должен в точности соответствовать проектному, то полученную невязку поровну распределяют на промежутки  $a...б$  и  $с...д$  между зданиями. В этом случае несколько изменятся проектные размеры планировочных элементов (внутренних проездов, газонов и т. п.) между зданиями, но это вполне допустимо.

Вынос в натуре сравнительно протяженной линии — часто встречающийся случай в практике разбивочных работ. Это и главная ось линейного сооружения (плотины, моста, взлетно-посадочной полосы аэропорта и др.), и исходное направление для построения строительной сетки, и базис для последующих разбивочных работ. Для этого случая разбивки чаще всего применяют полярный способ, а также способы прямой угловой и линейной засечек. Приведем пример выноса в натуре оси  $A—B$  линейного сооружения (рис. 17.4). Точка  $A$  выносится от ближайших пунктов геодезического обоснования полярным способом, а точка  $B$  — прямой угловой засечкой. Если между точками  $A$  и  $B$  нет прямой видимости, то дополнительно выносят промежуточные точки, например точку  $C$ . При наличии вблизи промежуточной точки пунктов геодезического обоснования она выносится аналогично основным точкам с проверкой ее положения по створу. Положе-

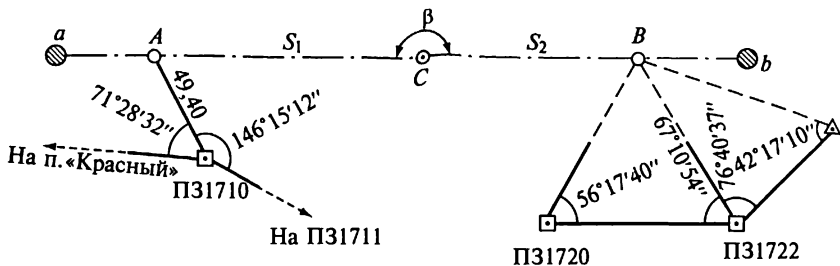


Рис. 17.4. Схема выноса в натуре оси линейного сооружения

ние промежуточной точки  $C$  на створе  $A—B$  может быть найдено и иным способом. Первоначально ее положение на створе определяют приближенно. Затем на этой точке при помощи теодолита измеряют угол  $\beta$ . Величину нестворности  $q$ , на которую необходимо переместить точку  $C$ , чтобы она находилась на створе  $A—B$ , можно вычислить по формуле

$$q = \frac{S_1 S_2 (180^\circ - \beta)}{(S_1 + S_2) \rho},$$

где  $S_1$  и  $S_2$  — расстояния от точки  $C$  до пунктов  $A$  и  $B$  соответственно. Расстояния  $S_1$  и  $S_2$  определяют приближенно, например, по генеральному плану.

Для контроля вновь измеряют угол  $\beta$ . В случае недопустимого отклонения этого угла от  $180^\circ$  вновь вычисляют нестворность и вновь редуцируют.

Главные и основные оси сооружений служат исходными для последующей детальной разбивки. Схема детальной разбивки зависит от вида сооружения и его компоновки, условий выполнения разбивочных работ и принятого способа разбивки. При всем многообразии детальных разбивочных схем можно выделить типовую схему, характерную для строительства гражданских и промышленных зданий и сооружений. Это определение положения точек пересечения промежуточных осей с главными или основными. Разбивку выполняют, как правило, створно-линейным способом.

Предположим, что в натуре вынесены и закреплены основные оси  $A—A$ ,  $B—B$ ,  $1—1$  и  $8—8$  (рис. 17.5). Для определения положения точек пересечения осей  $2, \dots, 7$  с осями  $A—A$  и  $B—B$  теодолитом задают створы  $A—A$  и  $B—B$ . От точек  $A/1$  и  $B/1$  вдоль соответствующих створов откладывают проектные расстояния  $6,00$ ;  $12,00$  м и т. д. Таким образом получают искомые точки.

Аналогично находят положение точек  $B/1$  по створу оси  $1—1$  и  $B/8$  по створу оси  $8—8$ . Створы промежуточных осей выносят за зону будущих земляных работ и закрепляют.

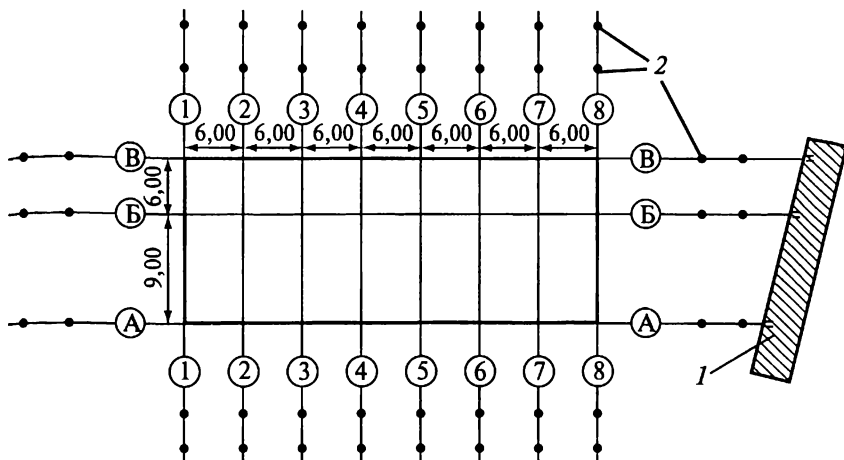


Рис. 17.5. Схема детальной разбивки осей:  
1 — цветные откраски на зданиях; 2 — створные знаки

На выполненную работу по разбивке осей составляется специальный акт, к которому прилагается исполнительный чертеж разбивки и закрепления осей.

### 17.3. Закрепление осей сооружений

Для закрепления и удобства использования в процессе строительства оси выносят на обноску. Обноска представляет собой доску, закрепленную горизонтально на столбах на высоте 400...600 мм от земли. Применяют также инвентарную металлическую обноску. Оси на деревянной обноске фиксируют гвоздем, на металлической — специальным передвижным хомутом с прорезью. Известны два вида обnosки: сплошная и створная.

С п л о ш н у ю обноску устанавливают строго параллельно основным осям, образующим внешний контур здания, на расстоянии, обеспечивающем неизменность ее положения в процессе строительства. Сплошная обноска должна быть прямолинейной, чтобы можно было откладывать по створу проектные расстояния для разбивки промежуточных осей, и горизонтальной, чтобы откладывать эти расстояния без введения поправок за наклон. Сплошную обноску применяют довольно редко из-за громоздкости и сложности ее построения. Кроме того, она мешает нормальной организации работ на строительной площадке, особенно применению землеройных машин.

С т в о р н а я обноска при современной организации строительной площадки является более рациональной. Она устанавливается

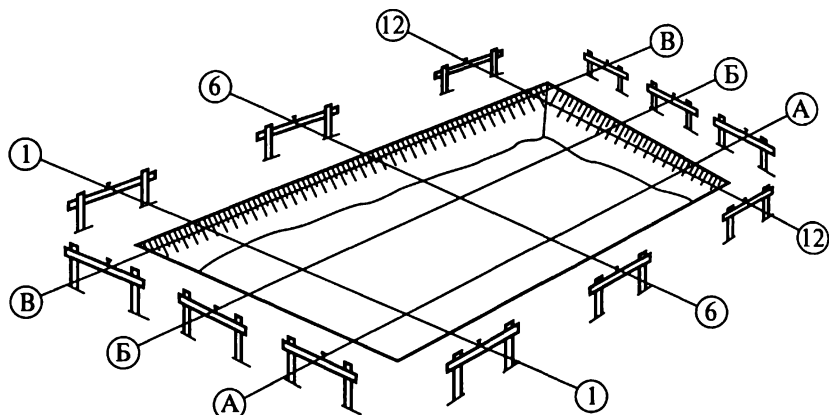


Рис. 17.6. Створная обноска для закрепления осей здания

ишь в местах закрепления осей (рис. 17.6) на произвольном расстоянии от контура здания.

Помимо обноски, вынесенные в натуру оси закрепляют постоянными и временными знаками. Постоянными знаками обычно закрепляют главные и основные оси. Места закрепления осей постоянными знаками выбирают на генеральном плане с учетом долговременной их сохранности, а также обеспечения беспрепятственного ведения строительного-монтажных работ. Эти места должны быть удобными для установки над знаком геодезических приборов и выполнения измерений. Знаки устанавливают вне зоны земляных работ в местах размещения временных сооружений, свободных от складирования строительных материалов, и т.п.

Выбор конструкции знаков зависит от условий строительной площадки, наличия строительных материалов и применяемых методов разбивочных работ.

Конструкции постоянных знаков могут быть различными. Наиболее часто для закрепления осей применяют грунтовые постоянные знаки, в качестве которых используют обрезки металлических труб или рельсов, к нижней части которых приваривают металлические якоря для закрепления в бетонном монолите. К верхней части знака приваривают квадратную металлическую пластину, на которой с помощью керн отмечают положение точки закрепления оси. Реперные трубы или рельсы устанавливают в скважине, пробуренной на глубину не менее 0,5 м ниже глубины промерзания грунта. После установки знака скважину бетонируют. Грунтовые знаки закрепления осей ограждают деревянной или металлической обноской. Обноска делается квадратной или треугольной со стороной 1,5...2,0 м. В качестве постоянных знаков используют также забетонированные деревянные столбы.

Для временных знаков используют деревянные колья, костыли, металлические штыри и трубки.

В сочетании с грунтовыми знаками для закрепления створов осей широко применяют цветные откраски 1 (см. рис. 17.5) на постоянных и временных зданиях или сооружениях. Откраски представляют собой цветные риски, наносимые яркой несмываемой краской.

Для быстрого восстановления осей на продолжении их створов 2 закрепляют по два знака с каждой стороны здания. Один из знаков обычно располагают под обноской.

Высотную разбивочную основу на строительной площадке также закрепляют постоянными и временными знаками. Условия закрепления реперов и требования, предъявляемые к их сохранности, удобству использования, те же, что и к знакам закрепления осей.

Постоянные реперы могут быть как грунтовыми, закладываемыми ниже глубины промерзания, так и стенными, закрепляемыми в капитальных стенах и цокольных частях близлежащих зданий.

В условиях массовой застройки, где опорные реперы необходимы только в период строительства, широко применяют временные реперы различных конструкций. Используют также откраски на возводимых строительных элементах и временных сооружениях. Часто строительные реперы совмещают со знаками закрепления основных разбивочных осей.

Отметки строительных реперов определяют от реперов государственной или городской нивелирной сети.

## Глава 18

### ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ПРИ ПЛАНИРОВКЕ И ЗАСТРОЙКЕ ГОРОДОВ

#### 18.1. Планировка и проектирование городской территории

Городская территория формируется из функциональных зон, определяющих ее планировочную структуру и архитектурный облик. Выделяются следующие городские зоны:

селитебная — для размещения жилых районов, общественных центров (административных, научных, учебных, медицинских, спортивных и др.), зеленых насаждений общего пользования (скверов, парков и т. п.);

промышленная — для размещения промышленных предприятий и связанных с ними объектов;

коммунально-складская — для размещения баз и складов, гаражей, трамвайных депо, троллейбусных и автобусных парков и т. п.;

внешнего транспорта — для размещения транспортных устройств и сооружений пассажирских и грузовых станций, портов, пристаней и др.

На территориях сельских населенных пунктов выделяют селитебную и производственную зоны.

На территориях, прилегающих к городам, предусматривают организацию пригородных зон, предназначенных в качестве резервов последующего развития города и для размещения объектов хозяйственного обслуживания, а также зеленых зон для отдыха населения и улучшения микроклимата города.

Основным планировочным элементом селитебной зоны является микрорайон, ограниченный красными линиями магистральных и жилых улиц. *Красными линиями* называют границы между всеми видами улиц (проездов) и основными градообразующими элементами: зонами жилой застройки и водных бассейнов, промышленной, зеленой, технической зонами. Здания вдоль улиц размещают по линии застройки, которая отступает от красной линии в глубь территории микрорайона не менее чем на 6 м на магистральных улицах и на 3 м — на жилых зонах.

Планировка и застройка города осуществляются на основе специальных проектных документов, в составлении которых и реализации их решений геодезисты принимают непосредственное участие.

Основным градостроительным документом является *генеральный план города*, в котором на основе установок народно-хозяйственных планов, социального и научно-технического прогресса определяются на 25...30 лет перспективы развития города; комплексное решение всех его функциональных элементов, жилой и промышленной застройки, сетей общественного обслуживания, благоустройства и городского транспорта.

Генеральный план города включает в себя:

- основной чертеж генерального плана;
- план существующего города (так называемый опорный план по состоянию на год выпуска генерального плана);
- материалы, характеризующие идею архитектурно-пространственной композиции;
- схемы, определяющие природные условия, инженерное оборудование и подготовку территории;
- схемы городского и внешнего транспорта;
- схемы размещения учреждений и предприятий культурно-бытового обслуживания;
- проект размещения первоочередного строительства;
- пояснительную записку.

Генеральный план города с численностью населения более 500 тыс. чел. выполняется на топографическом плане в масштабе 1:10000, для остальных городов — в масштабах 1:5000...1:2000.



Генеральный план города является основой для разработки проекта детальной планировки и эскизов застройки; проектов планировки городских промышленных районов, инженерного оборудования, городского транспорта, благоустройства, озеленения и др.

*Проекты детальной планировки и эскизы застройки* разрабатываются на отдельные части селитебной территории: жилые районы и микрорайоны, общегородские центры, общественные комплексы, подлежащие застройке, реконструкции или благоустройству в ближайшие 3...5 лет в соответствии с проектами первоочередного строительства.

Проект детальной планировки выполняется в составе:  
схемы размещения проектируемого района в системе города;  
плана красных линий и эскиза застройки;  
разбивочного чертежа красных линий;  
схемы инженерной подготовки территории и организации рельефа по осям городских проездов в точках пересечения и наиболее характерных переломах рельефа местности;  
схемы размещения общегородских инженерных сетей;  
схемы организации движения транспорта и пешеходов;  
поперечных профилей улиц.

*План красных линий и эскиз застройки* выполняются на топографическом плане в масштабах 1:500...1:2000, на котором показываются:

существующая застройка всех видов;  
проектируемая сеть улиц, проездов, пешеходных аллей и зеленых насаждений;  
размещение проектируемых жилых и общественных зданий и сооружений;  
красные линии и проектные элементы поперечного профиля улиц и проездов.

*Разбивочный чертеж* с привязками красных линий к опорным зданиям, сооружениям и геодезическим пунктам, закрепленными на местности, координатами характерных точек красных линий выполняется на копии плана красных линий и эскиза застройки.

*Схема инженерной подготовки территории и организации рельефа* выполняется на копии плана красных линий. На схеме показываются: проектные и фактические отметки по осям проездов в углах микрорайонов, в местах излома красных линий и рельефа местности, решения по инженерной подготовке (схема водоотвода, участки подсыпки или срезки грунта, защитные сооружения, дренажи).

*Поперечные профили улиц* выполняются в масштабах 1:100...1:200 с показом существующих профилей; проектных решений с выделением проезжей части, тротуаров, полос зеленых насаждений, Трамвайных путей, наземных и подземных инженерных сетей.

*Проекты застройки* разрабатываются, как правило, на основе проекта детальной планировки и эскиза застройки на жилой микрорайон, квартал или группу жилых домов, а также на застройку общественного комплекса.

Проект застройки разрабатывается в две стадии: проект и рабочая документация или в одну стадию: рабочий проект, т. е. проект, совмещенный с рабочими чертежами.

*Проект* содержит: ситуационный план размещения строительства; генеральный план застройки; макет застройки; чертеж организации рельефа, инженерных сетей, озеленения территории; паспорта типовых и чертежи индивидуальных проектов зданий; проект организации строительства; сводный сметно-финансовый расчет.

Все материалы проекта выполняются в масштабах 1:500... 1:1000, ситуационный план — в масштабах 1:2000... 1:5000.

*Рабочая документация* разрабатывается на основе утвержденного проекта в составе:

генерального плана участка застройки в масштабах 1:500... 1:1000;

разбивочного чертежа в масштабах 1:500... 1:1000 с показом привязок размещения зданий и сооружений;

чертежей принятых к строительству зданий и сооружений; чертежей по организации рельефа территории в масштабах 1:500... 1:1000 с показом проектных горизонталей, отметок и уклонов, картограммы земляных работ;

чертежей по водоснабжению, канализации, теплофикации, электроснабжению, газоснабжению, слаботочным устройствам в масштабе 1:500;

посадочно-дендрологического чертежа в масштабе 1:500;

смет на строительство.

*Проект планировки городского промышленного района* разрабатывается на основе генерального плана города с учетом развития существующих и строительства новых предприятий.

Проект планировки городского промышленного района выполняется в составе:

основного чертежа планировки промышленного района в масштабе 1:2000;

схемы размещения района в плане города в масштабе 1:5000 или 1:10 000;

схемы размещения инженерных сетей, организации рельефа и инженерной подготовки территории в масштабе 1:2000;

поперечных профилей магистралей, улиц и местных проездов в масштабах 1:100... 1:200;

пояснительной записки.

Для городов численностью населения 250 тыс. чел. и более, а также городов-курортов разрабатывается *проект планировки при-*

*городной зоны.* Для городов с численностью населения менее 250 тыс. чел. и поселков городского типа в составе генерального плана выполняется *схема планировки прилегающего к городу района.*

Архитектурно-проектные решения для строительства жилищно-гражданских зданий принимаются на основе материалов строительного паспорта.

*Строительный паспорт* (паспорт земельного участка) является комплексным документом, обеспечивающим удобства пользования материалами инженерно-строительных изысканий при согласовании, проектировании и строительстве. Паспорт содержит: общую часть, акт об отводе границ участка строительства, архитектурно-планировочное задание, инженерно-геологическую характеристику участка, условия присоединения проектируемых зданий и сооружений к городским инженерным сетям, описание строений и зеленых насаждений, находящихся на участке. Основу большинства документов строительного паспорта составляет топографический план, обычно масштаба 1:500.

## **18.2. Составление и расчеты проекта красных линий**

Красные линии состоят из прямых линий и сопряженных круговых кривых.

Проект красных линий составляют на топографическом плане в масштабах 1:500... 1:2000. К элементам, определяющим техническое содержание проекта, относят: длину красных линий между углами кварталов или границами микрорайонов, ширину проездов, величину углов между красными линиями, радиусы закругления и элементы кривых по красным линиям, размеры, определяющие формы площадей и скверов и т. п.

Размеры геометрических элементов проекта должны быть согласованы на всей территории города и увязаны с существующей ситуацией и рельефом. Это достигается в результате графического отображения на топографическом плане и последующего аналитического расчета проекта красных линий.

Соответствующая архитектурно-планировочная служба при главном архитекторе города разрабатывает акт установления или изменения красных линий. Для его проработки используют топографические планы масштаба 1:5000 и мельче. Составляют чертеж на топографическом плане масштаба 1:2000, а отдельные узлы — 1:500. На чертеже приводится расположение красных линий, указываются опорные здания, размеры геометрических элементов и другие данные, необходимые для аналитической подготовки и составления плана красных линий.

Аналитическая подготовка заключается: в вычислении координат углов кварталов и границ микрорайонов по красным линиям, точек излома красных линий и створных точек на длинных

линиях, точек пересечения осей проездов, а также элементов и координат основных точек круговых кривых по красным линиям в единой городской системе координат.

Исходными для аналитической подготовки служат координаты углов опорных зданий и сооружений, определяемые в натуре от пунктов городского геодезического обоснования, или координаты точек ранее утвержденных красных линий.

В качестве обоснования используют теодолитные ходы, опирающиеся на пункты полигонометрии. Положение углов опорных зданий для вычисления их координат определяют с точек или линий этих ходов в основном полярным способом или способом засечек.

В незастроенных частях городских территорий используют координаты характерных точек ситуации и рельефа, взятые с оригинала плана графически. При этом для увеличения точности определения графических координат и уменьшения погрешностей деформации бумаги расстояние от координатной сетки до определяемой точки измеряют по плану от двух сторон квадрата, внутри которого расположена точка. Из двух измерений берут среднее значение.

Координаты точек красных линий вычисляют путем решения задач аналитической геометрии, используя значение углов между осями проездов и линейные размеры, указанные в чертеже красных линий. В результате получают координаты точек пересечения проездов, затем координаты характерных точек красных линий и других элементов, необходимых для построения плана и перенесения проекта красных линий в натуру.

По вычисленным координатам красные линии наносят на план масштаба 1 : 2000. План красных линий в масштабе 1 : 2000 является основным исходным документом, на который выписывают: номера поворотных и створных точек красных линий, значения их координат; дирекционные углы и длины линий; элементы кривых, ширину и номера проектируемых проездов; названия проектируемых зон и других градостроительных элементов; номера дел аналитических расчетов, по которым произведена прокладка красных линий. Потребителю выдается план красных линий в масштабе, необходимом для проектирования (обычно 1 : 500 ... 1 : 2000).

### **18.3. Вынесение в натуру и закрепление красных линий, осей проездов, зданий и сооружений**

Красные линии и оси проездов переносят в натуру от пунктов существующего или специально создаваемого для этой цели геодезического обоснования города.

Погрешности выноса отдельных точек красных линий и осей проездов по отношению к точкам геодезического обоснования не должны превышать:

5 см — в районах многоэтажной застройки;

8 см — в районах малоэтажной застройки;

10 см — на незастроенных территориях.

Переносу проекта красных линий на местность предшествуют подготовительные работы.

В первую очередь проверяют и уточняют соответствие красных линий утвержденному плану планировки.

Проверяют и уточняют (путем обследования) пункты геодезического обоснования, от которых предполагается вынос красных линий. Если в районе предстоящих работ геодезическое обоснование отсутствует или имеющиеся пункты не обеспечивают вынос красных линий, то составляют и реализуют проект сгущения существующей геодезической основы в виде полигонометрических и теодолитных ходов или других соответствующих им по точности построений.

Составляют геодезический проект детальной разбивки красных линий и осей проездов в натуре. На этом этапе в зависимости от условий местности и расположения точек геодезического обоснования определяют способ разбивки. В основном применяют полярный способ и способы засечек. Наиболее распространен полярный способ.

Для выбранного способа вычисляют разбивочные элементы: длины полярных направлений и линейных засечек, дирекционные углы и углы между направлениями, используя в основном следующие формулы обратной геодезической задачи:

$$\operatorname{tg} \alpha_{1-2} = \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1}; \quad l_{1-2} = \sqrt{(X_2 - X_1)^2 + (Y_2 - Y_1)^2}.$$

По результатам вычислений составляют в произвольном масштабе рабочий разбивочный чертеж (рис. 18.1), на котором изображают схему разбивки и подписывают необходимые значения разбивочных элементов и контрольные размеры.

Полевые измерения проводят с помощью теодолита и стальной компарированной рулетки. Углы откладывают при двух положениях вертикального круга. При отложении длины линии учитывают поправки за компарирование, температуру и наклон местности.

Для упрощения работ по перенесению в натуру проекта красных линий иногда первоначально выносят оси проектируемых и существующих проездов, а уже от них — красные линии. Часто с учетом будущих работ по застройке и подземным коммуникациям выносят параллельные смещенные оси.

Вынос в натуру красной линии по круговой кривой осуществляют способом прямоугольных координат от линии тангенсов или от хорд, полярным способом и способом последовательных или продолженных хорд. Частота точек, определяющих кривую,

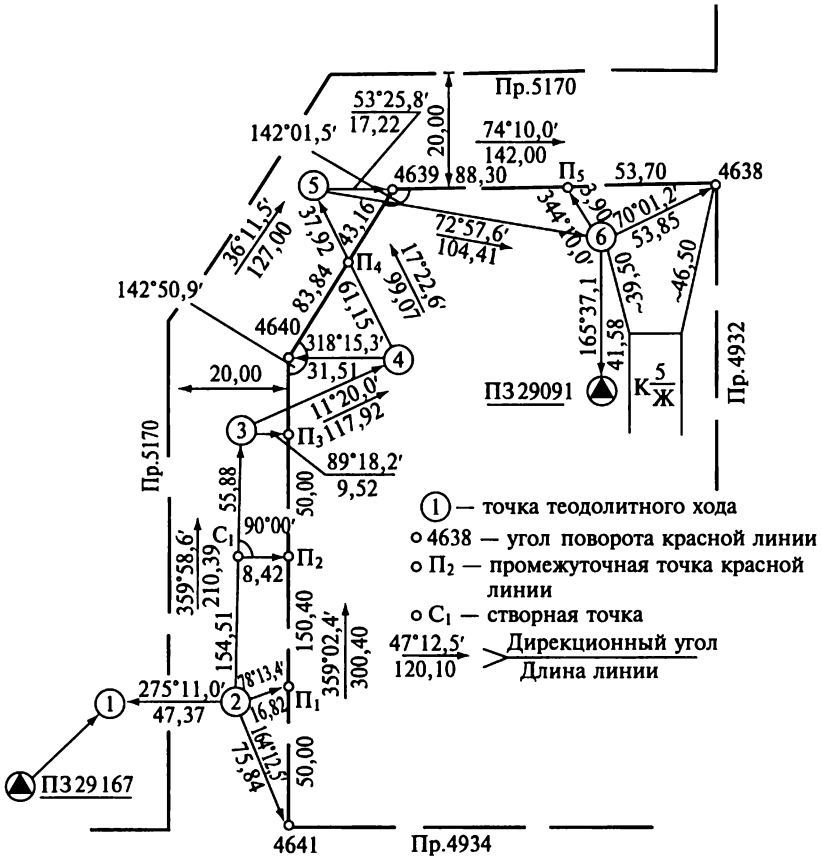


Рис. 18.1. Разбивочный чертеж красных линий

ависит от характеристики местности, величины радиуса, требований строительных работ и в большинстве случаев составляет 10 м.

Точки красной линии и оси проезда закрепляют в натуре временными знаками: деревянными кольями, костылями, металлическими штырями и трубками. Установку штырей и трубок в землю производят на бетоне. На застроенной территории помимо закрепления знаками производят откраску красной линии или оси проезда на строениях и других предметах местности, с которыми линии пересекаются. Откраску выносят по теодолиту. На незастроенной территории знаки закрепления окапываются.

Для отыскания знаков закрепления красных линий и осей проездов производят их линейную привязку к постоянным местным предметам. Схема привязки указывается в абрисе.

Для контроля по точкам вынесенных в натуре красных линий и осей проездов прокладывают исполнительные ходы. Если испол-

нительный ход может быть проложен лишь вблизи вынесенных точек, то их положение определяют полярным способом с точек, с которых не производилась разбивка. Сравнение проектных и полученных из исполнительных ходов координат характеризует точность выноса. Грубые промахи могут быть обнаружены при оценивании положения вынесенных точек относительно ситуации на плане и в натуре.

После контрольных измерений составляют исполнительный чертеж перенесения в натуру красных линий, на котором показывают: пункты исходного обоснования, положение вынесенных точек красных линий, размеры между ними, привязки их к местным предметам.

Исходными документами для перенесения в натуру осей зданий и сооружений являются:

утвержденный к производству работ генеральный план строительного участка с привязкой осей проектируемого сооружения к красным линиям;

разбивочный план осей;

план первого этажа.

Проверка взаимного соответствия указанных документов является обязательным условием подготовки геодезических разбивочных работ по выносу в натуру осей зданий и сооружений.

Как уже отмечалось, вынос в натуру осей зданий осуществляется для посадки его на местность и производства строительно-монтажных работ. В первом случае решается задача определения положения здания относительно близлежащих контуров и сторон света, во втором — определяется взаимное положение строительных конструкций. Исходя из этого и принятой поэтапной технологии строительства, разбивка осей здания производится в два этапа: вначале выносят на местность основные оси, определяющие контур (габаритные размеры) здания, затем от них производят детальную разбивку. Если здание имеет сложную конфигурацию, то выносят в натуру оси симметрии (главные оси) здания или отдельных его частей. В этом случае последующую детальную разбивку осуществляют от вынесенных главных осей.

Разбивки основных (главных) и детальных осей различаются по точности. Если погрешности положения контура здания по отношению к окружающей ситуации в основном определяются графической точностью проектирования и характеризуются средней квадратической величиной 10...20 см, то погрешности детальной разбивки определяются строительными допусками и в зависимости от класса точности характеризуются относительными средними квадратическими величинами 1:5000...1:20000. Требования к точности детальной разбивки осей приводятся в СНиПах и ГОСТах.

Основные или главные оси выносят в натуру от пунктов городского геодезического обоснования. В качестве исходного обоснования

вания используют пункты городской триангуляции и полигонометрии, от которых в районе предстоящих работ создают разбивочную основу.

При разбивке небольших зданий или сооружений массовой застройки разбивочной основой служат закрепленные в натуре красные линии или специально прокладываемые теодолитные ходы. При возведении крупногабаритных или сложных по конфигурации зданий развивают локальные разбивочные сети в виде строительной сетки, микротриангуляции, полигонометрии и т. п.

Проектное положение пунктов этих построений заранее определяется в зависимости от удобства последующих разбивок.

Положение здания на местности может быть определено двумя взаимно-перпендикулярными осями, которых вполне достаточно для того, чтобы на всех этапах строительства выполнять детальную разбивку. Однако для производства земляных и свайных работ при выносе габаритных размеров здания выполняется разбивка всех его основных осей.

Для общего случая массовой застройки технология разбивки основных осей следующая.

Вначале по исходной проектной документации определяют положение здания на местности и выясняют наличие вблизи него пунктов исходного геодезического обоснования, например ПЗ 1308 и ПЗ 1421 (рис. 18.2). От этих пунктов в район производства работ прокладывают разбивочный теодолитный ход, поворотные точки

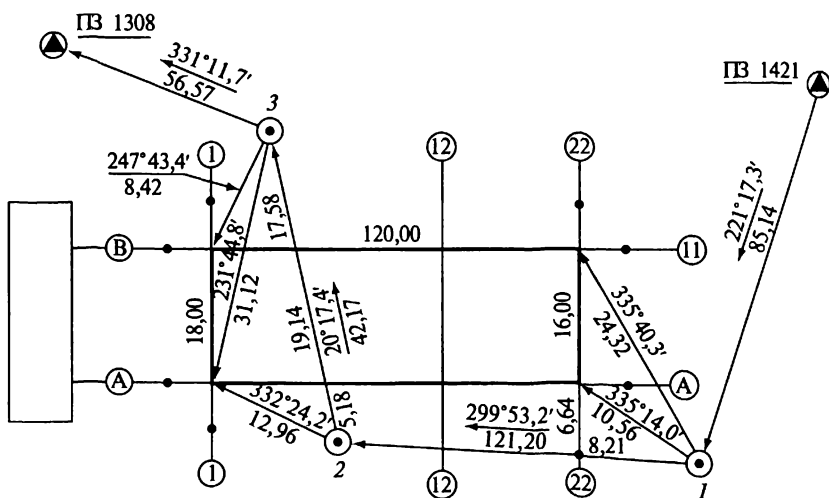


Рис. 18.2. Разбивочный чертеж для выноса в натуру основных осей здания: 1...3 — поворотные точки;  $\odot$  — точка теодолитного хода;  $\bullet$  — створная точка



которого 1...3 располагают с учетом габаритных размеров и формы здания, загруженности строительной площадки, оптимальных способов разбивки и других факторов. По результатам полевых измерений вычисляют координаты точек разбивочного теодолитного хода.

По привязкам, указанным в проектных чертежах, определяют проектные координаты точек пересечения основных осей здания. Для внутриквартальной застройки при свободной планировке допускается графическое определение координат по топографическому плану на жесткой основе в масштабах 1:500... 1:1000.

В условиях существующей плотной застройки для пристраиваемых или встраиваемых зданий координаты выносимых в натуру точек определяют путем дополнительных полевых измерений и соответствующих аналитических расчетов.

Используя координаты точек разбивочной основы и проектные координаты точек пересечения осей здания, для принятых способов разбивки вычисляют разбивочные элементы: длину полярных направлений, линейных засечек, расстояния до пересечения осей с линиями теодолитного хода, дирекционные углы и углы между направлениями и т. п.

По результатам расчетов составляют разбивочный чертеж, на котором показывают все необходимые данные для выноса осей здания в натуру.

Как правило, разбивку начинают с вынесения длинной (продольной) оси, например А—А, определяя положение точек А/1 и А/22. От этой линии можно с помощью отложения прямых углов и соответствующих расстояний получить направления поперечных осей 1—1, 22—22 и положение точек В/1 и В/22. Точки В/1 и В/22 выносятся независимо. Измеряя углы в точках В/1 и В/22 и расстояния В/1... В/22, контролируют правильность определения геометрии здания. Для зданий длиной более 65 м выносят дополнительные поперечные оси, например 12—12. Контроль перенесения в натуру осей здания осуществляется с помощью: проложения теодолитного хода по вынесенным точкам; контрольных промеров до сторон и точек разбивочного хода по элементам, не применявшимся для разбивки; промеров до существующих зданий и других характерных точек ситуации. По этим данным вычисляют контрольные значения координат и сравнивают их с проектными. Расхождения не должны превышать 3...5 см.

Вынесенные в натуру оси закрепляют постоянными и временными знаками.

Постоянными знаками закрепляют в основном две взаимно-перпендикулярные пересекающиеся базовые оси, от которых в процессе строительства всегда могут быть восстановлены все основные оси. В качестве постоянных знаков применяют обрезки металличе-

ских труб или рельсов, деревянные столбы. Постоянные знаки устанавливаются в грунт ниже глубины промерзания и бетонируются.

Для временных знаков используют деревянные колья, костыли, металлические штыри и трубки.

Знаки закрепления располагают на продолжениях осей вне зоны земляных работ в местах, свободных от складирования строительных материалов, размещения временных сооружений и др.

В сочетании с закреплением осей грунтовыми знаками применяют цветные откраски на постоянных и временных зданиях или сооружениях, располагающиеся в створе осей.

Вынесенные в натуру оси сдают по акту застройщику и строительной организации.

К акту прилагается исполнительный чертеж разбивки и закрепления осей.

Разбивка деталей осей ведется в процессе строительства.

Для зданий значительной протяженности, когда строительство ведется на отдельных, не связанных между собой участках, возникает необходимость выноса основных (габаритных) осей с точностью, обеспечивающей детальные разбивочные работы. Конструктивные особенности и технология возведения протяженных зданий позволяют решить эту задачу со сравнительно невысокими точностными требованиями независимо от длины здания. Поскольку конструктивные элементы температурно-осадочных швов, как правило, изготавливаются на месте строительства, то можно считать, что все технологические погрешности, в том числе и геодезических измерений, компенсируются на участке между температурно-осадочными швами. Исходя из этого, предельное отклонение в разбивке осей на длину здания  $L$  может быть подсчитано по формуле

$$\delta_L = \delta_M \sqrt{nK},$$

где  $\delta_M$  — предельное отклонение в разбивке осей на один строительный модуль (приводится в ГОСТах);  $n$  — число строительных модулей на всей длине здания;  $K$  — число секций между температурно-осадочными швами.

#### **18.4. Составление плана организации рельефа**

С помощью плана организации рельефа решаются задачи по преобразованию рельефа городской территории для приспособления его к застройке, благоустройству и инженерно-транспортным нуждам. Организация рельефа обеспечивает высотное решение площадей, улиц, проездов; размещение зданий, сооружений и подземных коммуникаций; возможность стока ливневых вод и канализации.

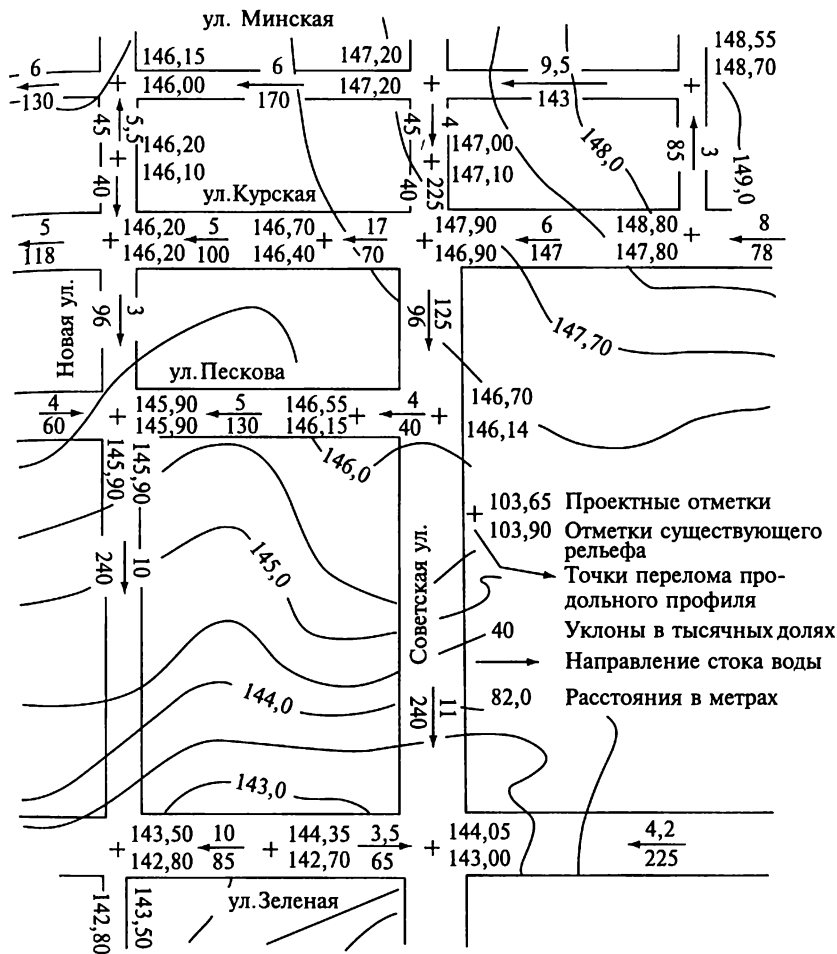


Рис. 18.3. Схема организации рельефа

Определяющим документом проекта является схема организации рельефа (рис. 18.3), составляемая на топографическом плане в масштабе 1:5000 или 1:2000.

Проектные решения по организации рельефа приводятся на схеме в основном по осям проектируемых проездов в виде проектных отметок точек пересечения осей и перегибов продольного профиля. На схеме показывают также расстояние между точками пересечения осей и перегибов профиля, уклоны в промилле и направления стока воды. К схеме прилагают проекты поперечных профилей улиц (рис. 18.4) в масштабах 1:100... 1:200.

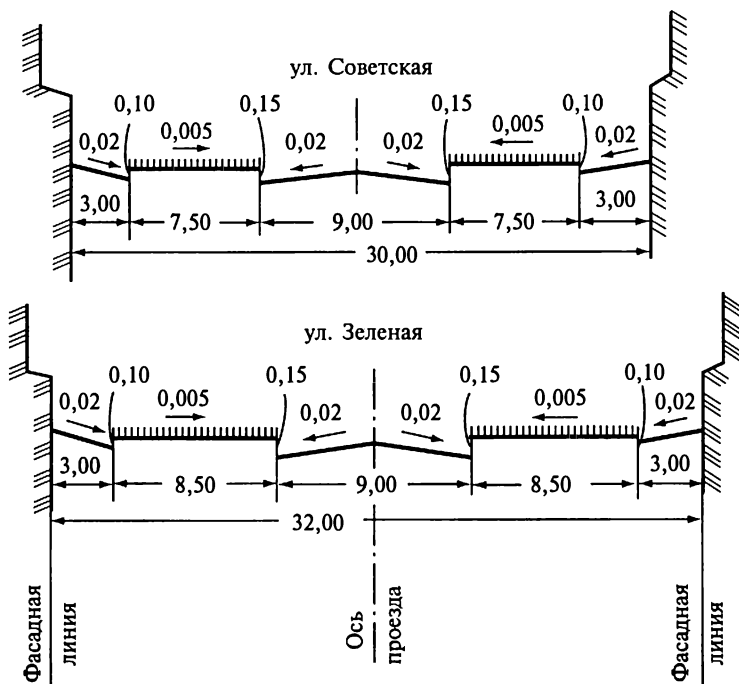


Рис. 18.4. Поперечные профили улиц

Утвержденная схема организации рельефа является обязательной для всех ведомств и учреждений, выполняющих застройку и освоение городской территории.

Рабочий план организации рельефа составляют на топографическом плане в масштабах 1:500... 1:1000. Исходными служат проектные отметки схемы организации рельефа.

Проектный рельеф, образуемый отдельными оформляющими плоскостями, может быть задан либо в виде профилей, либо проектными горизонталями в сочетании с проектными отметками.

В методе профилей на топографический план наносят сетку, по линиям которой составляют продольные профили в масштабе плана проекта. Расстояния между профилями при планировке кварталов принимают равными 20... 50 м, а при планировке больших территорий — 100... 200 м. Метод профилей трудоемкий и поэтому применяется редко.

Метод проектных горизонталей заключается в том, что на плане проводят проектные горизонтали рельефа, образующегося после изменения естественного рельефа путем срезок и подсыпок. Проектные горизонтали между линиями перегибов скалов изображаются прямыми равно отстоящими друг от друга парал-

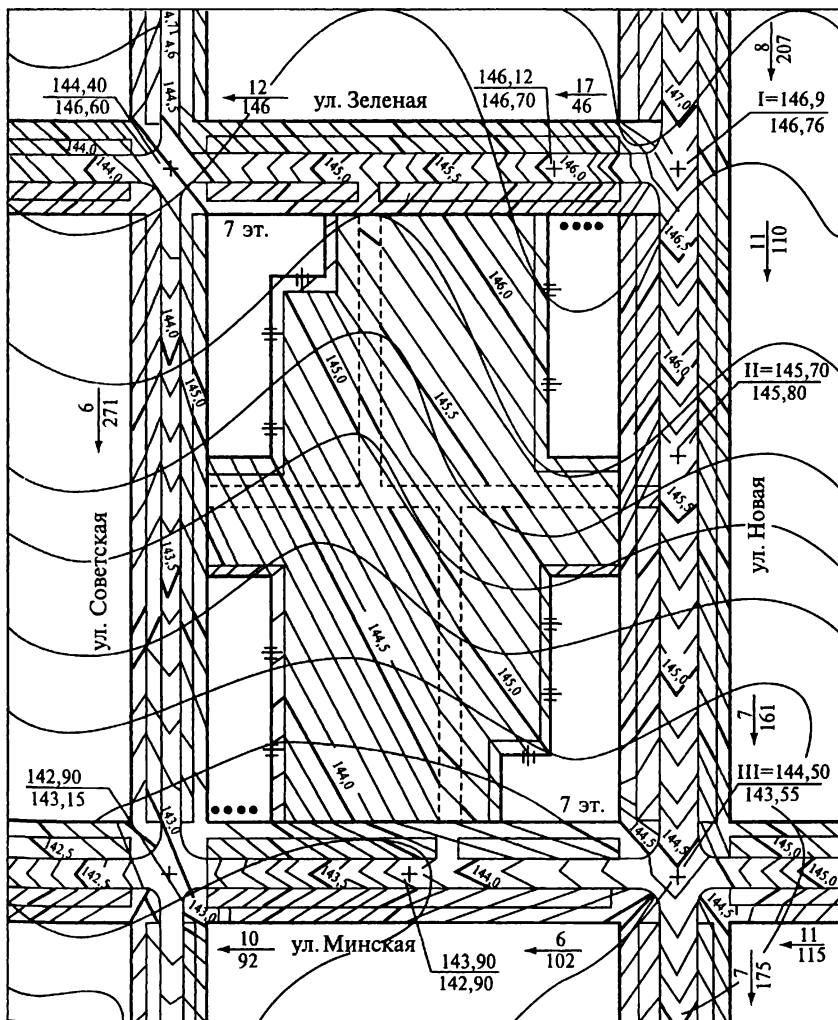


Рис. 18.5. Фрагмент плана организации рельефа

лельными линиями. Сечение  $h$  для проектных горизонталей в пределах  $0,1 \dots 0,5$  м выбирают в зависимости от характера естественного рельефа. Для планов масштаба  $1:500$  при сравнительно спокойном рельефе чаще всего применяют сечение, равное  $0,1$  м.

Положение проектных горизонталей на плане определяют по проектным отметкам точек пересечения осей проездов и точек перегиба проектного рельефа. Расстояние  $a$  (заложение) между смежными проектными горизонталью на плане подсчитывают по формуле

$$a = \frac{h}{iM},$$

где  $i$  — продольный проектный уклон;  $M$  — знаменатель численного масштаба плана.

На границе двух оформляющих плоскостей проектные горизонталы имеют излом.

Составление плана организации рельефа начинают с улиц. Первоначально проектируют горизонталы по проезду, а затем развивают их до фасадной линии застройки. При этом учитывают поперечные уклоны проездов, газонов и тротуаров, а также высоты бордюрных камней.

При проектировании рельефа на внутриквартальных территориях исходными являются проектные отметки вертикальной планировки по улицам. Вертикальная планировка внутриквартальных проездов и пешеходных дорожек должна обеспечивать сбор и отвод поверхностной воды с территории квартала на прилегающие уличные проезды или в специальную водосточную сеть. Проектные горизонталы на внутриквартальной территории проводят с учетом характера естественного рельефа, предусматривая наименьший объем земляных работ. Крутые склоны или возвышенные места оформляют озелененными откосами, подпорными стенками, пандусами, лестницами.

На плане организации рельефа указывают отметки «чистого пола» первого этажа, проектные и существующие отметки углов зданий и сооружений (рис. 18.5).

## 18.5. Составление плана земляных масс

Разрабатывая план организации рельефа, составляют план земляных масс — проектный документ, определяющий объемы земляных масс, подлежащих перемещению.

План земляных масс представляет собой чертеж (рис. 18.6) в виде сетки квадратов со стороной 5, 10 или 20 м в зависимости от масштаба плана и требуемой точности подсчета объемов земляных работ. В углах каждого квадрата подписывают проектные отметки, отметки естественного рельефа с соответствующим знаком их разности, называемые *рабочими отметками*. По рабочим отметкам и площадям квадратов (с учетом выемок и насыпей) подсчитывают объемы земляных работ.

Между углами квадратов с рабочими отметками разных знаков, как правило, интерполированием «на глаз» отыскивают точки нулевых работ. Соединяя точки нулевых работ, строят линию нулевых работ. В некоторых случаях план земляных масс иллюстрируют проведенными по всей ее площади линиями равных отметок насыпей и выемок.

В зависимости от места линии нулевых работ различают разные типы квадратов:

однородные — для всех углов квадратов знаки рабочих отметок совпадают (точек нулевых работ на сторонах квадрата нет), а по всему квадрату должна быть выполнена либо насыпь, либо выемка;

неоднородные — знаки рабочих отметок у различных вершин не совпадают, и квадрат делится линией нулевых работ на участки выемки и насыпи.

Для отдельного однородного квадрата объем земляных масс  $V_0$  можно определить как объем призмы, имеющей площадь основания  $P$ , равную площади квадрата, и высоту, равную среднему арифметическому из рабочих отметок  $h$  всех четырех углов:

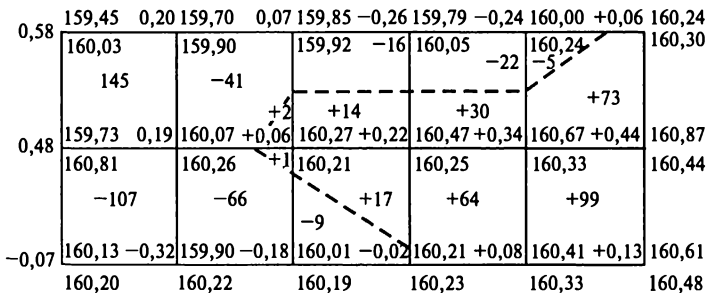
$$V_0 = P \frac{h_1 + h_2 + h_3 + h_4}{4}.$$

Объемы земляных масс в неоднородных квадратах определяют после разделения их линией нулевых работ и вспомогательными линиями на отдельные фигуры — прямоугольные треугольники, прямоугольники, трапеции и т. п. Такой же порядок принимают и для неполных квадратов. Объем работ в отдельных фигурах вычисляют по формуле

$$V_p = P_p h_{cp},$$

где  $P_p$  — площадь отдельной фигуры;  $h_{cp}$  — средняя рабочая отметка этой фигуры.

Вычисленные объемы в кубических метрах по каждому квадрату выписывают с соответствующим знаком в таблицу земляных масс. Суммарный объем подписывается внизу чертежа (см. рис. 18.6).



Подсыпка	—	+3	+31	+94	+172
Выемка	252	-107	-25	-22	-5

$\frac{+0,68}{-} \left| \begin{array}{l} 157,93 \\ 157,25 \end{array} \right.$  Проектная отметка  
 Отметка существующего рельефа  
 Рабочая отметка  
 - - - - - Линия нулевых работ

Рис. 18.6. План земляных масс с таблицей баланса

При резко пересеченной местности для подсчета объемов земляных масс применяют способ вертикальных профилей. Используют для этой же цели и план земляных работ.

Определив общие объемы выемок и насыпей, сводят баланс земляных масс, т. е. определяют, компенсируют ли друг друга выемки и насыпи.

На практике предпочитают, чтобы объем выемок несколько превышал объем насыпей, так как вывезти лишний грунт легче, чем отыскать резервный грунт для насыпи.

## 18.6. Вынесение в натуру проекта организации рельефа

Перенос проекта организации рельефа в натуру выполняется в такой последовательности:

отыскивают на местности реперы и марки высотной сети и в случае недостаточного их числа производят необходимое сгущение;

выносят на местность проект организации рельефа проезда;

переносят на местность проектные отметки точек красных линий;

выносят на местность проект организации рельефа квартала (вначале внутриквартальные проезды, затем дорожки, тротуары, углы зданий и проектный рельеф незастроенной части).

Перенос проекта организации рельефа проезда в натуру начинают с его оси.

Для этого по оси проезда отмечают все пикеты и точки перегиба проектного профиля и закрепляют их деревянными кольями или столбами.

Колья забивают таким образом, чтобы отметки верхних срезов были на проектных отметках данных точек профиля. Установку кольев на проектную отметку производят с помощью нивелира от ближайших реперов городской нивелирной сети. Отсчет по рейке, соответствующий проектной высоте верхнего среза кола, определяют по формуле

$$b = (H_{\text{исх}} + a) - H_{\text{пр}}, \quad (18.1)$$

где  $H_{\text{исх}}$  — отметка исходного репера;  $a$  — отсчет по рейке на исходном репере;  $H_{\text{пр}}$  — проектная отметка определяемой точки.

Точки проектного профиля по оси проезда выносят через каждые 10...20 м.

Затем в этих точках разбивают поперечники, закрепляют на них по обе стороны от оси точки, расположенные на оси лотка, на бордюрном камне тротуара и около фасадной линии.

В случае если из-за выемки или высокой насыпи установить кол на проектную отметку невозможно, то поступают следующим образом.



Забивают кол до прочного положения в грунте и нивелируют его.

Вычисленную отметку сравнивают с проектной и полученную разность с соответствующим знаком выписывают на боковую поверхность кола.

При планировке отмеряют эту разность от верхнего среза кола до рабочей поверхности грунта.

Разбивку на местности проектной линии, заключенной между двумя точками перегиба профиля, производят с помощью наклонного луча нивелира, теодолита, а также с помощью лазерных приборов.

Проект организации рельефа на внутриквартальной территории и площадях переносят в натуру путем разбивки сетки квадратов со сторонами 10 или 20 м. В вершинах квадратов закрепляют колья и устанавливают их на проектную отметку описанным выше способом.

Если запроектированный рельеф участка представляет собой наклонную плоскость одного уклона, то проект организации рельефа переносят, например наклонным лучом нивелира.

Для этого по проекту определяют направление линии  $AB$  (рис. 18.7) с нулевым уклоном и переносят это направление на местность.

Затем в произвольной, но удобно выбранной точке  $C$  на этой линии восстанавливают перпендикуляр  $CD$ .

Если в точке  $C$  установить нивелир и расположить его подъемные винты  $1...3$  таким образом, как показано на рисунке, а затем с помощью винта  $1$  задать визирной оси проектный уклон линии  $CD$ , то ось вращения нивелира займет положение, которое будет перпендикулярно разбиваемой в натуре наклонной плоскости.

В этом случае отсчет  $b$  по рейке, установленной на кол, забитый на высоту проектной отметки во всех точках запроектированной плоскости, должен быть одинаковым и равным значению, вычисленному по формуле (18.1) с использованием проектной отметки точки  $C$ , на которой установлен нивелир.

Иногда проектную плоскость разбивают на отдельные профили и каждый профиль переносят в натуру наклонным лучом нивелира, теодолита или лазерного прибора.

Перенос на местность проектов организации рельефа производят в основном приборами и методами, обеспечивающими точность технического нивелирования.

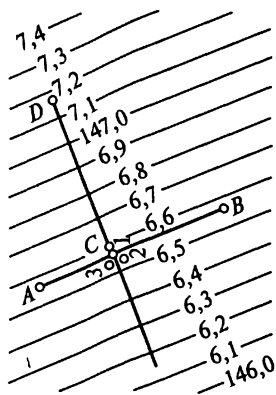


Рис. 18.7. Схема переноса в натуру плоскости проектного рельефа:  
1...3 — подъемные винты

## ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ПОДЗЕМНЫХ КОММУНИКАЦИЙ

### 19.1. Общие сведения о подземных коммуникациях

На застроенных территориях и промышленных площадках проходит много подземных коммуникаций и специальных сооружений для них.

К подземным коммуникациям относятся такие прокладки в грунте как трубопроводы, кабельные сети, коллекторы.

*Трубопроводы* — это сети водопровода, канализации, газоснабжения, теплофикации, водостока, дренажа, нефте- и газопроводы и другие прокладки, предназначенные для транспортирования различного содержимого по трубам.

*Кабельные сети* передают электроэнергию. Они различаются по напряжению и назначению: сети высокого напряжения, электрифицированного транспорта, уличного освещения; сети слабого тока (телефонные, радио и телевизионные). Сети состоят из кабелей, прокладываемых на глубине до 1 м, распределительных шкафов, трансформаторов.

*Коллекторы* представляют собой подземные сооружения круглого или прямоугольного сечения сравнительно большого размера (от 1,8 до 3,0 м<sup>2</sup>). В них прокладывают одновременно трубопроводы и кабели различного назначения.

*Водопровод* обеспечивает питьевые, хозяйственные, производственные и пожарные нужды и состоит из водопроводных станций и водоразводящих сетей. Водоразводящая сеть делится на магистральную и распределительную. Магистральная сеть (диаметры труб 400...900 мм) обеспечивает водой целые районы, а отходящая от нее распределительная сеть подает воду к домам и промышленным предприятиям. Трубы этой сети имеют диаметр 200...400 мм, вводы в дома — 50 мм. Для регулирования работы водопроводных сетей на них устанавливают арматуру — задвижки, выпуски, краны и др. Для доступа к арматуре устраивают колодцы.

*Канализация* обеспечивает удаление сточных и загрязненных вод на очистные сооружения и далее в ближайшие водоемы. Канализационная сеть состоит из чугунных и железобетонных труб, смотровых и перепадных колодцев, станций перекачки для пониженных частей застройки и других сооружений. Диаметры труб колеблются от 150 до 400 мм.

*Водостоками* отводят дождевые и талые воды, а также условно чистые воды (от мытья и поливки улиц). Водосточная сеть состоит

из труб, дождеприемных и перепадных колодцев, выпусков в водоемы и овраги. К водосточным колодцам присоединяют водосточные трубы зданий. Для водосточной сети применяют асбоцементные и железобетонные трубы диаметром до 3,5 м.

*Дренажи* применяют для сбора грунтовых вод. Состоят они из перфорированных бетонных, керамических, асбоцементных труб диаметром до 200 мм.

*Газопроводы* служат для транспортирования газа. Они подразделяются на магистральные (диаметр стальных труб до 1600 мм) и распределительные. Газопроводы идут от станций и хранилищ в районы застройки по проездам. От них отходят вводы в здания и сооружения. Глубина заложения от поверхности этих сетей 0,8...1,2 м. На газопроводах устанавливают запорные краны, конденсатосборники, нюхательные трубки, регуляторы давления и др.

*Сети теплоснабжения* обеспечивают теплом и горячей водой жилые, общественные и промышленные здания. Теплоснабжение бывает местным (от отдельных котельных) и централизованным (от теплоэлектроцентралей), водяным и паровым. Тепло подают по трубам прямой подачи (температура 120...150 °С), возвращают к источнику по трубам обратного отвода (температура 40...70 °С). Сети теплоснабжения состоят из металлических изолированных труб; задвижек, размещаемых в камерах; воздушных и спускных кранов, конденсационных устройств, компенсаторов. Диаметр труб достигает 400 мм. Под землей их прокладывают в железобетонных коробах, а при массовой плотной застройке трубы ведут прямо через подвалы зданий.

## **19.2. Разбивка подземных коммуникаций и геодезические работы при их укладке**

Наиболее распространенным способом прокладки подземных сетей является открытый способ, при котором коммуникации укладываются в траншеях.

Разбивочные работы по устройству траншей начинают с выноса на местность оси трассы и характерных ее точек — центров колодцев, углов поворота, промежуточных створных точек и др. Исходной документацией служат проектный план и профиль трассы, на основании которых составляется разбивочный чертеж. На этом чертеже указывают: положение разбиваемого участка коммуникации; пункты геодезического обоснования и точки ситуации, которые могут быть использованы для разбивки; расстояния между характерными точками трассы, а также все данные по их линейным и угловым привязкам.

Используя данные разбивочного чертежа, с помощью простейших геодезических построений (полярных координат, перпендикуляров, линейных засечек и др.) положение характерных точек

трассы выносят на местность. Если вдоль трассы отсутствуют пункты геодезического обоснования и опорные точки ситуации или их очень мало, то трассу разбивают от точек теодолитного хода. Такой ход специально прокладывают вблизи трассы с расчетом удобства выполнения разбивочных работ. От пунктов геодезического обоснования в основном разбивают только углы поворота трассы; все другие точки находят путем отложения в створе соответствующих проектных расстояний. Створ между углами поворота задается теодолитом, расстояния откладываются мерным прибором или дальномером.

При разбивке коммуникаций, идущих рядом в несколько параллельных ниток (например кабелей), выносят на местность оси двух крайних.

Для производства земляных работ трассу коммуникации закрепляют кольями через 5... 20 м. Одновременно с этим обозначают грани траншеи.

В ходе земляных работ при рытье траншей все знаки закрепления оси трассы будут уничтожены. Поэтому для последующего восстановления их закрепляют вне зоны земляных работ путем линейной привязки к местным предметам или створными линиями. При строительстве самотечных подземных прокладок для восстановления знаков служит обноска, которую устраивают на концах и поворотах трассы. Обноска (рис. 19.1) состоит из двух деревянных столбов 1, закрепленных на бровке траншеи, и прибитой к ним на высоте около 0,5 м от земли горизонтальной доски 2. На доску выносят ось траншеи, а при необходимости — от нее оси бровок и котлована колодца. На доске обноски краской подписывают номер колодца, пикетаж, диаметр прокладываемых труб. Если на данном колодце меняется диаметр труб, то пишут два диаметра в виде дроби: в числителе — меньший, а в знаменателе — больший.

При рытье траншеи возникает необходимость зачистки ее дна до проектной отметки. Эту работу во многих случаях выполняют

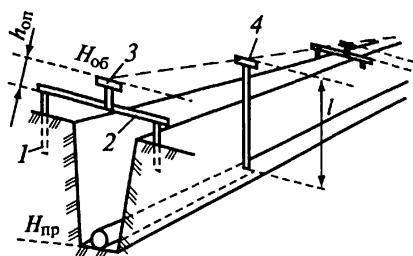


Рис. 19.1. Обноска для применения способа визирок при рытье траншеи: 1 — деревянный столб; 2 — горизонтальная доска; 3 — опорная визирка; 4 — ходовая визирка

способом визирок, сущность которого заключается в следующем. На обносках закрепляют опорные визирки 3 таким образом, чтобы плоскость, проведенная через их верхние грани, была параллельна дну запроектированной траншеи с соблюдением проектного уклона. Глубину траншеи определяют с помощью ходовой визирки 4, верхняя грань которой должна располагаться в одной плоскости с верхними гранями двух

смежных опорных визирок «на глаз», а пятка — на проектной отметке дна траншеи. Выбрав удобную для работы длину  $l$  ходовой визирки (обычно 2,5; 3,0; 4,0 м), рассчитывают высоты установки опорных визирок  $h_{\text{оп}}$  относительно верхней грани доски обносок. Отметку доски обносок  $H_{\text{об}}$  определяют путем проложения вдоль трассы нивелирного хода. Если из выбранной длины ходовой визирки вычесть разность  $H_{\text{об}}$  и проектной отметки дна траншеи  $H_{\text{пр}}$ , то получится высота опорной визирки на каждой обноске, т. е.

$$h_{\text{оп}} = l - (H_{\text{об}} - H_{\text{пр}}).$$

Перемещая ходовую визирку вдоль дна траншеи через 3...5 м, определяют проектные отметки, по которым окончательно зачищают дно траншеи. Аналогичным образом используют способ визирок и при укладке труб, с той лишь разницей, что при установке на верх трубы длину ходовой визирки уменьшают на величину внешнего диаметра трубы.

Способом визирок проектные отметки могут быть определены с погрешностью 2...3 см. Однако этот способ не может обеспечить требуемую точность установки проектных отметок на уклонах, меньших 0,003. В этом случае все работы по укладке труб и колодцев производят с помощью нивелира. Нивелиром проверяют укладку колодезной трубы, а у колодцев — отметку лотка и верха с учетом расположения крышки колодца на планировочной отметке.

Плановое положение труб определяют по нитяному отвесу, который перемещается по проволоке, соединяющей центры двух соседних обносок.

При строительстве трубопроводов используют также лазерные приборы (визеры, теодолиты, нивелиры). Эти приборы позволяют устанавливать лазерным пучком линию заданного уклона, по которой определяют ось траншеи и ее глубину, а также производят укладку труб. При рытье траншей используют специальные лазерные системы, управляющие рабочими органами землеройных машин. При укладке труб применяют лазерные комплекты, в которые входят лазерные визеры, штативы, позволяющие изменять высоту пучка лазера от 30 до 200 см, а также контрольные марки, самоцентрирующиеся по оси трубопровода. Применение лазерных приборов особенно эффективно при строительстве самотечных трубопроводов большого диаметра (800...1500 мм).

Вводы подземных коммуникаций в здание разбивают от его осей. Место ввода обозначают с внешней стороны здания и от ближайшего колодца разбивают трассу ввода. В самотечных коммуникациях увязывают отметку лотка колодца с отметкой низа отверстия, чтобы получить проектный уклон.

На промышленных площадках внутрицеховые коммуникации строятся, как правило, после окончания строительства фундаментов. Это позволяет производить разбивку этих коммуникаций

не только от осей сооружений, но и от граней и закладных частей фундамента, что значительно облегчает процесс работ.

### 19.3. Съёмка подземных коммуникаций

Съёмка подземных коммуникаций производится для составления специализированных планов, отражающих состояние подземного хозяйства данной территории. Эти планы необходимы для технической инвентаризации коммуникаций при их эксплуатации, а также для решения проектных задач при строительстве и реконструкции сооружений.

Съёмка подземных коммуникаций в зависимости от назначения создаваемых планов, характера снимаемой территории и плотности размещения сетей может выполняться в масштабах 1:5000... 1:500, а в отдельных случаях, для сложных мест промышленных площадок, — 1:200. На промышленных и городских территориях подземные сети снимают, как правило, в масштабе 1:500. Планы более мелких масштабов являются документами учетно-справочного характера.

Требования к точности плановой съёмки всех видов коммуникаций примерно одинаковы. На застроенных территориях средняя квадратическая погрешность в положении отдельных линий между собой и по отношению к контуру сооружений составляет 0,10...0,15 м. На незастроенных территориях с редкой сетью коммуникаций эта погрешность может достигать до 0,5 м. Точность высотной съёмки коммуникаций зависит от требований к соблюдению проектных отметок и уклонов. Для самотечных трубопроводов погрешность в отметках лотков соседних колодцев допускают не более 5... 10 мм, а отклонение от проектных уклонов — до 10... 20 % от величины самого уклона.

Процесс съёмки подземных коммуникаций можно условно разделить на два этапа: подготовительный и непосредственно съёмочный. В подготовительный период производят рекогносцировку сетей на местности, собирают данные о числе прокладок, колодцев, о размерах диаметров и материале труб, давлении в газовых и напряжении в кабельных сетях и другие инженерные сведения, которые должны быть отражены на плане подземных коммуникаций. В этот же период на участке съёмки создают планово-высотное геодезическое обоснование, если оно отсутствует или недостаточно по частоте расположения имеющихся пунктов.

Непосредственно съёмку подземной коммуникации производят после отыскания (определения местоположения) всех ее элементов на местности. Самый простой случай — когда производится исполнительная съёмка уложенной подземной коммуникации в незасыпанной траншее, т. е. сразу же после окончания.

Для уже эксплуатируемых сетей при отсутствии исполнительной документации применяют метод шурфования, т. е. роют глу-

бокие поперечные траншеи (шурфы) на таком расстоянии одна от другой, чтобы можно было с достаточной достоверностью выявить и определить положение всех необходимых коммуникаций. В последнее время для выявления местоположения подземных коммуникаций применяют специальные индуктивные приборы — трубокабелеискатели.

При съемке на застроенной территории плановое положение всех видов подземных сетей и относящихся к ним сооружений определяют от пунктов геодезических сетей и от постоянных точек капитальной застройки, на незастроенной территории — от пунктов геодезических сетей. Горизонтальную съемку от пунктов геодезических сетей выполняют всеми известными способами: линейных, угловых и створных засечек, полярным, перпендикуляров и др.; от точек капитальной застройки — линейными засечками, способами перпендикуляров и створов.

Линейные засечки выполняют не менее чем от трех точек, длина их не должна превышать длины мерного прибора, углы засечек при определяемой точке должны быть не менее 30 и не более 120°.

Длина перпендикуляров не должна быть более 4 м, при применении эккера — 20 м.

При полярном способе углы измеряются теодолитом при одном положении вертикального круга, длина полярного направления не должна превышать 30 м.

При всех способах съемки точек подземной коммуникации обязательно производят контрольные измерения расстояний между ними.

Точки подземной коммуникации, расположенной в траншее, при съемке выносят на поверхность земли отвесом.

При съемке колодцев и камер производят обмер внутренних и внешних габаритных размеров, отдельных конструктивных элементов, расположения труб с привязкой к отвесной линии, проходящей через центр крышки колодца.

Высотное положение подземных сетей и сооружений определяют в основном техническим нивелированием. Нивелируют люки всех колодцев, лотки канализационных, водосточных и дренажных каналов, верх труб и пол каналов теплофикации, телефонной и электрокабельной сетей; в бесколодезных прокладках — углы поворота трассы и точки излома профиля.

После обработки полевых материалов результаты съемки подземных коммуникаций с подробной их инженерной характеристикой отображаются на топографическом плане соответствующего масштаба. Дополнительно составляются продольные профили отдельных видов подземных коммуникаций.

Основой для составления исполнительных чертежей построенных коммуникаций служат копии согласованного проекта в масштабе 1:500 или план этого же масштаба, составленный по ре-

зультатам съемки полосы трассы, составляющей не менее 20 м в обе стороны от ее оси.

#### 19.4. Поиск подземных коммуникаций

Поиск подземных коммуникаций предусматривает выявление их местоположения в период эксплуатации, т. е. когда коммуникации скрыты и на поверхности земли существуют лишь смотровые и регулировочные сооружения. Как уже было сказано в предыдущем параграфе, для этой цели широко применяют специализированные электронные приборы — трубокабелеискатели (трассоискатели, кабелеискатели, искатели трубопроводов).

Принцип действия приборов поиска подземных коммуникаций основан на законе электромагнитной индукции и заключается в обнаружении переменного магнитного поля, существующего вокруг токонесущих кабелей, или искусственно создаваемого вокруг отыскиваемых металлических трубопроводов.

Все применяемые приборы поиска построены по одному и тому же принципу и различаются лишь схемами и техническими характеристиками. Они состоят из двух отдельных блоков: передающего I и приемного II (рис. 19.2). Передающий блок состоит из генератора звуковой частоты Г и источника электропитания Б<sub>1</sub>. Приемный блок включает усилитель У с электропитанием Б<sub>2</sub>, ферритовую антенну А и воспроизводящее устройство ВУ (головные телефоны, микроамперметр или то и другое).

Трубокабелеискатели по своим электротехническим характеристикам разделяют на три класса: к I относятся приборы с мощностью генератора более 20 Вт (например, ТПК-1), ко II — от 2 до 20 Вт (ИПК-2М, ИТ-4, ИТ-5) и к III — менее 2 Вт (ИП-7-ГКИ, ИПКТ-69).

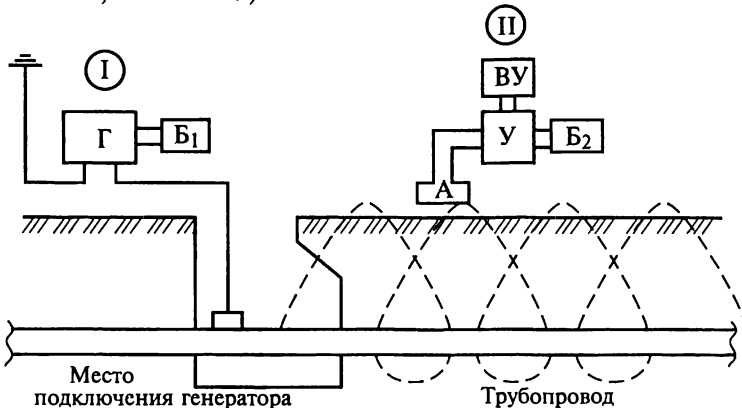


Рис. 19.2. Принципиальная схема устройства прибора поиска подземных коммуникаций



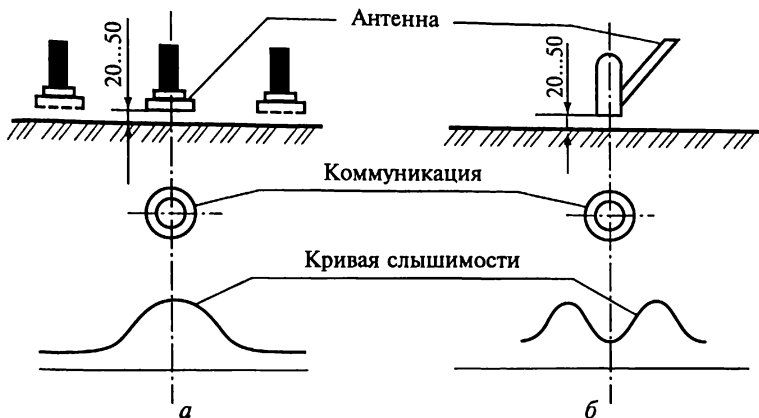


Рис. 19.3. Схемы определения планового местоположения подземных коммуникаций при помощи прибора поиска:  
*а* — подключение генератора; *б* — приемная часть

Определение положения подземной коммуникации при помощи приборов поиска может быть выполнено контактными и бесконтактными способами.

Контактный способ является наиболее точным. В этом способе генератор в удобном месте подключается непосредственно к искомой коммуникации. На расстоянии 8...10 м по направлению, перпендикулярному коммуникации, генератор заземляют. После соответствующей настройки генератора и включения приемного устройства начинают поиск. Для определения направления трассы антенну разворачивают в горизонтальной плоскости до получения минимального сигнала (наименьшей громкости звучания), тогда направление оси антенны укажет на направление трассы.

Местоположение коммуникации определяют на двух режимах: по «максимуму» и «минимуму» сигнала. В режиме «максимум» ось антенны располагают перпендикулярно к предполагаемой оси коммуникации (рис. 19.3, *а*) и плавно перемещают ее вправо и влево в поперечном к трассе направлении до наибольшей громкости звучания сигнала. Это и будет проекция оси коммуникации на дневную поверхность. Ширина зоны звучания сигнала может быть до 1 м и более. Положение проекции коммуникации уточняют на режиме «минимум». Для этого, расположив антенну вертикально (рис. 19.3, *б*), перемещают ее как и ранее, добиваясь наименьшего звучания сигнала.

Глубину заложения коммуникации определяют, зафиксировав на местности уточненное положение ее оси. Для определения глубины заложения ось антенны располагают под углом  $45^\circ$  к поверх-

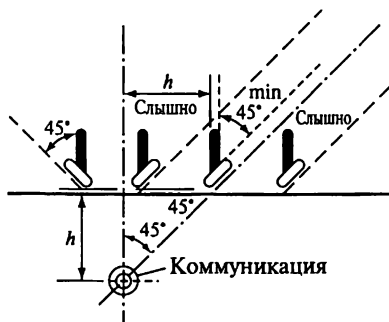


Рис. 19.4. Схема определения высотного местоположения подземной коммуникации при помощи прибора поиска

ности земли (рис. 19.4) и перемещают ее перпендикулярно к направлению коммуникации до минимальной слышимости сигнала. Расстояние от этой точки до оси и будет равно глубине залегания коммуникации. Определение повторяют в противоположную от оси сторону и берут среднее из двух значений полученных расстояний.

Бесконтактный способ применяют, когда подключение генератора к трубопроводам и кабелям невозможно или нежелательно. В этом способе работающий генератор заземляется в двух или более

точках, создавая тем самым вокруг коммуникации электромагнитное поле. Для поиска коммуникации используется «отраженная величина» этого поля. Методика поиска аналогична контактному способу.

Точность индуктивного метода поиска подземных коммуникаций зависит от разрешающей способности применяемого прибора, установки антенны приемного устройства в заданное положение, влияния внешних помех. Установлено, что в зоне уверенного прослушивания сигналов средние квадратические погрешности определения положения подземной коммуникации (в см) характеризуются величинами: в плане —  $m_{пл} = 7,5h$ , по высоте —  $m_h = 13h$ , где  $h$  — глубина залегания коммуникации, м.

## Глава 20

### ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ГРАЖДАНСКИХ ЗДАНИЙ

#### 20.1. Гражданские здания и состав геодезических работ при их возведении

К гражданским зданиям относятся жилые, общественные и производственные здания. В группу производственных зданий входит и часть сооружений: здравоохранения (бальнео- и грязелечебницы и т. п.), физкультурно-оздоровительные и спортивные (открытые и крытые стадионы, оздоровительные площадки и т. п.).

Жилые здания включают в себя: квартирные дома различной этажности, протяженности и конфигурации, дома для пре-

старелых, инвалидов, общежития и т. д. В жилых зданиях могут быть предусмотрены нежилые (нетиповые) этажи, хозяйственные постройки и помещения. Инженерное оборудование жилых домов включает в себя: лифты (в зданиях с планировочной отметкой пола верхнего этажа от земли свыше 14 м); хозяйственно-питьевое, противопожарное и горячее водоснабжение; канализацию, водостоки, отопление; вентиляцию; электротехнические устройства (электроосвещение, силовое электрооборудование, телефонизацию, радиофикацию, телевизионные антенны, домофоны и др.).

Общественные здания включают в себя следующие группы зданий: для образования, воспитания и подготовки кадров; научно-исследовательские, проектные, управленческие и общественные организации; здравоохранения и отдыха; физкультурно-оздоровительные; культурно-просветительские и зрелищные; торговли, общественного питания и бытового обслуживания; для транспорта; предназначенные для непосредственного обслуживания населения, коммунального хозяйства и др. В перечисленных группах зданий существует ряд более мелких делений на типы зданий. Отличаются они, главным образом, конфигурацией и этажностью.

Инженерное оборудование общественных зданий в основном то же, что и в жилых.

Производственные здания включают в себя здания заводов, фабрик и других промышленных предприятий и характеризуются большими модульными размерами пролетов, шагов колонн, высот этажей. Как правило, производственные здания связываются технологическими сборочными линиями. Нередко внутри зданий прокладываются железнодорожные пути, галереи, площадки и лестницы для обслуживания грузоподъемных кранов, световые фонари на крышах.

К сооружениям специального назначения относятся: подземные и надземные емкости для хранения жидкостей и газов, гидротехнические, транспортные и др.

Инженерное оборудование производственных зданий включает в себя систему приборов, аппаратов, машин, коммуникаций, обеспечивающих подачу и отвод жидкостей и газов, электроэнергию и др.

По конструктивным признакам здания бывают:

- каменно-кирпичные;
- монолитные, возводимые из монолитного железобетона в скользящей, секционно-переставной и щитовой опалубках;
- крупноблочные, возводимые из блоков, изготовляемых индустриальным методом;
- крупнопанельные, когда стеновые и внутренние панели, а также панели перекрытий являются несущими элементами конструкции;

каркасные, когда основными несущими элементами служат колонны, ригели и плиты перекрытий;

объемно-блочные, когда конструкция здания формируется из объемных элементов полной заводской готовности (комнаты, санузлы и т.п.).

По конфигурации здания возводятся: односекционные (один подъезд), удлиненные (свыше двух секций) и сложной конфигурации, включая круглые здания, здания с разворотом и смещениями секций.

Геодезические работы в гражданском строительстве можно рассматривать как комплекс измерений, вычислений и построений на чертежах и в натуре, обеспечивающих, во-первых, правильное и точное размещение зданий и сооружений и, во-вторых, возведение их конструктивных элементов в соответствии с геометрическими параметрами проекта и требованиями нормативных документов. Решение этих задач осуществляется поэтапно, в зависимости от стадий строительно-монтажного производства, начиная с принятия решения о проведении строительства объекта и заканчивая его сдачей. Можно выделить следующие этапы производства геодезических работ.

1. *Выбор площадки под строительство:*

сбор, анализ и обобщение материалов.

2. *Строительное проектирование:*

топографо-геодезические изыскания;

геодезическое обеспечение других видов изысканий;

обеспечение строительного проектирования дополнительными исходными данными.

3. *Изготовление строительных конструкций:*

контроль за соблюдением геометрических параметров элементов, в которых формируются строительные конструкции;

статистический контроль геометрических параметров изготовленных строительных конструкций.

4. *Подготовительный период строительства:*

создание геодезической разбивочной основы;

инженерная подготовка территории, включающая в себя планировочные работы, прокладку подземных коммуникаций и подъездных дорог;

вынос в натуре главных и основных осей.

5. *Основной период строительства:*

вынос в натуре осей конструктивных элементов;

геометрическое обеспечение строительно-монтажного производства при возведении подземных и надземных частей зданий;

исполнительная съемка законченного строительством элементов и составление исполнительной документации;

подготовка комплекта исполнительной геодезической документации к сдаче.

#### 6. Окончание строительства:

составление и сдача технического отчета о результатах выполненных в процессе строительства геодезических работ;

составление исполнительного генерального плана, специальных исполнительных инженерных планов, профилей, разрезов.

### 20.2. Геодезические работы при возведении подземной части зданий

В соответствии с терминологией, принятой в проектно-сметной документации согласно указаниям СНиП, строительный объем здания определяется как сумма строительных объемов: выше отметки +0,00 — *надземная* часть здания, ниже этой отметки — *подземная* часть здания и *цокольный этаж*, если верх его перекрытия находится ниже средней планировочной отметки земли не менее чем на 2 м.

К строительным работам по возведению подземной части зданий относятся земляные работы по отрытию котлованов, их обустройству и укреплению искусственными конструкциями (подпорные стенки, шпунтовые ограждения, сваи и т. п.).

**Земляные работы.** Исходными данными при отрытии котлованов, траншей и других перемещениях грунта служат топографические планы с нанесенными на них проектами сооружений. Проекты вертикальной планировки, траншей, котлованов, насыпей, выемок, карьеров сначала выносят в натуру. Разбивку контуров сооружений выполняют по существующей к началу работ поверхности.

Точки разбивки закрепляют на местности геодезическими знаками, которые ограждают; ограждение красят чередующимися яркими полосами. В скальных грунтах положение точек разбивки закрепляют пересечением двух канавок, высеченных в скале. Точки разбивки при этом обкладывают камнями, а надписи делают трудносмысливаемой, обычно масляной, краской. При перенесении отметок для устройства насыпей, возводимых без уплотнения, учитывают последующую естественную осадку грунта.

По окончании работы механизированной землеройной техники принимают геометрические размеры и отметки котлованов, траншей и других сооружений.

При возведении фундаментов и для укладки труб дно котлована или траншей подчищают вручную. Для этого в дно забивают в шахматном порядке (примерно через 2 м) кольца, на которые переносят отметки и подписывают величину добора (например, -2,5 см) или подсыпки (например, +20 см).

При приемке выемок и насыпей проверяют расположение трасс сооружений в плане и профиле и геометрические размеры сооружений, отметки бровок, дна, продольных уклонов, размеры канав и других водоотводных устройств.

Для приемки выполненных земляных работ составляют акты и исполнительные схемы.

**Свайные основания.** Места забивки свай определяют от точек пересечения осей. Оси, закрепленные вне контура котлована, переносят сначала на верхнюю бровку, а затем на его дно. Последовательность разбивки мест погружения свай зависит от типа свайных полей, принятых схем погружения свай, направлений движения копровых установок (установка для забивки или погружения свай).

При *однорядном* расположении свай (рис. 20.1, а) на дно котлована переносят все основные (габаритные) оси (А, Б, В, 1 и т.д.). Промежуточные оси разбивают между габаритными на дне котлована и выбирают таким образом, чтобы расстояние между ними было не более длины применяемой рулетки. Габаритные и промежуточные оси закрепляют на строительных скамейках 2. Между подвижными марками 6 скамеек (рис. 20.1, б), установленными в створах одноименных осей, натягивают шнур-причалку (леску) и

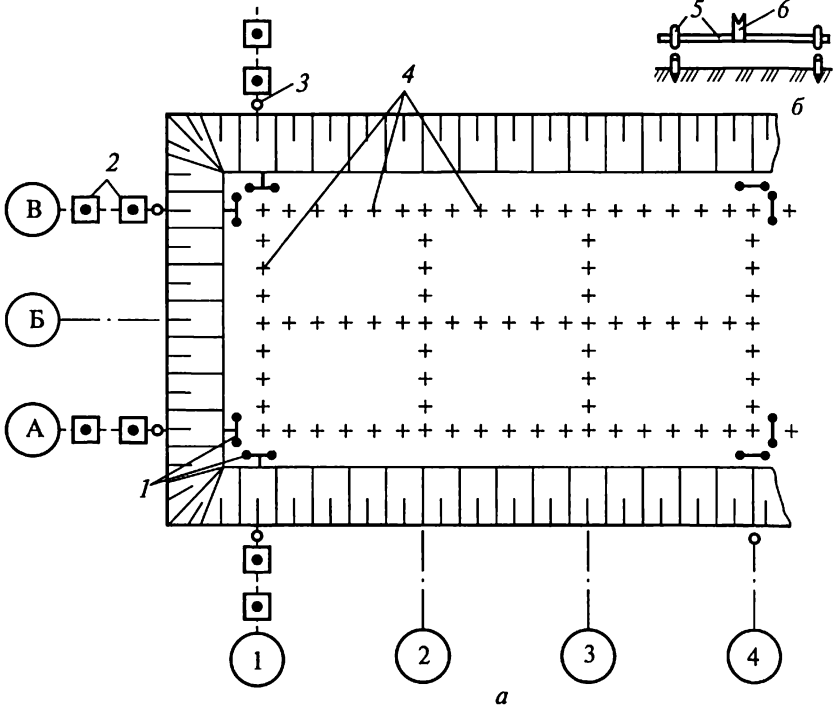


Рис. 20.1. Разбивка мест погружения свай при однорядном расположении: а — общая схема; б — строительная скамейка; 1 — точка закрепления оси на бровке котлована; 2 — строительные скамейки; 3 — знаки закрепления створов осей; 4 — места погружения свай; 5 — вертикальная и горизонтальная штанги; 6 — подвижная марка

на дно котлована переносят точки пересечения продольных и поперечных осей здания. Точки пересечения маркируют на верхнем торце кола, забиваемого в уровень с землей. В створе одной из осей натягивают рулетку и при расположении свай на оси по проектным расстояниям между сваями забивают колья, фиксирующие места 4 их погружения.

При расположении свай вне створов осей на расстоянии не более 4 м места погружения свай разбивают, откладывая от натянутой по створу оси рулетки проектные расстояния между сваями. В полученных точках «на глаз» восстанавливают перпендикуляры и второй рулеткой определяют места погружения свай.

При *кустовом* расположении свай последовательность разбивки несколько изменяется. На дне котлована после закрепления основных осей на строительных скамейках определяют центры кустов. Расстояния отмеряют двумя рулетками от створа, образованного леской. Длинномерную рулетку натягивают по одной оси между подвижными марками строительных скамеек. По маркам другой оси натягивают леску. На пересечении рулетки и лески определяют центр куста. Сохраняя направление створов осей, с помощью второй рулетки или метра определяют местоположение каждой сваи в кусте.

При расположении свай *на расстоянии более 4 м от осей* параллельно вынесенным в натуру осям разбивают линии со смещением от створов осей на величину, равную расстоянию от сваи до предварительно вынесенных осей. Места погружения свай определяют как при однорядном и кустовом расположении.

Для контроля за глубиной погружения на каждой свае от острия к оголовку наносят деления через 1 м. Метровые отрезки маркируют яркими рисками с оцифровкой метров, а проектную глубину погружения — буквами ПГ.

Вертикальность погружения сваи обеспечивается установкой направляющей стрелы копровой установки в отвесное положение. При использовании безрельсовых копров на базе тракторов и гусеничных кранов грунт планируют под одну отметку. Головки рельсов для рельсовых копров выводят на одинаковые отметки. Отвесность направляющей стрелы вибрационных копровых погружателей проверяют теодолитами, а копров с молотами и вдавливающих погружателей — тяжелыми отвесами. Масса отвеса (в любом случае больше 5 кг) зависит от длины погружаемых свай и силы ветра. Если при погружении свая отклоняется от вертикального положения, то работу приостанавливают и выправляют положение стрелы и сваи.

На оголовки установленных свай выносят проектную отметку их срубки (срезки). После срезки оголовков выполняют исполнительную съемку положения свай в плане. Съемку производят от створов линий, параллельно смещенных от осей. Эти ство-

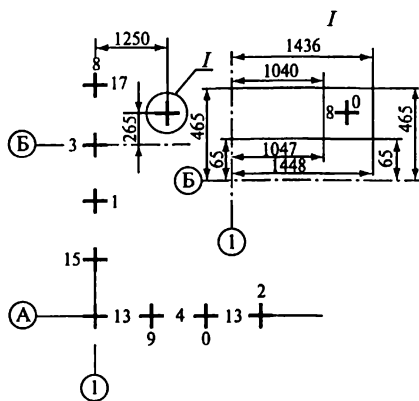


Рис. 20.2. Исполнительная съемка свайного поля

$1250 - (1448 + 1047) : 2 = 2,5$  мм. Среднее смещение (12 + 2,5) : 2 = 7 мм, а вдоль оси 1 по обеим сторонам сваи смещение будет равно  $265 - (265 + 65) : 2 = 100$  мм.

Цифрами на схеме исполнительной съемки обозначают величину смещения оголовка сваи от проектного положения. Место написания цифры показывает направление смещения.

Отклонения при погружении свай не должны превышать 0,2...0,4 величины стороны или диаметра сваи.

Исполнительную съемку свайных полей начинают с перенесения осей на сваи (рис. 20.3). Теодолит устанавливают над створом 7 оси и приводят в рабочее положение. Ориентируют трубу вдоль оси 1. При расположении свай на створах осей трубу наводят последовательно на сваи, расположенные не реже, чем через 3 м, и на оголовках карандашом отмечают створ оси. При расположении свай вне створов осей на расстоянии не более 4 м к оголовкам свай, расположенных также не реже чем через 3 м вдоль створов, горизонтально прикладывают нивелирную рейку 3. Перпендикулярность рейки к створу оси и ее горизонтальность определяют «на глаз». Пятку рейки с отсчетом 0 прислоняют к грани сваи, перпендикулярной створу. Горизонтальным перемещением рейки в биссектор сетки нитей трубы теодолита вводят отсчет  $a$ . Величина отсчета  $a$  по рейке равна проектной привязке сваи к оси.

Горизонтальность установки рейки и ее перпендикулярность к створу наблюдатель проверяет по сетке нитей зрительной трубы. При этом рейку прикладывают к оголовку (см. узел II) под углом  $45^\circ$  к отвесной плоскости, проходящей через грань сваи 4. На сваи переносят все оси, проходящие по габариту здания, а также продольные и поперечные оси, которые расположены на расстоянии, равном длине применяемой рулетки или меньшем.

ры получают перемещением подвижной марки по перекладине строительной скамейки на величину, равную диаметру сваи плюс 100 мм. При расположении свай вне створов осей съемку производят непосредственно от створов осей. Если измерения выполняют до граней свай, то смещение их центров вычисляют следующим образом.

**Например.** Проектная привязка центра сваи к оси 1 (рис. 20.2) равна 1250 мм, а к оси Б — 265 мм. Смещение оголовка сваи от проектного положения вдоль оси Б вычисляют по результатам измерений:  $1250 - (1436 + 1040) : 2 = 12$  мм;



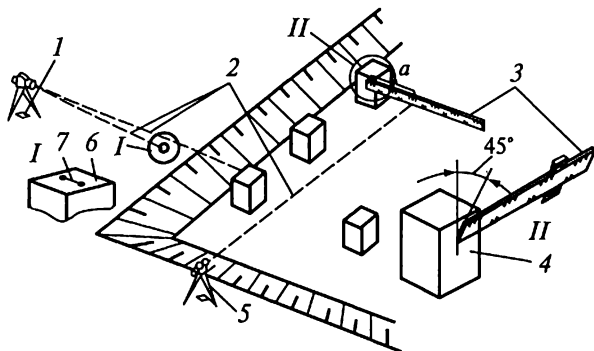


Рис. 20.3. Перенесение осей на сваи:

1 — знак закрепления створа оси; 2 — визирные лучи; 3 — рейка; 4 — грань сваи; 5 — теодолит; 6 — кол; 7 — створ оси

При устройстве монолитных фундаментов с использованием свайного основания разбивка состоит в разметке на оголовках свай продольных и поперечных осей зданий.

Оси переносят на грань сваи 4 последовательно со знаков 1 закрепления их створов на бровку котлована (см. узел 1). Створы осей на бровке котлована закрепляют на верхнем торце деревянных колец 6 диаметром 10 см, длиной 25 см. Колья забивают не ближе 1 м от верхней бровки котлована. Створ 7 оси маркируют (карандашом или другими маркировочными средствами). Затем теодолит устанавливают последовательно над перенесенными точками и ориентируют его трубу вдоль створов одноименных осей.

По описанной методике на сваи переносят все габаритные оси, а также продольные и поперечные оси, расположенные на расстоянии, равном длине применяемой рулетки или меньшем.

Далее на оголовках свай размечают все продольные и поперечные оси. При расположении свай на расстоянии более 4 м от створа осей в натуру переносят линии, параллельные осям, со смещением от осей на величину, равную расстоянию сваи от оси плюс 200...50 мм. Оси на сваях размечают карандашными черточками.

Арматуру каркасов и опалубку размечают в плане от осей 4 (рис. 20.4), вынесенных на оголовках свай. Для этого геометрическим нивелированием переносят отметки по высоте на оголовки сваи. Для последующего бетонирования на внутреннюю грань опалубки после ее установки и закрепления выносят риски 3 отметок верха бетонирования и контрольные отметки, отстоящие от отметок бетонирования на 100 мм. Их подписывают +0,1 м.

Правильность установки опалубки проверяют, измеряя расстояния от осевых рисков на оголовках свай до внутренней грани опалубки метром (линейкой) 2 и определяя толщину защитного слоя 5

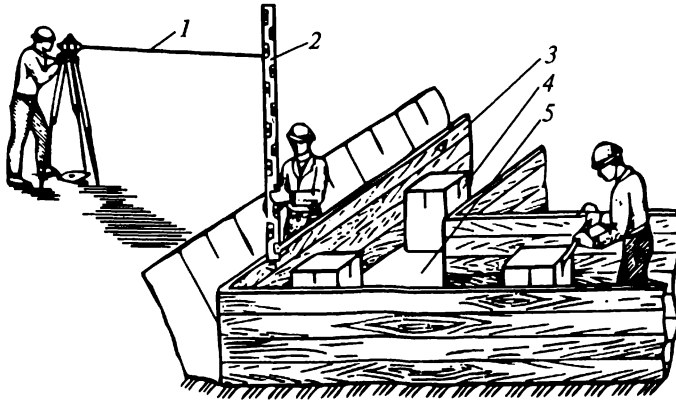


Рис. 20.4. Разбивка осей и отметок для установки арматуры и выверки опалубки (арматура условно не показана):  
 1 — горизонт нивелира; 2 — метр (линейка); 3 — риска отметки верха бетонирования; 4 — оси на оголовках свай; 5 — защитный слой бетона

бетона. Вертикальность опалубки контролируют отвесами по внешним граням, а величину защитного слоя бетона в нижнем сечении проверяют «на глаз».

При устройстве фундаментов в скользящей опалубке кроме ранее описанных разбивочных работ выполняют выверку опалубки. Для этого стенки опалубки устанавливают с наклоном, обеспечивающим увеличение расстояния между ними книзу (конусность в пределах 10... 14 мм, если другая конусность не установлена проектом). Наклон стенок проверяют по отвесу. Дополнительно находят расстояние между внутренними поверхностями обшивки стенок, которое определяют посередине их высоты (это расстояние равно проектной толщине стены).

За установленной опалубкой в процессе бетонирования ведут непрерывные наблюдения. Если опалубка деформируется или смещается, бетонирование приостанавливают и элементы опалубки возвращают в проектное положение. При этом измерения выполняют так же, как и при установке опалубки.

По окончании бетонирования проводят исполнительную съемку фундаментов в плане и по высоте. Для съемки в плане на верхние и боковые грани фундаментов вновь переносят оси. От перенесенных осей делают измерения и по разности между измеренными и проектными расстояниями определяют их отклонения.

Пример записи результатов исполнительной съемки монолитных фундаментов приведен на рис. 20.5. Цифры со знаком плюс или минус показывают величину отклонения отметок верха или низа фундаментов от проектных отметок (плюс — превышение в сравнении с проектной, минус — занижение). Цифры без знаков обозначают ве-

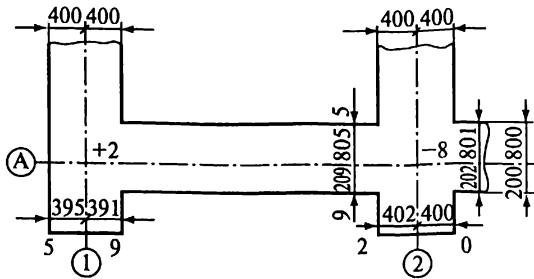


Рис. 20.5. Исполнительная съемка фундамента

личину расширения или заужения фундаментов; если цифра написана с внутренней стороны контура фундамента, то он заужен, если с внешней стороны контура, то фундамент расширен.

**Сборные фундаменты.** Основания под фундаменты проверяют по высоте нивелированием. При глубине котлована до 3 м отметки на его дно переносят непосредственно с бровки. При этом заднюю рейку устанавливают на один из реперов, а переднюю — на стойку строительной скамейки на дне котлована или закрепленный кол. Нивелир устанавливают очень низко, так чтобы визирная ось располагалась на высоте не более 1,2 м от поверхности земли. При глубине котлована более 3 м отметки переносят на его дно в несколько приемов. Нивелирный ход прокладывают по трассе выезда автомашин со дна котлована (по пандусу), а при его отсутствии для установки рейки используют откос.

Отметки на дне котлована фиксируют на временных реперах, закладываемых не менее двух на захватку строительства. Отметки оснований фундаментов определяют для каждого фундамента в нескольких местах. Отдельные сборные фундаменты разбивают следующим образом (рис. 20.6). На дно котлована выносят оси под установку угловых и маячных фундаментных блоков или подушек. Створы осей здания последовательно переносят на верхнюю бровку (скамейку 3), а затем и на дно котлована. На дно котлована с помощью теодолита 1 переносят все габаритные продольные и поперечные оси, а также оси, проходящие по захваткам монтажа или очередям строительных работ. Правильность перенесения осей контролируют, измеряя длину диагоналей.

Угловые и маячные фундаментные блоки можно устанавливать, не перенося оси на дно котлована и используя створ осей на верхней бровке или строительные скамейки. В этом случае укладываемые фундаменты ориентируют двумя теодолитами, а промежуточные фундаментные блоки — откладывая между ними проектные расстояния рулеткой 4. Если на фундаменты устанавливают башмаки под колонны или фундаменты монтируют в несколь-

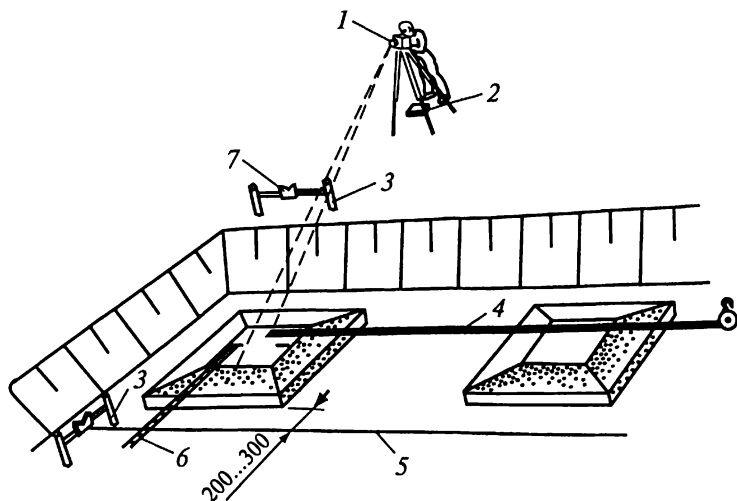


Рис. 20.6. Перенесение осей на фундаментные блоки:  
 1 — теодолит; 2 — знак закрепления створа оси; 3 — строительные скамейки;  
 4, 6 — рулетки; 5 — шнур-причалка; 7 — подвижная марка

ко рядов по высоте, то оси разбивают, используя как основание первый ряд уложенных фундаментов. При этом все разметки створов осей и линий их пересечений маркируют.

Если угловые и промежуточные блоки установлены по теодолиту и нивелиру, то отпадает необходимость в разбивке осей на строительных скамейках. В этом случае используют шнур-причалку 5, которую натягивают по строительным скамейкам 3, угловым и маячным фундаментам на расстоянии 20 ... 30 мм (до грани монтируемого фундамента).

До монтажа фундаментов на их гранях размечают с помощью метра установочные риски. При симметричной привязке фундаментов к осям установочную риску наносят на середине фундамента, при несимметричной привязке установочные риски наносят, отмеряя величины привязок от одних и тех же ребер на всех фундаментах.

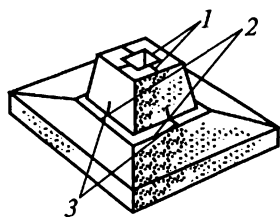


Рис. 20.7. Совмещение рисков при монтаже фундамента под колонну:  
 1, 3 — ориентирные риски; 2 — установочные риски

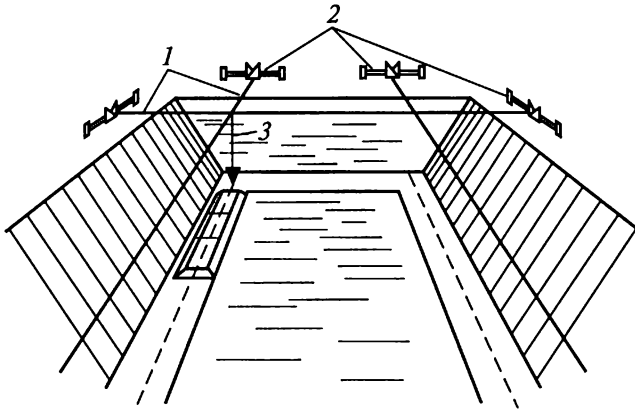


Рис. 20.8. Схема разбивки ленточных сборных фундаментов:  
 1 — монтажная проволока; 2 — строительные скамейки; 3 — отвес

При монтаже башмаков под колонны (рис. 20.7) ориентирные риски 1 наносят, исходя из размеров отверстий стаканов. Отверстие размечают в соответствии с привязкой к нему или осям колонны. С помощью линейки, лески и отвеса эту разметку переносят на наружные грани в месте контакта установленного фундамента и монтируемого башмака. Ориентирные риски 3 на фундаментах и установочные 2 на башмаках совмещают «на глаз».

Высотные отметки при монтаже колонн в стаканы фундаментов проверяют геометрическим нивелированием и выравнивают, подкладывая калиброванные прокладки и устанавливая закладные фиксирующие устройства. Прокладки калибруют по толщине и данным высотной исполнительной съемки.

Ленточные сборные фундаменты разбивают так же, как и отдельные. Для фиксации положения осей можно использовать монтажную проволоку 1 (рис. 20.8), натянутую между строительными скамейками 2. В этом случае перенос осей в котлован осуществляется с помощью отвесов 3. Таким образом устанавливают угловые и маячные фундаменты. Промежуточные фундаменты устраивают между угловыми и маячными с помощью шнура-причалки. Если фундаменты монтируют в несколько рядов по высоте, то последующую разбивку осей и вынос отметок производят, используя как основание первый ряд уложенных фундаментов.

По окончании возведения сборных фундаментов выполняют исполнительную съемку. Для этого на все элементы фундаментов вновь переносят оси. При исполнительной съемке башмаков под колонны высоту отметки определяют по дну стаканов.

### 20.3. Построение базисных осевых систем и разбивка осей на исходном горизонте

*Базисными осевыми системами* называют плановую разбивочную основу на исходном горизонте. *Исходным горизонтом* принято называть горизонт монтажной площадки по завершении строительства подземной части здания.

Базисные фигуры осевой системы строятся на исходном горизонте и по своей форме повторяют конфигурацию здания. Они состоят в основном из типовых правильных геометрических фигур, стороны которых располагаются параллельно осям здания так, чтобы последующая разбивка осей выполнялась непосредственно линейными промерами вдоль сторон базисной фигуры и методом бокового нивелирования — в перпендикулярном направлении.

Точность построения плановой сети на исходном горизонте определяется необходимой точностью детальной разбивки осей с учетом построения пространственной сети на монтажных горизонтах и для сборных зданий характеризуется средней квадратической погрешностью 1...2 мм. Число точек в сети зависит от размеров и конфигурации здания, технологии выполнения строительно-монтажных работ и других факторов.

Существенное значение имеет правильный выбор мест расположения точек базисной фигуры и способа их закрепления, так как эти точки должны быть сохранены до окончания возведения здания.

Положение точек плановой сети на исходном горизонте определяется от осей здания. Оси здания на исходный горизонт переносятся от осей, закрепленных вне контура здания, методом наклонного проектирования с помощью теодолита. При этом фиксируют положение двух взаимно-перпендикулярных продольной и поперечной осей.

Взаимное положение точек базисных фигур определяется в результате выполнения точных измерений. Длины сторон измеряют компарированной рулеткой с миллиметровыми делениями с натяжением и измерением температуры воздуха. Угловые измерения выполняются точными теодолитами.

По результатам измерений производятся уравнивание и вычисление координат точек базисной сети. Для упрощения вычислений применяется условная система координат, принимая координаты одной из точек сети и направление одной из осей за начальные. Вычисленные координаты сравниваются с проектными, и по результатам сравнения выполняется редуцирование. По отредуцированным точкам производят контрольные измерения и при необходимости — повторное редуцирование.

В практике строительства гражданских зданий базисные фигуры строятся в основном в виде прямоугольников с диагоналями и цен-

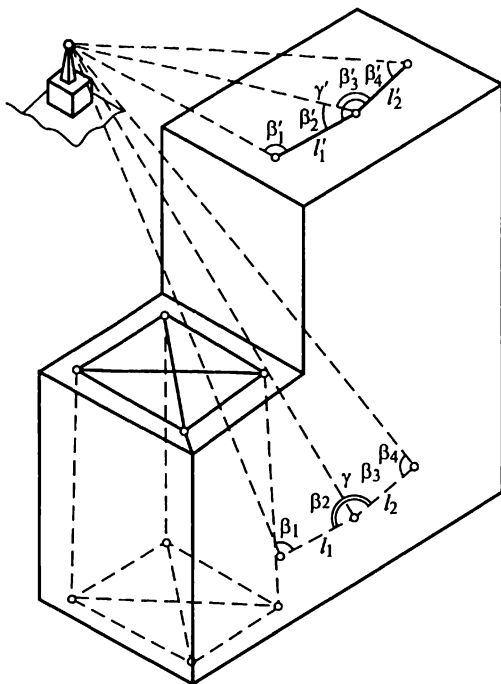


Рис. 20.9. Схема переноса базисных фигур с исходного на монтажный горизонт

тральных систем (рис. 20.9). Наиболее предпочтительным методом построения является метод трилатерации. Иногда для узких, но протяженных зданий базисной фигурой могут служить прямые или ломаные линии. В этом случае для контроля производят угловую привязку этих линий к постоянным местным предметам, видимым как с исходного, так и со всех лежащих выше горизонтов. Для этого измеряют углы  $\beta$  и  $\gamma$ , длины сторон  $l_1$  и  $l_2$  на исходном горизонте и углы  $\beta'$ ,  $\gamma'$ , длины сторон  $l_1'$ ,  $l_2'$  — на монтажном.

#### 20.4. Перенос осей и отметок на монтажные горизонты

Под *монтажным горизонтом* понимается условная плоскость, проходящая через опорные площадки возведенных несущих конструкций строящегося этажа или яруса надземной части здания.

Для детальной разбивки осей на монтажном горизонте точки базисной сети, определяющие положение осей, переносятся с исходного на монтажный горизонт. Эта работа может выполняться наклонным проектированием с помощью теодолита или вертикальным проектированием с помощью специальных высокоточных приборов вертикального проектирования (ПОВП, PZL и т. п.).

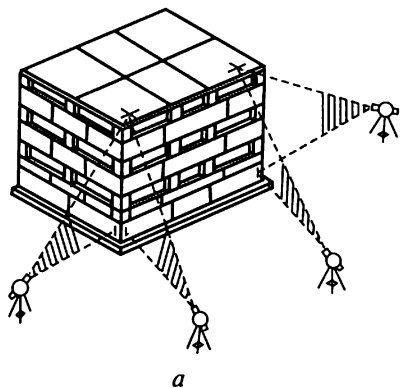
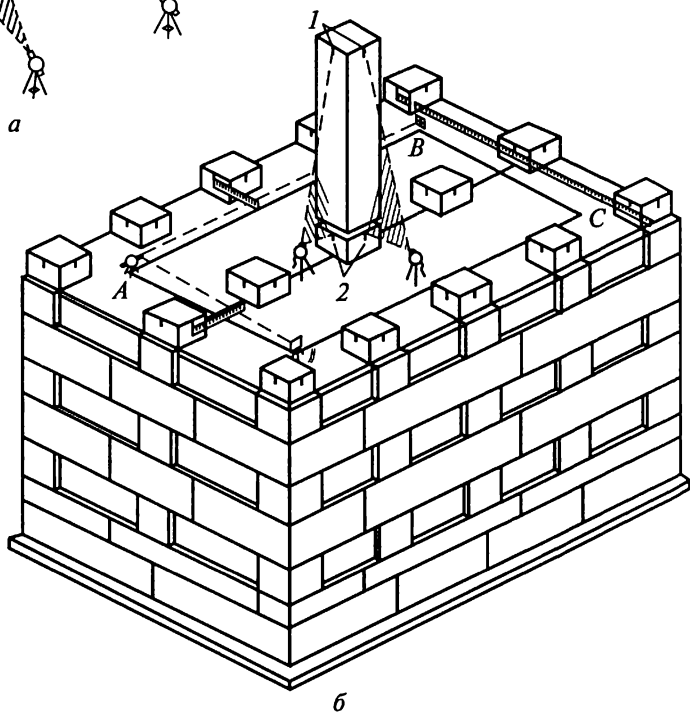


Рис. 20.10. Способ наклонного проектирования:

*a* — схема переноса осей с исходного на монтажный горизонт; *б* — схема работы на монтажном горизонте; *1* — вертикальные штрихи; *2* — горизонтальные штрихи



Способ наклонного проектирования целесообразно применять при возведении зданий малой и средней этажности и при условии больших свободных территорий в границах строительной площадки. При этом способе теодолит устанавливается на некотором расстоянии от здания точно в створе переносимой оси (рис. 20.10). Труба теодолита ориентируется по точке на исходном горизонте, затем, поднимая ее в вертикальной плоскости, по вертикальному штриху фиксируют направление оси на перекрытии монтажного горизонта. Аналогичные действия выполняют при другом круге теодолита и из двух положений оси отмечают среднее. Точно так же определяют положение оси в перпендикулярном направлении; в пересечении получают точку на монтажном горизонте как проекцию соответствующей точки исходного горизонта.



При применении способа вертикального проектирования возможны два случая: сквозной — когда с исходного горизонта точки проектируются последовательно на все монтажные горизонты; шаговый — когда проектирование ведется с исходного на первый монтажный горизонт, с первого на второй и т.д. В обоих случаях методика проектирования одинакова. Зенит-прибор (рис. 20.11) центрируют над исходной точкой, визирный пучок приводят в вертикальное положение при помощи оптического компенсатора или точных уровней. На горизонте строительных работ укрепляют прозрачную палетку с квадратной сеткой, по которой берут отсчеты, определяющие положение проекции вертикальной оптической оси зенит-прибора. Для зенит-приборов с оптическим компенсатором, работающих в одной плоскости, берут отсчеты по палетке при четырех положениях прибора — 0, 180, 90, 270°. Для каждой пары диаметрально противоположных отсчетов берут средние, которые и определяют положение переносимой точки.

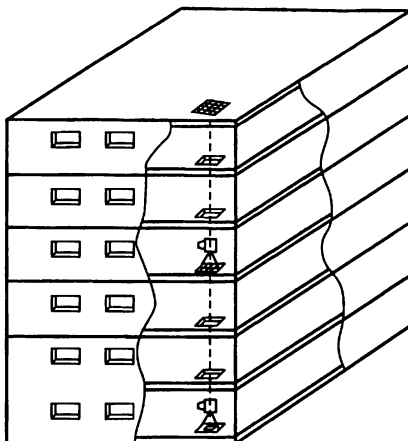


Рис. 20.11. Схема переноса точек закрепления осей с исходного на монтажный горизонт вертикальным проектированием

После переноса базовой фигуры на монтажном горизонте выполняют контрольные измерения всех расстояний и углов между точками. Величины измеренных на монтажном горизонте элементов сравнивают с аналогичными на исходном. В случае недопустимых расхождений перенос повторяют.

Точность проектирования точки наклонным лучом теодолита зависит от следующих погрешностей:

наклона вертикальной оси вращения теодолита  $m_{\tau}$ ;

визирования  $m_{\text{виз}}$ ;

нестворности установки теодолита  $m_{\Delta i}$ ;

фиксации положения проектируемой точки  $m_{\text{ф}}$ .

Погрешность за наклон вертикальной оси вращения теодолита является наиболее существенной. Она может быть подсчитана по формуле

$$m_{\tau} = \frac{0,5\tau'' H}{\rho''}, \quad (20.1)$$

где  $\tau$  — цена деления цилиндрического уровня на горизонтальном круге теодолита;  $H$  — высота проектирования.

При заданной погрешности  $m_t$  по формуле (20.1) можно подсчитать необходимую цену деления уровня на теодолите. Например, при  $m_t = 1$  мм и  $H = 30$  м  $\tau = 14''$ , т.е. нужно применять теодолит типа 2Т2.

Влияние погрешности визирования в линейной мере может быть подсчитано по формуле

$$m_{\text{виз}} = \frac{20'' \sqrt{2S}}{\Gamma^x \rho''},$$

где  $S$  — расстояние от теодолита до проектируемой точки;  $\Gamma^x$  — увеличение зрительной трубы теодолита. При заданной ошибке  $m_{\text{виз}}$  можно определить необходимое увеличение зрительной трубы. Например, при  $m_{\text{виз}} = 0,5$  мм и  $S = 50$  м  $\Gamma = 14^x$ , т.е. для обеспечения заданной погрешности визирования пригоден любой теодолит.

Вопрос об установке теодолита в створе исходной и проектируемой точек возникает лишь тогда, когда эти точки не находятся на одной вертикали. В этом случае нестворность  $\Delta l$  установки теодолита вычисляется по формуле

$$\Delta l = \frac{m_{\Delta l} S}{r},$$

где  $r$  — расстояние между проекциями на горизонтальную плоскость исходной и проектируемой точек. Если, например, при заданной погрешности  $m_{\Delta l} = 0,5$  мм,  $S = 50$  м и  $r = 5$  м, то  $\Delta l = 5$  м, т.е. теодолит в створе может быть установлен «на глаз».

Величина погрешности фиксации обычно не превышает 0,5... 1,0 мм. Точность вертикального проектирования зависит от погрешностей зенит-прибора и принятого способа проектирования.

Средняя квадратическая погрешность  $m_H$  приборов типа ПОВП и PZL определяется приближенной формулой, мм,

$$m_H = 0,01H + 0,3,$$

где  $H$  — высота проектирования, м. При  $H = 100$  м  $m_H = 1,3$  мм.

Общая погрешность  $m_{\text{пр}}$  для сквозного и шагового способов проектирования может быть определена соответственно из следующих выражений:

$$(m_{\text{пр}})_{\text{скв}} = \sqrt{m_H^2 + m_{\text{виз}}^2 + m_{\text{ц}}^2 + m_{\text{ф}}^2}; \quad (20.2)$$

$$(m_{\text{пр}})_{\text{шаг}} = \sqrt{\frac{m_H^2 + m_{\text{виз}}^2}{n} + (m_{\text{ц}}^2 + m_{\text{ф}}^2)n}, \quad (20.3)$$

где  $m_{\text{ц}}$  — погрешность центрирования зенит-прибора;  $n$  — число поярусных перестановок прибора.

Из сравнения формул (20.2) и (20.3) видно, что при шаговом способе в  $\sqrt{n}$  раз уменьшается влияние погрешностей прибора и визирования, но в это же число раз увеличивается влияние погрешностей центрирования и фиксации. Поэтому вопрос о выборе способа проектирования решается в каждом конкретном случае.

Высотным разбивочным обоснованием на каждом монтажном горизонте служат рабочие реперы, отметки которых получены от исходных реперов высотной разбивочной основы. На монтажный горизонт переносят не менее двух реперов в зависимости от числа секций. Рабочими реперами могут служить закладные детали в конструкциях данного этажа или откраски на строительных конструкциях.

Отметки на монтажный горизонт могут передаваться методом геометрического нивелирования с применением двух нивелиров и стальной компарированной рулетки. На исходном и монтажном горизонтах устанавливают нивелиры (рис. 20.12) (можно перенести один нивелир). На реперах, между которыми передаются отметки, устанавливают рейки. Берут отсчеты  $a$  и  $b$  по рейкам и отсчеты  $l_1$  и  $l_2$  по подвешенной рулетке. Разность отсчетов  $l = l_2 - l_1$  необходимо исправить поправками за компарирование и температуру. Искомую отметку монтажного горизонта  $H_{\text{мон}}$  вычисляют по формуле

$$H_{\text{мон}} = H_{\text{исх}} + (a - b) + l,$$

где  $H_{\text{исх}}$  — отметка репера на исходном горизонте.

Точность передачи отметки этим способом будет зависеть в основном от ошибок отсчетов по рейкам и рулетке, компарирования реек и рулетки, учета температуры рулетки. При применении нивелиров типа Н-3, шашечных нивелирных реек и стальных компарированных рулеток с ценой деления 1 мм средняя квадратическая погрешность передачи может быть выражена формулой

$$m_H = 1,5 \text{ мм} + 0,25n,$$

где  $n$  — порядковый номер этажа или яруса, на который передается отметка от исходного репера.

Передача отметки на монтажный горизонт может быть также выполнена путем фиксации отметки на строительных конструкциях исходного горизонта и вертикального линейного промера по строительным конструкциям до соответствующей откраски на монтажном горизонте.

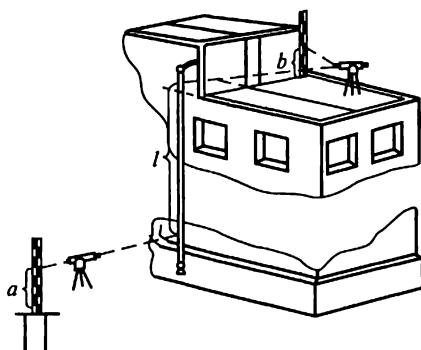


Рис. 20.12. Схема передачи отметки с исходного на монтажный горизонт

Для удобства пользования стараются на монтажном горизонте зафиксировать отметку, кратную целым метрам или полуметрам, например: +24,000 или +24,500.

## **20.5. Геодезические работы при возведении надземной части сборных зданий**

Геодезические работы при возведении надземных частей сборных зданий заключаются в разметке ориентирных рисков для установки (монтажа) крупноразмерных элементов и выносе высотных отметок (уровней) монтажного горизонта.

При возведении крупнопанельных зданий с продольными несущими стенами наносят ориентирные риски для установки панелей стен, лестнично-лифтовых узлов и других элементов. Наносятся риски на верхних поверхностях перекрытий над смонтированными ниже этажами.

Ориентирные риски для наружных стен размечают с внутренней стороны корпуса, средние продольные оси — со стороны, противоположной лестнично-лифтовому узлу, а для стенок жесткости — с любой стороны. Во всех случаях ориентирные риски размечают единообразно на всех этажах. Ориентирные и контрольные ориентирные риски наносят по три для каждой монтируемой панели: две в продольном и одну в поперечном направлениях.

Для зданий с поперечными внутренними несущими стенами направление разметки выбирают от габаритных осей к середине корпуса.

Разметку производят нарастающим итогом от начала разбивки с обязательным контрольным промером всех расстояний.

До установки панелей стен по высотным отметкам по результатам нивелирования выравнивают монтажный горизонт. Для этого нивелируют все опорные плоскости, на которые будут устанавливаться панели стен. Отметки определяют не менее чем в двух точках под каждую панель. Нивелирную рейку устанавливают таким образом, чтобы определялась наивысшая точка опорной плоскости (обычно стыки смежных перекрытий или перекрытий и наружных стен). Отметку наивысшей точки монтажного горизонта увеличивают на минимальную толщину растворной постели и по найденной отметке раствором выравнивают монтажный горизонт. Для этого из небольших порций раствора устраивают маяки *1* (рис. 20.13), которые служат уровнями для растапливаемого раствора.

Положение панелей в нижнем сечении относительно осей (рис. 20.14) выверяют, совмещая боковую и торцовую грани с ориентирными рисками *7*. С контрольными ориентирными рисками совмещают монтажные уголки или Т-образные упоры *6*, при этом совмещают продольную и торцовую грани с щечками *10* уголков или упоров.

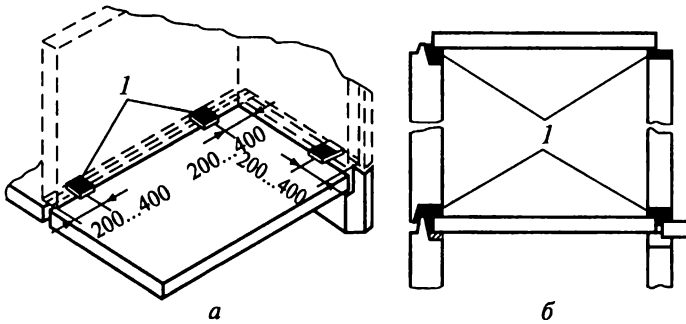


Рис. 20.13. Выравнивание монтажного горизонта:  
*a* — установка маяков под панели; *б* — выравнивание стен и перекрытий;  
*1* — маяки

В отвесном положении панели наружных и внутренних стен временно закрепляют и выверяют с помощью индивидуального или группового монтажного оснащения.

При выверке панелей стен в отвесном положении (рис. 20.15) с помощью индивидуального оснащения — телескопических подкосов *1* по низу панелей — ориентируются упорами *5*. Отвесность панелей стен проверяют рейкой с уровнем или рейкой-отвесом *2*.

Выверку с применением группового монтажного оснащения (рис. 20.16) выполняют тремя горизонтальными связями *1* — дву-

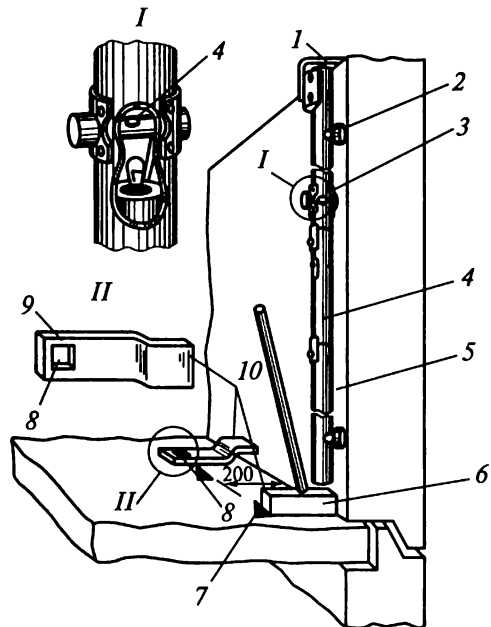


Рис. 20.14. Выверка панелей в нижнем сечении относительно осей:

*1* — скоба; *2* — упор; *3* — уровень; *4* — дюралюминиевая труба; *5* — выверяемая панель; *6* — Т-образный упор; *7* — ориентирная риска; *8* — окно; *9* — установочная риска; *10* — щечки уголка и упора

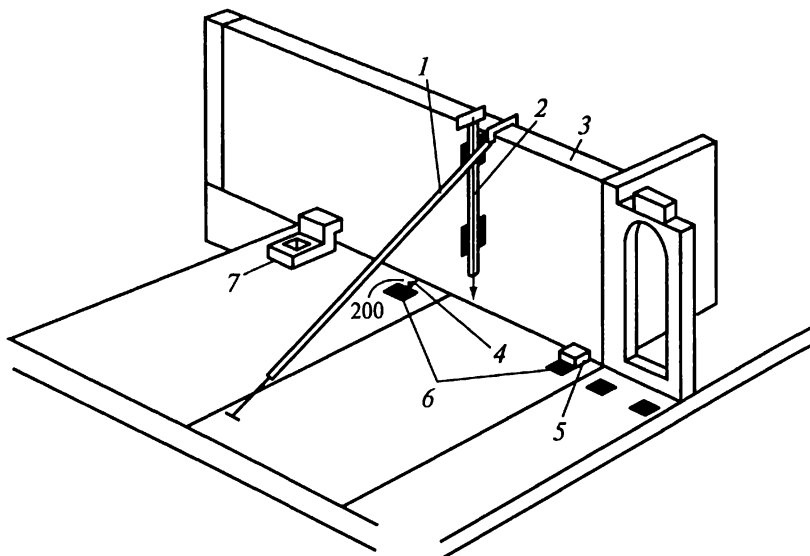


Рис. 20.15. Выверка панелей в отвесном положении:  
 1 — телескопический подкос; 2 — рейка-отвес; 3 — выверяемая панель; 4 — ориентирные риски; 5 — упор; 6 — окно; 7 — уголок

мя сверху и одной снизу (в проеме для пропуска коммуникаций). Проектное положение (расстояние  $D_0$ ) несущих панелей внутренней стены 4 фиксируют по их геометрическим осям, начиная от базовой панели 2, которую выверяют обычными способами. Возможное отклонение компенсируют тем, что расстояние между захватками всегда сохраняется равным проектному. Щечки 5 вилочных захватов зажимают панель 4 с обеих сторон.

Для разметки ориентиров и выверки панелей стен применяют шаблоны, позволяющие получить на монтажном горизонте ориентирные риски под установку низа панелей стен по металлической ленте. Используют и другие комплекты монтажной оснастки, правила применения которой приведены в инструкциях и должны быть изучены до начала работы. Любую монтажную оснастку перед применением проверяют — измеряют расстояния между ориентирами на шаблонах и сравнивают их с проектными.

При исполнительной съемке в плане в крупнопанельных зданиях фиксируют все отклонения наружных стен, лифтовых шахт и стенок жесткости от их проектного положения. В зданиях с продольными несущими стенами определяют точность монтажа панелей стен по продольным осям, в зданиях с поперечными несущими стенами — по поперечным осям. Измерения производят на каждом этаже. Пример записи результатов исполнительной съемки крупнопанельного здания приведен на рис. 20.17.

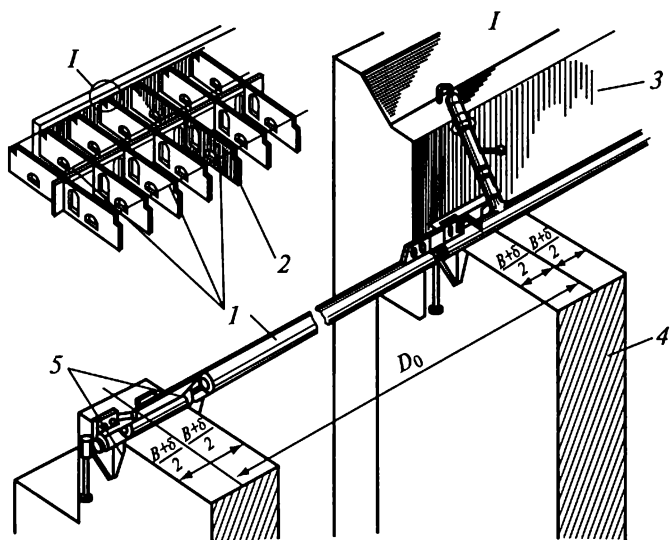


Рис. 20.16. Групповое монтажное оснащение:

*1* — горизонтальная связь; *2* — базовая панель; *3* — панель наружной стены; *4* — панель внутренней стены; *5* — щечки вилочного захвата;  $B + \delta$  — половина толщины панели и погрешность изготовления панели;  $B$  — толщина панели;  $D_0$  — проектное расстояние между осями панели

Основными элементами каркасных зданий являются колонны, ригели и плиты перекрытий. Геодезическую разбивку и выверку производят в основном для монтажа колонн, все остальные конструкции монтируются практически без участия геодезиста.

До начала возведения каркасных зданий производят разметку сборных элементов, подготовленных для возведения здания. Для этого на элементы наносят установочные риски — тонкие черточки длиной до 60 мм, по которым сборные элементы совмещают с ориентирными рисками, ранее размеченными от осей на установленных конструкциях. Риски наносят ярким цветным карандашом.

При разметке железобетонных колонн каркаса (рис. 20.18, *a*) установочные риски *1* наносят на колонну с отступлением от нижнего и верхнего ее торцов на 100 мм. На колоннах первого яруса при установке их в стаканы размечают установочные риски с учетом глубины стакана. Разметку производят шаблоном или рулеткой. При этом базой отсчета для разметки боковых граней служат ребра, находившиеся на дне формооснастки при изготовлении колонн. Ребра образуют плоскость, противоположную той, на которой есть монтажные петли. Верхнюю и нижнюю грани размечают симметрично, если иная привязка колонн к осям не предусмотре-

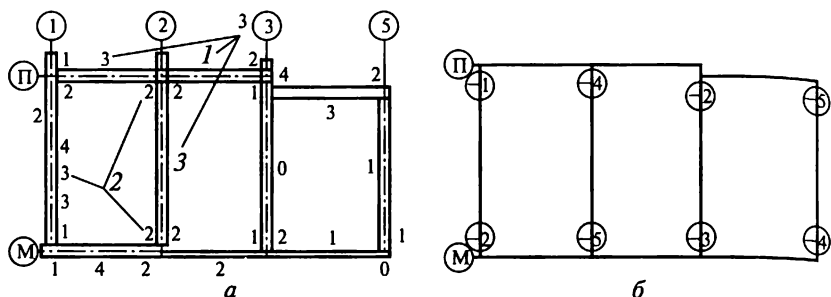


Рис. 20.17. Пример исполнительной съемки крупнопанельного здания: *а* — в плане; *б* — по высоте; 1 — отклонение опорных площадок до маяков; 2, 3 — смещение панелей соответственно в нижнем сечении и от вертикали

на проекте. На железобетонных колоннах с металлическим сердечником (рис. 20.18, *б*) за основу разметки принимают металлические пластины 3 и размеченные на них риски  $S/2$ , которые переносят на бетонную плоскость колонн.

Установочные риски для Н- и Т-образных рамных конструкций из колонн размечают, как на одиночных колоннах. Восьмигранные колонны и колонны, имеющие в сечении другие правильные фигуры, размечают на четырех противоположных плоскостях.

Колонны круглого сечения (рис. 20.18, *в*) размечают с помощью шаблонов. Для нанесения установочных рисок колонну в нижнем сечении обмеряют по окружности. Полученную длину окружности делят на четыре части. Через начальную точку прово-

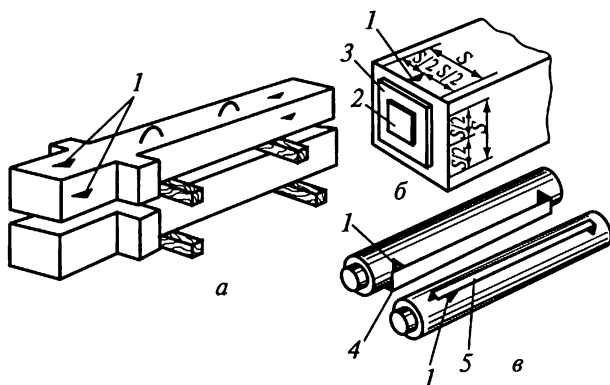


Рис. 20.18. Разметка колонн:

*а* — железобетонных; *б* — железобетонных с металлическим сердечником; *в* — круглого сечения; 1 — установочные риски; 2 — центровочная накладка; 3 — пластина разметки; 4 — швеллер; 5 — уголок



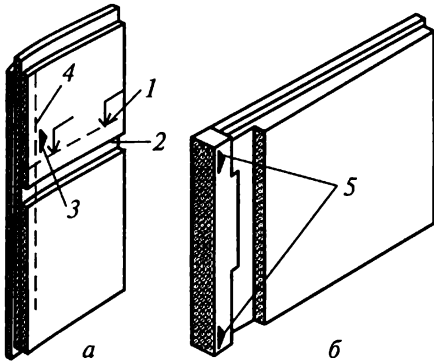


Рис. 20.19. Разметка панелей:  
*a* — навесных; *б* — колонн с пристыкованной встроенной панелью; 1 — уровень подвески; 2 — штраба; 3 — контрольная установочная риска; 4 — грань подвески; 5 — установочные риски

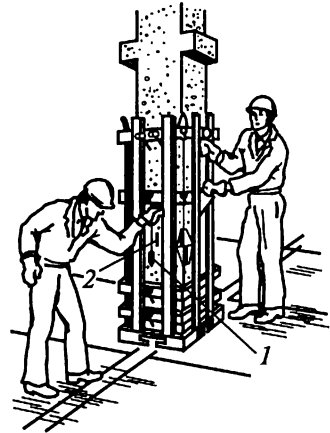


Рис. 20.20. Выверка колонны в нижнем сечении:  
 1 — отвес; 2 — установочная риска

дят первую установочную риску 1, последующие три наносят через равные промежутки. Для разметки верхнего сечения колонны на горизонтальную площадку укладывают шаблон из недеформированного швеллера 4. Колонну укладывают в швеллер, совмещая одну из полок с установочной рисккой, принимаемой за начало отсчета. Для разметки может быть использован металлический уголок 5, который накладывают на колонну.

Разметку навесных панелей (рис. 20.19) производят нанесением на их внутренних плоскостях уровней подвески 1 с тем, чтобы при монтаже обеспечивалась их установка на требуемой высоте. Дополнительно наносят контрольные установочные риски 3 со смещением от основных на 100 мм. Для установки в плане на плоскости панели наносят установочную 5 и контрольную установочную 3 риски, причем последнюю со смещением от основной на 100...200 мм.

Совмещение установочных рисков 2 (рис. 20.20) на колоннах с ориентирными рисками на основаниях проверяют по отвесу 1. Ориентирные риски наносят на всех гранях колонн.

Выверку каркасов с колоннами высотой на один этаж при совмещении с перекрытием стыка колонн начинают с базового ряда. Низ колонн приводят в проектное положение, совмещая установочную риску 3 (рис. 20.21) монтируемой колонны с ориентирной (осевой) рисккой 1, размеченной на лежащих ниже элементах (опорах). Правильность совмещения проверяют отвесом. Выверку по вертикали осуществляют двумя проверенными теодолитами по двум взаимно-перпендикулярным плоскостям.

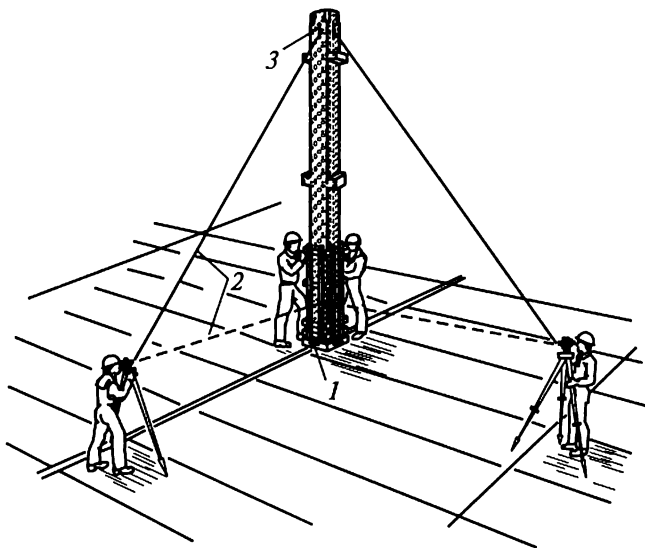


Рис. 20.21. Выверка колонн по вертикали:  
 1 — ориентирная риска; 2 — визирный луч; 3 — установочная риска

Выверку каркасов с рамными конструкциями Н- и Т-образной формы начинают с проверки и выравнивания отметок опорных поверхностей рам прокладками по данным нивелирования.

Применяемое при установке колонн монтажное оснащение систематически проверяют: измеряют расстояние между упорами, к которым прижимаются колонны, сравнивают его с проектными размерами между гранями колонн.

По окончании монтажа колонн, до установки последующих элементов, проводят исполнительную съемку.

Для монтажа блочных зданий геодезические работы начинают с переноса на фундаменты осей, проходящих по габаритным размерам здания. Затем разбивают все оси, проходящие по несущим стенам. От этих осей размечают и тонкими карандашными черточками наносят по граням стен установочные риски для монтажа сборных элементов. Проводят также линии, отнесенные от граней на определенное, заранее обусловленное, расстояние (обычно 200 мм). Как правило, в натуре выносят установочные риски только в начале и конце стены. Между ними натягивают тонкую металлическую проволоку или леску (причалку), по которой ориентируют все промежуточные блоки при их установке.

Для промежуточных осей проектные расстояния откладывают от основных осей. За начальные точки принимают пересечения продольных и поперечных осей, вынесенные на монтажный горизонт. Промежуточные оси 3 (рис. 20.22) разбивают от

точек 1. Последние расстояния 2 измеряют для контроля. Оси 1...7, А...Г проходят по несущим стенам. Условно разбивка показана только по осям 1 и А. Аналогичную разбивку (оси 2...6) делают по продольной оси Г и оси 1 (оси Б, В). На пересечении осей по контуру устанавливают маячные блоки. Ими считают блоки, которые помещают в местах перевязки или пересечения осей стен здания, но не реже чем через 20...30 м. Между маячными устанавливают рядовые блоки. Для рядовых блоков наружных стен, расположенных ниже уровня грунта, причалку натягивают между угловыми или маячными блоками на расстоянии 20...30 мм от внутренней плоскости стен. Для блоков, которые монтируют выше уровня грунта, причалку натягивают по наружной плоскости стен.

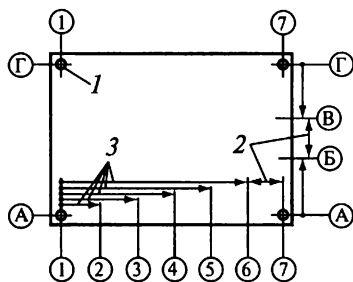


Рис. 20.22. Схема разбивки и контроля блочного здания: 1 — точка пересечения габаритных осей; 2 — расстояния, измеряемые для контроля; 3 — промежуточные оси

Внутренние стены подземной и надземной частей здания выравнивают одинаково на всех этажах. Оси первого и последующего этажей разбивают непосредственно от знаков, закрепляющих их створы.

В продольном направлении монтируемые блоки выверяют контактным способом по калибрам или шаблонам, в качестве которых используют прокладки — деревянные или иные бруски. Толщина прокладок соответствует проектной толщине швов. Перед заделкой шва прокладку извлекают.

Положение блоков стен по высоте определяют по результатам нивелирования. Отметки опорных поверхностей стен выравнивают по маякам. Высоты маяков вычисляют по разности между отметкой наивысшей точки монтажного горизонта, увеличенной на толщину растворной постели, и отметкой опорной плоскости монтируемого блока.

Исполнительную съемку в плане крупноблочных зданий высотой до пяти этажей включительно при высоте этажа до 3 м выполняют в местах установки блоков перевязки. Для зданий более пяти этажей или зданий с этажами высотой более 3 м, кроме того, выполняют исполнительную съемку мест примыкания внутренних стен к наружным на каждом этаже.

При блочном строительстве главным в геодезических измерениях является перенос габаритных осей здания на фундаменты и разбивка осей его несущих стен. На эти основные оси ориентируют все промежуточные блоки.

## 20.6. Геодезические работы при возведении зданий из монолитного железобетона и кирпичных зданий

Наиболее пластичная конфигурация зданий и сооружений достигается при их возведении из монолитного железобетона и кирпича.

Геодезические работы при возведении зданий из монолитного железобетона состоят из разметки на горизонтальных плоскостях перекрытий ориентирных рисок для установки арматуры и опалубки. Опалубочные технологии могут быть условно разделены на горизонтально и вертикально устанавливаемые элементы опалубки. Наиболее точной и сложной разметки требует установка вертикально устанавливаемых щитов. В свою очередь вертикально устанавливаемая опалубка стен и колонн делится на опалубку для сборки конструкций вручную и для установки кранами.

*Стенная опалубка* благодаря модульному принципу позволяет из щитов, устанавливаемых вертикально и горизонтально, формировать конструкции различной, заранее заданной толщины. В устанавливаемых конструкциях элементы могут смещаться относительно друг друга вверх и вниз. Промежуточное пространство выравнивают за счет переставляемых выравнивающих листов (рис. 20.23).

*Круговая опалубка*, как правило, состоит из стандартных элементов стенной опалубки и особых вкладышей. Разметку ориентиров производят в начале и конце круговой опалубки (рис. 20.24).

*Опалубка для колонн* состоит из щитовых элементов, соединяемых специальными конструкциями, называемыми «наружный

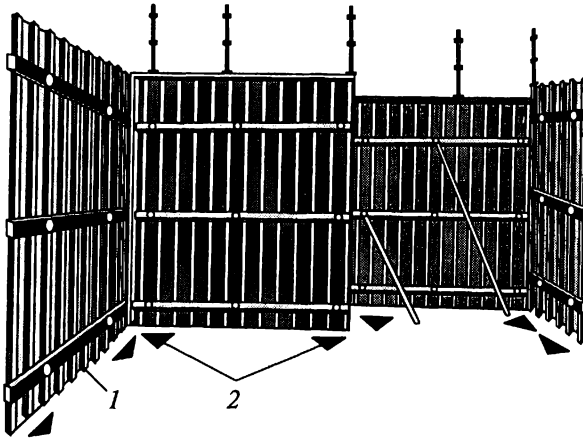


Рис. 20.23. Разметка рисок для установки вертикальных щитов опалубки:  
1 — опалубка; 2 — ориентирные риски

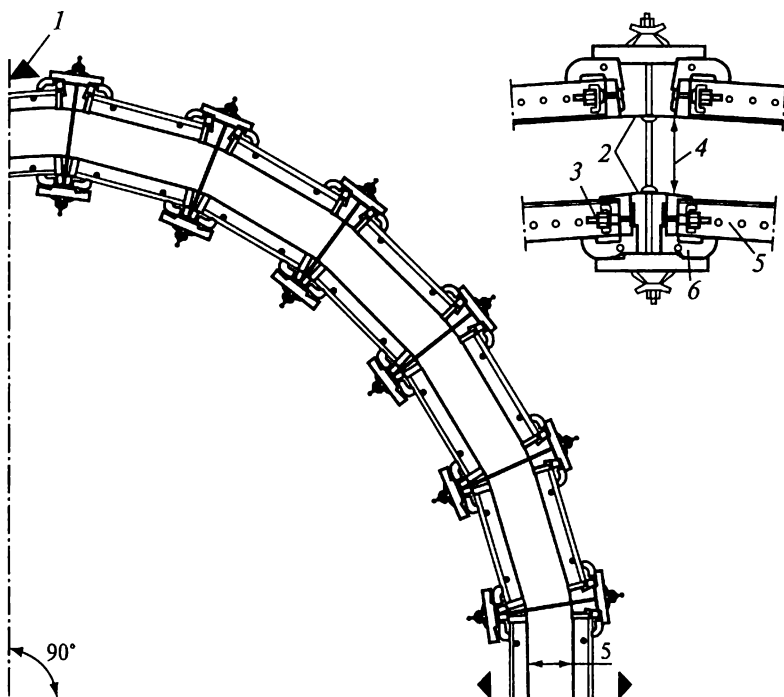


Рис. 20.24. Разметка для установки круговой опалубки:  
 1 — ориентирная риска; 2 — рейка; 3 — центрирующая затяжка; 4 — измеряемое расстояние между щитами опалубки; 5 — щит; 6 — анкер-траверса

угол». Объем колонн формируется из обычных щитов, соединяемых снаружи специальными держателями (рис. 20.25).

*Опалубка перекрытий* составляется из стандартных, как правило, крупных щитов или не снимаемого в дальнейшем профилированного настила. Так как вертикальные и горизонтальные щиты примыкают друг к другу весьма плотно, выверка опалубки перекрытий заключается главным образом в нивелировании мест примыканий и исправлении негоризонтальности, которое производят путем подъема (опускания) опор поддерживающих штанг (рис. 20.26).

**Опалубка для фундаментов** устанавливается горизонтально на землю или другое основание и закрепляется при помощи специальных анкерных держателей. Выверку опалубки относительно разбивочных осей или линий, им параллельных, производят по внешним граням щитов опалубки. Измеряются размеры прямым промером в верхнем сечении. Вертикальность щитов проверяется специальной рейкой с уровнем или отвесом.

Разметку осей для возведения кирпичных стен зданий производят, как правило, на исходном горизонте. Проверку правильно-

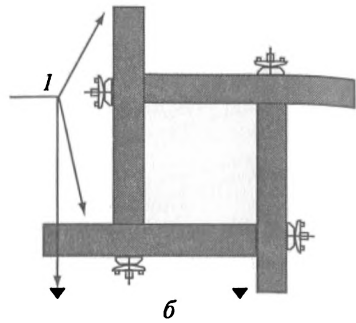
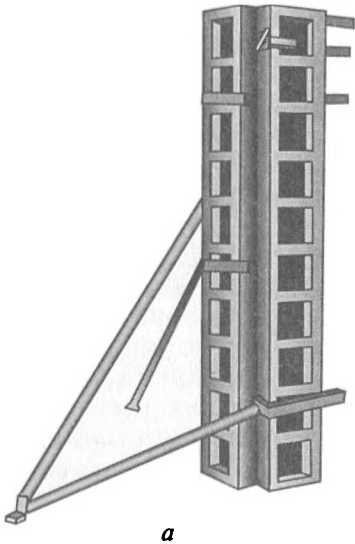


Рис. 20.25. Опалубка для колонн:  
*a* — установка опалубки колонн; *б* — расположение ориентирных рисок; *1* — ориентирные риски

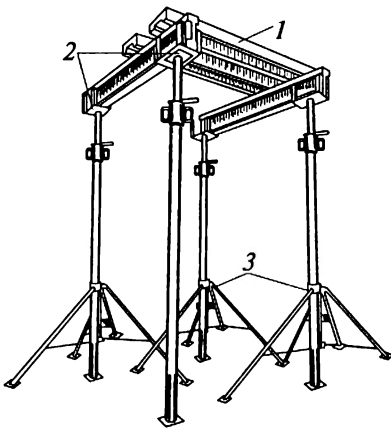


Рис. 20.26. Опалубка перекрытий:  
*1* — опорная пластина горизонтального щита опалубки; *2* — механизм подъема (опускания) щита; *3* — поддерживающая стойка

сти кирпичной кладки стен и горизонтальности укладки перекрытий осуществляют на каждом этаже с помощью отвеса, рейки отвеса, нивелирования плит перекрытий.

Закладные детали, проемы, ниши размечают по высоте от контрольных реек или рисок отметок (на кирпичных зданиях) или от верхних торцов щитов (на монолитных зданиях). В плане эти элементы размечают от углов или мест пересечения стен.

По мере возведения монолитных и кирпичных стен выполняют исполнительную съемку с периодичностью 2,5...4,0 м по высоте.

Достижение пластичности конфигурации зданий и сооружений из монолитного железобетона и кирпича требует более тщательного и частого проведения исполнительной геодезической съемки. Объем проведения съемки в 5—10 раз больше, чем при возведении блочных (крупноблочных), крупнопанельных и каркасных зданий. Наиболее сложной и точной разметки требует вертикальная опалубка и нивелирование мест примыканий к ней горизонтальной опалубки.

## ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ

### 21.1. Разбивка промышленных сооружений

Промышленные предприятия представляют собой комплекс сооружений, обеспечивающих производство и выпуск определенной продукции. Входящие в его состав сооружения производственного назначения называют *промышленными*. К ним относятся: специализированные здания, в которых осуществляется определенный технологический процесс; связанные с ними здания энергетических, силовых и других установок; складские помещения, в том числе и механизированные; подземные и надземные коммуникации и т. д. По своему объемно-планировочному и конструктивному решению промышленные здания отличаются большим разнообразием, зависящим от назначения, последовательности операций технологических процессов, расположения и габаритных размеров оборудования и т. д.

Промышленные здания проектируют одноэтажными и многоэтажными, однопролетными и многопролетными. По конструкции они чаще всего каркасные, с несущими элементами перекрытий в виде крупноразмерных балок или ферм. Как правило, промышленные здания оборудуются грузоподъемными механизмами — мостовыми или козловыми кранами. Приведем основные конструктивные элементы одноэтажного каркасного здания (рис. 21.1). Колонны размещаются в соответствии с сеткой продольных и поперечных разбивочных осей здания. Расстояния между продольными осями называют *пролетом*, а между поперечными — *шагом колонн*. Колонны устанавливаются на фундаменты. Продольная связь колонн осуществляется с помощью подстропильных ферм и фундаментных балок, поперечная связь — стропильными фермами. Перекрытия и стены возводятся из панелей. Опорой для оборудования мостового крана служат подкрановые балки.

При возведении сооружений промышленного предприятия выполняют большой объем геодезических работ. Для выноса проекта в натуру строят разбивочную сеть. От пунктов разбивочной сети выносят главные и основные оси зданий, сооружений, инженерных коммуникаций. При детальной разбивке определяют положение отдельных элементов конструкций от вынесенных и закрепленных основных осей. Кроме того, выполняют разбивки фундаментов, закладных и опорных частей для монтажа технологического оборудования. Особое место в процессе строительства промышленного предприятия занимают геодезические работы при

монтаже технологического оборудования, обеспечивающего производственный процесс. Методика и точность этих работ зависят от многих факторов, основными из которых являются: форма, размеры и конструктивные особенности оборудования, а также требования к взаимному положению их элементов.

Разбивочная основа, как правило, создается в виде геодезической строительной сетки с длиной стороны квадратов 100...200 м. Координатные оси сетки строго параллельны основным осям сооружений. Строительная сетка проектируется на генеральном плане промышленного предприятия таким образом, чтобы с учетом расположения всего комплекса зданий и сооружений ее пункты в минимальной степени попадали в зону производства строительных работ и не утрачивались в процессе строительства.

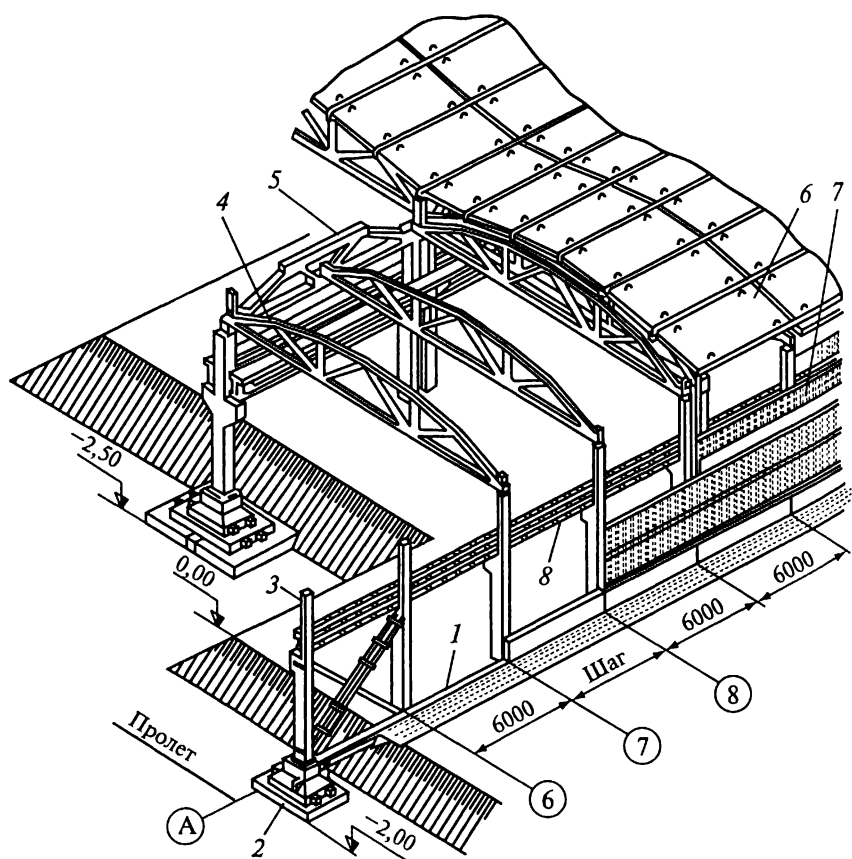


Рис. 21.1. Конструктивные элементы одноэтажного промышленного здания: 1, 6 — панели; 2 — фундамент; 3 — колонна; 4 — подстропильная ферма; 5 — стропильная ферма; 7 — подкрановая балка; 8 — фундаментная балка



Практика показывает, что даже при самом тщательном планировании расположения пунктов строительной сетки значительная часть их в процессе строительства утрачивается и для всех последующих видов работ их надо восстанавливать либо создавать новое обоснование. Кроме того, технология построения строительной сетки достаточно сложна и трудоемка.

Поскольку проектировщик зданий, сооружений дает привязку, как правило, в прямоугольной системе координат строительной сетки, то можно ее проектировать, но только на генеральном плане. Геодезист же всегда может пересчитать координаты и соответственно проектные привязки из строительной (данной проектировщиком) системы в геодезическую: государственную или местную, применяемую в данном районе строительства. Для этого на местности должны быть вынесены и привязаны к геодезической системе координаты не менее двух пунктов, местоположение которых соответствует каким-либо пунктам сетки на генеральном плане. Это должно быть сделано с точностью, необходимой для определения местоположения на местности всей строительной площадки, т.е. традиционно. Что касается геодезического обоснования на местности, то оно может строиться с той же плотностью, что и строительная сетка, но с таким расположением пунктов, которое обеспечило бы их длительную сохранность и удобство выполнения всех видов геодезических работ.

Рассмотрим несколько возможных технологических схем построения геодезического обоснования на промышленных площадках.

В первой из них на площадке строительства развивается геодезическая сеть в традиционном виде путем последовательного ее сгущения до необходимой плотности положения пунктов для выполнения разбивочных работ. Например, на территории всей площадки и подходов к ней развивается сеть триангуляции или полигонометрии, которая затем сгущается системой ходов полигонометрии последующих разрядов. При этом пункты полигонометрии располагаются в местах, удобных для разбивки, и вне зоны строительных работ. Такая технология оправдана и сегодня при наличии у исполнителя только традиционных геодезических приборов: теодолитов, мерных приборов и т.п., а также традиционных навыков выполнения работ. Не исключено также, что для определенных условий такая технология может оказаться дешевле других.

Во втором варианте на территории всей площадки и подходов к ней развивается любого вида каркасная опорная сеть. Пункты этой сети располагаются по возможности таким образом, чтобы на группу пунктов была видимость со многих мест площадки. В дальнейшем разбивочное обоснование развивается по известному методу свободной станции, т.е. когда в необходимом месте положение пункта определяется обратной угловой засечкой. Здесь могут иметь место два случая. В первом случае (рис. 21.2) станции

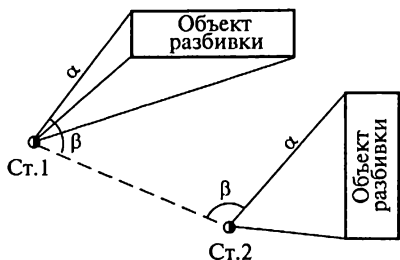


Рис. 21.2. Схема разбивки методом свободной станции

располагаются вблизи выносимых в натуре зданий, сооружений, и разбивка производится непосредственно с закрепленных точек этих станций. Когда расположить станцию в непосредственной близости от объекта разбивки невозможно, она выбирается в любом удобном месте (рис. 21.3), а от нее к выносимым зданиям прокладываются подходные теодолитные или полигонометрические ходы. При применении

спутниковых технологий схема решения аналогична схеме свободной станции с теми же вариантами расположения точек разбивочного обоснования. Для разбивочных работ могут применяться любые спутниковые приемники и методы измерений, обеспечивающие точность определения местоположения со средней квадратической погрешностью до 2 см. Исполнителю необходимо иметь, как минимум, два приемника, один из которых на все время наблюдений устанавливается в пункте с известными координатами в местной или государственной системе, другой — перемещается в положение заранее отрекогносцированных и закрепленных свободных станций. Такая схема наблюдений возможна, если известны не только координаты одного из пунктов в местной или государственной системах, но и дирекционный угол какого-либо направления для последующего ориентирования разбивочной сети при преобразовании координат из системы WGS-84 в местную.

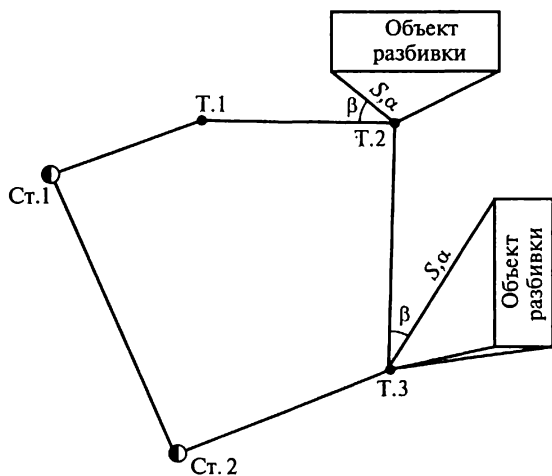


Рис. 21.3. Схема разбивки с удаленным расположением свободной станции

Возможна схема, когда опорные наблюдения ведут на двух-трех пунктах с известными координатами. В этом случае производителю работ целесообразно иметь комплект из трех спутниковых приемников.

Если на большом объекте (город, промышленный объект) организована постоянная спутниковая служба GPS с обработкой наблюдений в едином центре, то производителю конкретных разбивочных работ достаточно иметь один мобильный приемник.

Высотная основа на крупных промышленных площадках разбивается в виде полигонов нивелирования III класса, сгущаемых ходами нивелирования IV класса. При наличии строительной сети нивелирные ходы прокладывают по ее пунктам.

Геодзическую разбивку и закрепление основных осей промышленных зданий, детальную разбивку фундаментов и установку строительных конструкций выполняют такими же способами, в той же последовательности и с теми же точностными требованиями, как и для гражданских зданий.

Особое внимание уделяют установке в проектное положение колонн, являющихся основными несущими конструкциями промышленного здания и испытывающих большие нагрузки не только от других строительных конструкций, но и от грузоподъемных механизмов. При установке железобетонных колонн необходимо обеспечить точную разбивку фундаментных стаканов. Точность установки на фундаментах металлических колонн, так же как металлоконструкций и оборудования, зависит от точности установки закладных деталей — анкерных болтов, опорных плит и т. п.

Исходными для установки закладных деталей являются разбивочные оси фундамента, которые выносят на контур опалубки. При установке анкерных болтов чаще всего используют специальный шаблон, называемый *монтажным кондуктором*. Кондуктор представляет собой рамное приспособление из деревянных брусков или отрезков металлического профиля (уголка, швеллера и др.). В кондукторе в соответствии с проектным расположением анкерных болтов просверливают отверстия. Кондуктор ориентируют строго по продольным и поперечным осям фундамента. Установку анкерных болтов на проектную отметку выполняют при помощи нивелира. До и после бетонирования фундамента производят контроль установки анкерных болтов.

Каждая колонна устанавливается на фундамент таким образом, чтобы ее осевые метки у основания совпали с осями, вынесенными на верхнюю поверхность фундамента. Вертикально колонну устанавливают при помощи отвеса, теодолита или боковым нивелированием. Смещение относительно разбивочной оси допускается в нижнем сечении до 5 мм, отклонение от вертикали в верхнем сечении — до 15 мм при высоте колонн менее 15 м и до

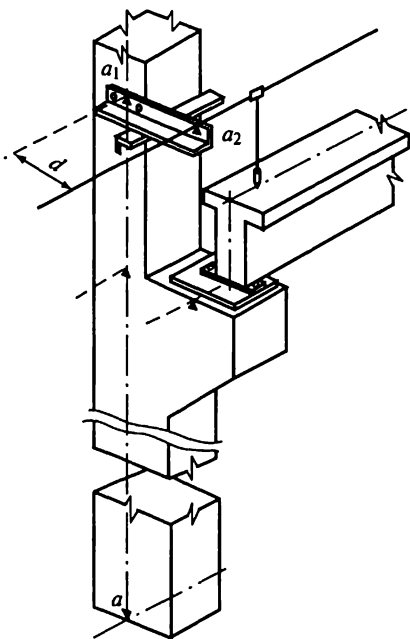


Рис. 21.4. Схема установки в проектное положение подкрановых балок

$0,001H$  — при высоте, большей 15 м. Отклонение опорной поверхности колонн по высоте допускается 5 мм.

Установку ферм перекрытий, подкрановых балок или ригелей (при отсутствии в здании мостовых кранов) выполняют также совмещением осевых меток с обозначенными на конструкциях колонн разбивочными осями. Перед их установкой определяют фактические отметки опорных поверхностей колонн, чтобы при необходимости найти толщину прокладок для выравнивания конструкций по высоте.

Для установки подкрановых балок вдоль ряда колонн наклонным лучом теодолита переносят осевую метку  $a$  (рис. 21.4) на специальный кронштейн, прикрепленный к колонне выше балки. От полученной точки  $a_1$

откладывают проектное расстояние  $d$  между осями колонны и подкрановой балки и отмечают на кронштейне положение точки  $a_2$  монтажной оси. Между точками на кронштейнах крайних колонн натягивают струну, на которую у каждой колонны подвешивают отвес. Совмещая продольную ось балки с отвесом, определяют ее проектное положение.

Проектное положение технологического оборудования задается относительно монтажных и технологических осей. Вынос этих осей в натуру производят от разбивочных осей строительных конструкций или их параллелей, перенесенных вовнутрь строящегося сооружения. Иногда внутри крупных сооружений цехового типа с разнообразным расположением оборудования создают специальную плано-высотную геодезическую сеть. Это чаще всего строительная сетка с небольшими размерами (10...20 м) сторон квадратов или прямоугольников. Положение пунктов сетки привязывают к осям строительных конструкций. Закрепляют их, как правило, металлическими пластинами, забетонированными в полу сооружения, а высотную сеть — в виде реперов на колоннах и фундаментах, а также в виде открасок на строительных конструкциях.

Перед монтажом на фундаментах под установку технологического оборудования выносят его проектные оси, опорные плоско-

сти доводят до проектных отметок, анкерные болты и другие закладные детали устраивают со строгим соблюдением проектных размеров и высот. Чаще всего для монтажных работ размечают и закрепляют не разбивочные оси, а линии, им параллельные.

При геодезическом обеспечении монтажных работ применяют различные методы и приборы. Для задания створов применяют струнный и оптический способы, используя теодолиты, специальные приборы для выверки прямолинейности, лазерные и автоколлимационные системы. Если установка оборудования производится от створов, параллельных осям, то применяют различные шаблоны, жезлы и другие длиномеры, позволяющие переносить базовую прямую в места установки оборудования. При площадной расстановке оборудования применяют способы: прямоугольных координат, полярный, угловых и линейных засечек, створно-линейный и др. Для монтажа на разных горизонтах перенос исходных точек осуществляют при помощи приборов вертикального проектирования. При высотной установке оборудования используют геометрическое нивелирование, микроnivelирование, гидросистемы.

Отличительной особенностью геодезических работ при монтаже технологического оборудования является применение нестандартных приборов, разрабатываемых специально для решения конкретной задачи и обеспечения высоких требований к точности монтажа технологического оборудования (от 1,0 до 0,05 мм).

## **21.2. Разбивка и выверка подкрановых путей**

Мостовые краны являются основными средствами механизации подъемно-транспортных операций на различных промышленных предприятиях. С их помощью поднимают, транспортируют и устанавливают тяжелые машины и детали.

Мостовой кран состоит из металлического моста на ходовых колесах, перемещающегося по подкрановым путям в виде железнодорожных или специальных рельсов. Подъем груза и перемещение его вдоль моста осуществляют при помощи грузовой тележки. Устройство такой тележки и способ перемещения грузов непосредственно не относится к задачам, решаемым методами инженерной геодезии. Крепление рельсов к подкрановым балкам делается, как правило, подвижным, что позволяет легко и быстро смещать рельсы при их укладке и в процессе эксплуатационных выверок.

Нормальная эксплуатация мостовых кранов в значительной мере зависит от соблюдения технических требований, предъявляемых к геометрии подкрановых путей. Перечислим основные из них. Каждая из ниток рельсов должна быть прямолинейной и горизонтальной. Обе нитки рельсов должны быть параллельны, лежать в одной горизонтальной плоскости и находиться на расстоянии друг от друга, соответствующем длине пролета мостового крана.

При укладке рельсовых путей мостового крана и их эксплуатации должны соблюдаться следующие основные требования:

отклонение рельса от прямой линии не должно превышать 15 мм при укладке и 20 мм при эксплуатации;

разность отметок головок рельсов в одном поперечном сечении на опорах не должна превышать 15 мм при укладке и 20 мм при эксплуатации;

разность отметок головок рельсов на соседних колоннах не должна превышать 10 мм при укладке и 15 мм при эксплуатации;

отклонение расстояния между рельсами не должно превышать 10 мм при укладке и 15 мм при эксплуатации.

Геодезическое обслуживание мостовых кранов не ограничивается только работами, связанными с монтажом подкрановых путей в процессе строительства. При эксплуатации кранов осуществляется систематический контроль за положением подкрановых путей. Это необходимо делать в связи с изменением геометрических параметров подкрановых путей вследствие воздействия силовых нагрузок крана, осадок фундаментов и несущих колонн, деформации подкрановых балок, износа рельса, деталей его крепления и др.

Расположение подкрановых путей сравнительно высоко над полом определяет особенности выполнения геодезических работ при их монтаже и выверке. При монтаже оси рельсов разбивают от основных осей сооружения, например от оси колонн или оси пролета (продольной оси симметрии подкрановых путей), и выносят на специальные кронштейны над балками (см. рис. 21.4) или на боковую поверхность колонн.

В зависимости от ширины колеи подкрановых путей и условий производства работ возможны различные варианты разбивки осей рельсов и переноса их на горизонт монтажа рельсов.

Если ширина колеи не превышает длину мерного прибора, то ось одной из ниток рельсов разбивают внизу путем отложения от оси пролета (рис. 21.5) по перпендикуляру к ней проектного расстояния  $l/2$  между осью рельса и осью пролета. Разбивку точек оси производят в начале и конце подкранового пути, а также равномерно вдоль него не реже, чем через 50...60 м. Осевые точки надежно закрепляют. Полученную таким образом ось (как и ось балки) выносят на монтажный горизонт и закрепляют точками на специальных кронштейнах над балкой или на колоннах. Если позволяет длина мерного прибора, то ось второй нитки рельсов разбивают, откладывая расстояние, соответствующее ширине колеи подкрановых путей, и закрепляют на втором ряду колонн. В вынужденных случаях (когда балка закрывает видимость) внизу разбивают и закрепляют линию, параллельную оси рельса и смещенную на 10...15 см. Проектное положение оси рельса наверху находят с учетом принятой величины смещения.

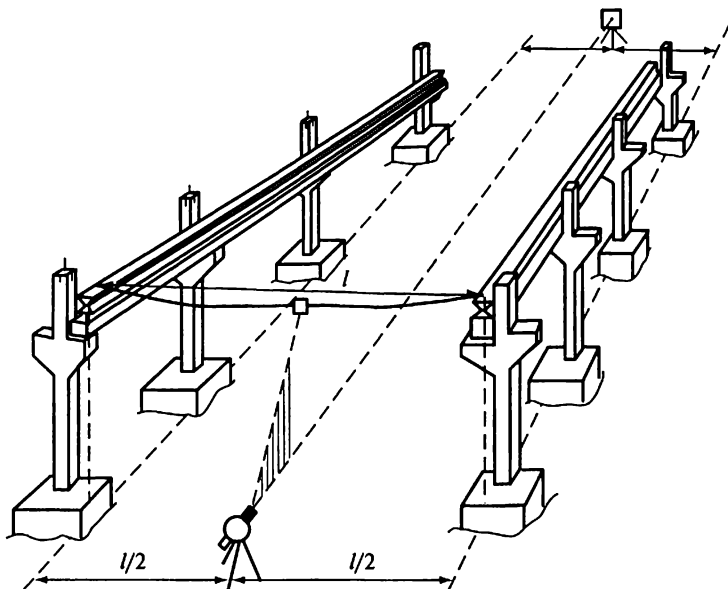


Рис. 21.5. Схема разбивки осей рельсов подкранового пути

Вынесение оси рельса с закрепленных внизу осевых точек наверх осуществляется отвесами, теодолитами, приборами оптического вертикального проектирования.

Иногда возможно проводить разбивку оси одной нитки рельсов прямо наверху, откладывая проектные размеры от осевых рисок колонн до оси рельса.

При ширине колеи, меньшей длины мерного прибора, положение разбивочных осей обеих ниток рельсов может быть определено непосредственно относительно оси пролета, обычно закрепляемой осевыми знаками при разбивке основных осей сооружения. Разбивку производят при помощи теодолита и рулетки. Теодолит устанавливают на одной из осевых точек, ориентируют вдоль оси и наводят на визирную марку, установленную на другой осевой точке (см. рис. 21.5).

Между двумя колоннами в пролете натягивают рулетку, на которой соответствующими отсчетами с учетом поправок за провес, компарирование и температуру фиксируют положение оси пролета и обеих осей рельсов. Кроме того, положение оси пролета обозначается маркой на рулетке. Натянутую рулетку передвигают до совмещения марки с коллимационной плоскостью теодолита. В момент совмещения по соответствующим отсчетам на концах рулетки отмечают точки осей рельсов на колоннах или кронштейнах. Разбивку выполняют при двух положениях вертикального круга теодолита и находят среднее положение оси. Для соблюдения ус-

ловия прямолинейности рельсовых осей все поправки в ширину колеи откладывают с одной стороны пролета.

Если ширина колеи подкрановых путей превышает длину мерного прибора, то внизу разбивают оси обеих ниток рельсов и каждую переносят наверх описанными способами.

Положение рельсов по высоте конструктивно определяется установкой на проектную отметку подкрановой балки. Как было отмечено ранее (см. п. 21.1), перед установкой подкрановых балок с обеих сторон нивелируют опорные поверхности консолей колонн, определяют наивысшую отметку, принимают ее за исходную и рассчитывают толщины подкладок, выравнивающих положение балок в одной горизонтальной плоскости. После монтажа балок выполняют контрольное нивелирование.

После укладки рельсов их предварительно закрепляют и выверяют, определяя фактическую ширину колеи, смещение оси рельса относительно оси балки, расстояние от оси рельса до внутренней грани колонн, а также продольный и поперечный уклоны. После многократной обкатки путей мостовым краном повторно производят их планово-высотную съемку и составляют исполнительные чертежи.

При эксплуатации мостовых кранов ведут постоянный геодезический контроль за сохранением планового и высотного положений подкрановых путей. В состав геодезических работ по определению фактического положения путей входят: измерение расстояния между рельсами, определение непрямолинейности, нивелирование подкрановых путей.

В зависимости от конструкции подкрановых путей и условий производства геодезических работ расстояние между рельсами определяют непосредственным измерением или косвенным способом.

Непосредственное измерение при помощи рулетки или другого мерного прибора выполняют в том случае, когда ширина колеи не превышает длины мерного прибора.

Мерный прибор натягивают между точками, фиксирующими ось симметрии головок рельсов. При необходимости учитывают поправки за компарирование, температуру и провес мерного прибора.

Так как ширина колеи на всем протяжении изменяется в небольших пределах, то в любом месте пути она может быть получена как сумма длины некоторого произвольно выбранного базиса и двух малых отрезков, измеренных от рельсов до концов базиса. Базис обозначают на раме мостового крана, на специальной облегченной балке, перемещающейся по рельсам или натянутой ленте, проволоке. Для измерения малых отрезков применяют различные приборы и приспособления. Простейшими из них являются приборы для контактного измерения длин: штангенциркули, индикаторы часового типа и т. п. Существуют приборы и для автоматического измерения малых отрезков.



Ширину колеи можно также определить способом бокового нивелирования относительно закрепленных на полу цеха параллельных осей, близких по положению к осям рельсов. В данном случае все измерения, включая базовое расстояние между осями, выполняют внизу. Наверху требуется лишь приставлять к рельсу горизонтально рейку.

В методе косвенного измерения ширину колеи определяют из линейно-угловых геодезических построений, вид которых зависит от условий производства измерений. Если позволяют условия, то в пролете на уровне пола вдоль цеха разбивают базис и с его концов определяют положение рельсов прямой угловой засечкой. При большой протяженности подкрановых путей создают опорную геодезическую сеть (полигонометрическую, триангуляционную), стороны которой служат базисами засечки. По полученным координатам осевых точек рельсов вычисляют ширину колеи, а также отклонение рельсов от прямолинейности.

Для определения непрямолинейности путей применяют различные способы створных измерений. За исходные створы, относительно которых определяют отклонения, принимают прямые линии, закрепленные вблизи рельсов. Наиболее удобно эти линии располагать так, чтобы они проходили через осевые точки рельсов в начале и конце пролета. При использовании струны расстояние между струной и рельсом измеряют линейкой с миллиметровыми делениями. В оптическом способе створ задают теодолитом, устанавливаемым на уровне рельсов или на полу (для бокового нивелирования).

Для проверки прямолинейности путей применяют различные лазерные приборы. Лазерным лучом задают створ, отклонения от которого измеряют визуально, фоторегистрирующим устройством или с использованием промышленной телевизионной установки. Для визуальной регистрации отклонений на головку рельса устанавливают экран с координатной сеткой, по которой фиксируют положение центра лазерного пятна относительно оси рельса. Применение телевизионной установки позволяет выполнять визуальные измерения дистанционно по телевизионному изображению.

Разработаны различные автоматические системы для съемки подкрановых путей. Основу этих систем составляют лазерные приборы и фотоэлектрические регистрирующие устройства. Как правило, автоматические системы устанавливают на мостовом кране и результаты измерений фиксируют при движении крана.

Для определения высотного положения рельсов применяют геометрическое, тригонометрическое и гидростатическое нивелирование. При геометрическом нивелировании нивелир устанавливают на кране (на специальных кронштейнах колонн или подкрановой балке, если позволяет ее ширина). Для безопасного ведения работ нивелир можно располагать на полу. При установке

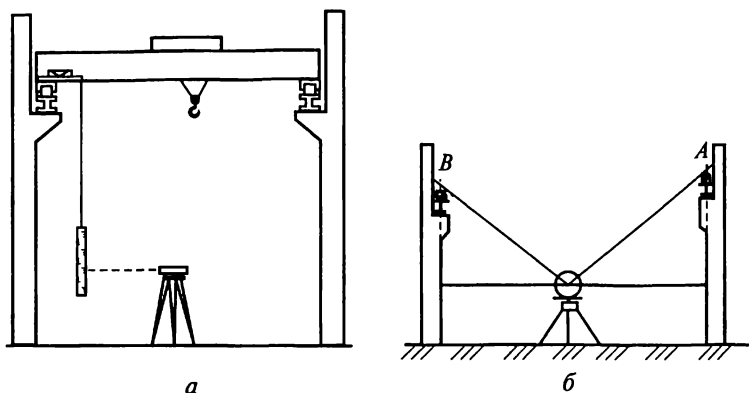


Рис. 21.6. Схемы определения высотного положения рельсов подкранового пути:

*а* — геометрическое нивелирование; *б* — тригонометрическое нивелирование

нивелира на полу измерения выполняются по подвешенной к мостовому крану рейке (рис. 21.6, *а*). Рейка связана с верхней гранью рельса при помощи горизонтально устанавливаемого по уровню бруска. Вместо рейки используют также рулетку с грузом на конце. В процессе нивелирования кран перемещают от одной определяемой точки к другой.

Метод тригонометрического нивелирования применяют в тех случаях, когда установить нивелир и рейки на путях затруднительно и когда плановое положение рельсов определяют прямой угловой засечкой. На станции (рис. 21.6, *б*) одновременно измеряют горизонтальные и вертикальные углы.

При гидростатическом нивелировании применяют гидронивелиры различного вида. Для их установки на рельсовых путях используют мостовой кран.

Результаты съемки подкрановых путей отображают на специальных исполнительных чертежах.

### 21.3. Геодезические работы при строительстве сооружений башенного типа

К промышленным сооружениям башенного типа относят: дымовые трубы, применяемые для отвода газов от котельных электростанций и заводов, химических предприятий и др.; градирни, предназначенные для охлаждения воды; сооружения связи, в числе которых радио-телевизионные башни; грануляционные башни и ректификационные колонны — установки химической промышленности;

башни-копры, сооружаемые над стволами шахт, для подъема угля, породы и спуска людей, материалов, оборудования;

водонапорные башни, используемые для установки резервуара воды на определенной высоте.

Характерной особенностью сооружений башенного типа является большая высота при сравнительно небольшой площади основания. Так, например, Останкинская телевизионная башня имеет высоту 540 м, а диаметр фундаментной плиты — 60 м. Высота железобетонных дымовых труб достигает 400 м, металлических — 320 м. Башенные железобетонные градирни возводят высотой до 160 м, башенные копры — до 110 м.

Разнообразие высотных сооружений башенного типа привело к разработке многочисленных методов их возведения, зависящих от конструктивных особенностей сооружения и его параметров, применяемых материалов, характеристик строительной площадки. Большое давление на основание, ветровые и тепловые воздействия приводят к деформациям, требующим учета при возведении башенного сооружения.

Все отмеченные особенности предопределяют специфику выполнения геодезических работ при строительстве сооружений башенного типа.

К таким работам относятся:

создание специального геодезического обоснования, с пунктов которого выполняются все геодезические разбивки и осуществляется контроль за геометрическими параметрами сооружения при выполнении строительно-монтажных работ;

обеспечение точности сборки и установки монтажного оборудования и подъемных устройств, используемых в принятом методе возведения сооружения, и контроль за их положением;

установка в проектное положение конструктивных элементов сооружения, обеспечение вертикальности его оси и геометрической формы поясов, колец, ярусов;

определение и изучение характера деформаций сооружения для своевременного принятия мер для уменьшения их влияния на точность выполнения строительно-монтажных работ.

Плановое геодезическое обоснование для строительства сооружений башенного типа обычно создают в виде двух ступеней: опорной сети и рабочей технологической основы. Первая создается до начала строительства, вторая — после завершения нулевого цикла.

Опорная сеть служит для разбивки положения центра и основных осей сооружения, наблюдения за его деформациями и колебаниями, проведения исполнительной съемки. Опорная сеть, как правило, является внешней сетью башенного сооружения.

Для сравнительно невысоких башенных сооружений, строящихся в короткие сроки, в качестве геодезической основы могут служить пункты I... VIII (рис. 21.7, а), равномерно расположенные по окружности, в том числе на главных осях А—А и Б—Б. Для построения такой сети от ближайших пунктов геодезического обоснования

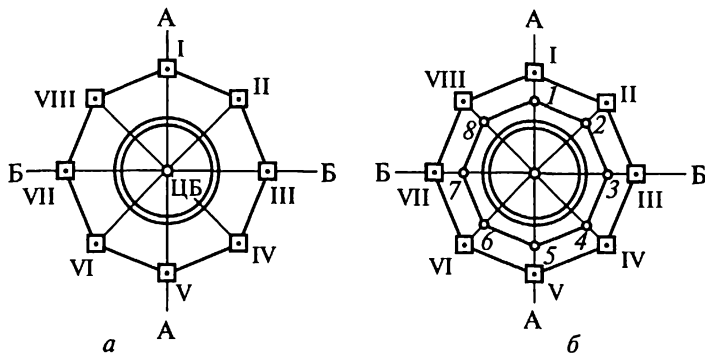


Рис. 21.7. Схемы опорной сети для строительства башенных сооружений: *a* — равномерное расположение пунктов на одной окружности; *б* — концентрическое расположение пунктов; *1...8* — ближние пункты; *I...VIII* — дальние пункты

вания строительной площадки выносят в натуру центр башенного сооружения (ЦБ). Относительно центра разбивают соответствующие оси, на этих осях на запроектированных расстояниях закрепляют знаки, обладающие повышенной устойчивостью.

Координаты пунктов определяют методами триангуляции, трилатерации и линейно-угловыми построениями.

Для высоких, конструктивно сложных и долго строящихся башенных сооружений опорную сеть создают в виде системы пунктов, расположенных на окружностях различных радиусов (рис. 21.7, б). Ближние пункты *1...8* используют от начала строительства и до определенной высоты сооружения, дальние пункты *I...VIII* — при возведении верхних ярусов. Местоположение и координаты дальних пунктов определяют как было описано выше, а положение ближних пунктов — от центра путем точного отложения соответствующих расстояний по строго заданным направлениям на дальние пункты.

При проектировании опорной сети число радиальных сторон, намеченных для выноса и закрепления в натуре, устанавливается в зависимости от конструкции возводимого сооружения.

Пункты опорной сети закрепляют знаками различной конструкции. Часто в качестве знаков используют металлические трубы или бетонные тумбы с пластинами или специальными головками для установки измерительных приборов. Верх такого знака располагают на высоте около 1,5 м от уровня земли.

Рабочую технологическую основу создают после возведения фундамента для выполнения разбивочных работ при возведении основных несущих конструкций сооружения и технологического оборудования. В данном случае сеть представляет собой внутреннюю систему опорных точек, располагаемых вокруг центра со-

оружения на окружностях различных радиусов. Направление радиусов обычно совмещают с осями, определяющими положение элементов сооружения или строительно-монтажного, или технологического оборудования. Кроме того, размещение пунктов рабочей основы должно обеспечивать в процессе строительства возможность переноса их планового положения, а следовательно, и положения рабочих осей на монтажный горизонт.

Разбивку рабочей основы выполняют на центральном пункте путем отложения проектных углов и радиусов. В качестве исходного принимают направление радиальной стороны, совпадающей с главной осью сооружения. Конструкция знаков рабочей сети должна обеспечивать ее устойчивость на период строительно-монтажных работ. Обычно это металлическая пластина, забетонированная в фундаменте, с центром в виде отверстия или перекрестия.

Высотная геодезическая основа для строительства башенного сооружения состоит из нескольких реперов, но не менее трех, расположенных вблизи сооружения и связанных ходами геометрического нивелирования. В качестве таких реперов могут служить знаки плановой опорной сети. Число реперов опорной сети, их местоположение и конструкция могут определяться необходимостью наблюдений за осадками сооружения.

Рабочую сеть реперов создают внутри сооружения после возведения фундамента. Их число и местоположение зависят от технологии высотной установки строительных конструкций и технологического оборудования. Кроме того, должна быть обеспечена возможность передачи отметок на монтажные горизонты.

Геодезическое обслуживание при производстве земляных работ состоит в перенесении на местность проектного контура котлована, передаче отметок на дно котлована и подсчете объемов земляных работ.

При устройстве фундамента выполняют разбивку осей и вынос проектных отметок его конструктивных элементов.

Оболочки башенных сооружений, как правило, возводят из монолитного железобетона в скользящей или подъемно-переставной опалубке. Основные разбивочные работы при этом выполняют для монтажа опалубочного оборудования и конструкций самого сооружения. Параллельно с этим осуществляют контроль вертикальности оси сооружения. В процессе возведения определяют не только отклонение оси от вертикали, но и величину кручения сооружения вместе с опалубкой на каждом его ярусе.

Способы и последовательность производства разбивочных работ зависят от вида сооружения и типа применяемой опалубки. Однако для большинства из них существуют некоторые общие приемы выполнения геодезических измерений.

С пунктов рабочей технологической основы при помощи приборов вертикального проектирования или тяжелых отвесов зада-

ют положение осей и центра сооружения на монтажном горизонте. От осей и центра производят монтаж сооружения и контроль за положением отдельных элементов конструкции. Перенос осей на монтажные горизонты выполняют в ночное и утреннее время при отсутствии ветра. Это позволяет уменьшить влияние одностороннего солнечного нагрева и ветровой нагрузки.

Контролируют также наличие крена и изгиба сооружения путем наблюдения с опорных знаков специальных визирных марок, установленных снаружи на возведенной части.

Для определения положения скользящей опалубки при помощи прибора вертикального проектирования центр пункта А (рис. 21.8) рабочей основы, расположенного на радиусе  $R_0$ , проектируют на монтажный горизонт и фиксируют на рабочем полу точку А'. Точку фиксируют на прозрачной мишени (палетке) с координатными осями, ориентированными по направлению главных осей сооружения. Положение щита опалубки вдоль радиуса определяют от точки А' отложением проектного расстояния  $a$  или отложением проектного радиуса  $R_{пр} = R_0 + a$  от центра башни.

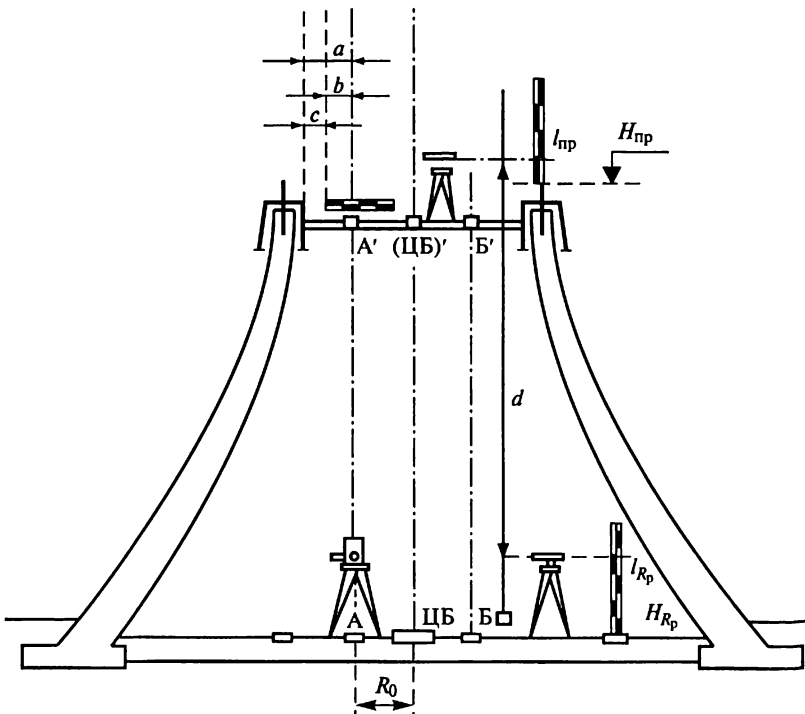


Рис. 21.8. Схема определения положения скользящей опалубки при строительстве башенного сооружения

Можно также использовать метод бокового нивелирования в сочетании с вертикальным проектированием. Нивелирную рейку длиной 1,5 или 2 м закрепляют на уровне рабочего пола по радиальным направлениям так, чтобы она пяткой касалась кромки щита или находилась на расстоянии  $c$  от нее. Тогда отсчет по рейке, соответствующий проектному положению щита,  $b = a - c$ .

При контроле положения опалубки определяют ее фактический радиус по формулам  $R_{\text{ф}} = R_0 + a'$  или  $R_{\text{ф}} = R_1 + c + b'$ , где  $a'$  — измеренное расстояние между точкой  $A'$  и щитом опалубки;  $b'$  — отсчет по рейке, полученный с помощью прибора вертикального проектирования. Отклонение опалубки вычисляют по формуле  $\Delta R = R_{\text{ф}} - R_{\text{пр}}$ , где  $R_{\text{пр}} = R_0 + a$ . Если используется рейка, то  $R_{\text{пр}} = c + b$ .

Передача проектной отметки  $H_{\text{пр}}$  на опалубку осуществляется с использованием рулетки  $d$ , двух нивелиров и рейки.

Отклонение оси башенного сооружения от вертикали и кручение опалубки или конструкций верхнего яруса определяют при помощи координатных мишеней. На мишень вертикальным проектированием в течение времени монтажа несколько раз переносят положение центра и пунктов рабочей сети с исходного горизонта на монтажный. По отклонениям от первоначального положения перенесенных точек вычисляют происходящие деформации и корректируют установку опалубки и конструкций сооружения.

На строительстве сооружений башенного типа широко применяются лазерные приборы, в первую очередь приборы типа ПИЛ-1, обеспечивающие развертку лазерного луча в горизонтальной плоскости и вертикальное проектирование.

При возведении и эксплуатации сооружений башенного типа необходимо проводить наблюдения за деформациями.

#### **21.4. Геодезические работы при строительстве атомных электростанций**

Особое место среди промышленных сооружений занимают современные атомные электростанции (АЭС). Они представляют собой сложный комплекс производственных зданий и сооружений, занимающих площадь до нескольких квадратных километров. Конструктивно АЭС состоит из энергоблока и ряда вспомогательных зданий и сооружений. Энергоблок является основным сооружением АЭС, его составные части — машинное отделение, в котором размещены турбина и генератор, и реакторное отделение (РО). Реакторное отделение можно отнести к разряду особо сложных инженерных сооружений, отличающихся повышенными требованиями к точности выполнения строительно-монтажных работ в процессе строительства и монтажа технологического оборудования. Особенности реакторных отделений являются: широ-

кий диапазон допусков на выполнение строительно-монтажных работ (от 1 до 30 мм); различная компоновка строительных конструкций и оборудования на монтажных горизонтах; непрерывный технологический процесс, требующий выполнения разбивочных работ и производства исполнительных съемок на любой стадии строительства. К особенностям следует отнести и отсутствие связи пунктов разбивочной сети РО с пунктами строительной сетки, а также значительное влияние деформационных процессов, вызванных температурными и усадочными явлениями перекрытий монтажных горизонтов сооружения, на стабильность знаков разбивочных сетей. Все это вызывает определенные сложности при выполнении геодезического обслуживания и монтажа технологического оборудования. Конструктивно реакторное отделение АЭС можно разбить на три части: негерметичную часть, обстройку, аппаратное отделение. Возведение первых двух частей ведется методами блочного строительства, поэтому производство геодезических работ практически не отличается от обычной технологической схемы и методов, применяемых при возведении большинства промышленных сооружений.

Перечисленные особенности относятся к аппаратному отделению, имеющему форму цилиндра диаметром 50 м, в объеме которого располагаются четыре монтажных горизонта.

Для производства детальных разбивочных работ создают в единой системе координат планово-высотную разбивочную сеть, к которой предъявляются следующие требования: средняя квадратическая погрешность определения планового положения пунктов сети не должна превышать 1 мм для опорной разбивочной сети и 2 мм — для сетей сгущения, а погрешность определения отметок не должна превышать величины 0,5 мм.

Исходным монтажным горизонтом является перекрытие негерметичной части, на которой создается разбивочная сеть, являющаяся базовой для развития пространственной сети. Длины сторон сети находятся в пределах 7... 12 м, поэтому в качестве основного метода ее создания принимается трилатерация. После монтажа строительных конструкций видимость между смежными знаками сети в большинстве случаев отсутствует. Для обеспечения возможности выполнения повторных измерений с целью определения деформаций сети в стенах и фундаментах устраиваются горизонтальные трубные проходки. Базисной фигурой разбивочной сети является многоугольник неправильной формы, центральный знак которого совмещен с геометрическим центром сооружения. Пункты базовой фигуры расположены таким образом, чтобы обеспечивалось выполнение детальных разбивочных работ наиболее ответственных конструктивных элементов аппаратного отделения: шахты реактора, бассейна выдержки, путей перегрузочной машины и машины осмотра корпуса реактора, опор парогенератор-



ров и главных циркуляционных насосов. Для обеспечения монтажа оболочки аппаратного отделения развивается сеть кольцевой формы, пункты которой образуют правильный 12-угольник.

Установка пунктов разбивочной сети выполняется до бетонирования перекрытия. Знаки представляют собой трубчатые центры. Для установки знаков в проектное положение на монтажный горизонт вертикальным проектированием передается положение центра сооружения; передача главных осей выполняется наклонным проектированием со знаков внешней основы. После бетонирования перекрытия выполняются линейные измерения с использованием двух компарированных рулеток, по каждой из которых берут по три отсчета.

Передача координат пунктов на последующие монтажные горизонты по мере их сооружения выполняется вертикальным проектированием. Знаки разбивочной сети последующих монтажных горизонтов представляют собой специальные палетки, изготавливаемые из оргстекла, с нанесенной на них сеткой квадратов со стороной 2... 5 мм (в зависимости от высоты проектирования). Они устанавливаются в устье специальных трубных каналов. Перенос центра знака выполняется тремя приемами с повторным центрированием зенит-прибора после каждого приема с разворотом трегера примерно на 120°. В системе координат палетки положение центра проектируемого пункта вычисляется как среднее значение из всех приемов. Контроль точности выполнения вертикального проектирования выполняется сравнением длин линий между центрами знаков, измеренных на исходном и данном монтажных горизонтах.

Создание сети на последующих монтажных горизонтах может осуществляться двумя путями.

1. На текущий монтажный горизонт проектируются все пункты разбивочной сети, созданной на исходном монтажном горизонте.

2. На монтажный горизонт передаются только координаты пунктов базовой фигуры сети исходного монтажного горизонта с последующим развитием сети, соответствующей требованиям выполнения разбивочных работ на данном монтажном горизонте.

Первый вариант редко применяется в производственных условиях; его недостаток — трудность создания на исходном горизонте разбивочной сети необходимой плотности и конфигурации, обеспечивающей возможность выполнения разбивочных работ на всех монтажных горизонтах. Кроме того, выбор для большого числа пунктов такого местоположения, которое обеспечило бы возможность выполнения вертикального проектирования на весь период строительства, сделать довольно затруднительно. Второй вариант с этой точки зрения является более гибким, так как предусматривает передачу координат пунктов только базовой фигуры сети исходного монтажного горизонта. К преимуществам второго

варианта создания разбивочной сети текущего монтажного горизонта следует отнести и значительное сокращение объема работ, связанных с выполнением вертикального проектирования, которое представляет собой трудоемкий геодезический процесс.

Кольцевая геодезическая сеть для монтажа оболочки аппаратного отделения создается на исходном монтажном горизонте после монтажа слоя металлической герметичной облицовки. Прокладывается высокоточный полигонометрический ход, обеспечивающий среднюю квадратическую погрешность определения координат пунктов в пределах 3 мм.

Для обеспечения монтажа путей полярного крана на консоли пути развивается специальная кольцевая сеть.

Одним из основных видов работ, входящих в технологическую схему геодезического обслуживания строительства РО, являются наблюдения за стабильностью пунктов разбивочной сети исходного монтажного горизонта. Контроль стабильности выполняется путем повторных линейных измерений длин сторон разбивочной сети.

По технологическим условиям в стенах шахты реактора установка трубных проходов для обеспечения возможности выполнения повторных линейных измерений запрещена. Трубные каналы монтируются в толще бетонного перекрытия и проходят под стенками шахты.

Центральный и орбитальный знаки базисной фигуры разбивочной сети устанавливаются таким образом, чтобы их верх был ниже уровня «чистого пола» и на одном уровне с осью горизонтального трубного канала. Такая схема позволяет выполнять повторные измерения в любой момент строительства; для упрощения процесса измерения можно для каждой линии установить постоянно свою концевую инварную меру.

Детальные разбивочные работы в условиях строительства аппаратного отделения РО выполняются в основном линейными засечками и полярным способом, при этом для геодезического обеспечения монтажа строительных конструкций используются знаки разбивочной сети.

Выполнение детальных разбивок закладных деталей основного технологического оборудования выполняется полярным способом с центра сооружения.

Высотная сеть сооружения создается на исходном горизонте и, как правило, совмещается с пунктами плановой сети. Отметка на один из пунктов сети передается от строительных реперов. По пунктам сети прокладывается ход геометрического нивелирования коротким лучом, соответствующий по точности нивелированию II класса.

Передачу отметок на монтажные горизонты выполняют с помощью двух нивелиров, рулетки и реек.

## **ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ПРИ МОНТАЖЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

### **22.1. Принципы геодезического обеспечения монтажа строительных конструкций и технологического оборудования**

Производство монтажных работ при возведении гражданских и промышленных сооружений, а также установка технологического оборудования связаны с выполнением разнообразных геодезических измерений. Многообразие видов сооружений и условий их возведения приводит к необходимости выполнения геодезических измерений различными методами и средствами. Однако принципиальная схема производства геодезических измерений должна соответствовать общему геодезическому правилу последовательного выполнения работ на отдельных этапах монтажа.

В подготовительный период осуществляется построение исходной разбивочной основы, проверяется соответствие положения опорных плоскостей и закладных деталей проектным требованиям. В случае необходимости производят доводку их до проектных размеров и уровней.

Монтаж строительных конструкций предусматривает последовательную установку в проектное положение несущих элементов зданий и сооружений. Монтаж технологического оборудования предусматривает установку его на соответствующее место и выверку его проектного положения.

На каждом этапе работ и отдельных технологических операций производится исполнительная геодезическая съемка, которая должна не только отображать фактическое положение смонтированных элементов, но и регулировать процесс монтажа с точки зрения достижения требуемой точности.

В процессе монтажа могут проводиться наблюдения за деформациями конструкций и оборудования для корректирования их положения по ходу работ.

Для монтажа строительных конструкций и технологического оборудования пользуются, как правило, не проектными осями, а линиями, параллельными осям (параллели) и плоскостям расположения конструкций и оборудования. При этом руководствуются соображениями использования их не только при монтаже, но и при периодических выверках и наблюдениях за деформациями. Кроме того, расположение параллелей должно обеспечивать удобство проведения измерений для видимости, установки приборов

и оборудования, пользования установочными шаблонами и приспособлениями.

Расположение параллелей выбирают после тщательного изучения соответствующих чертежей. Для геодезических работ при монтаже используют главным образом рабочие и технологические чертежи проекта, в числе которых: планы расположения разбивочных осей, планы и разрезы по сооружению, монтажные схемы и карты, чертежи узлов и блоков оборудования.

Несмотря на различие видов сооружений, условий и точностных требований, общие принципы геодезического обеспечения монтажа конструкций и оборудования следующие:

установка и выверка конструкций и оборудования производится от закрепленных в натуре разбивочных и технологических осей или их параллелей;

условия монтажа (загруженность площадки, удобство подходов, метеоусловия, видимость и т. п.) должны обеспечивать применение различных способов измерений с заданной точностью;

применяемые способы измерений должны соответствовать решаемой задаче и заданной точности;

для объекта монтажа должны быть определены его геометрические или технологические оси, а обработка его поверхности должна соответствовать требованиям точности монтажа;

при точных, а особенно высокоточных работах установку и выверку рекомендуется проводить в два этапа: предварительно — с приближенной точностью и окончательно — с заданной проектной точностью. Это позволяет уменьшить диапазон работы приборов на окончательном этапе, увеличивая их точность, и существенно улучшить организацию работ;

для выполнения геодезических работ следует, по возможности, применять серийные приборы и оборудование; в случае необходимости могут быть использованы или разработаны специальные приборы, основанные на современных достижениях науки и техники.

Требования к точности геодезического обеспечения монтажных работ определяются в основном проектными и нормативными документами. Нормы точности на монтаж строительных конструкций задаются государственными нормативными документами (СНиПы и ГОСТы). Точностные характеристики на выверку технологического оборудования в основном определяются проектными требованиями, исходя из эксплуатационных параметров.

Иногда нормы точности на геодезические работы в проектных и нормативных документах не приводятся в явном виде и могут быть получены лишь расчетным путем, используя допуски на монтажные работы.

Несмотря на многообразие точностных требований к геодезическому обеспечению монтажных работ, их можно охарактеризовать обобщенными средними квадратическими погрешностями.

Например, величины таких погрешностей составляют:  
1... 5 мм — при монтаже строительных конструкций;  
0,5... 1,0 мм — при установке заводского технологического оборудования;  
0,05... 0,20 мм — при высокоточной установке оборудования уникальных сооружений.

Исходную разбивочную основу при выполнении монтажных работ закрепляют специальными знаками. К этим знакам предъявляют высокие требования: они должны быть устойчивыми и сохранять свое положение в пределах, меньших заданных допусков на монтажные работы; долговечными, чтобы служить опорой не только на период монтажа, но и для периодических контрольных измерений в эксплуатационный период; конструкции знаков должны обеспечивать центрирование приборов с высокой точностью. В зависимости от необходимой точности монтажа оси закрепляют фундаментальными знаками с глубиной закладки до коренных пород; грунтовыми центрами; облегченными металлическими марками, забетонированными в строительных конструкциях. Для закрепления осей строительных конструкций применяют откраски.

Маркирование геометрических и технологических осей на конструкциях и оборудовании производят путем открасок или закрепления специальных знаков. Знаки, как правило, закрепляют на технологическом оборудовании, которое необходимо установить с высокой точностью. При всем многообразии существующих способов геодезических измерений, используемых при монтаже конструкций и оборудования, можно выделить четыре основные группы: для плановой установки, выверки прямолинейности, высотной установки и установки по вертикали.

## **22.2. Способы плановой установки и выверки конструкций и оборудования**

Во всех способах плановой установки конструкций и оборудования используют схему, по которой положение устанавливаемого элемента определяется от заданной в натуре разбивочной или технологической оси, а положение устанавливаемого элемента — линейными промерами.

Положение оси может быть задано струнным или оптическим прибором. В соответствии с этим различают струнный, струнно-оптический и оптический способы плановой установки.

В струнном способе между закрепленными точками осей *A* и *B* (рис. 22.1) с помощью грузов натягивают калиброванную струну диаметром 0,1... 0,5 мм, которую принимают за технологическую ось. В местах установки оборудования (точки *a*, *b*, *в*, *г*) подвешивают легкие нитяные отвесы. Когда струна фиксирует параллель оси, то расстояние от нее до устанавливаемых элемен-

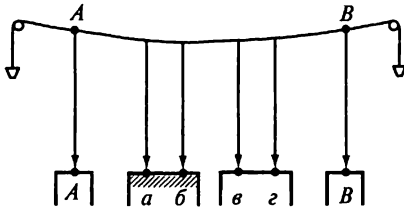


Рис. 22.1. Схема струнного способа установки конструкций

тов откладывают с помощью концевых приборов с микрометрами.

Струна имеет провес в вертикальной плоскости, максимальный посередине. Его можно подсчитать по формуле

$$f_{\text{в}} = \frac{ql^2}{8F},$$

где  $q$  — масса одного метра струны, кг;  $l$  — длина створа, м;  $F$  — натяжение струны, кг.

Максимальное натяжение струны, составляющее  $2/3$  от разрывного усилия, может быть вычислено по следующей приближенной формуле:

$$F = 100d^2,$$

где  $d$  — диаметр струны, мм.

На струну действует боковое давление воздуха, вызывающее отклонение струны от прямой в горизонтальной плоскости. Наибольшее отклонение в середине створа подсчитывают по формуле

$$f_{\text{г}} = \frac{dv^2l^2}{64F}, \quad (22.1)$$

где  $v$  — скорость ветра, м/с.

Помимо бокового давления воздуха и неточности установки струны над опорными знаками при поднятии ее или подвеске из-за провеса, основными источниками погрешностей в струнном способе являются колебания струны в процессе измерений и проектирование струны отвесом на соответствующие точки оборудования.

Принято считать, что при тщательной работе в закрытых помещениях общая погрешность струнного способа в среднем составляет 2...3 мм на 100 м длины створа.

Струна, определяющая положение монтажной оси, обладает рядом преимуществ. На нее не влияют такие источники погрешностей оптических систем как рефракция, колебания изображений, перемена фокусировки. Кроме того, она удобна для одновременного монтажа на разных участках линии. Однако, чтобы использовать эти преимущества в точных монтажных работах, необходимо заменить нитяной отвес, как основной источник погрешностей, на оптическую проектирующую систему. Это сделано в струнно-оптическом способе, в котором монтажная ось задается натянутой струной, а проектирование ее на точки монтируемых конструкций и оборудования осуществляется при помощи таких оптических приборов, как теодолиты, приборы вертикального проектирования, специальные микроскопы на передвижном устройстве и т. д.

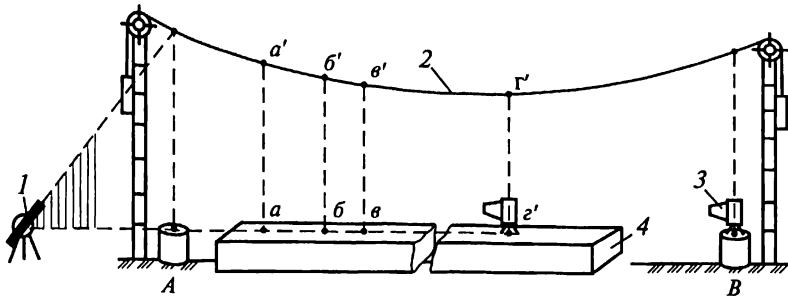


Рис. 22.2. Схема струнно-оптического способа установки конструкций: 1 — теодолит; 2 — струна; 3 — прибор вертикального проектирования; 4 — оборудование

Рассмотрим применение струнно-оптического способа для установки оборудования (рис. 22.2). Чтобы струна не мешала производству монтажных работ, ее натягивают выше устанавливаемого оборудования в удобном месте. При помощи теодолита или прибора вертикального проектирования струну поперечным движением совмещают с центрами знаков *A* и *B*, закрепляющих монтажную ось. Установленную таким образом струну принимают за монтажную ось. Далее, если установку выполняют с помощью теодолита, то оборудование перемещают и разворачивают так, чтобы точки *a*, *б*, *в*, *г* технологической оси оборудования попали в створ ориентированного по точке *a'*, *б'*, *в'*, *г'* визирного луча теодолита. Если же используют приборы вертикального проектирования, то их устанавливают и центрируют на точках *a*, *б*, *в*, *г* оборудования, которое затем перемещают до совпадения вертикальных лучей приборов с соответствующими точками *a'*, *б'*, *в'*, *г'* струны. Одновременно производят установку оборудования по высоте.

Для струнно-оптического способа характерны некоторые источники погрешностей, характерные и для струнного способа: неточность разбивки и закрепления монтажной оси, отклонение струны в горизонтальной плоскости вследствие ветрового давления, колебания струны. Кроме того, появляются следующие погрешности: установки струны в створ монтажной оси, проектирования струны оптическим прибором, из-за освещения струны.

Средняя квадратическая погрешность проектирования струны теодолитом в линейной мере может быть подсчитана по формуле

$$m_{\text{пр}} = \frac{h}{\rho''} \sqrt{(0,5\tau'')^2 + \left(\frac{20''}{\Gamma^x}\right)^2},$$

где *h* — высота струны над прибором;  $\tau$  — цена деления уровня на алидаде горизонтального круга;  $\Gamma^x$  — увеличение зрительной трубы теодолита.

Эту же погрешность для прибора вертикального проектирования с компенсатором вычисляют по формуле

$$m_{\text{пр}} = \frac{h}{\rho''} \sqrt{(0,5'')^2 + \left(\frac{20''}{\Gamma^x}\right)^2},$$

где  $0,5''$  — погрешность установки визирного луча в вертикальной плоскости.

При боковом освещении струны возникает систематическая погрешность за фазу, предельная величина которой составляет  $\Delta_{\text{ф}} \approx 0,25d$ , где  $d$  — диаметр струны. При  $d = 0,3$  мм  $\Delta_{\text{ф}} \approx 0,08$  мм, что при точных работах необходимо учитывать. Для уменьшения погрешности за фазу струну дополнительно освещают сверху.

Для уменьшения погрешности за колебание струны в процессе измерений определяют амплитуду колебаний и по ней — среднее положение струны.

Наиболее опасным и внешне не обнаруживаемым источником погрешностей является отклонение струны под действием постоянного ветрового давления. Однако и эту погрешность можно учесть, используя формулу (22.1). В одних и тех же условиях струне придают различные натяжения  $F_1$  и  $F_2$  и измеряют максимальное изменение  $\Delta f_{2,1}$  горизонтального положения струны в средней точке створа. Из решения двух уравнений вида (22.1) при  $F_1$  и  $F_2$  находят  $f_1$  и  $f_2$  для средней точки створа по формулам

$$f_1 = \frac{\Delta f_{2,1} F_2}{\Delta F_{2,1}} \quad \text{и} \quad f_2 = \frac{\Delta f_{2,1} F_1}{\Delta F_{2,1}}.$$

Способ оптического визирования является наиболее простым и распространенным. В этом способе монтаж конструкций и оборудования производится при помощи зрительной трубы и визирных марок. Монтажной осью служит линия визирования, задаваемая оптическим прибором — алиниометром. В качестве алиниометра применяют теодолиты, нивелиры и специальные оптические приборы, снабженные зрительной трубой большого увеличения и отсчетным устройством в виде окулярного микрометра или микроскопа.

Существуют две принципиальные схемы применения способа оптического визирования: 1) алиниометр не имеет отсчетного устройства, тогда таким устройством снабжают подвижную марку, устанавливаемую на оборудовании; 2) прибор снабжен отсчетным устройством, тогда марка на оборудовании может быть неподвижной, но обязательно привязанной к оси оборудования.

Оптический створ может быть задан прямым визированием или визированием по частям. В способе прямого визирования на на-



чальном пункте закрепленной монтажной оси устанавливают алиниометр, на конечном пункте — опорную визирную марку. Прибор наводят на марку и в створ линии последовательно вводят марки, установленные на соответствующих точках оборудования. В зависимости от применяемой схемы в одном случае марки в створ вводят, перемещая вместе с ними оборудование, в другом — измеряют отклонение технологической оси оборудования от створа, а затем уже на величину этого отклонения перемещают оборудование. Так как погрешность визирования в линейной мере возрастает с увеличением расстояния от алиниометра до устанавливаемой точки, то, установив оборудование на первой половине створа, прибор и визирную марку на опорных пунктах меняют местами и продолжают монтаж на второй половине створа.

При визировании по частям для уменьшения погрешности визирования створ между опорными пунктами делят на несколько примерно равных частей. Алиниометр последовательно переносят на точки закрепления каждой части и, ориентируя его каждый раз по опорной марке на конечной точке, ведут монтаж только в пределах одной части. Для контроля монтажных работ таким же способом проверяют положение установленного оборудования обратным ходом, перенеся опорную марку на начальный пункт створа. Такая схема известна в створных наблюдениях как схема последовательных створов.

Основные погрешности способа оптического визирования те же, что и в рассмотренном ранее способе створной засечки: ориентирования створа при визировании на опорную марку, введения промежуточной марки в створ, за перефокусирование зрительной трубы, центрирования алиниометра и визирных марок на знаках и оборудовании, за рефракцию.

Для приближенных расчетов совместное влияние первых трех источников погрешностей можно в линейной мере подсчитать по формуле

$$m_{\text{виз.ф}} = \frac{20''\sqrt{3}}{\Gamma^x \rho''} l,$$

где  $l$  — расстояние от алиниометра до устанавливаемой точки.

Для уменьшения влияния этой погрешности применяют специальные зрительные трубы с большим увеличением и минимальной погрешностью при изменении фокусировки. При работах высокой точности погрешности центрирования сводят к пренебрежимо малой величине путем точного принудительного (механического) центрирования алиниометра и визирных марок на знаках и оборудовании.

Для уменьшения погрешности за рефракцию выбирают или создают благоприятные условия производства работ. Кроме того, путем организации специальных исследований определяют воз-

возможность применения способа оптического визирования в данных условиях с требуемой точностью.

### 22.3. Способы выверки прямолинейности

Выверка прямолинейности в основном относится к работам по установке и контролю положения технологического оборудования. При этом имеется в виду установка в заданном створе фиксированных на оборудовании точек, совпадающих с геометрическими и технологическими осями.

К широко известным способам выверки прямолинейности — струнному и оптическому — относят также коллиматорный, автоколлимационный, дифракционный и лучевой способы.

Коллиматорный способ применяют в основном при выверке прямолинейности направляющих путей и конвейерных линий большой протяженности или при установке оборудования в проектное положение по базовым точкам.

Коллиматорная система состоит из зрительной трубы 1 (рис. 22.3) с окулярным микрометром 2 и коллиматора 3, задающего параллельный световой пучок. Сетка нитей 4 коллиматора расположена в его фокальной плоскости и освещается сзади точечным источником света. Изображение этой сетки получается в фокальной плоскости зрительной трубы, сфокусированной на бесконечность, и налагается на изображение сетки нитей окулярного микрометра. При перемещении коллиматора параллельно визирной оси трубы, ориентированной по створу монтажной оси на второй коллиматор (марку), световой пучок не будет изменять своего направления и изображение сетки коллиматора относительно сетки трубы будет оставаться неподвижным. При повороте или наклоне коллиматора на некоторый угол  $\theta$ , на этот же угол от визирной оси отклонится световой пучок, вызывая смещение изображения сетки коллиматора в фокальной плоскости зрительной трубы. Угол  $\theta$  можно измерить окулярным микрометром. Зная расстояние  $b$  (база прибора) между опорными точками 5, которыми коллиматор контактирует с выверяемой плоскостью, определяют линейную величину  $y$  отклонения оси коллиматора от заданного направления по формуле

$$y = \frac{b''_0}{\rho''}.$$

Средняя квадратическая погрешность  $m_y$  определения смещения может быть подсчитана по формуле

$$m_y = \frac{bm''_0}{\rho''}. \quad (22.2)$$

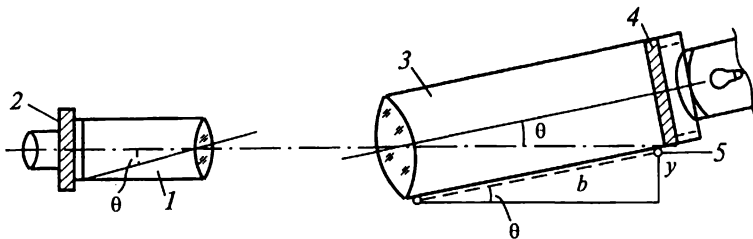


Рис. 22.3. Схема коллиматорного способа выверки прямолинейности: 1 — зрительная труба; 2 — микрометр; 3 — коллиматор; 4 — сетка нитей; 5 — опорная точка

Из формулы (22.2) следует, что точность определения смещения коллиматорным способом не зависит от расстояния до наблюдаемых точек, но до известного предела, так как при больших удалениях коллиматора от зрительной трубы ухудшаются условия наблюдений и увеличивается погрешность измерения угла  $\theta$ . В благоприятных условиях при расстоянии до 200 м и базе коллиматора 1 м погрешность определения смещения составляет 0,005... 0,01 мм.

При выверке прямолинейности целой линии длиной  $L$  путем последовательных  $n$  перестановок коллиматора суммарная погрешность отклонения от прямой в конечной точке может быть выражена формулой

$$m_{yL} = \frac{m''_{\theta}}{\rho''} \sqrt{bL}. \quad (22.3)$$

Приняв  $m_{\theta} = 0,5''$ ;  $b = 1000$  м;  $L = 100$  м (при  $n = 100$ ), получим  $m_{yL} = 0,05$  мм.

При перемещении коллиматора от точки к точке передняя и задняя опоры должны последовательно контактировать с одними и теми же точками. Кроме того, частота обработки поверхности выверяемого оборудования должна соответствовать точности способа. Практически эти условия выполнить трудно, поэтому фактическая погрешность измерений получается несколько большей, чем подсчитанная по формуле (22.3).

В автоколлимационном способе зрительная труба совмещена с коллиматором, образуя единый автоколлимационный прибор. Автоколлимационные приборы изготовляют в основном на базе серийных теодолитов и нивелиров с добавлением специально-го автоколлимационного окуляра, формирующего изображение светящейся сетки нитей. Примером может служить выпускаемый в России автоколлимационный теодолит ЗТ2А. Снабжены также автоколлимационным окуляром специальные алиниметры.

Принцип способа автоколлимации основан на получении изображения, образованного световым пучком, вышедшим из авто-

коллиматора и отраженным от отражателя, установленного на выверяемом оборудовании. Если в качестве отражателя используют хорошо шлифованное плоское зеркало, а трубу автоколлиматора фокусируют на бесконечность, то получают автоколлимацию параллельного светового пучка, при сферическом отражателе — автоколлимацию сходящегося светового пучка. В зависимости от этого выверка прямолинейности может осуществляться двумя способами.

1. В параллельном пучке угол отклонения изображения, отраженного от плоского отражателя, измеряется оптическим микрометром автоколлимационной трубы. Схема автоколлимационного способа аналогична коллиматорной схеме, с той лишь разницей, что чувствительность автоколлимации вдвое выше, так как при повороте отражателя на некоторый угол автоколлимационное изображение отклоняется на двойной угол (рис. 22.4, *а*). Отсюда, при одинаковых условиях погрешность автоколлимационного способа вдвое меньше погрешности коллиматорного.

2. В сходящемся пучке (рис. 22.4, *б*) труба фокусируется на зеркально-линзовый отражатель (ЗЛО), состоящий из плоского зеркала 1, помещенного в фокусе объектива 3, и защитного стекла 2. Эта система чувствительна к линейному смещению отражателя перпендикулярно створу. Величина смещения измеряется непосредственно окулярным микрометром трубы или при помощи отсчетного устройства, если им снабжен отражатель.

К недостатку автоколлимационного способа выверки прямолинейности следует отнести возрастающие потери яркости изображения с увеличением расстояний до отражателя. Применение лазеров увеличивает дальность действия способа.

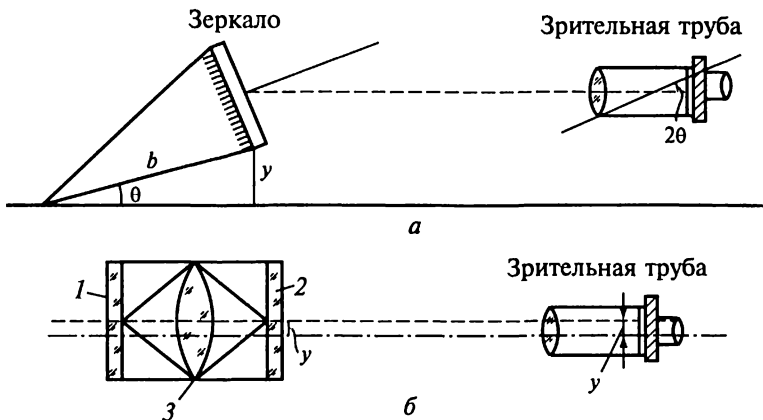


Рис. 22.4. Схемы автоколлимационных способов выверки прямолинейности: *а* — первый; *б* — второй; 1 — зеркало; 2 — защитное стекло; 3 — объектив

Помимо выверки прямолинейности, автоколлимацию с успехом используют для точной передачи азимутов (дирекционных углов) в ходах с очень короткими сторонами, равными нескольким метрам. Такие ходы могут прокладываться в закрытых помещениях для эталонирования гироскопов, галереях гидростанций, шахтах различного назначения и т. д. В качестве визирных целей в таких ходах применяют плоские зеркала; угловые измерения выполняют автоколлимационным теодолитом.

Дифракционный способ основан на известном интерференционном опыте Юнга с дифракцией от двух щелей. Свет от точечного источника  $I$  после прохождения узкой щели  $d_1$  марки  $M_1$  (рис. 22.5) попадает на спектральную двухщелевую марку  $M_2$ . Вследствие дифракции от щелей  $d_2$  световой пучок загибается в область геометрической тени  $T$  и, будучи когерентным, интерферирует. В пространстве после спектральной марки возникает интерференционная картина с ярко выраженной осью симметрии. Интерференционная картина рассматривается относительно сетки нитей приемника света 2. При монохроматическом пучке света наблюдатель видит одноцветную картину, состоящую из параллельных светлых полос, разделенных темными промежутками. Центральная полоса является самой яркой. Если интерференционная картина создается белым светом, то все полосы, кроме центральной, окрашены в различные цвета спектра.

Центр одиночной щели, оси симметрии спектральной марки и интерференционной картины всегда находится на одной прямой. Это свойство и используется для выверки прямолинейности. При поперечном створу смещении спектральной марки соответственно смещается центр интерференционной картины. Если спектральная марка снабжена отсчетным устройством, то, совмещая

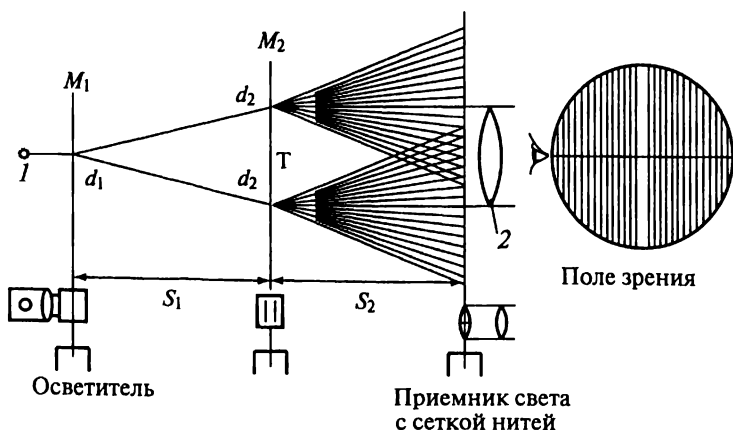


Рис. 22.5. Схема дифракционного способа выверки прямолинейности:  
 $I$  — точечный источник; 2 — приемник света

центр интерференционной картины с биссектором сетки нитей приемника света при двух, отличающихся на  $180^\circ$ , положениях спектральной марки и производя при этом отсчеты, можно определить величину отклонения от створа. Марка с одиночной щелью и приемник света устанавливаются на знаках закрепления монтажной оси, спектральная марка — на оборудовании.

Размеры щелей обеих марок и расстояние между щелями спектральной марки рассчитывают, исходя из условия получения резкой интерференционной картины и необходимой ширины ее полосы.

Приборная точность дифракционного способа характеризуется средней квадратической погрешностью  $0,05 \dots 0,10$  мм на 100 м. Способ очень чувствителен к внешним условиям.

Увеличение дальности дифракционного способа и автоматизация процесса измерений при сохранении высокой точности стали возможны с появлением лазерных интерференционных створофиксаторов (ЛИСТ). В этих приборах в качестве источника излучения большой мощности и высокой когерентности используется лазер, а интерференционное изображение формируется специальными дифракционными линзами, называемыми *зонными пластинками*. В качестве приемных используются фотоэлектронные регистрирующие устройства (ФЭРУ) различного вида.

В практике выверки прямолинейности широкое распространение получил так называемый лучевой способ. Он основан на применении узкого лазерного пучка, задающего положение опорной прямой. Для этого используют различные лазерные визиры и указатели направлений. Положение контролируемых точек определяется с помощью фотоэлектронных регистрирующих устройств.

#### **22.4. Способы установки и выверки строительных конструкций и оборудования по высоте**

Для высотной установки и выверки конструкций и оборудования применяют геометрическое нивелирование, микронивелирование, гидронивелирование и индикаторный способ.

Способ геометрического нивелирования является самым распространенным для определения в натуре проектных высот. В зависимости от требуемой точности и выбранной схемы измерений применяют нивелирование того или иного класса.

При установке строительных конструкций, как правило, требуется сравнительно невысокая точность, соответствующая нивелированию III и IV классов. При этом используют нивелиры средней точности типа Н-3 и стандартные шашечные рейки. Отметки на конструкции переносят в виде карандашных рисок или открасок.

При выполнении строительно-монтажных работ наиболее высокие требования предъявляются к установке по высоте металли-

ческих конструкций и закладных деталей. Применяя те же методы нивелирования, более высокой точности (порядка 1 мм) добиваются путем уменьшения расстояний от нивелира до реек (длин плеч).

Для производства геометрического нивелирования при монтаже технологического оборудования применяют наиболее точные приборы и методику нивелирования. Используют прецизионные нивелиры типа Н-05, штриховые рейки с инварной полосой, специальные малогабаритные реечки или точные металлические линейки с миллиметровыми делениями. В этом случае способом геометрического нивелирования можно определять разности высот точек, расположенных на расстоянии 5... 15 м, со средней квадратической погрешностью 0,02... 0,05 мм и на несколько сотен метров — с погрешностью до 0,2 мм.

Микро н и в е л и р о в а н и е используют для приведения в горизонтальное положение опорных плоскостей и точек строительных конструкций и технологического оборудования. Выполняется оно при помощи монтажного уровня или специального микро нивелира.

Микро нивелир (рис. 22.6) состоит из подставки 1 с двумя опорами — подвижной 5 и неподвижной 6, с помощью которых он устанавливается на выверяемые точки. Перемещение подвижной опоры по высоте определяется при помощи часового индикатора 3 с ценой деления 0,01 мм. Расстояние между опорами является базой микро нивелира, обычно не превышающей 1,5 м. К подставке жестко крепится цилиндрический уровень 2 с ценой деления 5... 8". Приведение пузырька уровня в нуль-пункт осуществляется при помощи подъемного винта 4.

Микро нивелирование выполняют следующим образом. Установив микро нивелир на выверяемые точки, подъемным винтом приводят пузырек уровня в нуль-пункт и берут отсчет по индикатору. Переставив прибор в тех же точках на 180° и приведя вновь пузырек уровня на середину, берут второй отсчет по индикатору. Превышение на станции равно полуразности этих отсчетов.

Приборная точность микро нивелира характеризуется средней квадратической погрешностью определения превышения, равной 0,01 мм.

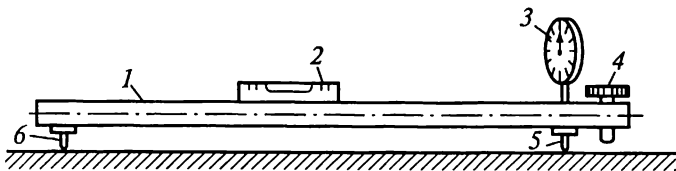


Рис. 22.6. Конструктивная схема микро нивелира:

1 — подставка; 2 — цилиндрический уровень; 3 — часовой индикатор; 4 — подъемный винт; 5 — подвижная опора; 6 — неподвижная опора

При помощи микронивелира можно определять превышения последовательно от одной точки выверяемой поверхности к другой, т. е. прокладывать микронивелирный ход.

Погрешность передачи отметки в микронивелирном ходе (в мм) длиной  $L$  и базой прибора  $b$  можно подсчитать по формуле

$$m_{(h)} = 0,01 \sqrt{\frac{L}{b}}.$$

Приняв  $b = 1,0$  м,  $L = 100$  м, получим  $m_{(h)} = 0,1$  мм.

Гидронивелирование применяют для выверки по высоте опорных плоскостей строительных конструкций и технологического оборудования в условиях, когда выполнение геометрического нивелирования затруднено.

Различают гидромеханическое, гидродинамическое и гидростатическое нивелирование.

Гидромеханическое нивелирование основано на принципе измерения превышения как функции избыточного давления (или разрежения), создаваемого в измерительной системе столбом жидкости и регистрируемого датчиком давления (манометром или мановакуумметром). Этот способ позволяет измерять превышения до нескольких метров, но со сравнительно невысокой точностью — 1...2 см. Применяется он для предварительной установки строительных конструкций.

В гидродинамическом нивелировании измерения выполняются в процессе непрерывного изменения уровня жидкости в сообщающихся сосудах, устанавливаемых на определяемых точках. Способ в основном применяют при необходимости автоматизированного измерения осадок сооружения.

Из всех способов гидронивелирования гидростатический является наиболее распространенным и пригодным для геодезических измерений при выполнении монтажных работ.

В основе способа гидростатического нивелирования

лежит свойство жидкости устанавливаться в сообщающихся сосудах на одном горизонтальном уровне. Так, в сообщающихся сосудах 1 и 2 (рис. 22.7), установленных на выверяемых точках  $A$  и  $B$ , между которыми определяется превышение  $h$ , жидкость находится в состоянии гидродинамического равновесия и определяет положение урвневной поверхности. Если сосуды одинаково оцифровать от нижних опор

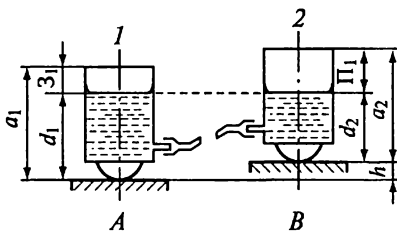


Рис. 22.7. Схема определения превышения при помощи гидростатической системы:

1, 2 — сообщающиеся сосуды



ных точек, например через миллиметры, то, измерив высоты столбов жидкости  $d_1$  и  $d_2$ , можно вычислить превышение  $h = d_1 - d_2$ . Такой способ недостаточно точен и используется лишь в строительных гидростатических уровнях.

Более точные системы построены по иному принципу. Превышение  $h$  можно определить по формуле

$$h = (a_1 - a_2) - (З_1 - П_1),$$

где  $a_1$  и  $a_2$  — высоты сосудов или положения исходных точек отсчитывания относительно точек, с помощью которых они устанавливаются на выверяемую поверхность;  $З_1$  и  $П_1$  — расстояния от исходных точек отсчитывания до уровня жидкости.

Разность в положении исходных точек отсчитывания является постоянной прибора, зависящей от погрешностей его изготовления. Иногда ее называют *местом нуля* прибора. Для ее исключения из результатов измерений сосуды необходимо поменять местами и вновь определить расстояния  $З_2$  и  $П_2$  до уровня жидкости. В этом случае

$$h = (a_2 - a_1) - (З_2 - П_2).$$

В среднем значении превышения, определенного при двух положениях сосудов, место нуля исключится, т. е.

$$h_{\text{ср}} = \frac{1}{2}[(П_1 - З_1) + (П_2 - З_2)],$$

а его значение может быть подсчитано по формуле

$$M_0 = \frac{1}{2}[(П_1 - З_1) - (П_2 - З_2)].$$

Регистрация уровня жидкости в точных гидростатических системах осуществляется визуальным, электроконтактным, фотоэлектрическим и другими способами. К визуальным системам относятся широко распространенные приборы типа УГС модели 114 и 115 и прибор Мейссера, которые являются приборами переносного типа. Прибор типа УГС состоит из двух измерительных сосудов, соединенных между собой водяным и воздушным гибкими прозрачными шлангами. Каждый измерительный сосуд имеет микрометрический винт с острием.

На нивелируемые поверхности сосуды устанавливают плоскими пятнами. При измерении отсчеты берут по шкале винта до 0,01 мм в момент контакта острия с уровнем жидкости. Диапазон измеряемых превышений 25 мм (в приборе Мейссера — до 100 мм), приборная точность характеризуется средней квадратической погрешностью 0,02...0,05 мм.

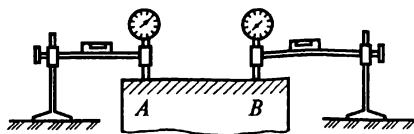


Рис. 22.8. Схема индикаторного способа выверки конструкций

На точность гидростатического нивелирования существенное влияние оказывают внешние условия (главным образом, из-за разности температур в сосудах и водяном шланге). Для уменьшения этого влияния гидростатическую систему располагают вдали от сильных источников

нагрева, а шланги стараются укладывать горизонтально.

Индикаторный способ применяют для окончательной установки выверяемых точек на проектную отметку, если из предварительных измерений известны точные фактические отметки этих точек.

Над выверяемыми точками оборудования, например *A* и *B* (рис. 22.8), устанавливают индикаторное устройство, состоящее из подставки со стойкой, передвижного мостика с уровнем и часового индикатора. Если к отсчету по индикатору при его опирании на выверяемую точку прибавить разность между проектной и фактической отметками, то получится отсчет, до величины которого надо поднять или опустить оборудование, чтобы его фиксированная точка находилась на проектной отметке.

Индикаторный способ может также применяться для окончательной установки оборудования в плане, если индикаторное устройство повернуть так, чтобы оно фиксировало горизонтальное перемещение оборудования.

## 22.5. Способы установки и выверки конструкций и оборудования по вертикали

Установку конструкций и оборудования в вертикальное положение производят различными способами в зависимости от требуемой точности: при помощи отвеса, проектированием наклонным лучом, используя оптическую вертикаль, боковое нивелирование и автоколлимацию.

Способ отвесов применяется в основном для предварительной установки и при работах сравнительно невысокой точности. Обычно используют тяжелые отвесы, погруженные в жидкость (в воду или в масло) для уменьшения их колебаний. Погрешность этого способа характеризуется величиной  $0,001h$ , где  $h$  — высота конструкции.

Для автоматизации и повышения точности измерений применяют электронный центрир, в котором вертикаль задается стальной струной, а отклонение от нее выверяемой конструкции измеряется при помощи индуктивного датчика, жестко связанного с этой конструкцией.

Способ проектирования наклонным лучом применяют при установке строительных конструкций. Выполняют его при помощи теодолита. Рассмотрим его на примере самого распространенного случая — вертикальной установки колонн здания. Пусть колонну, установленную в проектное положение в нижнем сечении (см. рис. 20.21), необходимо установить по вертикали. Перед установкой колонны выполнена ее разметка, определяющая положение геометрической оси. По направлению, перпендикулярному одной из плоскостей колонны, устанавливают и нивелируют теодолит. Вертикальный штрих сетки нитей теодолита совмещают с риской в нижнем сечении колонны. Трубу теодолита поднимают до уровня верхней метки. Наклоняя колонну, добиваются совмещения верхней риски с вертикальным штрихом сетки. Совмещение верхней и нижней меток с этим штрихом свидетельствует о вертикальности колонны. Аналогичные действия выполняют по другому направлению, перпендикулярному первому.

К числу основных источников погрешностей способа можно отнести: наклон вертикальной оси вращения теодолита; влияние погрешности визирования и нестворность установки теодолита.

Наклон вертикальной оси вращения теодолита — наиболее существенный источник погрешностей, не устраняемый визированием при двух положениях вертикального круга. В линейной мере погрешность за наклон  $m_\tau$  определяют из выражения

$$m_\tau = \frac{0,5\tau''h}{\rho''}, \quad (22.4)$$

где  $\tau$  — цена деления уровня на алидаде горизонтального круга теодолита;  $h$  — высота конструкции. Приняв  $h = 10$  м,  $\tau = 20''$ , для теодолита ЗТ2 получим  $m_\tau = 0,5$  мм, что для монтажа строительных конструкций вполне допустимо. Однако эта погрешность возрастает с увеличением высоты.

Погрешность визирования подсчитывается так же, как и в створных построениях.

Влияние нестворности установки теодолита зависит от плана расположения осевых меток. Если они находятся на одной вертикали, то нестворность установки теодолита не имеет существенного значения. В ином случае допустимая нестворность  $\Delta_{\text{н}}$  установки теодолита, зависящая от несовпадения проекций верхней и нижней осевых меток  $r$  и расстояния  $S$  от теодолита до конструкции, может быть вычислена по формуле

$$\Delta_{\text{н}} = \frac{\Delta_r S}{r},$$

где  $\Delta_r$  — допустимая величина погрешности невертикальности конструкции. Приняв  $\Delta_r = 1$  мм,  $S = 20$  м и  $r = 50$  мм, получим

$\Delta_n = 0,4$  м. Полученная величина указывает на необходимость довольно точной установки теодолита в створе.

Способ оптической вертикали предусматривает применение различного рода оптических проектирующих приборов с уровнем или компенсатором.

Основными погрешностями способа оптической вертикали являются: погрешности центрирования прибора над исходным пунктом, приведения линии визирования в вертикальное положение, визирования на марку или отсчета по штрихам палетки, фиксирования точки, влияние внешних условий.

Из опыта установлено, что инструментальная точность приборов вертикального проектирования с компенсатором характеризуется средней квадратической погрешностью  $0,5 \dots 1,0$  мм на 100 м высоты.

Способ бокового нивелирования для разметки колонн был описан ранее (см. п. 16.7). Для установки колонны по вертикали рейка устанавливается еще и в верхнем сечении (см. рис. 16.7). Колонну можно считать установленной по вертикали в случае совпадения отсчетов по рейкам в нижнем и верхнем сечениях. Очевидно, что для установки колонны в направлении, перпендикулярном створу оси  $AB$ , необходимо переставить теодолит на  $90^\circ$  и выполнить аналогичные действия.

Точность установки колонны по вертикали способом бокового нивелирования будет в основном зависеть от погрешности неперпендикулярности рейки к направлению визирования теодолитом, погрешности отсчета по рейке и погрешности за наклон вертикальной оси теодолита.

Первая из погрешностей может быть подсчитана по формуле

$$m_n = \frac{l v^2}{2 \rho^2},$$

где  $l$  — отсчет по рейке;  $v$  — угол отклонения рейки от перпендикулярного направления. Приняв  $l = 1500$  мм и  $v = 2^\circ$ , получим  $m_n = 0,8$  мм.

Погрешность отсчета по рейке можно вычислить по формуле

$$m_o = 0,03t + 0,2 \frac{S}{\Gamma^x},$$

где  $t$  — цена деления рейки;  $S$  — расстояние от теодолита до рейки, м. При  $t = 10$  мм,  $S = 50$  м и  $\Gamma = 25^x$  будем иметь  $m_o = 0,7$  мм.

Погрешность за наклон вертикальной оси теодолита подсчитывается по формуле (22.4). Приняв  $h = 10$  м и  $\tau = 20''$ , получим  $m_\tau = 0,5$  мм.

Для приведенных данных суммарная погрешность вертикальной установки колонны в одном направлении

$$m = \sqrt{(0,8)^2 + (0,7)^2 + (0,5)^2} = 1,2 \text{ мм.}$$

В способе автоколлимации к устанавливаемой в вертикальное положение конструкции 1 крепится хорошо шлифованное плоское зеркало 2 (рис. 22.9). На некотором расстоянии от зеркала устанавливают и приводят в горизонтальное положение нивелир 3, снабженный автоколлимационным окуляром. Выверяемую конструкцию вместе с зеркалом наклоняют до тех пор, пока в поле зрения трубы нивелира не совпадут прямое и отраженное от зеркала изображения светового горизонтального индекса.

Для исключения погрешности за непараллельность плоскости зеркала выверяемой плоскости конструкции зеркало поворачивают на  $180^\circ$  так, чтобы его опорные поверхности поменялись местами. После этого выверку вертикальности повторяют вновь.

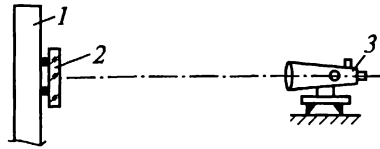


Рис. 22.9. Схема установки конструкции по вертикали автоколлимационным способом:  
1 — конструкция; 2 — зеркало; 3 — нивелир

## 22.6. Особенности монтажа технологического оборудования повышенной точности

Современное развитие некоторых областей науки и народного хозяйства приводит к необходимости создания различных уникальных сооружений, нормальная работа которых возможна лишь при соблюдении высокой точности сопряжения элементов технологического оборудования и стабильности их положения во времени. К таким сооружениям относятся: линейные и кольцевые ускорители ядерных частиц, крупные радиотелескопы и антенные комплексы, автоматизированные производственные линии и другие специальные сооружения.

Для высокоточного монтажа оборудования таких сооружений, допуски на который характеризуются десятками долями миллиметра, выполняют специальные геодезические работы. Особенностью их является применение таких методов и средств измерений, которые обеспечивали бы заданную точность установки и последующего контроля положения оборудования в сложных строительно-монтажных и эксплуатационных условиях.

Выбор общей схемы решения задачи по высокоточной установке оборудования зависит от компоновки отдельных частей сооружения и элементов внутри каждой части, их технологической взаимосвязи, условий измерений.

Компоновка оборудования при проектировании сооружения производится относительно некоторых исходных осей и точек, которые при надежном закреплении их в натуре могут служить основой для геодезической установки оборудования. Если это оказывается невозможным, то создается специальная опорная сеть, пункты и стороны которой принимают на себя роль исходных точек и осей. В этом случае должна быть известна или рассчитана привязка технологических осей оборудования к опорной геодезической сети.

Высокие требования к точности монтажа оборудования делают необходимым надежное закрепление опорных точек. Знаки, служащие для закрепления опорных точек, должны быть стабильными и обеспечивать выполнение измерительных операций с заданной точностью. С этой целью при конструировании и изготовлении знаков предусматривают: защиту их от различных воздействий, юстировочные устройства для придания центру знака определенного положения в плане и по высоте, устройства для высокоточного центрирования измерительных приборов и оборудования.

Особенностью построения опорных геодезических сетей для высокоточной установки оборудования является большая плотность пунктов, что приводит к уменьшению расстояний между ними (обычно эти расстояния не превосходят 25 м). В этом случае наиболее точным методом построения плановой сети является *метод микротрилатерации*. Схема микротрилатерации зависит от формы, размеров и размещения отдельных частей сооружения. Пункты сети стараются приблизить к устанавливаемому оборудованию, поэтому форма сети обычно повторяет геометрическую форму сооружения в плане. Так, например, для кольцевых ускорителей и радиотелескопов строят радиально-кольцевые (рис. 22.10, *а*) или кольцевые (рис. 22.10, *б*) сети, для сооружений линейного типа — сети из вытянутых треугольников (рис. 22.10, *в*). В последних двух случаях в вытянутых треугольниках дополнительно измеряют высоты.

Высотные сети создают в основном методом сложного геометрического нивелирования коротким лучом.

Для установки отдельного блока оборудования на нем закрепляют два плановых и три высотных геодезических знака, привяз-

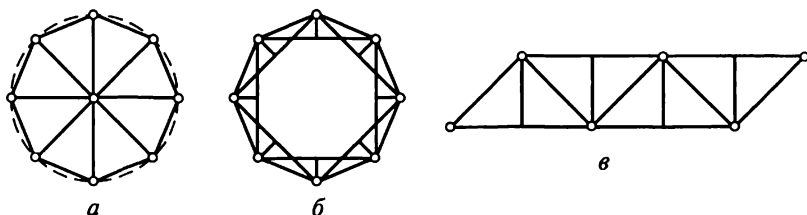


Рис. 22.10. Схемы опорных сетей для высокоточной установки оборудования: *а* — радиально-кольцевая; *б* — кольцевая; *в* — линейного типа

занных к технологической или геометрической оси. Вместо трех высотных знаков можно иметь одну базовую горизонтальную плоскость, привязанную по высоте к технологической оси, имеющей проектную отметку. В некоторых случаях привязку геодезических знаков производят на специальном калибровочном стенде.

К основным методам высокоточной установки оборудования в плане относят методы полярных и прямоугольных координат, створной и створно-линейной засечек.

Приведем одну из возможных схем плановой установки оборудования (рис. 22.11). Отдельные блоки оборудования устанавливаются полярным способом относительно опорных пунктов  $P_1, P_2, P_3, \dots$  и временно закрепляемых в их створе вспомогательных точек  $B_n$  и  $B_n$ . Каждый блок возводят по разбивочным элементам  $l_i, \beta_i$  и  $\delta_i$ . Вспомогательные точки временно закрепляют переносными геодезическими знаками, верхняя часть которых оборудована координатным столиком для установки центра в требуемое положение по створу и радиусу.

В створе смежных опорных пунктов центры вспомогательных точек устанавливают одним из высокоточных створных способов. Линейные разбивочные элементы  $l_i$  и  $\delta_i$  откладывают инвариными лентами с миллиметровыми делениями, используя для натяжения чувствительные блоки и микроскопы для отсчитывания. Отложение длин до 4 м производят также машиностроительными нутромерами или специально изготовленными мерными жезлами. Угловой элемент  $\beta_i$  откладывают высокоточным теодолитом, устанавливаемым на опорном или вспомогательном знаке. В рассмотренной схеме опорные пункты и оборудование расположены на одном горизонте.

На практике возможны случаи, когда опорные знаки располагаются значительно ниже оборудования. В этом случае разбивочные построения выполняют на горизонте опорных знаков до вспомогательных точек, положение которых соответствует проектно-

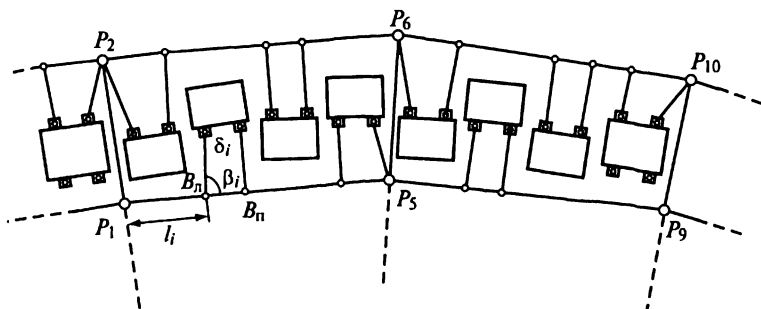


Рис. 22.11. Схема высокоточной плановой установки оборудования в кольцевом сооружении

му положению геодезических знаков на оборудовании. Над этими знаками оборудование устанавливают при помощи высокоточных приборов вертикального проектирования.

В некоторых случаях применительно к условиям монтажа часть блоков оборудования устанавливают от пунктов опорной сети, а промежуточные блоки — от створов знаков уже установленных блоков. При этом необходимо, чтобы за время монтажа установленные от опорной сети блоки не изменили своего проектного положения.

Для высокоточной установки оборудования по высоте и устранения его наклонов относительно горизонтальной плоскости применяют геометрическое нивелирование, микронивелирование и гидронивелирование.

Геодезическая установка каждого блока оборудования производится последовательными приближениями с чередованием процесса высотной и плановой установок.

Высокая точность геодезических работ при монтаже технологического оборудования уникальных сооружений достигается применением высокоточных измерительных средств, а также специального оборудования и методов, уменьшающих влияние различных источников погрешностей.

Для угловых измерений применяют высокоточные теодолиты и специальные визирные цели, приспособленные для принудительного (механического) центрирования на геодезических знаках. Применяя различную методику измерений, можно значительно уменьшить погрешности диаметров кругов, а выбирая условия измерений — ослабить влияние боковой рефракции. Как показал опыт, в условиях закрытого помещения при коротких сторонах угловые измерения можно выполнять со средней квадратической погрешностью порядка  $0,5 \dots 0,7''$ .

Высокоточные линейные измерения выполняют при помощи мерных жезлов, мерных проволок и лент, а также оптико-электронных приборов.

Мерные жезлы чаще всего применяют для отложения проектных расстояний, длина которых менее 2 м. Для особо точных работ их изготавливают из инвара, кварца, современных композиционных материалов с коэффициентом линейного расширения, близким к нулю.

Мерные инварные проволоки или ленты применяют в основном для линейных измерений в опорной геодезической сети. При этом стараются измерять линии одним уложением мерного прибора, для чего их изготавливают длиной, соответствующей каждому измеряемому расстоянию. Инварные проволоки снабжают стеклянными шкалами с ценой деления 0,2 мм, а отсчеты по ним берут при помощи измерительных микроскопов. Все мерные приборы периодически эталонируют на стационарных компараторах,



а в процессе выполнения монтажных работ — и на рабочих компараторах, оборудуемых на объекте.

К числу оптико-электронных приборов, при помощи которых измеряют короткие расстояния с погрешностью до десятых долей миллиметра, можно отнести светодальномер ДК 001 отечественного производства и мекометр МЕ 3000 (Швейцария). Используют также интерферометрический метод измерений, но он не получил широкого распространения из-за громоздкости и сложности настройки аппаратуры.

Для высокоточных створных измерений применяют все рассмотренные в данной главе способы выверки прямолинейности.

Высокоточное геометрическое нивелирование коротким лучом предусматривает применение прецизионных нивелиров типа Н-05, компарированных малогабаритных реек или точных линеек, прецизионной нивелирной подставки для изменения горизонта прибора. Нивелирование на станции выполняют строго из середины и по симметричной программе.

## **22.7. Система обеспечения геометрических параметров в строительстве и порядок расчета их точности**

Одним из важнейших показателей качества строительной продукции служит точность возведения зданий и сооружений, характеризующая степень приближения действительных геометрических параметров объекта к заданным в проекте. К геометрическим параметрам относят: основные характеристики взаимного положения конструкций, частей или самих сооружений (расстояния, превышения, углы, отметки, координаты); размеры и форму элементов и конструкций (длину, ширину, высоту, прямолинейность и неплоскостность), а также характеристики выполнения сборных конструкций в местах сопряжения элементов — узлах (зазоры, длины опирания, несоосность, несовпадение поверхностей, невертикальность).

В строительных конструкциях все геометрические параметры подразделяют по своему назначению на две группы:

функциональные (результатирующие) — точность их выполнения непосредственно влияет на эксплуатационные показатели здания, сооружения или их элементов. К ним относят характеристики выполнения узлов конструкций (рис. 22.12);

технологические (составляющие) — определяются габаритными размерами конструкций и точность которых зависит от технологии выполнения строительно-монтажных, разбивочных и контрольно-выверочных геодезических работ, а также точности изготовления элементов.

Точность геометрических параметров устанавливают, исходя из их функциональных требований, предъявляемых к отдельным конструкциям и сооружениям в целом (обеспечение прочности, ус-

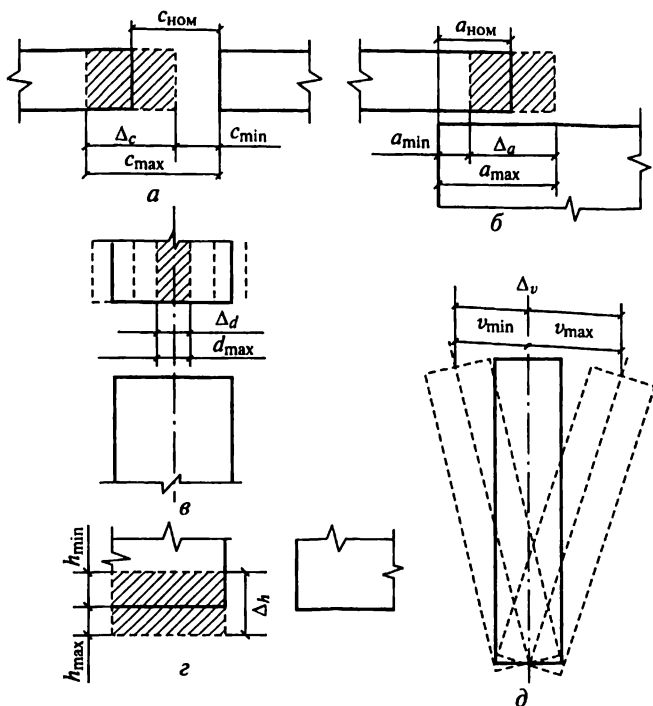


Рис. 22.12. Основные виды функциональных параметров: *a* — зазор между элементами  $c_{ном}$ ; *б* — длина опирания элемента  $a_{ном}$ ; *в* — несоосность элементов  $d$ ; *г* — несовпадение поверхностей элементов  $h$ ; *д* — неперпендикулярность  $v$

тойчивости, изоляционных свойств и др.). Характеристикой точности конкретного (единичного) геометрического параметра является значение действительного отклонения  $\delta x_i$ , выражаемого зависимостью

$$\delta x_i = x_i - x_{ном},$$

где  $x_i$  — действительное значение параметра  $x$ ;  $x_{ном}$  — номинальное значение параметра.

Величина  $\Delta x_i$  характеризует влияние ряда систематических и случайных погрешностей, накопленных при выполнении технологических операций и измерений.

В нормативной и проектной документации точность геометрических параметров характеризуется минимальным  $x_{мин}$  и максимальным  $x_{макс}$  предельными размерами, нижним  $\delta x_{inf}$  и верхним  $\delta x_{sup}$  предельными отклонениями от номинального  $x_{ном}$  значения и допуском  $\Delta_x$ . Половина допуска  $\delta_x = \Delta_x/2$  является предельным

отклонением параметра  $x$  от середины поля допуска  $x_c$ . Взаимосвязь указанных характеристик определяют по следующим формулам:

$$\Delta_x = 2\delta_x = x_{\max} - x_{\min} = \delta x_{\sup} - \delta x_{\inf}; \quad x_c = \frac{x_{\max} - x_{\min}}{2}.$$

Взаимосвязь статистических характеристик точности  $\delta_x$  и  $\sigma_x$  для случая нормального распределения определяется формулой

$$\delta_x = t\sigma_x.$$

Значение нормированной величины  $t$  при переходе от средних квадратических отклонений к допускаемым задают принятым уровнем собираемости. Уровень собираемости характеризует приемочный уровень дефектности, устанавливаемый, исходя из экономических соображений.

Уровень собираемости конструкции, %	.... 99,73	98,5	95,0	86,6
Приемочный уровень дефектности, %	..... 0,25	1,5	5,0	13
Величина нормированная, $t$ .....	3	2,5	2,0	1,5

Собираемость, характеризуемая уровнем собираемости порядка 99,73 % и выше, называют *полной собираемостью*; при уровне ниже 99,73 % — *неполной*. Расчет точности проводят, как правило, из условия полной собираемости конструкции.

Из условия собираемости следует, что допуски функциональных (результатирующих) параметров являются компенсаторами всех технологических отклонений и погрешностей.

Исходным уравнением для расчета точности является уравнение зависимости между результирующим  $y$  и составляющим  $x_i$  параметрами, входящими в расчетную схему вида

$$y = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_px_p = \sum_{i=1}^p c_i x_i, \quad (22.5)$$

где  $p$  — число составляющих параметров в расчетной схеме;  $c_i$  — коэффициенты, характеризующие геометрическую зависимость результирующего параметра от составляющего  $x_i$ .

Из выражения (22.5) среднее квадратическое отклонение результирующего параметра  $\sigma_y$  по статистическим характеристикам точности составляющих параметров  $\sigma_{x_i}$  определится по формуле

$$\sigma_y = \sqrt{\sum_{i=1}^p c_i^2 \sigma_{x_i}^2} \quad (22.6)$$

или при выполнении по значениям допусков составляющих параметров

$$\Delta_y = \sqrt{\sum_{i=1}^p c_i^2 \Delta_{x_i}^2}.$$

По взаимному расположению результирующих и составляющих параметров расчетные схемы могут быть линейными, плоскостными и пространственными, которые, однако, могут всегда быть приведены к виду (22.6).

В сборном строительстве отклонения составляющих параметров по технологическому содержанию могут быть разделены на следующие группы:

отклонения размеров конструкций и элементов при их изготовлении от проектных —  $\Delta_n$ ;

допуски выполнения строительного-монтажных операций и процессов —  $\Delta_m$ ;

допуски на геодезические измерения и построения —  $\Delta_r$ ;

допуски на деформации конструкций из-за влияния внешних условий (температуры) —  $\Delta_T$ .

Так как каждая группа включает в себя  $k$  погрешностей выполнения элементарных операций и отдельных параметров, уравнение для допуска функционального параметра может быть представлено в следующем виде:

$$\Delta_y = \sqrt{\sum_{i=1}^k c_{ni}^2 \Delta_{ni}^2 + \sum_{i=1}^k c_{mi}^2 \Delta_{mi}^2 + \sum_{i=1}^k c_{ri}^2 \Delta_{ri}^2 + \sum_{i=1}^k c_{Ti}^2 \Delta_{Ti}^2}. \quad (22.7)$$

В зависимости от характера расчета на собираемость могут решиться:

прямая задача — по известным значениям погрешностей технологических параметров рассчитывают погрешности функциональных параметров (проверочный расчет);

обратная задача — по заданной величине погрешности функционального параметра определяют необходимую точность выполнения технологических процессов и операций.

Расчет точности геометрических параметров зданий и сооружений выполняют в такой последовательности.

1. В рассматриваемых конструкциях выявляют результирующие геометрические параметры, от точности которых зависит обеспечение функциональных требований, и устанавливают допустимые значения этих параметров. Обычно выбирают параметры с максимальными расчетными характеристиками.

2. Устанавливают технологическую последовательность монтажа элементов и монтажные ориентиры. Технологическая последовательность должна учитывать минимум затрат, обеспечение безопасных условий работ, применение эффективных приемов, методов и оснастки при монтажных работах и измерениях. Составляют немасштабный эскиз конструкции и ее узлов, для которых рассчитывают точность исходя из отклонений размеров конструкций, допусков при выполнении строительного-монтажных и геодезических работ, а также деформаций. Этот этап расчета является одним

из важнейших, так как принятая технология монтажа определяется различными факторами:

конструктивными особенностями здания (сооружения), выполняемого по каркасной или бескаркасной схеме;

применяемыми монтажными механизмами, оснасткой и методом монтажа (свободный и ограниченно-свободный);

степенью расчленения технологических процессов и степенью укрупнения конструкций, поступающих на монтаж;

направлением возведения сооружения (продольное, поперечное, наращивание или подращивание);

размещением геодезической основы и составом разбивочных и контрольно-выверочных работ.

В качестве монтажных ориентиров принимают грани или оси элементов, причем точность нанесения последних устанавливается требованиями нормативов. Схему ориентирования наносят на чертеж в виде дуговых линий со стрелками на конце, указывающими последовательность выполнения сборки.

3. Выявляют составляющие параметры, влияющие на точность результирующего параметра, причем сначала параметр, являющийся началом накопления погрешностей. В качестве такого параметра, например, может быть принята длина стороны базисной геодезической сети, расстояния между разбивочными осями.

В качестве составляющих параметров рассматривают габаритные размеры элементов, в том числе характеристики их конфигурации, расстояния между осями, погрешности нанесения установочных рисок, их совмещения с монтажными, симметричность укладки конструкций и т. д. Особое внимание обращают на установление количественного влияния погрешностей составляющих параметров на точность результирующего параметра.

Выявленные на основе анализа входящие в расчетную схему погрешности составляющих параметров наносят на эскизный чертеж в виде поля допуска, обозначенного прямоугольником.

4. В соответствии с формулой (22.7) составляют уравнение точности, которое решается методом пробных расчетов из условия соблюдения полной собираемости. Величины технологических допусков принимают с учетом возможностей производства и проектируемых средств технологического обеспечения. В результате решения уравнения точности определяют допуск, номинальные и предельные размеры результирующего параметра.

При решении обратной задачи сначала устанавливают значение функционального допуска, затем по принятому соотношению погрешностей технологических допусков вычисляют их значения.

Хотя основные допуски геодезических работ (разбивка осей в плане, передача точек и осей по вертикали, передача высотных отметок) определены в ГОСТ 21779—82 «Технологические допус-

ки», на практике часто возникает задача предрасчета точности геодезических измерений, исходя из требуемой точности выполнения результирующих параметров и известной точности строительно-монтажных работ. Такой предрасчет может быть выполнен в ходе решения обратной задачи расчета точности сборных зданий.

## Глава 23

# ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ДЛЯ ЗЕМЕЛЬНОГО КАДАСТРА

### 23.1. Общее понятие о земельном кадастре

*Кадастр* определяется как «систематизированный свод сведений, составляемый периодически или путем непрерывных наблюдений над соответствующим объектом». Таким объектом в земельном кадастре является земля, и все что находится на ней, над ней и под ней. Существуют различные формулировки и толкования понятия «земельный кадастр». Юридически же в нашей стране оно определено соответствующим постановлением Правительства Российской Федерации «как государственная система необходимых сведений и документов о правовом режиме земель, их распределении по собственникам земли, землевладельцам, землепользователям и арендаторам, категориям земель, о качественной характеристике и народно-хозяйственной ценности земель». Из этого определения вытекают задачи и содержание земельного кадастра.

Государственный земельный кадастр ведется в целях:

своевременного обеспечения органов государственной власти и управления, предприятий, организаций, учреждений и физических лиц достоверной информацией о земельных ресурсах территории;

обеспечения учета, рационального использования и охраны земель;

защиты прав землевладельцев, землепользователей, арендаторов;

создания основы для установления нормативной цены земли, земельного налога и арендной платы;

сохранения границ исторических землевладений, объектов историко-культурного наследия.

Объектом государственного земельного кадастра являются все земли территории независимо от форм собственности, целевого назначения и характера их использования.

Ведение государственного земельного кадастра включает в себя: сбор, учет, обработку и анализ земельно-кадастровой информа-

ции, ее хранение, разработку рекомендаций по изменению характера правового состояния земель и выдачу информации пользователям.

Базовой единицей в кадастре является участок. Участок ограничивается площадью с определенным видом использования земли либо площадью, которая находится в руках одного или нескольких лиц. Владение может состоять из нескольких участков.

В кадастре о каждом участке записана информация о его местоположении, площади, стоимости, наличии объектов недвижимости (дома, строения, коммуникации, дороги и т. п.), экологической среде, кому этот участок принадлежит или сдан в аренду и другие сведения природного, общественного и юридического характера.

Информация, содержащаяся в кадастре, используется при проведении государственной земельной политики в таких вопросах, как, например, перераспределение земель, их объединение, отвод и продажа, поддержание земельного рынка и т. п. Кадастровая информация служит также для целей налогообложения.

Кадастры могут различаться по своему назначению: городской, лесной, водный и т. п. Особенно сложным и значительным по содержанию и объему информации является городской кадастр. Для городов характерна высокая концентрация материальных ресурсов, сложная социальная и экологическая обстановка с быстрым изменением ее во времени, разнообразность решаемых на городских землях задач.

Кадастровая информация может быть представлена в виде книги, картотеки или автоматизированной (компьютерной) базы данных.

Исторические корни возникновения кадастра уходят в глубокую древность. Так, первые сведения о кадастровых работах, проводимых в Древнем Египте для учета земель с указанием границ и площадей участков, относятся к 3000 г. до н. э. Сам термин «кадастр» происходит со времен римского правителя Августа (27... 14 гг. до н. э.), когда была утверждена единица учета сбора дани (налога) на землю и введена перепись населения. В настоящее время кадастр ведется во всех странах мира.

В Российской Федерации ведение кадастра законодательно поручено Федеральной службе земельного кадастра России (Росземкадастр) и ее подразделениям при местных органах государственной власти.

## **23.2. Состав геодезических работ для кадастра**

Геодезические работы занимают в кадастре значительное место. Их состав зависит от назначения кадастра и степени его автоматизации. Однако в большинстве случаев работа ведется по следующей схеме.

1. *Подготовительные работы.* В процессе подготовительных работ собирают и анализируют следующие материалы:

- проект землеустройства;
- постановление административного органа об отводе земельного участка;
- договора о купле-продаже или аренде земельного участка;
- выписки из книги регистрации земельного участка;
- чертеж границ или топографический план земельного участка;
- схемы и списки координат пунктов государственной или местной геодезических сетей;
- сведения об использовании земель.

2. *Полевое обследование пунктов опорной геодезической сети.* Выполняют для проверки сохранности пунктов и выбора наиболее выгодной технологии проведения геодезических работ.

3. *Составление технического проекта.* Геодезические работы выполняют по заранее составленному техническому проекту, который включает в себя: текстовую часть, графические материалы и смету затрат.

4. *Кадастровые съемки.* В зависимости от назначения кадастра производят в тех же масштабах, теми же способами и с той же точностью, что и топографические. Базовым является масштаб 1:500, наиболее широко используемым — 1:2000, обзорно-справочным — 1:10 000 и мельче.

На кадастровых картах и планах дополнительно изображают: границы земельных участков, владений, сельскохозяйственных и других земельных угодий; кадастровые номера и наименования земельных участков; дают экспликацию (описание) категорий использования земель и других кадастровых сведений. Кадастровые карты и планы могут не содержать информацию о рельефе местности.

5. *Установление и согласование границ земельных участков на местности.* Границы земельных участков выносят на местность по координатам характерных точек от пунктов геодезического обоснования и закрепляют специальными межевыми знаками. В случае когда границы каким-то образом закреплены ранее, определяют координаты закрепленных точек.

Согласование установленных границ производят в присутствии представителя государственной власти, владельцев или пользователей участка и участков, смежных с ним.

6. *Определение площадей земельных участков.* Площади земельных участков вычисляют в основном аналитическим методом по координатам межевых знаков. В отдельных случаях используют картографические материалы.

7. *Составление чертежей границ земельных участков.* Чертежи границ земельных участков составляют в масштабе основного кадастрового плана (или крупнее) по результатам установления на местности и согласования границ.



8. *Контроль и регистрация результатов кадастровых работ.* Результаты кадастровых работ подлежат обязательному полевому контролю, так как в процессе его выполнения устраняются возможные погрешности и несогласованности, возникшие в процессе съемок. Кроме того, контролируют соблюдение требований технического задания и соответствующих инструкций на производство топографо-геодезических работ.

Полученная в результате работ информация переносится в специальные реестры и отображается на кадастровых картах или планах.

9. *Кадастровые съемки. Ведение базы данных.* Для систематизации и управления большими объемами текстовой и графической кадастровой информации создается и ведется база данных. Ее наличие предусматривает не только хранение информации, но и оперативную выдачу ее потребителю.

Кроме указанных работ геодезист участвует в планировании землепользования, оценке состояния и стоимости земель, а также в разрешении возникающих споров.

### **23.3. Способы и точность определения площадей земельных участков**

Определение площадей земельных участков является одним из важнейших видов геодезических работ для целей земельного кадастра.

В зависимости от хозяйственной значимости земельных участков, наличия плано-топографического материала, топографических условий местности и требуемой точности применяют следующие способы определения площадей:

аналитический — площадь вычисляется по результатам измерений линий на местности, результатам измерений линий и углов на местности или по их функциям (координатам вершин фигур);

графический — площадь вычисляется по результатам измерений линий или координат на плане (карте);

механический — площадь определяется по плану с помощью специальных приборов (планиметров) или приспособлений (палеток). Иногда эти способы применяют комбинированно, например, часть линейных величин для вычисления площади определяют по плану, а часть берут из результатов измерений на местности.

Площади можно также определить на ЭВМ по цифровой модели местности по специальной программе.

При аналитическом способе определения площадей применяются формулы геометрии, тригонометрии и аналитической геометрии. При определении площадей небольших участков (для учета площадей, занятых строениями, усадьбами, площадями вспашки, посева) они разбиваются на простейшие геометрические фигуры, преимущественно треугольники, прямоугольники,

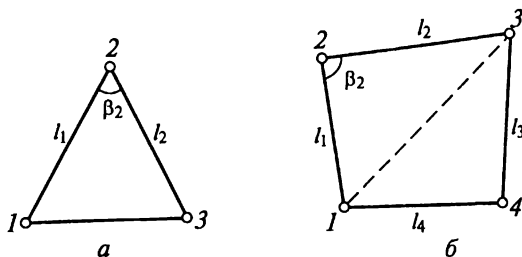


Рис. 23.1. Геометрические фигуры для определения площадей участков:  
*a* — треугольник; *б* — четырехугольник

реже трапеции. В этом случае площади участков определяются как суммы площадей отдельных фигур, вычисляемых по линейным элементам — высотам и основаниям.

Если по границам участка выполнены геодезические измерения, то площадь всего участка или его части можно вычислить по формулам, приведенным применительно к следующим фигурам участков:

*треугольник* (рис. 23.1, *a*). Площадь треугольника определяется по сторонам  $l_1$  и  $l_2$ , углу  $\beta_2$ , заключенному между ними, по формуле

$$P = \frac{1}{2} (l_1 l_2 \sin \beta_2); \quad (23.1)$$

*четырёхугольник* (рис. 23.1, *б*). В зависимости от элементов, известных в четырехугольнике, могут быть использованы различные формулы для расчета, в связи с чем приведем пример, характеризующий это многообразие. Пусть в четырехугольнике измерены все стороны и один угол при вершине 2. В таком случае площадь треугольника 1—2—3 может быть вычислена по формуле (23.1). При этом полезно вычислить длину  $l_{1-3}$ , используя теорему косинусов:

$$l_{1-3} = \sqrt{l_1^2 + l_2^2 - 2l_1 l_2 \cos \beta_2}.$$

Площадь треугольника 1—3—4 может быть вычислена по формуле

$$P = \sqrt{S(S - l_3)(S - l_4)(S - l_{1-3})},$$

где  $S = \frac{1}{2} (l_3 + l_4 + l_{1-3})$  — полупериметр.

Общая площадь четырехугольника

$$P = \frac{l_1 l_2}{2} \sin \beta_2 + \sqrt{S(S - l_3)(S - l_4)(S - l_{1-3})}.$$

При наличии координат вершин полигона площади треугольника и четырехугольника удобно вычислять соответственно по следующим формулам:

$$P = \frac{1}{2}[(X_1 - X_2)(Y_2 - Y_3) - (Y_1 - Y_2)(X_2 - X_3)];$$

$$P = \frac{1}{2}[(X_1 - X_3)(Y_2 - Y_4) - (Y_1 - Y_3)(X_2 - X_4)].$$

Если полигон имеет более четырех углов, то площадь его быстрее и с хорошим контролем можно получить по координатам  $X_i$  и  $Y_i$  его вершин или по приращениям координат  $\Delta X_i$  и  $\Delta Y_i$  после увязки полигона, например по следующим формулам:

$$P = \frac{1}{2} \left[ \sum_{i=1}^n (X_i + X_{i+1})(Y_{i+1} - Y_i) \right];$$

$$P = \frac{1}{2} \left[ \sum_{i=1}^n X_i Y_{i+1} - \sum_{i=1}^n X_{i+1} Y_i \right];$$

$$P = \frac{1}{2} \left[ \sum_{i=1}^n X_i \Delta Y_i + \sum_{i=1}^n \Delta Y_i X_{i+1} \right];$$

$$P = \frac{1}{2} \left[ \sum_{i=1}^n X_i \Delta Y_i - \sum_{i=1}^n Y_i \Delta X_i \right].$$

Координаты вершин полигона для определения площади участка как в государственной, так и в местной системах могут быть получены любым из известных геодезических способов: триангуляционными или линейно-угловыми построениями; проложением полигонометрических или теодолитных ходов; угловыми, линейными и полярными засечками; спутниковыми приемниками для определения местоположения и т.д.

Кроме того, когда требуется определить только площадь или границы участка в его частной системе координат, можно применять так называемый *способ изолированных базисов*. Суть его заключается в том, что координаты точек объекта определяют засечками с изолированных друг от друга базисов, расположенных в удобных местах внутри (рис. 23.2, а) или вблизи (рис. 23.2, б) участка. Для приведения результатов измерений в одну систему координат необходимо, чтобы было выполнено условие перекрытия, т.е. со смежных базисов должно быть определено несколько (минимум две) общих точек.

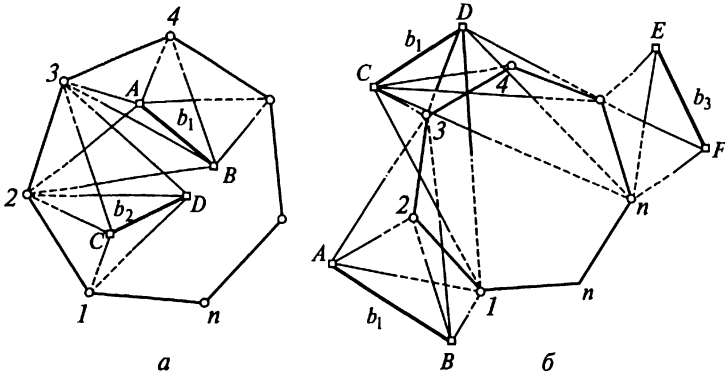


Рис. 23.2. Определение координат точек участка с изолированных базисов, находящихся:  
*a* — внутри участка; *б* — вблизи участка

Для каждой из  $n$  общих точек смежных базисов, например  $b_1$  и  $b_2$ , можно записать два уравнения связи вида:

$$\begin{aligned} x_j^{(1)} &= x_j^{(2)} \cos \varphi_{1,2} - y_j^{(2)} \sin \varphi_{1,2} + x_c^{(1)}; \\ y_j^{(1)} &= x_j^{(2)} \sin \varphi_{1,2} + y_j^{(2)} \cos \varphi_{1,2} + y_c^{(1)}, \end{aligned}$$

из которых по методу наименьших квадратов определяется угол  $\varphi_{1,2}$  разворота систем координат и координаты  $x_c^{(1)}$  и  $y_c^{(1)}$  начала координат системы 2 в системе 1. Установив параметры преобразования координат, в правые части этих формул подставляют координаты  $x_j^{(2)}$  и  $y_j^{(2)}$  остальных  $(m - n)$  точек, определенных со второго базиса, переводя их тем самым в первую систему. Аналогичным образом решается задача для всех точек, определяемых с базисов  $b_3, b_4$  и т. д.

При графическом способе определения площадей участков на плане делят на простейшие геометрические фигуры.

При разбивке участка на простейшие фигуры можно принять много вариантов, однако точность вычисления площади участка при различных вариантах не будет одинаковой. Площадь треугольника графическим способом вычисляется точнее площадей, определяемых разбивкой на прямоугольники, трапеции и другие фигуры. Механический способ определения площадей наиболее целесообразно применять для участков с ломаными линиями. Можно определить площади прямолинейными и криволинейными палетками.

При определении площадей по плану графическим или механическим способом (с помощью планиметра и палеток) необходимо учитывать деформацию бумаги (плана). Величина деформации мо-

жет характеризоваться коэффициентом  $q$ , определяемым в двух взаимно-перпендикулярных направлениях, по следующей формуле:

$$q = \frac{L_0 - L}{L_0},$$

где  $L_0$  — теоретическая длина линии, значащаяся на плане (например длина стороны квадрата координатной сетки);  $L$  — результат измерения этой линии по плану.

В настоящее время механические планиметры заменили электронные (цифровые). Представляют интерес цифровые планиметры, выпускаемые фирмой «Торсон», которая предлагает несколько моделей цифровых планиметров, позволяющих проводить измерения площадей по картам или другим материалам с точностью  $\pm 0,2\%$ .

Если для определения площадей используются пункты государственной геодезической сети, то полученные площади чаще всего имеют несколько преуменьшенное значение, потому что координаты пунктов относятся не к поверхности Земли, а к поверхности принятого референц-эллипсоида. На больших высотах этой разницей не всегда можно пренебречь.

Переход от площади  $P_0$  на поверхности референц-эллипсоида к площади  $P$  на поверхности Земли на высоте  $H$  может быть выполнен по формуле

$$P = P_0 \left( 1 + \frac{2H}{R} \right),$$

где  $R$  — радиус Земли, равный 6370 км.

Пользуясь координатами пунктов, планами (картами) в проекции Гаусса — Крюгера площади участков  $P_{\text{пр}}$  и размеры получаются всегда больше их горизонтальных проекций, и это увеличение возрастает по мере удаления от осевого меридиана зоны. Для приведения площади к горизонтальной проекции используют формулу

$$P = P_{\text{пр}} \left[ 1 - \left( \frac{Y_m}{R} \right)^2 \right],$$

где  $Y_m$  — средняя ордината участка (расстояние от осевого меридиана зоны до середины участка).

Приведенный способ изолированных базисов свободен от поправок за переход от поверхности референц-эллипсоида и проекции Гаусса — Крюгера, так как координаты точек базисов и границ участков определяются в частной системе, на физической поверхности Земли.

Иногда возникает необходимость получения площадей физической (топографической) поверхности участка  $P_{\phi}$ , которая тем больше отличается от площади горизонтального проложения участка  $P_{г.п.}$ , чем больше угол наклона  $\nu$  или уклон  $i$  местности. Для получения площади физической поверхности участка его разбивают на части с одинаковыми скатами, т.е. с равностоящими, и более или менее прямыми горизонталями. На каждой из этих частей в перпендикулярном направлении к горизонталям определяют угол наклона или уклон и вычисляют площадь  $P_{\phi}$  на физической поверхности земли по следующим формулам:

$$P_{\phi} = P_{г.п.} \left( 1 + \frac{\nu^2}{2\rho^2} \right);$$

$$P_{\phi} = P_{г.п.} \left( 1 + \frac{i^2}{2} \right).$$

Например, уже при угле наклона  $\nu = 2,9^{\circ}$  (уклоне  $i = 0,05$ ) поправка составит 1 : 800 или  $12,5 \text{ м}^2$  на 1 га.

Требования к точности определения площади земельных участков зависят от многих факторов: хозяйственной значимости (сельхозугодья, лесные угодья, городская территория и т.п.), местоположения (центр города, его окраина и т.п.), экологической обстановки (химическая загрязненность земли, атмосферы и т.п.), наличия и ценности недвижимости. Все эти и другие возможные факторы влияют на нормативную стоимость земли, которая в основном и является исходной для расчета требуемой точности определения площади земельных участков.

Достижение требуемой точности возможно лишь при правильном выборе способа определения площади участка. Очевидно, что наивысшая точность может быть достигнута при аналитическом способе определения площади. В этом способе площадь участка определяется по результатам измерений на местности и погрешность в определении площади будет зависеть от погрешностей этих измерений, так погрешность  $m_p$  площади треугольника и прямоугольника, вычисляемую по измеренным высоте  $h$  с погрешностью  $m_h$  и основанию  $l$  с погрешностью  $m_l$ , определяют по формуле

$$\frac{m_p}{P} = \sqrt{\left(\frac{m_h}{h}\right)^2 + \left(\frac{m_l}{l}\right)^2}.$$

При одинаковой относительной погрешности измерения  $h$  и  $l$

$$\frac{m_h}{h} = \frac{m_l}{l} = \frac{1}{S}, \quad m_p = \sqrt{2} \frac{P}{S}. \quad (23.2)$$

Например, при  $P = 1$  га ( $10\,000 \text{ м}^2$ ) и  $1/S = 1/2000$ ,  $m_P = 7 \text{ м}^2$ . Из выражения (23.2) для полигона с  $n$  вершинами можно получить формулу погрешности площади вида

$$m_P = \frac{1}{2} m_{x,y} \sqrt{\sum_{i=1}^n D_i^2}, \quad (23.3)$$

где  $m$  — средняя квадратическая погрешность определения координат  $x$  и  $y$  точек вершин полигона при условии, что

$$m_{x_1} = m_{x_2} = \dots = m_{y_1} = m_{y_2} = m_{y_n} = m_{x,y};$$

$D_i$  — расстояние от начала координат до  $i$ -й точки вершины полигона (в частном случае от одной из вершин, принятой за начало координат).

Для прямоугольника со сторонами  $a$  и  $b$  формула (23.3) примет вид

$$m_P = \frac{m_{x,y}}{\sqrt{2}} \sqrt{a^2 + b^2}, \quad (23.4)$$

а для квадрата со стороной  $a$

$$m_P = a m_{x,y}. \quad (23.5)$$

Так, например, если для участка размером  $100 \times 100$  м и площадью 1 га определять координаты со средней квадратической погрешностью 0,02 м, то погрешность площади будет равна  $2 \text{ м}^2$ .

Для погрешности площади участка, определяемой по топографическому плану (карте), с учетом погрешностей измерений на местности и погрешностей составления топографического плана можно использовать формулу следующего вида:

$$(m_P)_{\text{м}^2} = \frac{0,3M}{1000} \sqrt{(P)_{\text{м}^2}}, \quad (23.6)$$

где  $M$  — знаменатель численного масштаба плана;  $P$  — площадь участка.

В табл. 23.1 приведены величины средних квадратических погрешностей, вычисленных по формуле (23.6) для различных площадей участков по планам различных масштабов.

Приведенные формулы являются приближенными, так как не учитывают возможных погрешностей исходных данных и зависимости между входящими в них величинами. Однако они вполне достаточны для предварительных (проектных) расчетов.

Таблица 23.1

Площадь $P$ , м <sup>2</sup>	Погрешность $m$ , м <sup>2</sup> , для масштабов		
	1:500	1:1000	1:2000
400	3,0	6,0	12,0
600	3,6	7,3	14,6
1200	5,2	10,4	20,8
2500	7,5	15,0	30,0
10000	15,0	30,0	60,0

#### 23.4. Вынос в натуру и определение границ землепользования

Геодезические работы по выносу в натуру границ землепользования выполняют аналогично разбивочным работам по выносу в натуру зданий, сооружений и других объектов жизнедеятельности человека.

Базовой основой геодезических работ является проект. При землеустроительных работах основными объектами проектирования являются: границы районов, городов, поселков городского типа, сельских населенных пунктов, границы отдельных земельных владений, приусадебных, садово-огородных, дачных, арендных и других земельных участков, имеющих статус самостоятельных территориальных образований.

В зависимости от административных решений, хозяйственной ценности и занимаемой площади объектов землеустройства проектирование границ ведется на основе геодезических измерений на местности или с использованием топографических материалов различного вида и масштабов, включая и цифровые модели (электронные карты). По данным землеустроительного проекта выполняют геодезическое проектирование. Оно включает в себя аналитическую подготовку данных для перенесения на местность проектных точек наиболее целесообразными способами, обеспечивающими требуемую точность их положения, и составление разбивочных чертежей.

При аналитической подготовке координаты выносимых в натуру точек вычисляют в государственной или местной системе координат. При необходимости перевычисляют координаты из местной системы в государственную и наоборот. Однако во всех случаях координаты выносимых точек должны вычисляться в той же системе, что и координаты пунктов исходного геодезического обоснования.



Исходным геодезическим обоснованием могут служить все виды геодезических построений, обеспечивающие требуемую точность выноса в натуру границ землепользования: триангуляция, трилатерация, линейно-угловые сети, полигонометрия, спутниковые определения и в некоторых случаях теодолитные ходы.

Вынос в натуру точек границ землепользования от пунктов исходного обоснования производят всеми известными способами разбивочных работ: угловыми, линейными, створными и створно-линейными засечками; способами полярных и прямоугольных координат, перпендикуляров; теодолитными ходами и другими геодезическими построениями.

Вынесенные в натуру точки, как правило, закрепляют специальными межевыми знаками. Ими могут служить также четко опознаваемые контурные точки, например: углы капитальных заборов или зданий на застроенной территории, пересечения осей дорог, угловые точки угодий, урочищ и другие бесспорно опознаваемые точки местности. В этом случае путем соответствующих геодезических измерений определяют координаты этих точек.

Полученные данные переносят на кадастровые планы и заносят в кадастровый банк данных. В случае необходимости, например при выдаче акта на владение земель, составляют чертеж границ земельного участка (рис. 23.3).

От точности геодезических данных зависит достоверность кадастровой информации. Поскольку во всех операциях с землей (установлении прав собственности, купле-продаже, дарении, сдаче в аренду и др.) обязательно фигурирует площадь земельного владения, то требуемая точность ее определения служит расчетной основой для назначения точности выноса в натуру и определения границ землепользования.

Если формулы (23.3) ... (23.5) решить относительно  $m_{x,y}$ , то, задаваясь величиной погрешности площади  $m_p$ , можно с достаточным приближением рассчитать необходимую точность определения координат точек границ землепользования. Следуя далее, можно рассчитать необходимую точность угловых и линейных измерений.

Покажем это на примере участка прямоугольной формы размером  $30 \times 50$  м в центральной части городской застройки, где чрезвычайно высока стоимость земли и учитывается каждый квадратный метр площади, т.е.  $m_p = 1$  м<sup>2</sup>. Из формулы (23.4) следует, что

$$m_{x,y} = \frac{m_p \sqrt{2}}{\sqrt{a^2 + b^2}} = \frac{1 \sqrt{2}}{\sqrt{30^2 + 50^2}} \approx 0,024 < = 2,4 \text{ см.}$$

Формула (23.4) получена из предположения, что начало координат совмещено с одной из вершин прямоугольника. В свою очередь

$$m_{x,y}^2 = m_s^2 \sin^2 \alpha + \frac{S^2 \cos^2 \alpha}{\rho^2} m_a^2.$$

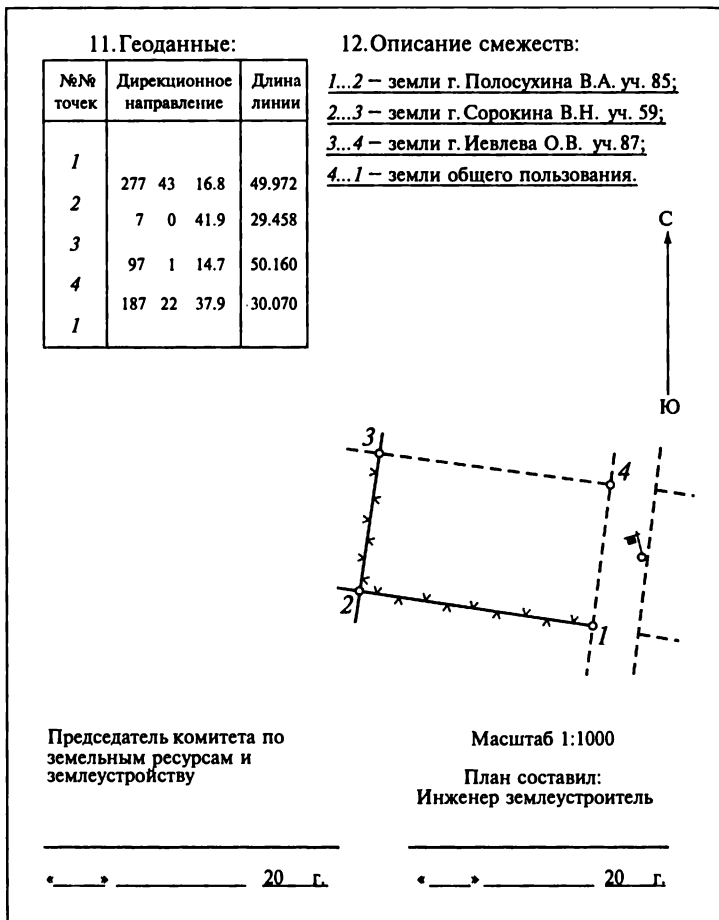


Рис. 23.3. Чертеж границ земельного участка

Для анализа влияния угловых и линейных измерений обычно приводят формулу погрешности положения пункта:

$$m_{x,y}^2 = m_{\Delta x}^2 + m_{\Delta y}^2 = m_S^2 + \frac{S^2}{\rho^2} m_\alpha^2.$$

Применяя принцип равных влияний погрешностей линейных и угловых измерений, можно записать следующие формулы:

$$m_S = \frac{m_{x,y}}{\sqrt{2}}; \quad m_\alpha = \frac{m_{x,y} \rho}{S \sqrt{2}}.$$

Для приведенного примера получим:  $m_S = 2$  см,  $m_\alpha = 2''$ . Поскольку в частной системе координат прямоугольника можно при-

нять дирекционный угол длинной стороны  $b$ , равным нулю, то  $m_a = m_b$ .

В случае когда координаты точек границ землевладений определяют с пунктов исходного геодезического обоснования, выполняют более сложные расчеты, учитывающие все погрешности геодезических построений и зависимости между ними. Однако и в этом случае для проектных расчетов можно принять погрешности исходных данных в два раза меньшими погрешностей последующего построения.

В практике геодезических работ для земельного кадастра принято считать, что для городских земельных участков площадью до 1 га координаты точек их границ следует определять со средней квадратической погрешностью 2 см, для участков значительной площади — 5... 10 см.

### 23.5. Понятие о геоинформационных системах

Появление современных высокопроизводительных компьютеров с их возможностью переработки, хранения и выдачи огромного количества информации предопределило возникновение нового направления в хозяйственной и управленческой деятельности человека и новой науки — геоинформатики.

Первоначально понятие «геоинформационные системы» (ГИС) расширявалось как «географические информационные системы», поскольку оно появилось в недрах географической науки. Сейчас область использования далеко вышла за пределы географии и приставка «гео» указывает лишь на то, что информация связана с Землей и деятельностью человека на ней.

Таким образом, под геоинформационной системой чаще всего понимают компьютерное хранилище знаний о территориальном взаимодействии природы и общества, обеспечивающее сбор, хранение, обработку и визуализацию (зрительное представление) многих видов информации о явлениях в окружающем человека пространстве и во времени. К их числу относится информация из областей: географии, информатики, геодезии, картографии, земельного учета, управления, права, экологии и других наук.

Геоинформационные системы разделяются по территориальному охвату: общенациональные и региональные; по целям использования: многоцелевые, специализированные, информационно-справочные, для нужд планирования, управления и др.; по тематике: водных ресурсов, использования земель, лесопользования, туризму и др. Особенно активно развиваются системы, ориентированные на кадастр.

Источниками информации для ГИС в основном являются географические и топографические карты и планы, аэрокосмические материалы, нормативные и правовые документы.

Современные ГИС, как правило, являются цифровыми и создаются с использованием специального программного обеспечения и объема данных, называемого *базой данных*.

База данных цифровой карты включает в себя два варианта информации: пространственную, определяющую местоположение объекта, и семантическую (атрибутивную), описывающую свойства объекта.

Многообразная пространственная информация в ГИС организуется в виде отдельных тематических слоев, отвечающих решению различных задач. Каждый слой может содержать информацию, относящуюся только к одной или нескольким темам. Например, для задач развития городской территории набор из отдельных слоев может включать в себя данные: о землевладениях и недвижимости; об объектах транспорта, образования, здравоохранения, культуры; инженерных сетях; рельефе; геодезических сетях и других объектах городского хозяйства.

Для представления карт и планов в компьютере используется прямоугольная система координат. Каждая точка описывается одной парой координат  $X$ ,  $Y$ . Пользуясь координатной системой, можно представить точки, линии и полигоны в виде списка координат. При этом для представления земной поверхности на плоскости используются различные картографические проекции, например проекции Гаусса — Крюгера.

Данные с карты, плана вводятся в компьютер путем цифрования. Цифрование может быть выполнено либо путем оцифровки каждой характерной точки объекта, либо путем сканирования всего листа карты электронным сканером. Ввод в базу данных компьютера может также осуществляться с электронных геодезических приборов. Описательные характеристики объектов могут вводиться с клавиатуры компьютера. Данные аэро- и космических съемок, записанные в цифровом виде, также могут быть введены в компьютер, минуя бумажную стадию.

### **23.6. Геоинформационные системы в кадастре**

По существу, любой вид кадастра (земельный, градостроительный, водный, лесной и др.) является геоинформационной системой, поскольку содержит совокупность достоверных и необходимых сведений о природном, хозяйственном и правовом положении земель и недр на базе картографической информации. Картографическая информация служит и для оценки количества, качества и стоимости земель, регистрации землепользования и землевладения, текущего контроля за землепользованием.

Информационная основа кадастра создается в результате инвентаризации земель и кадастровых съемок. Эти работы могут охватывать как большие территории (город, район, населенный пункт и т. п.), так и небольшие земельные участки.

Чтобы разместить большое количество сведений в единой информационной системе, кадастровая информация делится на элементарные слои, каждый из которых самостоятельно используется для решения конкретной задачи.

Для автоматизированной системы кадастра, основанной на применении ГИС, используются цифровые кадастровые карты, планы. Все объекты, представленные на кадастровой карте, плане, имеют пространственную привязку, т. е. их положение определено в той системе координат, которая принята при создании карты. Описательные данные объекта (земельного участка) составляют содержание базы данных информационной системы. Для обозначения и связи объектов этой базы данных используются идентификаторы (кадастровые номера) участков. Таким образом, цифровая кадастровая карта, представляя собой совокупность метрических (графических) и семантических (описательных) данных, является картографической частью информационной системы кадастра. Определяя местоположение земельных участков, их границы и площади, она используется как инструмент управления земельными ресурсами.

Таким образом, государственный земельный кадастр является геоинформационной системой, обеспечивая сбор, хранение и выдачу земельной информации потребителям.

## Глава 24

### НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ДЕФОРМАЦИЯМИ СООРУЖЕНИЙ ГЕОДЕЗИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

#### 24.1. Виды деформации и причины их возникновения

Вследствие конструктивных особенностей, природных условий и деятельности человека сооружения в целом и их отдельные элементы испытывают различного вида деформации.

В общем случае под термином «деформация» понимают изменение формы объекта наблюдений. В геодезической практике принято рассматривать *деформацию* как изменение положения объекта относительно первоначального.

Под постоянным давлением от массы сооружения грунты в основании его фундамента постепенно уплотняются (сжимаются) и происходит смещение в вертикальной плоскости, называемое *осадкой* сооружения. Кроме давления от собственной массы, осадка может быть вызвана и другими причинами: карстовыми и оползневыми явлениями, изменением уровня грунтовых вод, работой тяжелых механизмов, движением транспорта, сейсмически-

ми явлениями и т. п. При коренном изменении структуры пористых и рыхлых грунтов происходит быстро протекающая во времени деформация, называемая *просадкой*.

В случае когда грунты под фундаментом сооружения сжимаются неодинаково или нагрузка на грунт различная, осадка имеет неравномерный характер. Это приводит к другим видам деформаций сооружений: горизонтальным смещениям, сдвигам, перекосам, прогибам, которые внешне могут проявляться в виде трещин и даже разломов.

*Смещение* сооружений в горизонтальной плоскости может быть вызвано боковым давлением грунта, воды, ветра и т. п.

Высокие сооружения башенного типа (дымовые трубы, телебашни и т. п.) испытывают *кручение* и *изгиб*, вызываемые неравномерным солнечным нагревом или давлением ветра.

Для изучения деформаций в характерных местах сооружения фиксируют точки и определяют изменение их пространственного положения за выбранный промежуток времени. При этом определенное положение и время принимают за начальные.

Для определения *абсолютных*, или *полных*, осадок  $S$  фиксированных на сооружении точек периодически определяют их отметки  $H$  относительно исходного репера, расположенного в стороне от сооружения и принимаемого за неподвижный. Очевидно, чтобы определить осадку точки на текущий момент времени относительно начала наблюдений, необходимо вычислить разность отметок, полученных на эти моменты, т. е.  $S = H_{\text{тек}} - H_{\text{нач}}$ , где  $H_{\text{тек}}$  и  $H_{\text{нач}}$  — отметки на текущий и начальный моменты соответственно. Аналогично можно вычислить осадку за время между предыдущим и последующим периодами (циклами) наблюдений.

*Средняя осадка*  $S_{\text{ср}}$  всего сооружения или отдельных его частей вычисляется как среднее арифметическое из суммы осадок всех  $n$  его точек, т. е.  $S_{\text{ср}} = \sum_1^n S/n$ . Одновременно со средней осадкой для полноты общей характеристики указывают максимальную  $S_{\text{max}}$  и минимальную  $S_{\text{min}}$  осадки точек сооружений.

*Неравномерность* осадки может быть определена по разности осадок  $\Delta S$  каких-либо двух точек 1 и 2, т. е.  $\Delta S_{1,2} = S_2 - S_1$ .

*Крен*, или *наклон*, сооружения определяют как разность осадок двух точек, расположенных на противоположных краях сооружения, или его частей вдоль выбранной оси. Наклон в направлении продольной оси называют *завалом*, а в направлении поперечной оси — *перекосом*. Величина крена, отнесенная к расстоянию  $l$  между двумя точками 1 и 2, называется *относительным креном*  $K$ . Вычисляется он по формуле  $K = (S_2 - S_1)/l$ .

Горизонтальное смещение  $q$  отдельной точки сооружения характеризуется разностью ее координат  $x_{\text{тек}}$ ,  $y_{\text{тек}}$  и  $x_{\text{нач}}$ ,  $y_{\text{нач}}$ , полученных в текущем и начальном циклах наблюдений. Положение осей коор-

динат, как правило, совпадает с главными осями сооружения. Вычисляют смещения в общем случае по следующим формулам:  $q_x = x_{\text{тек}} - x_{\text{нач}}$ ;  $q_y = y_{\text{тек}} - y_{\text{нач}}$ . Аналогично можно вычислить смещения между предыдущим и последующим циклами наблюдений. Горизонтальные смещения определяют и по одной из осей координат.

Кручение относительно вертикальной оси характерно в основном для сооружений башенного типа. Оно определяется как изменение углового положения радиуса фиксированной точки, проведенного из центра исследуемого горизонтального сечения.

Изменение величины деформации за выбранный интервал времени характеризуется *средней скоростью* деформации  $v_{\text{ср}}$ . Так, например, средняя скорость осадки исследуемой точки за промежуток времени  $t$  между двумя циклами  $i$  и  $j$  измерений  $v_{\text{ср}} = (S_j - S_i)/t$ . Различают среднемесячную скорость, когда  $t$  — число месяцев, и среднегодовую, когда  $t$  — число лет, и т. д.

## 24.2. Задачи и организация наблюдений

Основной целью наблюдений является определение величин деформации для оценки устойчивости сооружения и принятия своевременных профилактических мер, обеспечивающих его нормальную работу.

Кроме того, по результатам наблюдений проверяется правильность проектных расчетов и выявляются закономерности, позволяющие прогнозировать процесс деформации.

Наблюдения за деформациями сооружений представляют собой комплекс измерительных и описательных мероприятий по выявлению величин деформаций и причин их возникновения.

Для сложных и ответственных сооружений наблюдения начинают одновременно с проектированием. На площадке будущего строительства изучают влияние природных факторов и в этот же период создают систему опорных знаков с тем, чтобы заранее определить степень их устойчивости.

Наблюдения непосредственно за сооружением начинают с момента начала его возведения и продолжают в течение всего строительного периода. Для большинства крупных сооружений наблюдения проводятся и в период их эксплуатации. В зависимости от характера сооружения, природных условий наблюдения могут быть закончены при прекращении деформаций, а могут продолжаться и весь период эксплуатации.

На каждом этапе возведения или эксплуатации сооружения наблюдения за его деформациями производят через определенные промежутки времени. Такие наблюдения, проводимые по календарному плану, называются *систематическими*.

В случае появления фактора, приводящего к резкому изменению обычного хода деформации (изменение нагрузки на основание,

температуры окружающей среды и самого сооружения, уровня грунтовых вод, землетрясение и др.), выполняют *срочные* наблюдения.

Параллельно с измерением деформаций для выявления причин их возникновения организуют *специальные* наблюдения за изменением состояния и температуры грунтов и подземных вод, температурой тела сооружения, за изменением метеоусловий и т. п. Ведется учет изменения строительной нагрузки и нагрузки от установленного оборудования.

Для производства наблюдений составляют специальный проект, который в общем случае включает в себя:

- техническое задание на производство работ;
- общие сведения о сооружении, природных условиях и режиме его работы;
- схему размещения опорных и деформационных знаков;
- принципиальную схему наблюдений;
- расчет необходимой точности измерений;
- методы и средства измерений;
- рекомендации по методике обработки результатов измерений и оценке состояния сооружения;
- календарный план (график) наблюдений;
- состав исполнителей, объемы работ и смету.

### 24.3. Точность и периодичность наблюдений

От правильного выбора точности и периодичности наблюдений зависят методы и средства измерений, затраты на их производство и достоверность получаемых результатов.

Точность и периодичность измерений указываются в техническом задании на производство работ или в нормативных документах. В особых случаях эти требования могут быть получены путем специальных расчетов.

В нормативных документах требования к точности определения осадок или горизонтальных смещений характеризуются средней квадратической погрешностью:

1 мм — для зданий и сооружений, возводимых на скальных или полускальных грунтах;

3 мм — для зданий и сооружений, возводимых на песчаных, глинистых и других сжимаемых грунтах;

10 мм — для зданий и сооружений, возводимых на насыпных, просадочных и других сильно сжимаемых грунтах;

15 мм — для земляных сооружений.

На оползневых участках осадки измеряются со средней квадратической погрешностью 30 мм, а горизонтальные смещения — 10 мм.

Крены дымовых труб, мачт, высоких башен измеряются с точностью, зависящей от высоты  $H$  сооружения и характеризуемой величиной  $0,0005H$ .



Установить необходимую точность измерения деформаций расчетным путем довольно сложно, однако для многих практических задач можно пользоваться формулой

$$m_{\Phi} \leq 0,2\Delta\Phi,$$

где  $m_{\Phi}$  — средняя квадратическая погрешность измерения деформации;  $\Delta\Phi$  — величина деформации за промежуток времени между циклами измерений.

Выбор времени между циклами измерений зависит от вида сооружения, периода его работы, скорости изменения деформации и других факторов. В среднем в строительный период систематические наблюдения выполняют один-два раза в квартал, в период эксплуатации — один-два раза в год. При срочных наблюдениях их выполняют до и после появления фактора, резко изменяющего обычный ход деформации.

#### **24.4. Основные типы геодезических знаков и их размещение**

Существенная роль в организации наблюдений за деформациями сооружений отводится геодезическим знакам. От правильного выбора конструкции и мест их размещения в значительной мере зависит качество результатов наблюдений.

Применяемые для наблюдений геодезические знаки различают по назначению. Это опорные, вспомогательные и деформационные знаки. Знаки также делятся на плановые и высотные.

Опорные знаки служат исходной основой, относительно которой определяются смещения деформационных знаков. Закрепляются они с расчетом на устойчивость и длительную сохранность.

Вспомогательные знаки являются связующими в схеме измерений и используются для передачи координат от опорных знаков к деформационным.

Деформационные знаки закрепляются непосредственно на исследуемом сооружении и, перемещаясь вместе с ним, характеризуют изменение его положения в пространстве.

Для *плановых* опорных знаков широко применяют трубчатые конструкции. Основной деталью знака является стальная труба диаметром от 100 до 300 мм, заглубляемая и бетонируемая в грунте не менее чем на 1 м ниже верхней границы твердых коренных пород. Верхний конец трубы заканчивается фланцем, к которому крепится головка знака. Вокруг основной трубы сооружается защитная труба. Пространство между основной и защитной трубами в нижней части заполняется битумом, а в верхней — легким теплоизоляционным материалом. Знак закрывается крышечкой. Конструкция головки знака может быть разной и зависит от применяемых для наблюдений приборов.

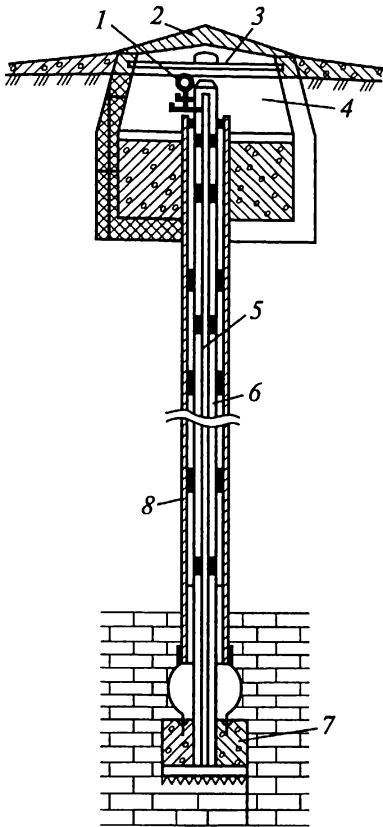


Рис. 24.1. Биметаллический репер:  
 1 — кронштейн; 2 — крышка; 3 —  
 головка; 4 — смотровой колодец; 5 —  
 дюралюминиевая труба; 6 — сталь-  
 ная труба; 7 — башмак; 8 — защит-  
 ная труба

Для опорных *высотных* реперов также характерно применение трубчатых конструкций. В то же время для учета изменения длины репера вследствие изменения температуры используют две трубы из разного материала, например стальную и дюралюминиевую. Репер подобной конструкции называется *биметаллическим* (рис. 24.1).

Репер в основном состоит из дюралюминиевой трубы 5, помещенной в основную стальную трубу 6. Обе трубы помещаются в защитную трубу 8, крепятся к общему башмаку 7 и бетонируются в твердых породах. Дюралюминиевая труба оборудуется базовой поверхностью, а стальная — кронштейном для отсчетного приспособления 1 (обычно часового индикатора). На стальную трубу навинчивается головка 3 для установки рейки. Защитная труба бетонируется в смотровом колодце 4 с крышкой 2.

Для изучения деформаций промышленных и гражданских зданий в качестве опорных применяют свайные знаки и реперы с поперечным сечением 180... 250 мм.

Деформационные знаки, применяемые для наблюдений за горизонтальными смещениями, — это в основном визирные цели,

закрепляемые или непосредственно на конструкциях, или на кронштейнах; в полу сооружений — это металлические пластины с перекрестием.

Для большинства осадочных реперов характерно наличие сферической головки, на которую подвешивается или устанавливается нивелирная рейка (рис. 24.2). На сооружении могут закрепляться постоянные нивелирные шкалы. В этом случае отпадает необходимость в использовании реек.

От правильности размещения и числа знаков во многом зависят качество, полнота и достоверность выявленных деформаций.

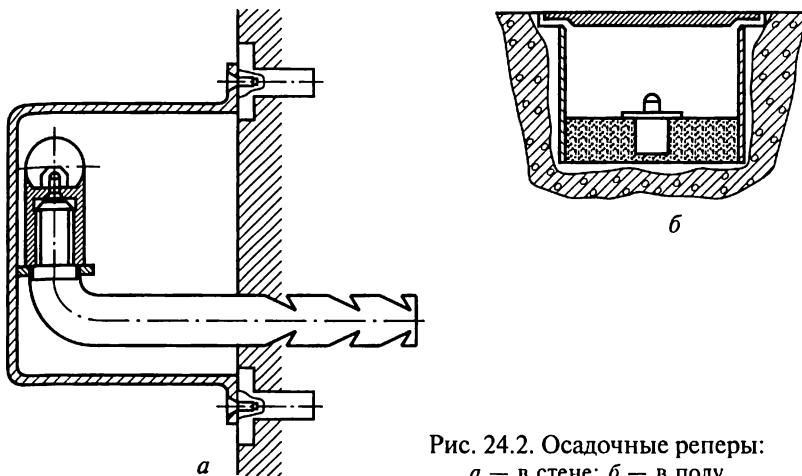


Рис. 24.2. Осадочные реперы:  
*a* — в стене; *б* — в полу

Опорные знаки необходимо размещать вне зоны возможных деформаций, но поближе к сооружению. Их число должно быть не менее трех, чтобы обеспечить взаимный контроль за устойчивостью.

Расположение деформационных знаков на сооружении зависит от многих факторов: от цели проведения работ, вида деформации, конструкции сооружения в целом и его отдельных элементов, инженерно-геологических условий и др.

Деформационные знаки для определения горизонтальных смещений гражданских и промышленных зданий размещают по периметру, но не реже, чем через 15...20 м по углам и по обе стороны осадочных швов. На плотинах гидроузлов знаки устанавливают в галереях и по гребню (верх плотины) не менее двух марок на секцию. На подпорных стенках, причальных сооружениях размещают не менее двух марок на каждые 30 м.

Высотные реперы на гражданских и промышленных зданиях располагают по углам, по периметру через 10...15 м по обе стороны деформационных швов, на колоннах, в местах примыкания продольных и поперечных стен. На причальных и подпорных стенках реперы располагают через 15...20 м.

На дымовых трубах, доменных печах, различных башнях устанавливают несколько ярусов деформационных знаков.

## 24.5. Наблюдения за осадками сооружений

Наблюдения за осадками сооружений выполняют способами геометрического и тригонометрического нивелирования, гидро-нивелирования, микро-нивелирования, а также фото- и стерео-фотограмметрическими способами.

Наиболее широко распространен способ геометрического нивелирования. Он обладает множеством достоинств, делающих его практически универсальным. Это высокая точность и быстрота измерений, простое и недорогое стандартное оборудование, возможность выполнять измерения в сложных и стесненных условиях.

Способом геометрического нивелирования можно определять разности высот точек, расположенных на расстоянии 5...10 м с погрешностью 0,05...0,10 мм, а на несколько сотен метров – с погрешностью до 0,5 мм.

В зависимости от требуемой точности определения осадок применяются различные классы нивелирования. Так, например, при определении осадок бетонных плотин гидроузлов применяют I и II классы, которые характеризуются средней квадратической погрешностью измерения превышения на одной станции соответственно 0,3 и 0,4 мм. При определении осадок промышленных и гражданских зданий чаще всего применяют II и III классы, для которых средние квадратические погрешности измерения превышения на станции соответственно равны 0,4 и 0,9 мм.

Отметки деформационных точек в цикле измерений определяют относительно исходного опорного репера. Отметку исходного репера чаще всего принимают условно, например 100 м, но она постоянна на весь период наблюдений. Для передачи отметки от исходного на все деформационные реперы разрабатывают специальную схему (рис. 24.3).

При выполнении измерений в зависимости от класса нивелирования применяют специальную методику и соответствующие приборы. Так, при измерениях высокой точности используют тщательно выверенные высокоточные нивелиры типа Н-05, штриховые инварные или специальные малогабаритные рейки. Нивелир

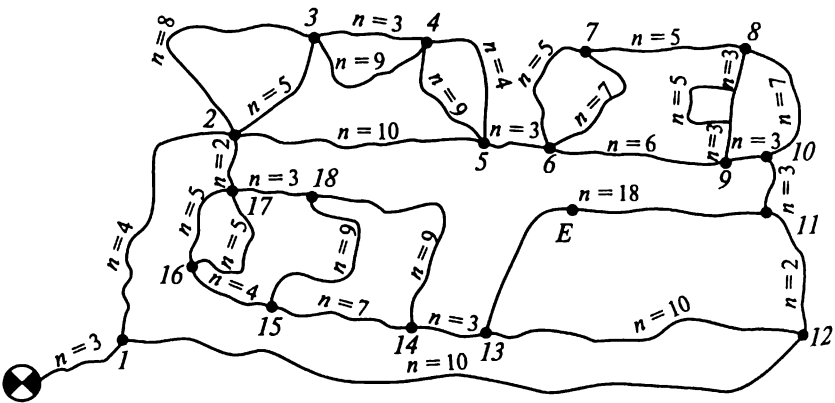


Рис. 24.3. Схема нивелирных ходов для наблюдений за осадками ТЭЦ

устанавливают строго посередине между наблюдаемыми точками, отсчеты берут по основной и дополнительной шкалам реек.

Нивелирование выполняют при двух горизонтах прибора, в прямом и обратном направлениях. Длина визирного луча допускается до 40 м, его высота над поверхностью земли или пола — не менее 0,5 м. Нивелирование производится только при вполне благоприятных условиях видимости и достаточно отчетливых, спокойных изображениях штрихов реек. Соблюдают и другие меры предосторожности, обеспечивающие высокую точность работ.

Полученные результаты тщательно обрабатывают: оценивают фактическую точность и сравнивают ее с заданной, уравнивают, вычисляют отметки, а по разности их в циклах — осадки, строят графики осадок и т. д.

Способ тригонометрического нивелирования позволяет определять осадки точек, расположенных на существенно разных высотах, в труднодоступных местах. Такие случаи возникают при наблюдениях за высокими зданиями, башнями, плотинами, при производстве измерений через препятствия.

Наиболее высокая точность порядка 0,1 мм обеспечивается при коротких (до 100 м) лучах визирования с применением высокоточных теодолитов типа ЗТ2 и специальной методики измерений, позволяющей измерять зенитные расстояния с погрешностью порядка 5". Кроме того, методика предусматривает однообразную во всех циклах установку теодолита и его тщательное исследование, строгую вертикальность реек, выбор времени и условий наблюдений для уменьшения влияния вертикальной рефракции и ряд других мероприятий, направленных на ослабление действий различных источников погрешностей. Расстояния до определяемых точек должны измеряться с погрешностью 3...5 мм.

Гидронивелирование обеспечивает такую же точность, как и геометрическое нивелирование, но применительно к наблюдениям за осадками позволяет создавать стационарные автоматизированные системы с дистанционным съемом информации.

При использовании гидростатического нивелирования применяют различные системы, конструкция которых зависит от условий проведения работ, требуемой точности и от способа измерения положения уровня жидкости относительно отсчетных индексов измерительных сосудов.

Простейшая система, используемая на гидротехнических сооружениях (рис. 24.4), состоит из отрезков металлических труб, уложенных на стержнях, заделываемых в стену. Отрезки труб соединяются между собой шлангами. Над трубой в точках, между которыми систематически определяются превышения, в стену закладываются марки с посадочными втулками для переносного измерителя. При измерениях измеритель вставляется во втулку марки. Вращением микрометричного винта измерителя добива-

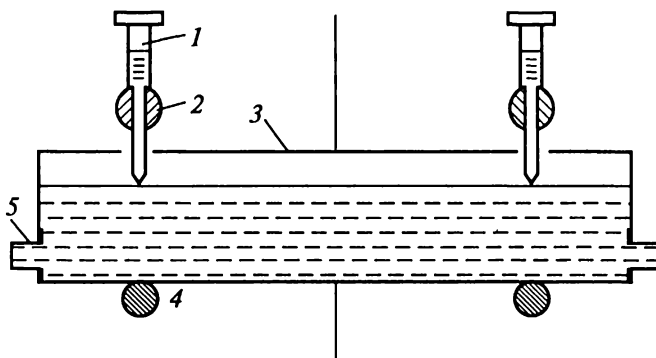


Рис. 24.4. Стационарная гидростатическая система:

1 — измеритель; 2 — марка; 3 — отрезок металлической трубы; 4 — стержень; 5 — шланг

ются контакта острия штока с жидкостью, о чем свидетельствует загорание сигнальной лампочки. В этот момент берется отсчет по барабану микрометра. При привязке гидростатической системы к опорной нивелирной сети на марку вместо измерителя устанавливается нивелирная рейка. Существуют автоматизированные системы гидростатического нивелирования, в которых изменение положения уровня жидкости в сосудах определяется автоматически с помощью электрических или оптико-электронных датчиков.

Применение гидродинамического нивелирования позволяет расширить диапазон измерений и значительно упростить процесс автоматизации наблюдений за осадками. Система гидродинамического нивелирования с поршневым устройством СГДН-ПУ (Армения) состоит из сообщающихся между собой рабочих сосудов с жидкостью, устанавливаемых в определяемых точках. В каждом рабочем сосуде имеется игольчатый шток, связанный проводом с блоком управления и регистрации (БУР). Сосуды сообщаются также с поршневым устройством. При равномерном перемещении с помощью электродвигателя поршня вниз и поршневом устройстве жидкость в рабочих сосудах равномерно поднимается. При этом в БУРе специальный счетчик определяет перемещение поршня от начала его движения до момента контакта игольчатого штока с поверхностью поднимающейся жидкости в каждом рабочем сосуде. Поршень опускается до тех пор, пока со всех рабочих сосудов не поступит сигнал о контакте. Разность замеров между циклами измерений будет соответствовать осадке определяемых точек. Система позволяет выполнять измерения со средней квадратической погрешностью порядка 0,1 мм.

Способ микронивелирования применяют при наблюдениях за взаимным высотным положением близко расположен-

ных на расстоянии 1,0...1,5 м точек. Такие задачи возникают при изучении осадок и наклонов отдельных конструкций: фундаментов, балок, ферм, технологического оборудования. Измерения выполняют с помощью микронивелира.

Фото- и стереофотограмметрические способы предусматривают применение фототеодолита для фотосъемки исследуемого объекта. Определение деформаций вообще и в частности осадок этими способами заключается в измерении разности координат точек сооружения, найденных по фотоснимкам начального (или предыдущего) цикла и фотоснимках деформационного (или последующего) цикла.

В зависимости от решаемой задачи, условий фотосъемки, вида сооружения применяют следующие способы:

фотограмметрический — деформации определяются в одной вертикальной плоскости  $XOZ$ , т.е. в плоскости, параллельной плоскости фотоснимка;

стереофотограмметрический — деформации определяются по направлениям всех трех координат.

При фотограмметрическом способе фотографирование производят с одной точки при неизменном положении фотокамеры в циклах. При этом плоскость прикладной рамки, по возможности, устанавливают параллельно основной плоскости сооружения. Для вычисления деформаций, кроме измерения координат или параллаксов, на снимках необходимо знать расстояние фотокамеры от объекта и фокусное расстояние объектива фотокамеры.

При стереофотограмметрическом способе фотографирование объекта производят в циклах с двух точек базиса известной длины, в результате чего получают стереопару. Для вычисления деформаций измеряют по снимкам координаты точек базиса и горизонтальные параллаксы.

В обоих способах обработку снимков по координатам или смещениям производят в основном на стереокомпараторе или на компьютере.

Тщательно выполненные измерения и соответствующий учет элементов ориентирования позволяют определять деформации сооружений фотограмметрическими способами со средней квадратической погрешностью менее 1,0 мм.

При наблюдениях за осадками крупных инженерных сооружений, отличающихся повышенными требованиями к точности производства этих работ, разрабатывается, как правило, специальная методика геодезических измерений. Исходными данными для разработки методики измерений служат величины погрешностей  $m_s$  определения осадок наблюдаемых точек, измеренных относительно исходного репера, и погрешностей  $m_{\Delta s}$  разности осадок двух точек, расположенных на определенном расстоянии друг от друга.

Связь между требуемой точностью наблюдений и погрешностью единицы веса  $\mu$ , определяющей методику измерений, может быть представлена в следующем виде:

$$\mu \leq \frac{m_S}{\sqrt{2Q_H}}; \quad \mu \leq \frac{m_{\Delta S}}{\sqrt{2Q_{\Delta H}}}, \quad (24.1)$$

где  $Q_H$  — обратный вес отметки наиболее слабо определяемой точки;  $Q_{\Delta H}$  — обратный вес превышения между исследуемыми точками, к точности взаимного положения которых предъявляются повышенные требования.

При использовании способа геометрического нивелирования в качестве погрешности единицы веса  $\mu$  удобно принимать среднюю квадратическую погрешность превышения  $h$ , измеренного на станции по двум шкалам в ходе одного направления при выбранной базовой длине  $D$  визирного луча,

$$h_D = \frac{1}{2}(h_{\text{осн}} + h_{\text{доп}}),$$

где  $h_{\text{осн}}$  и  $h_{\text{доп}}$  — превышения по основной и дополнительной шкале соответственно.

При использовании тригонометрического нивелирования в качестве погрешности  $\mu$  единицы веса целесообразно принять погрешность превышения, определенного при зенитных расстояниях от  $85^\circ$  до  $95^\circ$ , измеренных одним приемом, и базовом расстоянии  $D_H = 20$  м.

В случае применения переносного гидронивелира или микро-нивелира за погрешность  $\mu$  принимают погрешность превышения между двумя смежными точками, измеренного при перемене местами гидростатических головок или перекладывании микро-нивелира.

При проектировании схемы измерений следует стремиться к получению наименьшего значения обратных весов  $Q_H$  и  $Q_{\Delta H}$ , что при заданной погрешности определения осадки приводит к большей эффективности работ за счет менее жестких требований к выбору их класса. Помимо этого, к схеме измерений предъявляются такие требования, как минимальный объем работ, обеспечение независимого контроля результатов измерений и получение данных для достоверной оценки точности. В значительной степени этим требованиям отвечает построение схемы в виде системы замкнутых полигонов малых размеров и нивелирование при двух горизонтах прибора или в прямых и обратных ходах.

Для случая когда на одном и том же объекте приходится выполнять разные по точности наблюдения за осадками различных



по чувствительности к деформациям сооружений, проектируют двух- и трехступенчатую схему или несколько не связанных между собой схем, опирающихся на самостоятельный или на один общий исходный репер.

Расчет величины обратного веса в выбранной схеме производят параметрическим, коррелятным способами, а также способом эквивалентной замены.

Рассмотрим в общем виде пример расчета необходимой точности измерений для обеспечения заданной точности определения осадок основных сооружений ТЭЦ. Допустим, что в техническом задании точность определения осадок задана величиной  $m_S = 1,0$  мм, а исходя из условий, для производства работ выбран метод геометрического нивелирования.

В сущности задача сводится к определению средней квадратической погрешности единицы веса  $\mu$  по первой из формул (24.1). По величине этой погрешности определяется класс нивелирования или необходимость разработки специальной методики измерений, если она окажется меньше тех погрешностей, которые характеризуют известные классы. Поскольку при сравнительно небольших длинах число станций в ходах значительно, то в качестве единицы веса прием превышение, измеренное на одной станции. Тогда обратный вес нивелирного хода в замкнутом полигоне или между узловыми точками будет равен числу станций  $n$  в этом ходе. В примере число станций в ходах показано на схеме (см. рис. 24.3).

Для определения обратного веса  $Q_H$  наиболее слабо определяемой точки схемы воспользуемся способом эквивалентной замены. В этом способе применительно к решаемой задаче необходимо путем последовательных преобразований общую схему нивелирных ходов заменить одним эквивалентным ходом, соединяющим искомую точку с исходным репером.

По результатам расчетов обратный вес отметки слабо определяемой точки  $E$  в середине секции  $11...13$   $Q_H = 11,9$ . По формуле (24.1) с учетом требуемой точности определения осадок  $m_S$  средняя квадратическая погрешность единицы веса  $\mu = 1,0: \sqrt{2 \cdot 11,9} = 0,2$  мм.

Для обеспечения такой точности определения превышений на станции необходимо разработать специальную методику высокоточных измерений.

## **24.6. Наблюдения за горизонтальными смещениями сооружений**

Горизонтальные смещения сооружений или их отдельных элементов измеряют различными способами, основными из которых являются: линейно-угловой, створный и стереофотограмметрический. Применяют также прямые и обратные отвесы.

Линейно-угловые построения применяют в случае, когда величины смещений необходимо знать по двум координатам. Эти построения могут развиваться в виде специальных сетей триангуляции и трилатерации, комбинированных сетей, угловых и линейных засечек, ходов полигонометрии, сетей из вытянутых треугольников с измеренными сторонами и высотами. Применение того или иного вида построения зависит от характера сооружения и его геометрической формы, требуемой точности и условий измерений, организационных и других факторов. Так, например, угловую и линейную засечки применяют для определения смещений недоступных точек сооружения, а триангуляцию, полигонометрию, сети из вытянутых треугольников с измеренными сторонами и высотами — для протяженных сооружений криволинейной формы. Во многих случаях применяют комбинированные схемы, когда, например, триангуляция или трилатерация используются для определения устойчивости исходных пунктов, с которых способами засечек или полигонометрии определяются смещения точек на сооружении.

Применительно к измерениям деформаций каждый из видов линейно-угловых построений обладает своими особенностями. Однако для всех видов характерным является постоянство схемы измерений и необходимость получения в конечном итоге не самих координат деформационных точек, а их изменений во времени, т. е. разностей координат в двух циклах.

Для специальной триангуляции характерна высокая точность измерения углов ( $0,5 \dots 2,0''$ ) при коротких сторонах, большое число связей, обеспечивающих минимальную величину обратного веса определения функции координат точек сети.

Полигонометрия применяется в основном в виде одиночных ходов, опирающихся на исходные пункты. Часто из-за невозможности азимутальной привязки используют лишь привязку координатную.

Уравнивание линейно-угловых построений производят строгими способами. Координаты пунктов вычисляют в условной системе.

Для предвычисления точности построения сети в общем случае используют формулу

$$m_q = \mu \sqrt{2Q_F},$$

где  $m_q$  — требуемая (заданная) средняя квадратическая погрешность определения величины смещения;  $\mu$  — средняя квадратическая погрешность единицы веса;  $Q_F$  — обратный вес функции оцениваемого элемента, характеризующий качество проекта схемы измерений.

При необходимости определения смещений отдельно по осям координат  $X$  и  $Y$  для их оценки применяют следующие формулы:

$$m_{q_x} = \mu\sqrt{2Q_X}; \quad m_{q_y} = \mu\sqrt{2Q_Y},$$

где  $Q_X$  и  $Q_Y$  — обратные веса определения координат исследуемых точек соответственно по осям  $X$  и  $Y$ .

Для оценки проекта полигонометрических ходов вытянутой формы с примерно равными сторонами и координатной привязкой к исходным пунктам используют следующие формулы:

$$M_{X_i}^2 = m_S^2 \left[ i \left( 1 - \frac{i}{n} \right) \right]; \quad (24.2)$$

$$M_{Y_i}^2 = \frac{m_B^2}{\rho^2} S^2 \left[ \frac{i(i-1)(2i-1)}{6} \left( 1 - \frac{i}{n} \right)^2 + \frac{(n-1)(n-i+1)(2n-2i+1)}{6} \left( \frac{i}{n} \right)^2 \right], \quad (24.3)$$

где  $M_{X_i}$  и  $M_{Y_i}$  — средние квадратические погрешности определения абсциссы и ординаты  $i$ -й точки хода;  $m_B$  и  $m_S$  — средние квадратические погрешности измерения углов и линий;  $n$  — число сторон в ходе.

Формулы (24.2) и (24.3) справедливы для случая, когда ось абсцисс проходит через исходные пункты.

Створные наблюдения широко применяют для исследования деформаций сооружений прямолинейной формы, когда смещения достаточно знать по одному направлению. При этом координатную систему выбирают так, чтобы с направлением смещений совпадала ось ординат, а с направлением створа — ось абсцисс.

Величины смещений находят по разности значений ординат (нестворностей), измеренных в двух циклах.

Нестворность определяют различными методами, из которых наиболее распространены методы подвижной марки и малых углов. Для задания створной линии применяют струнные и оптические способы, а также способы, основанные на принципах физической оптики.

*Струнный способ* предусматривает использование натянутой стальной струны различного диаметра, *оптический* — зрительных труб большого увеличения (теодолиты, нивелиры, автоколлимационные системы, специальные алиниометры).

В методе подвижной марки величина нестворности определяется непосредственно. Для этого в точке  $A$  (рис. 24.5,  $a$ ) устанавливается оптический прибор, коллимационная плоскость которого ориентируется по марке в точке  $B$  и задает створную ли-

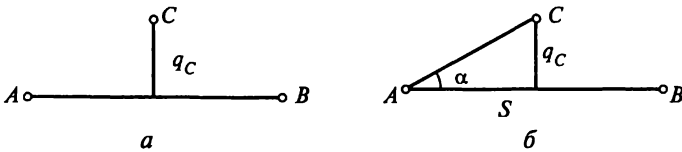


Рис. 24.5. Определение величины нестворности:  
*а* — методом подвижной марки; *б* — методом малых углов

нию. Подвижная марка, установленная в точке *C*, вводится в створ. Положение подвижной марки, когда мишень ее находится в створе, фиксируется по отсчетному устройству марки. Если известен отсчет, когда ось мишени совпадает с точкой *C*, то нестворность  $q_C$  может быть вычислена как разность отсчетов при положении марки в точке *C* и в створе *AB*.

При возможности поворота марки на  $180^\circ$  нестворность может быть получена как полуразность отсчетов для двух положений марки при введении ее в створ.

В методе малых углов нестворность  $q_C$  определяется путем измерения малого угла  $\alpha$  (рис. 24.5, *б*) между линией створа и направлением на точку *C* и расстояния *S*. Величина нестворности вычисляется по формуле  $q_C = S\alpha/\rho$ .

Для створов значительной протяженности с большим числом определяемых точек на створе в зависимости от условий измерений применяют различные схемы (программы) наблюдений. Простейшая из них — схема общего створа (рис. 24.6, *а*), когда нестворности всех точек определяются относительно общего створа между концевыми (опорными) точками створа. В схемах частных (пересекающихся) (рис. 24.6, *б*) и последовательных (рис. 24.6, *в*) створов нестворности измеряются между определяемыми точками относительно этих створов.

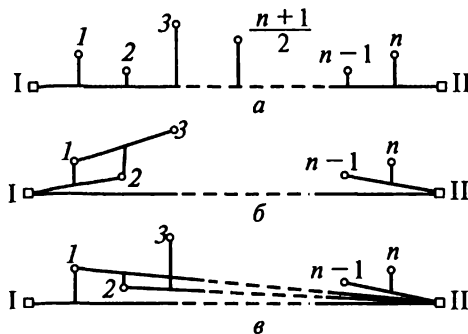


Рис. 24.6. Схемы створных измерений:  
*а* — общего створа; *б* — частных створов; *в* — последовательных створов

Так, схема последовательных створов предусматривает определение нестворностей  $\Delta_1$  точки 1 от створа 1...II,  $\Delta_2$  точки 2 от створа 1...II,  $\Delta_3$  точки 3 от створа 2...II и т. д. В схеме частных створов нестворность  $\Delta_1$  точки 1 определяется от створа 1 — 2,  $\Delta_2$  точки 2 от створа 1...3,  $\Delta_3$  точки 3 от створа 2...4 и т. д. В обеих схемах нестворности  $q$  относительно общего створа могут быть получены лишь путем соответствующих вычислений, зная расстояния  $S$  между всеми точками.

В общем случае, когда расстояния между определяемыми точками не равны между собой, нестворности всех  $n$  точек относительно общего створа могут быть найдены из решения системы следующих линейных уравнений:

для схемы последовательных створов

$$\begin{aligned}
 q_1 - \Delta_1 &= 0; \\
 q_2 - q_1 \frac{S_{2,II}}{S_{1,II}} - \Delta_2 &= 0; \\
 &\dots \dots \dots \dots \dots \dots \\
 q_i - q_{i-1} \frac{S_{i,II}}{S_{i-1,II}} - \Delta_i &= 0; \\
 &\dots \dots \dots \dots \dots \dots \\
 q_n - q_{n-1} \frac{S_{n,II}}{S_{n-1,II}} - \Delta_n &= 0;
 \end{aligned}$$

для схемы частных створов

$$\begin{aligned}
 q_1 - q_2 \frac{S_{1,1}}{S_{1,2}} - \Delta_1 &= 0; \\
 q_2 - q_1 \frac{S_{2,3}}{S_{1,3}} - q_3 \frac{S_{1,2}}{S_{1,3}} - \Delta_2 &= 0; \\
 &\dots \dots \dots \dots \dots \dots \\
 q_i - q_{i-1} \frac{S_{i,i+1}}{S_{i-1,i+1}} - q_{i+1} \frac{S_{i-1,i}}{S_{i-1,i+1}} - \Delta_i &= 0; \\
 &\dots \dots \dots \dots \dots \dots \\
 q_n - q_{n-1} \frac{S_{n,II}}{S_{n-1,II}} - \Delta_n &= 0.
 \end{aligned}$$

На практике расстояния между точками створа стараются сделать равными. В этом случае нестворность  $q_i$  любой определяемой

точки  $i$  в схемах последовательных и частных створов может быть вычислена соответственно по формулам:

$$q_i = \sum_{k=1}^{k=i} \Delta_{i+1-k} \frac{n-i+1}{n-k+1};$$

$$q_i = \frac{2}{n+1} \left[ (n-i+1) \sum_{k=1}^{k=i-1} k \Delta_k + i \sum_{k=i}^{k=n} (n-k+1) \Delta_k \right],$$

где  $k$  — номер очередного слагаемого под знаками суммы.

## 24.7. Наблюдения за кренами, трещинами и оползнями

*Крен* — это вид деформации, свойственный сооружениям башенного типа. Появление крена может быть вызвано как неравномерностью осадки сооружения, так и изгибом и наклоном верхней его части из-за одностороннего температурного нагрева и ветрового давления. В связи с этим полную информацию о кренах и изгибах можно получить лишь по результатам совместных наблюдений за положением фундамента и корпуса башенного сооружения.

Наиболее просто крен определяется с помощью отвеса или прибора вертикального проектирования (оптического или лазерного). Этот способ применяется в основном при возведении башенных сооружений, когда можно встать над его центром.

В сложных условиях, особенно для сооружений большой высоты, для определения крена применяют способы вертикального проектирования, координат, углов и др.

Так, в способе вертикального проектирования с двух точек  $I$  и  $II$  (рис. 24.7), расположенных на взаимно-перпендикулярных осях сооружения и на удалении от него в полторы-две высоты, с помощью теодолита проектируют определяемую верхнюю точку на некоторую плоскость в основании сооружения (цоколь, рейку, алетку и т. п.). Зная расстояние  $S$  от теодолита до сооружения и затем  $d$  до его центра  $O$ , из наблюдений в нескольких циклах, пользуясь отсчеты  $b$  и  $b_1$ , можно вычислить составляющие крена  $\beta_x$  и  $Q_y$  по выбранным осям и полную величину крена  $Q$ .

В способе координат вокруг сооружения на расстоянии, равном полутора-двум его высотам, прокладывают замкнутый полигонометрический ход и вычисляют в условной системе координаты его пунктов. С этих пунктов через определенные промежутки времени прямой засечкой определяют координаты точек на сооружении. По разностям координат в двух циклах наблюдений ходят составляющие крена по осям координат, полную величину крена и его направление.

*Способ горизонтальных углов* применяют, если основание сооружения закрыто для наблюдений. При этом способе с опорных

пунктов, расположенных на взаимно-перпендикулярных осях, периодически измеряют углы между направлением на определяемую верхнюю точку и опорным направлением. По величине изменения наблюдаемых углов и горизонтальному проложению до наблюдаемой точки находят составляющие крена по осям и полную величину крена.

Для определения величины крена по результатам нивелирования осадочных марок должно быть не менее трех на фундаменте или цокольной части сооружения. С этой же целью применяют различного вида клинометры, представляющие собой накладные высокоточные уровни с ценой деления до 5".

Наблюдения за трещинами обычно проводят в плоскости конструкций, на которых они появляются.

Для выявления трещин применяют специальные маяки, которые представляют собой плитки из гипса, алебаstra и т. п. Маяк крепится к конструкции поперек трещины в наиболее широком ее месте. Если через некоторое время трещина появляется на маяке, то это указывает на активное развитие деформации.

В простейшем случае ширину трещины измеряют линейкой. Применяют также специальные приборы: деформометры, щелемеры, измерительные скобы.

Наблюдения за оползнями выполняют различными геодезическими методами. В зависимости от вида и активности оползня, направления и скорости его перемещения эти методы подразделяют на четыре группы:

осевые (одномерные) — смещения фиксированных на оползне точек определяют по отношению к заданной линии или оси;

плановые (двумерные) — смещения оползневых точек наблюдают по двум координатам в горизонтальной плоскости;

высотные — для определения только вертикальных смещений;

пространственные (трехмерные) — находят полное смещение точек в пространстве по трем координатам.

Осевые методы применяют в тех случаях, когда направление движения оползня известно. К числу осевых относят:

метод расстояний (рис. 24.8, а), заключающийся в измерении расстояний по прямой линии между знаками, установленными вдоль движения оползня;

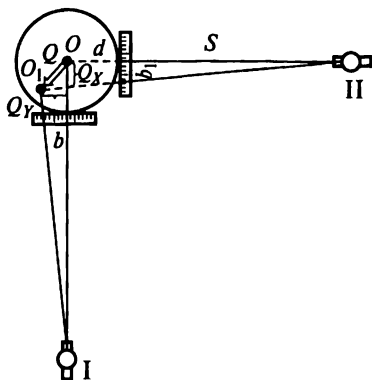


Рис. 24.7. Схема наблюдений за креном башенного сооружения способом вертикального проектирования

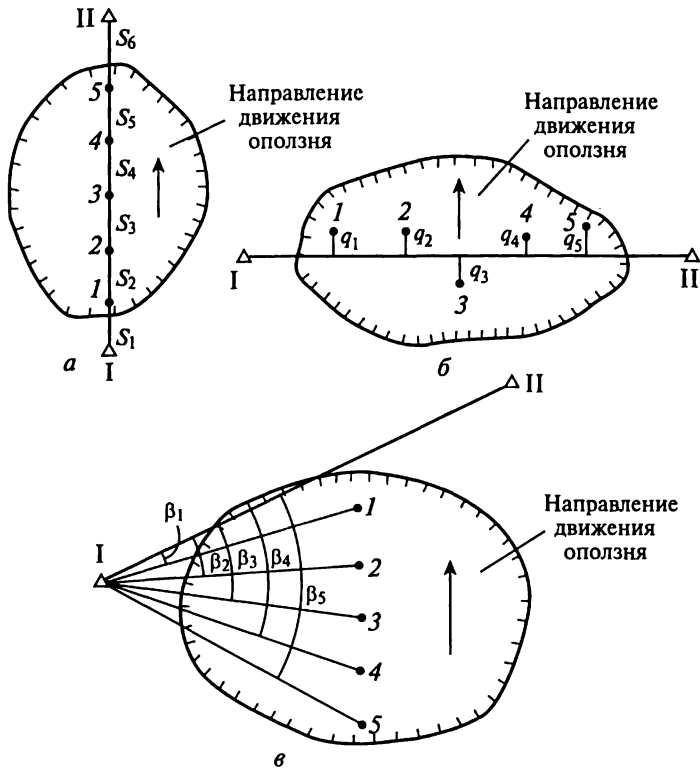


Рис. 24.8. Схемы наблюдений за оползнями:  
*а* — методом расстояний; *б* — методом створов; *в* — лучевым методом

метод створов (рис. 24.8, *б*), оборудованных в направлении, перпендикулярном движению оползня;

лучевой метод (рис. 24.8, *в*), заключающийся в определении смещения оползневой точки по изменению направления визирного луча с исходного знака на оползневой.

К плановым относятся методы прямых, обратных, линейных зачек, полигонометрии, комбинированный метод, сочетающий измерение направлений, углов, расстояний и отклонений от створов.

Высотные смещения оползневых точек находят в основном методами геометрического и тригонометрического нивелирования.

Для определения пространственного смещения оползневых очек применяют фототеодолитную съемку.

Смещения оползневых точек вычисляют по отношению к опорным знакам, располагаемым вне оползневого участка. Число знаков, в том числе и оползневых, определяется из соображений обеспечения качественной схемы измерений и выявления всех характеристик происходящего процесса.



Наблюдения за оползнями проводятся не реже одного раза в год. Периодичность корректируется в зависимости от колебания скорости движения оползня: она должна увеличиваться в периоды активизации и уменьшаться в период угасания.

## 24.8. Обработка и анализ результатов наблюдений

Основные вопросы обработки и анализа результатов наблюдений за деформациями рассмотрим на наиболее распространенном виде работ — наблюдениях за осадками.

По окончании очередного цикла измерений необходимо выполнить оценку точности полученных результатов. Поскольку в основу всех точностных расчетов этого вида работ закладывают величину средней квадратической погрешности превышения на станции  $m_h$ , удовлетворяющую для данной схемы исходным требованиям по точности определения осадок, то для сравнения ее необходимо получить из результатов измерений.

С этой целью используют следующие формулы:

$$m_h = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{[d^2]_n}{n}},$$

где  $d$  — разность значений превышений в ходах прямо и обратно или при двух горизонтах прибора;  $n$  — число разностей; по невязкам замкнутых полигонов

$$m_h = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{[\omega_i^2]_K}{Kn}},$$

где  $\omega_i$  — невязка замкнутого  $i$ -го полигона;  $K$  — число полигонов;  $n$  — общее число превышений по всем полигонам; из уравнивания

$$m_h = \sqrt{\frac{[pv^2]}{r}},$$

где  $[pv^2]$  — величина, получаемая из уравнивания;  $r$  — число избыточных измерений.

При уравнивании на ЭВМ любая программа автоматически предусматривает оценку точности.

По результатам уравнивания составляют ведомость уравненных превышений и отметок деформационных реперов, а по разностям их отметок — ведомость осадок. При этом осадки можно вычислять по отношению к начальному циклу, выявляя их накопление за весь период наблюдений, и к предыдущему циклу для оценки текущих изменений.

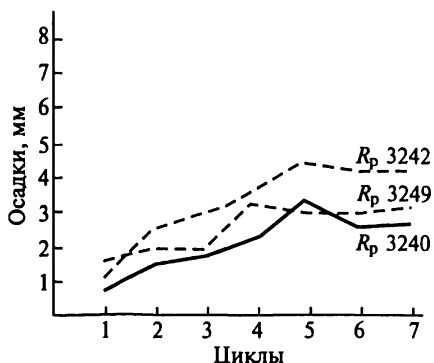


Рис. 24.9. График осадок

В случае когда точность полученных результатов удовлетворяет требуемой (заданной), приступают к анализу результатов наблюдений.

В соответствии с решаемой задачей анализу подлежат осадки всех деформационных точек. Поскольку на объекте наблюдений их бывает достаточно много, то только прочтение ведомостей осадок не дает общего впечатления о происходящих процессах, поэтому стремятся представить результаты наблю-

дений в графическом виде. Традиционно графики представляют в виде, показанном на рис. 24.9. Однако эти графики не обладают достаточной наглядностью, поскольку для изображения всего происходящего процесса по всем реперам таких графиков необходимо строить достаточно много.

Для большей наглядности составляют два графика в виде изолиний равных осадок: один — пространственно-временной по профилям, другой — пространственный в топографической системе координат на плане масштаба 1:500 или 1:1000.

Первый вид графиков строится следующим образом. В выбранном горизонтальном масштабе по горизонтали откладывают расстояния между реперами профиля (рис. 24.10). В соответствующем масштабе по вертикали откладывают время между циклами наблюдений. В узлах полученной сетки прямоугольников подписывают значения величин осадок соответствующего репера на соответствующую дату проведения цикла измерений. Линейным интерполированием между точками осадок проводят изолинии в выбранной величине сечения, обычно через 1 мм. Изолинии, кратные 5, утолщают. Для удобства чтения графика следует помнить, что изолинии, параллельные вертикали, свидетельствуют об общем наклоне площадки в ту или иную сторону, т.е. о неравномерной осадке; изолинии, параллельные горизонтали, — о равномерной осадке. Пространственно-временной график отображает деформационный процесс по всем циклам наблюдений.

Пространственный график на топографической основе (рис. 24.11) строится так же, как рисуется рельеф в горизонталях, только исходными служат осадки реперов между соответствующими двумя циклами: текущим и начальным, текущим и предшествующим и т.п. Эти графики обладают особой наглядностью при отображении деформации поверхности.

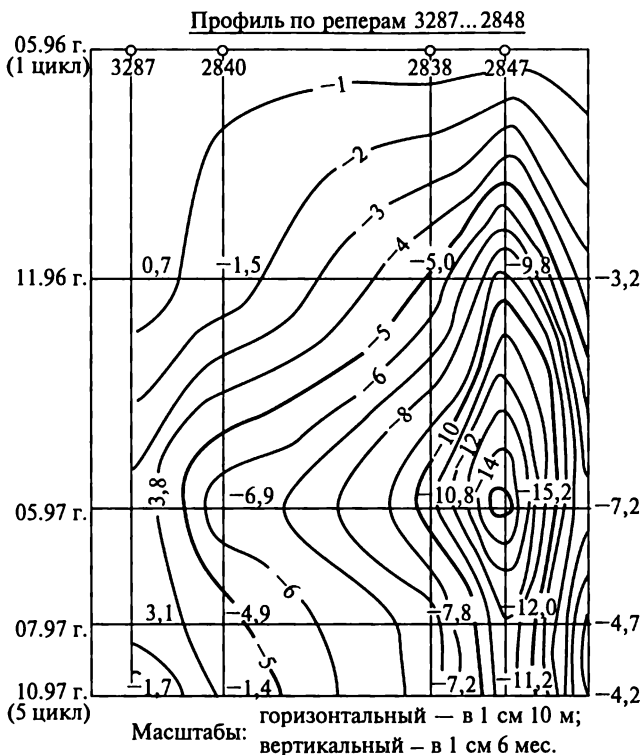


Рис. 24.10. Пространственно-временной график осадок

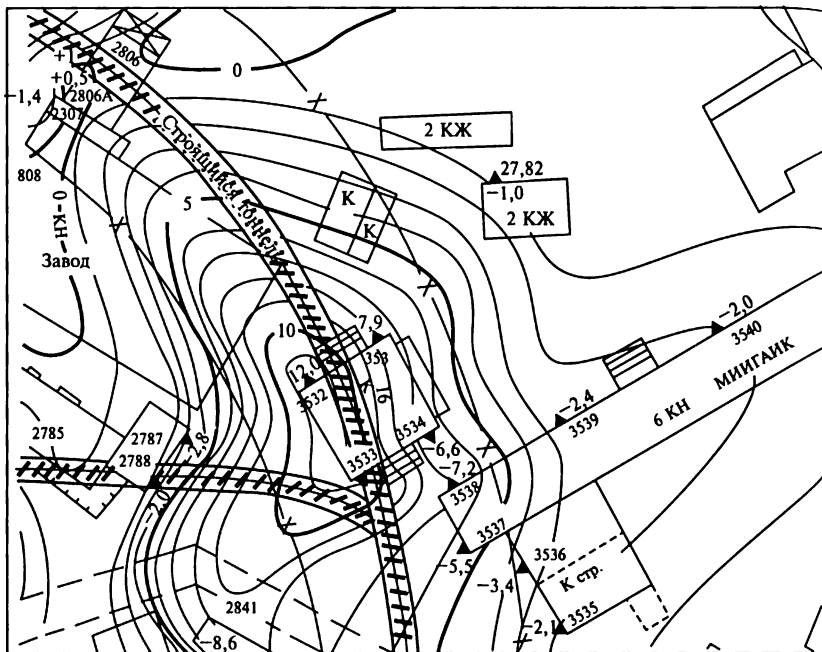
Получаемая информация является исходной для анализа происходящего процесса деформаций. Для анализа используют также материалы по геологии, гидрогеологии, климатологии, состоянию строительных работ и т. п.

При анализе осадок отдельных зданий и сооружений отслеживают их неравномерный характер и вычисляют разности осадок характерных точек в направлении продольных и поперечных осей здания.

Особое внимание уделяют зданиям, у которых обнаруживаются значительные осадки, особенно неравномерные. Сведения об этом немедленно передаются всем заинтересованным организациям для своевременного принятия необходимых мер.

По результатам наблюдений каждого цикла составляют краткую пояснительную записку, в которой приводят сведения об измерениях и их предварительном анализе.

Эти сведения, как правило, содержат: фактическую схему и краткое описание технологии измерений, результаты уравнивания, оценку точности полученных результатов, ведомости отме-



Масштаб 1:1000

Сечение изолиний через 1 мм

► Осадочный репер

Рис. 24.11. Пространственный график осадок

ток и осадок реперов, графический иллюстративный материал, краткий анализ результатов наблюдений.

По окончании работ составляют технический отчет, являющийся основным техническим документом по результатам наблюдений. Он содержит те же сведения, что и пояснительная записка, но в обобщенной по всем циклам форме с более подробным анализом и обобщающими выводами.

## Глава 25

### ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ПРИ ИЗЫСКАНИЯХ И СТРОИТЕЛЬСТВЕ ДОРОГ И МОСТОВ

#### 25.1. Камеральное трассирование

Камеральное трассирование выполняют в основном на стадии проекта. При этом используют топографические карты масштаба 1:25 000 или 1:50 000, фотосхемы, а также цифровую модель местности.

Трассирование по топографической карте в зависимости от условий местности выполняют или способом попыток или построением линии допустимого уклона.

Способ попыток, применяемый в равнинной местности, состоит в следующем. Между заданными точками намечают на карте кратчайшую трассу, по которой составляют продольный профиль с проектом линии будущей дороги. На основании анализа продольного профиля выявляют места, в которых трассу целесообразно сдвинуть вправо или влево, чтобы отметки местности совпали с проектными. Эти места вновь трассируют и составляют улучшенный проект трассы.

В условиях местности со сложным рельефом самый распространенный прием камерального трассирования — построение на топографической карте в заданном направлении линии предельно допустимого уклона для данной категории трассы. Для этого по карте данного масштаба  $1:M$  и по высоте сечения рельефа  $h$  определяют величину заложения  $a$  для предельно допустимого уклона  $i_{пр}$ . Например, для карты масштаба  $1:25\,000$  при  $h = 5$  м и  $i_{пр} = 0,020a = 5000:(0,020 \cdot 25\,000) = 10$  мм.

По найденному заложению  $a$  на карте выделяют участки, отличающиеся по характеру трассирования, так называемые участки вольного и напряженного ходов. Участки местности, для которых средний уклон местности  $i_m$  больше предельно допустимого уклона  $i_{пр}$ , называют *напряженным ходом*. Участки, где  $i_m$  меньше  $i_{пр}$ , называют участками *вольного хода*.

На участке вольного хода трассу намечают по кратчайшему направлению, обходя лишь контурные препятствия. При этом, чтобы удлинение трассы было минимальным, углы поворота трассы должны быть не более  $15 \dots 25^\circ$ .

На участках напряженного хода для соблюдения предельного уклона предварительно намечают линию нулевых работ, для которой заданный проектный уклон выдерживается без устройства насыпей и выемок (земляных работ).

Например, необходимо на карте из точки  $A$  (рис. 25.1) провести трассу до точки  $K$  с заданным предельно допустимым уклоном. Для этого, придерживаясь основного направления трассы, из точки  $A$  раствором циркуля, равным заложению  $a$ , засекают соседнюю горизонталь. Из полученной точки  $B$  вновь засекают этим же раствором циркуля точку  $B$  следующей горизонтали и т. д. При пересечении оврагов (участок  $BГ$ ) к тальвегу не спускаются, а переходят на другую сторону, засекая одноименную горизонталь. Так же поступают при пересечении рек, стремясь, чтобы трасса была примерно перпендикулярна направлению течения реки. В местах, где расстояние между горизонталями больше величины заложения (участок  $ГД$ ), т. е.  $i_m$  меньше  $i_{пр}$ , точки выбирают по принципу вольного хода.

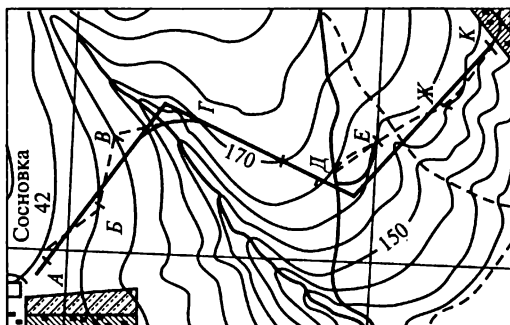


Рис. 25.1. Трассирование заданным уклоном

Таким образом получают на карте точки  $A, B, \dots, K$ , образующие линию нулевых работ. Однако линия нулевых работ еще не может быть осью будущей дороги, так как она состоит из большого числа коротких звеньев, сопряжение которых кривыми невозможно из-за ограничений минимальных радиусов, поэтому линию нулевых работ заменяют участками более длинных прямых (спрямляют). Спрявление вызывает необходимость земляных работ. После спрямления линии нулевых работ транспортом измеряют углы поворота трассы и, соблюдая нормативные требования, назначают радиусы круговых кривых.

Затем по трассе намечают положение пикетов и характерных точек рельефа. *Пикет* — это точка оси трассы, предназначенная для закрепления заданного интервала. Характерные перегибы рельефа или контурные точки, определяющие пересекаемые трассой сооружения, водотоки, границы угодий, линии связи и т.д., называют *плюсовыми точками*. *Пикетаж трассы* — это система обозначения и закрепления ее точек (разбивка пикетажа, построение продольного профиля и проектирование профиля дороги рассмотрены в п. 12.3). Для того чтобы не загружать чертеж, разбивку пикетажа по карте производят сокращенно: через два или пять пикетов. Закрепление пикетов начинают с нулевого. Plusовые точки обозначают по номеру предыдущего пикета и расстоянию до него в метрах, например ПК2+35,7.

Отметки пикетов и плюсовых точек находят интерполированием по горизонталям. По отметкам и пикетажу строят продольный профиль местности по трассе, а затем, руководствуясь техническими нормативами, проектируют профиль будущей дороги.

Трассирование может быть выполнено в нескольких вариантах, из которых после составления продольного профиля и проектирования проектной линии может быть выбран наилучший (оптимальный).

В настоящее время имеются автоматизированные системы проектирования трасс. Эти системы основаны на представлении всей информации о местности в виде цифровой модели, применении ЭВМ большой мощности для расчетов и проектирования вариантов и графопостроителя для автоматического составления проектной документации.

## 25.2. Полевое трассирование

Полевое трассирование ведут на стадии рабочего проектирования для поиска местных улучшений трассы, ее окончательного перенесения и закрепления на местности.

Основой для полевого трассирования служат материалы камерального трассирования. Проект трассы, разработанный в камеральных условиях, выносят в натуру (на местность) по данным привязок углов поворота к пунктам геодезической основы или ближайшим контурам местности. Предпочтение отдают выносу точек трассы от пунктов геодезической основы как более надежному и точному.

В поле начинают с нахождения необходимых геодезических или контурных точек, от которых производят соответствующие угловые и линейные построения для определения положения исходных точек трассы, в том числе и начальной. На точках трассы, найденных на местности, устанавливают вехи и обследуют намеченные направления, в частности, переходы через водотоки и овраги, пересечения существующих магистралей и другие сложные места. Иногда приходится несколько смещать провешенную линию и передвигать вершины углов поворота, чтобы удобнее разместить элементы плана и профиля трассы и обеспечить минимальный объем строительных работ.

Окончательно выбранное положение вершин углов поворота закрепляют на местности деревянными или железобетонными столбами и составляют абрис привязки этих точек к местным предметам.

Между закрепленными вершинами углов ВУ (рис. 25.2) поворота трассы прокладывают теодолитный ход, измеряя правые по ходу углы  $\beta_1, \beta_2$  и длины сторон  $L_1, L_2$  и т.д. Углы поворота  $\varphi$  трассы определяют как дополнение правого угла до  $180^\circ$ . При повороте линии вправо  $\varphi_n = 180^\circ - \beta$ ; при повороте влево  $\varphi_n = \beta - 180^\circ$ . Углы измеряют одним приемом со средней квадратической погрешностью  $0,5'$ .

Для контроля угловых измерений одновременно по буссоли измеряют прямые и обратные магнитные азимуты сторон трассы.

На длинных прямых участках в пределах непосредственной видимости через 500...800 м устанавливают створные точки (дополнительные углы), которые задают отложением угла  $180^\circ$  при двух кругах теодолита. Угол хода на створной точке также измеряют

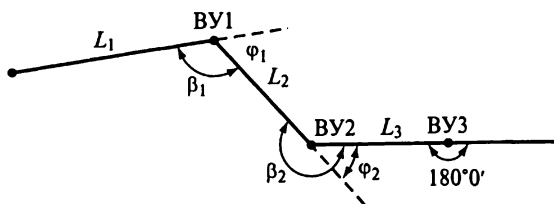


Рис. 25.2. Определение углов поворота по трассе

одним приемом. Он не должен отличаться от  $180^\circ$  более чем на  $1'$ . В противном случае створную точку перемещают на местности.

Расстояния между вершинами углов поворота и створными точками измеряют мерной лентой, рулеткой или дальномерами с предельной относительной погрешностью  $1/1000 \dots 1/2000$ . На участках трассы с наклоном более  $2^\circ$  в непосредственно измеренные длины вводят поправки за наклон со знаком плюс. По результатам измерений углов и линий и данным плановой привязки трассы к пунктам геодезической основы вычисляют координаты вершин углов поворота.

При полевом трассировании разбивают пикетаж трассы. Начальная точка трассы служит нулевым пикетом. Ее фиксируют, как все пикеты и плюсовые точки, с помощью кола диаметром  $30$  мм, длиной  $150$  мм, который забивают почти вровень с землей. Рядом с колом на расстоянии  $200$  мм по направлению хода забивают сторожок — кол длиной  $300 \dots 500$  мм. На сторожке пишут номер пикета так, чтобы надпись была обращена назад по ходу к точке пикета. Пикет окапывают канавкой.

Для разбивки пикетажа каждую линию трассы провешивают с помощью теодолита.

Разбивку пикетажа ведут с применением стальной ленты или рулетки. Пикеты разбивают через  $100$  м. Для более детального отображения профиля местности дополнительно фиксируют плюсовые точки.

Для того чтобы избежать измерения углов наклона и введения поправок из-за наклона, на наклонных участках ведут разбивку пикетажа, укладывая ленту горизонтально и проектируя отвесом на землю приподнятый конец мерного прибора.

На углах поворота трасс вставляют круговые и переходные кривые. В качестве круговых кривых применяют дуги окружностей больших радиусов. В качестве переходных используют кривые переменного радиуса, который может изменяться от бесконечности до радиуса данной круговой кривой. С помощью переходных кривых более плавно сопрягают прямолинейные участки дорожной трассы с круговой кривой.

Основные элементы круговой кривой трассы (рис. 25.3):  $\varphi$  — угол поворота, измеряемый в натуре;  $R$  — радиус кривой, назна-



чаемый в зависимости от условий местности и категории дороги;  $AC = CB = T$  — длина касательных, называемая тангенсом и вычисляемая по формуле  $T = R \operatorname{tg}(\varphi/2)$ ;  $AFB = K$  — длина круговой кривой, определяемая по формуле  $K = R(\pi\varphi/180)$ ;  $CF = B$  — длина биссектрисы, которую вычисляют по формуле  $B = R(\sec \varphi/2 - 1)$ ;  $D = 2T - K$  — домер;  $D = R(2 \operatorname{tg} \varphi/2 - \pi\varphi/180)$ .

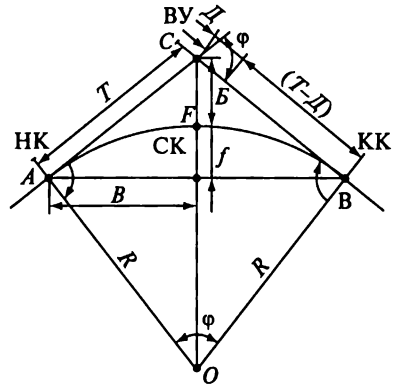


Рис. 25.3. Основные элементы круговой кривой

В практике элементы круговых трасс находят по таблицам, составленным по аргументам  $R$  и  $\varphi$ . Точки начала НК, середины СК и конца КК круговой кривой называют *главными*.

На круговой кривой пикетаж разбивают по линиям тангенсов. Сначала по измеренному значению угла поворота  $\varphi$  и принятому радиусу  $R$  из таблиц круговых кривых выбирают элементы кривой: тангенс  $T$ , длину кривой  $K$ , биссектрису  $B$  и домер  $D$ . Затем по уже определенному пикетажному значению вершины угла ВУ (ПК ВУ ... 14 + 25,00) рассчитывают пикетажные наименования главных точек кривой (рис. 25.4, а) и, найдя их на местности, закрепляют. При этом начало кривой НК находят промером от уже закрепленного ближайшего пикета, а середину кривой СК — отложением расстояния  $B$  по биссектрисе угла поворота.

Разбивку пикетов от вершины угла по другому тангенсу начинают с отложения от вершины угла ВУ домера  $D$ , считая, что его

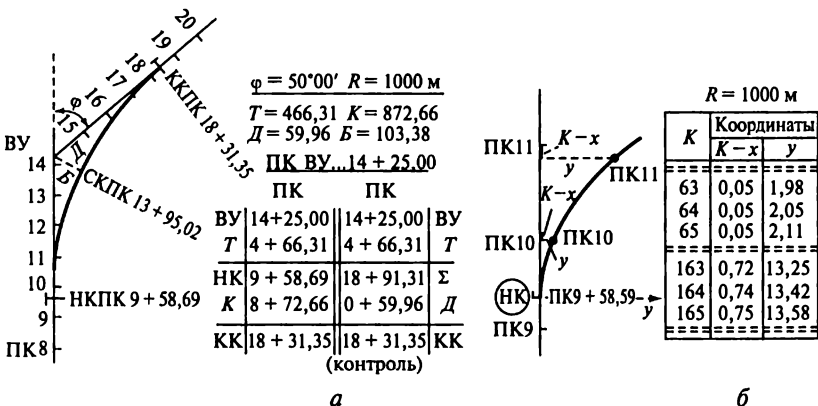


Рис. 25.4. Расчет пикетажа:

а — наименования главных точек кривой; б — специальная таблица

конец имеет то же пикетажное значение, что и вершины угла. От конца домера откладывают расстояние, недостающее до ближайшего целого пикета (на рис. 25.4, а это расстояние равно 75,00 м до пикета ПК 15). Далее обычным путем разбивают пикеты до следующего угла поворота. Зная пикетажное значение конца кривой КК, по ходу разбивки находят его на линии тангенса и закрепляют.

Разбитые таким образом пикеты расположены на касательных, которые должны находиться на оси трассы, т. е. на кривой. Пикеты переносятся с касательных на кривую методом прямоугольных координат. Данные получают из специальных таблиц (рис. 25.4, б). По принятому радиусу кривой  $R = 1000$  м и длине  $K$  участка кривой от начала (или симметрично от конца) ее до выносимого пикета по таблице выбирают значения  $(K - x)$  — кривой без абсциссы и  $y$  — ординаты. Так, для пикета  $10K = 64$  м  $(K - x) = 0,05$  м и  $y = 2,05$  м; для пикета  $11K = 164$  м  $(K - x) = 0,74$  м и  $y = 13,42$  м. Кривую без абсциссы  $(K - x)$  откладывают рулеткой от соответствующего пикета, временно закрепленного на касательной, в сторону, противоположную вершине угла, т. е. к началу (или концу) кривой, а ординату  $y$  откладывают из найденной точки по перпендикуляру к касательной. Перпендикуляр к касательной при  $y < 5$  м намечают «на глаз», а при  $y > 5$  м направляющие перпендикуляра задают с помощью эккера или теодолита.

Для характеристики поперечного уклона местности разбивают поперечные профили (рис. 25.5) в обе стороны от трассы на 15... 30 м и более в зависимости от характера склона и типа дороги. Поперечные профили назначают на таком расстоянии один от другого, чтобы местность между ними имела однообразный уклон.

В процессе разбивки пикетажа ведут журнал, в котором показывают все основные элементы трассы, пункты геодезической основы, ситуацию, отдельные элементы рельефа в полосе шириной по 50... 100 м с каждой стороны от оси будущей дороги. Все данные в последующем помещают в соответствующих графах продольного профиля.

Пикетажный журнал (рис. 25.6) состоит из сшитых листов клетчатой бумаги. Ось трассы показывают в виде прямой линии, расположенной по середине страницы. На

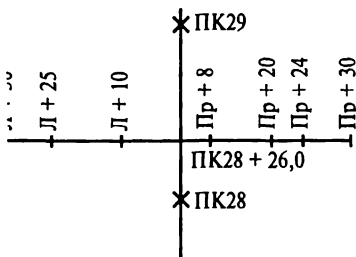


рис. 25.5. Разбивка поперечного профиля трассы

прямую линию в масштабе (обычно одна клетка равна 20 м) наносят все пикетные и плюсовые точки, углы поворота, поперечные профили и т. д. Запись в журнале ведут снизу вверх, чтобы правая и левая стороны страницы соответствовали правой и левой сторонам трассы по ходу пикетажа. Углы по-

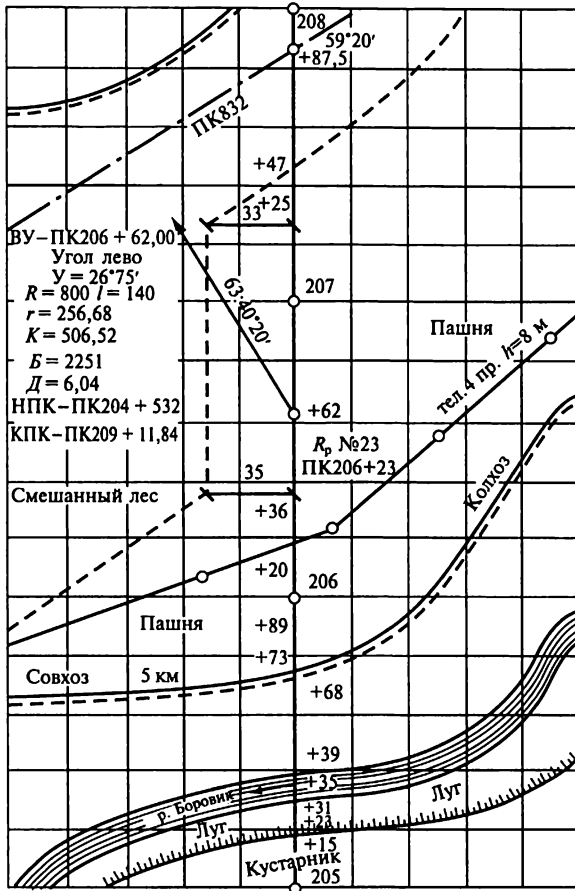


Рис. 25.6. Пикетажный журнал (условный пример)

ворота обозначают стрелками, направленными вправо и влево от средней осевой линии в зависимости от того, в какую сторону поворачивает трасса. Около углов поворота выписывают принятые основные элементы кривых: угол поворота с указанием правый или левый, радиус, тангенс, кривую, биссектрису, домер; здесь же подсчитывают пикетажные значения начала и конца кривой.

Эта же информация может быть записана в электронном журнале или блокнотном компьютере.

Разбивку пикетажа ведут по той же линии, по которой выполняют непосредственный промер между вершинами углов при положении теодолитного хода, что позволяет контролировать линейные измерения. Контрольное расстояние  $L_k$  между смежными вершинами угла должно быть равно разности их пикетажных значений плюс домер на задней вершине:  $L_k = ПК_{n+1} - ПК_n + D_n$ .

Разность  $\Delta L$  непосредственно измеренной линии и полученной по приведенной выше формуле в относительной мере не должна превышать  $1/1000$  — в благоприятных условиях измерений,  $1/500$  — в неблагоприятных условиях.

Разбивка пикетажа через 100 м затрудняет использование дальномеров, поэтому иногда применяют беспикетный способ полевого трассирования, при котором на местности разбивают не каждый стометровый пикет, а только точки, расположенные на характерных формах рельефа и важных для проектирования элементах ситуации. На планах и продольных профилях пикеты наносят камерально, их отметки определяют интерполированием между ближайшими плюсовыми точками. Если пикеты необходимы для строительства дороги, то их разбивают на местности при восстановлении трассы.

Для составления продольного и поперечного профилей трассы и определения отметок реперов, устанавливаемых вдоль трассы, производят техническое нивелирование с использованием, как правило, двух нивелиров (Н-10 или Н-10К). Первым прибором нивелируют все связующие точки (пикеты, плюсовые точки, реперы), вторым — все промежуточные точки (некоторые плюсовые точки, поперечные профили, геологические выработки на трассе). Километровые пикеты и реперы как связующие точки обязательно нивелируют обоими нивелирами, что позволяет надежно контролировать превышения в ходе.

Нивелирование по ходу обычно ведут методом из середины, устанавливая равенство плеч «на глаз». Расстояние до связующих точек принимают равным 100... 150 м. Если нивелирование по трассе производят одним нивелиром, превышения между связующими и всеми пикетными точками определяют по черной и красной сторонам реек, а при работе с односторонними рейками — при двух горизонтах нивелира. Рейки применяют шашечные, трехметровые, двусторонние; в пересеченной местности удобны четырехметровые складные рейки.

При передаче высот через водные препятствия наблюдения выполняют или по специальной программе, или пользуются уровнем воды, полагая, что у взаимно противоположных берегов он имеет одинаковые отметки.

Полевой контроль нивелирования производят на станции и в ходе между реперами с известными отметками. Расхождения между превышениями, полученными на станции из наблюдений двумя нивелирами или по двум сторонам реек, не должны превышать 7... 10 мм. Невязка в ходе между реперами с известными отметками не должна превышать  $50\sqrt{L}$  мм, где  $L$  — длина хода, км, а расхождение между суммами превышений, полученными при нивелировании первым и вторым нивелирами, —  $70\sqrt{L}$  мм.

На трассе дороги могут быть расположены различные сооружения: участковые станции, разъезды, мастерские, станции обслу-

живания, заправочные колонки, сооружения (мосты, трубы), поселки, водоотводящие устройства и др. Для проектирования этих объектов необходимо иметь крупномасштабные планы соответствующих участков местности. Съёмка таких участков ведется в масштабах 1:2000...1:500 тахеометрическим способом с опорой на точки трассы.

Для съёмки больших площадок создают плано-высотное обоснование в виде теодолитных и нивелирных полигонов. Съёмку узкой полосы вдоль трассы ведут по поперечным профилям, разбиваемым на пикетах и плюсовых точках трассы. При наличии крупномасштабных фотопланов подробных съёмочных работ на трассе не ведут. На фотопланах обновляют и дополняют ситуацию, в необходимых местах рисуют рельеф.

По окончании полевых работ материалы трассирования обрабатывают: проверяют полевые журналы, уравнивают нивелирные и теодолитные ходы, вычисляют отметки и координаты точек трассы, составляют планы, продольный и поперечные профили участков дороги.

Продольный профиль разбитой на местности трассы — основной документ, полученный в результате изысканий. Им постоянно пользуются при проектировании и строительстве железной и автомобильной дорог, а также в процессе эксплуатации. Профиль составляют в масштабах: горизонтальном — 1:5000 для автомобильной дороги и 1:10 000 для железной дороги; вертикальном — соответственно 1:500 и 1:1000.

На продольный профиль (рис. 25.7) в соответствующие графы вписывают все данные, необходимые для проектирования дороги. В графе «Ситуация» показывают контурную часть плана в полосе шириной по 100 м с каждой стороны от оси трассы. Углы поворота в этой графе отмечают стрелкой, а ось трассы вычерчивают красным цветом. При заполнении графы «План линии» проставляют длины и истинные румбы прямых участков; на кривых показывают их основные элементы:  $\varphi$ ,  $R$ ,  $T$ ,  $K$ . Кривую вычерчивают вниз, если трасса поворачивает влево, и вверх, если трасса поворачивает вправо. В графу «Отметки земли» выписывают отметки пикетов и плюсовых точек, определенные в процессе нивелирования по трассе. На продольном профиле отмечают также номера пикетов, расстояния между ними и километраж по трассе. Проектные данные показывают в соответствующих графах красным цветом. «План линии» также вычерчивают красным цветом.

По отметкам земли и пикетажу строят фактический профиль. При этом начало масштаба высот выбирают так, чтобы самая низшая точка фактического профиля не доходила до первой графы на 20...30 мм.

Красную линию профиля проектируют в соответствии с техническими условиями на данный вид и категорию дороги. Кроме

того, при проектировании выполняют следующие правила: проектные уклоны задают с точностью до 0,001; проектные отметки относят к бровке земляного полотна; алгебраическая разность уклонов на двух соседних участках проектной линии не должна превышать заданного предельного уклона; на участках плановых кривых предельно допустимый уклон должен быть смягчен, уменьшен для железных дорог на  $700/R$ , где  $R$  — радиус кривой, для автомобильных дорог — от 10 до 50 %; объем насыпей и выемок должен быть минимальным.

Проектирование начинают от мест с заданными отметками, например, от начальной точки трассы, мостового перехода через водное препятствие. Далее приближенно намечают первый участок проектной линии. По разности отметки земли в конце первого участка и начальной проектной отметки, а также расстояния между этими отметками подсчитывают уклон. Если он окажется допустимым, его округляют до 0,001 и записывают в соответствующую графу профиля, указывая одновременно расстояния. Знаком уклон не сопровождают, его заменяет соответствующая диагональная линия в графе уклонов. По принятому значению укло-

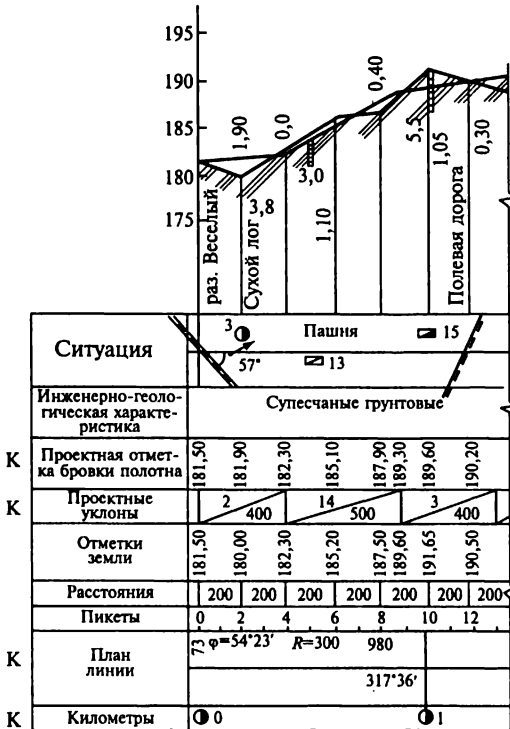


Рис. 25.7. Продольный профиль участка трассы железной дороги

на и расстоянию вычисляют превышение и, прибавив его с соответствующим знаком к первой проектной отметке, находят отметку конца первого участка красной линии. Дальнейшее проектирование выполняют подобным образом.

Разность проектной и фактической отметок данной точки профиля называется *рабочей отметкой*. Положительная рабочая отметка показывает высоту насыпи, отрицательная — глубину выемки. Рабочие отметки намечают на самом профиле. Точку пересечения проектной линии с линией профиля называют *точкой нулевых работ*; рабочая отметка этой точки равна нулю. Точки нулевых работ иногда отмечают на профиле трассы, так как они указывают начало насыпи или выемки.

В ходе проектирования, чтобы обеспечить размещение вертикальных кривых, выдерживают шаг проектирования — минимально допустимое расстояние между переломами проектной линии.

На профиле дорог проектируют также водоотводные каналы (кюветы), указывая при необходимости в соответствующих графах продольного профиля их проектные уклоны, расстояния и отметки на пикетах.

### **25.3. Восстановление дорожной трассы и разбивка кривых**

Между проектированием и строительством дороги проходит определенный промежуток времени, за который точки закрепления трассы на местности частично утрачиваются. Поэтому перед началом строительных работ трассу восстанавливают, принимая за основную окончательно выбранную и закрепленную на местности при полевом трассировании и определенную чертежами рабочей документации трассу.

Восстановление начинают с отыскания на местности вершин углов поворота трассы. Отдельные вершины, на которых не сохранились знаки крепления, находят промерами от постоянных местных предметов согласно абрисам их привязки или прямой засечкой по проектным углам из двух соседних вершин трассы. Если знаки крепления не сохранились на нескольких расположенных рядом углах поворота и их невозможно восстановить от местных предметов, то вновь выполняют трассирование этого участка, придерживаясь взятых с проекта углов поворота и расстояний.

Одновременно с восстановлением вершин измеряют углы поворота трассы и сравнивают полученные значения с проектными. При обнаружении значительных расхождений направление трассы на местности не изменяют, а исправляют значение проектного угла поворота и пересчитывают по исправленному углу все элементы кривой.

Затем приступают к контрольному измерению линий с разбивкой пикетажа. Пикеты и точки пересечения трассы с водото-

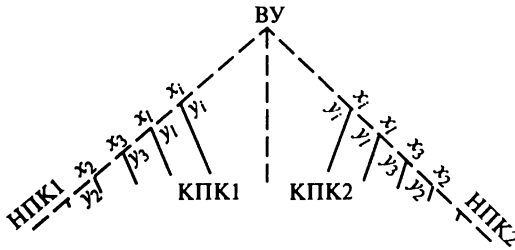


Рис. 25.8. Схема разбивки кривой способом прямоугольных координат

ками и магистралями устанавливают в створе по теодолиту. При этом стараются не допускать сплошной передвижки существующего пикетажа.

На закруглениях трассы детально разбивают переходные и круговые кривые. При радиусе, большем 500 м, кривую разбивают через 20 м, при радиусе менее 500 м — через 10 м, при радиусе менее 100 м — через 5 м.

Наиболее распространенный способ детальной разбивки кривых — способ прямоугольных координат. Для совместной детальной разбивки переходных и круговых кривых из соответствующих таблиц по значениям радиуса  $R$  круговой кривой и длине  $l$  переходной кривой выбираются разности  $K-x$  (кривая без абсциссы) и ординаты  $y$ . Разбивку ведут от конечных точек начала первой переходной кривой НПК1 и начала второй переходной кривой НПК2 к середине круговой кривой (рис. 25.8). Вдоль тангенсов откладывают длины кривых  $K_1$ , соответствующие интервалу разбивки, отмеряя назад значения  $K-x$ . В найденных точках восстанавливают перпендикуляры и откладывают ординаты  $y$ , определяя точки кривой.

В стесненных условиях для разбивки кривой применяют способ хорд. В этом способе положение точек переходных и круговых кривых определяют построениями от хорд (рис. 25.9). Длину хорды выбирают равной 100 м и более с таким расчетом, чтобы наибольшая ордината  $y$  не превышала 2...3 м.

Направления хорд задают при помощи теодолита по углам  $\delta$ ,  $\delta_1$  и  $\theta$ . Углы находят по следующим формулам:

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{y_l}{x_l}; \quad \delta_1 = \varphi_l + \frac{\theta}{2} - \delta; \quad \varphi_l = \frac{l}{2R} \rho; \quad \sin \frac{\theta}{2} = \frac{b}{2R},$$

где  $x_l, y_l$  — координаты конца переходной кривой длиной  $l$ ;  $\varphi_l$  — центральный угол переходной кривой;  $\theta$  — центральный угол круговой кривой, стягиваемой хордой  $b$ ;  $R$  — радиус круговой кривой.

Координаты разности  $K-x$  и  $y$  для детальной разбивки кривой от хорды выбирают из специальных таблиц по значениям  $R$  и  $b$



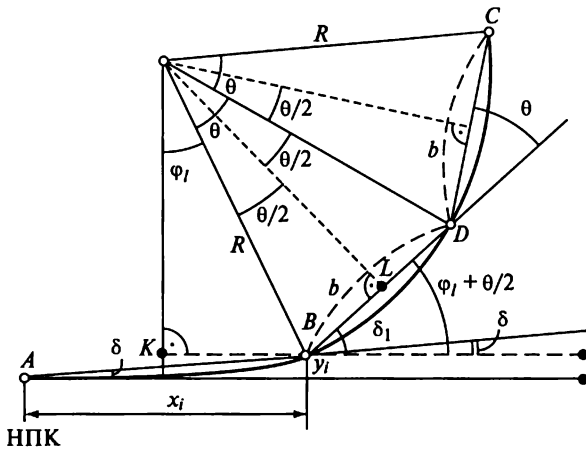


Рис. 25.9. Схема разбивки кривой способом хорд

отдельно для переходных и круговой кривых. Разбивку ведут от концов хорды к середине, так же как и в способе прямоугольных координат, от линии тангенса.

В горных районах и на косогорных участках проектируют сложные кривые, называемые *серпантинами*. Основными элементами серпантины (рис. 25. 10) являются: основная кривая  $FDE$  радиуса  $R$ , две вспомогательные кривые  $AP$  и  $BG$  с радиусами  $r_1$  и  $r_2$ , две прямые вставки или переходные кривые  $PE = l_1$  и  $FG = l_2$ .

При разбивке серпантины теодолит устанавливают в вершине угла поворота  $O$  и по створу прямых  $OA$  и  $OB$  откладывают расстояние  $d$ . Получают на местности вершины  $M$  и  $N$  вспомогательных кривых. По этим же направлениям от полученных точек откладывают длину тангенса  $T$  и находят точки  $A$  и  $B$  начала и конца серпантины. Затем, откладывая от сторон  $OA$  и  $OB$  угол  $\gamma$  и длину радиуса  $R$ , находят точки  $E$  и  $F$  — начало и конец основной кривой. Для контроля измеряют угол  $\beta$ . Откладывая по направлению  $ME$  от вершины  $M$  величину тангенса  $T$ , получают точку  $P$  конца вспомогательной кривой. От точек  $A$  и  $P$  обычным порядком через 5... 10 м детально разбивают вспомогательную кривую. Аналогично разбивают вторую вспомогательную кривую. Детальную разбивку основной кривой производят через 3... 5 м. Для этого угол  $\varphi_0$  делят на соответ-

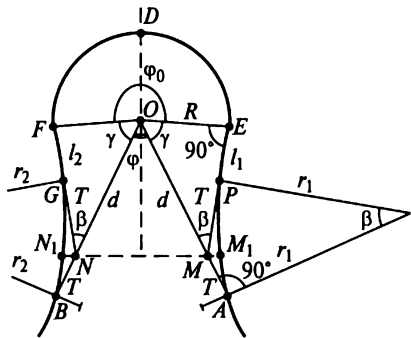


Рис. 25.10. Симметричная серпантина

ствующее число частей и вдоль заданных теодолитом направлений откладывают от центра кривой радиус  $R$ .

После восстановления пикетажа и детальной разбивки кривых трассу закрепляют. Знаки крепления устанавливают вне зоны земляных работ так, чтобы они сохранялись на все время строительства.

Одновременно с закреплением трассы для удобства обслуживания строительных работ сгущают сеть рабочих реперов с таким расчетом, чтобы на 4...5 пикетов трассы приходился один репер. В качестве реперов стремятся использовать различные местные предметы, устойчивые по высоте, и знаки крепления, установленные ниже глубины промерзания.

В контрольное нивелирование трассы включают все пикетные и плюсовые точки и всю сеть постоянных и временных реперов. Для уточнения подсчета объемов земляных работ в местах, где поперечный уклон превышает  $0,1$  ( $6^\circ$ ), разбивают и нивелируют дополнительные поперечники.

При восстановлении трассы может быть проведено некоторое ее корректирование и улучшение расположения на местности для уменьшения объема земляных работ и увеличения устойчивости отдельных сооружений. Так, могут быть спрямлены некоторые участки, найден более удачный переход или обход мест, неустойчивых в геологическом отношении, более удачно размещены искусственные сооружения, несколько изменены радиусы кривых и уклоны продольного профиля.

Точность геодезических работ при восстановлении трассы должна быть не ниже точности этих работ на стадии окончательных изысканий.

#### **25.4. Разбивка земляного полотна дороги**

Автодорожное полотно состоит из проезжей части, обочин, откосов и кюветов (рис. 25.11, *a*). Ширина проезжей части  $b$  колеблется от 6 м и более в зависимости от категории дороги. Для укрепления проезжей части с обеих сторон ее устраивают обочины  $a$  шириной от 2 до 3,75 м. К обочинам примыкают откосы  $AC$  и  $A'C'$ . Линия, отделяющая обочины от откосов, называется *бровкой* (точки  $A$  и  $A'$ ) дорожного полотна. Проектные отметки в продольном профиле дают по бровке.

Проезжая часть магистральных автодорог состоит из искусственного покрытия (бетонного, каменного и др.). Для устройства этого покрытия в дорожном полотне делают специальное земляное корыто  $DD'K'K$ .

Для быстрого стока воды поверхность дорожного полотна имеет поперечный уклон от середины к бровкам. Величину этого уклона назначают в зависимости от типа покрытия. На цементнобетонных и асфальтобетонных дорогах общей ширины  $B$  поперечный уклон

проезжей части составляет 1,5...2,0%, щебеночных и гравийных — 2,0...3,0%, на мостовых — 3,0...4,0%. Поперечный уклон обочин на 2,0% больше уклона проезжей части. Поперечный уклон дна корыта, как правило, равен уклону проезжей части.

Основной частью железнодорожного полотна (рис. 25.11, б) служит верхнее строение — рельсы со шпалами, уложенные на балластный слой. Для лучшего стока воды земляное основание под балластным слоем устраивают в виде сливной призмы. На однопутных дорогах, ширина земляного полотна которых равна 5,8 м, сливная призма в сечении имеет трапециевидную

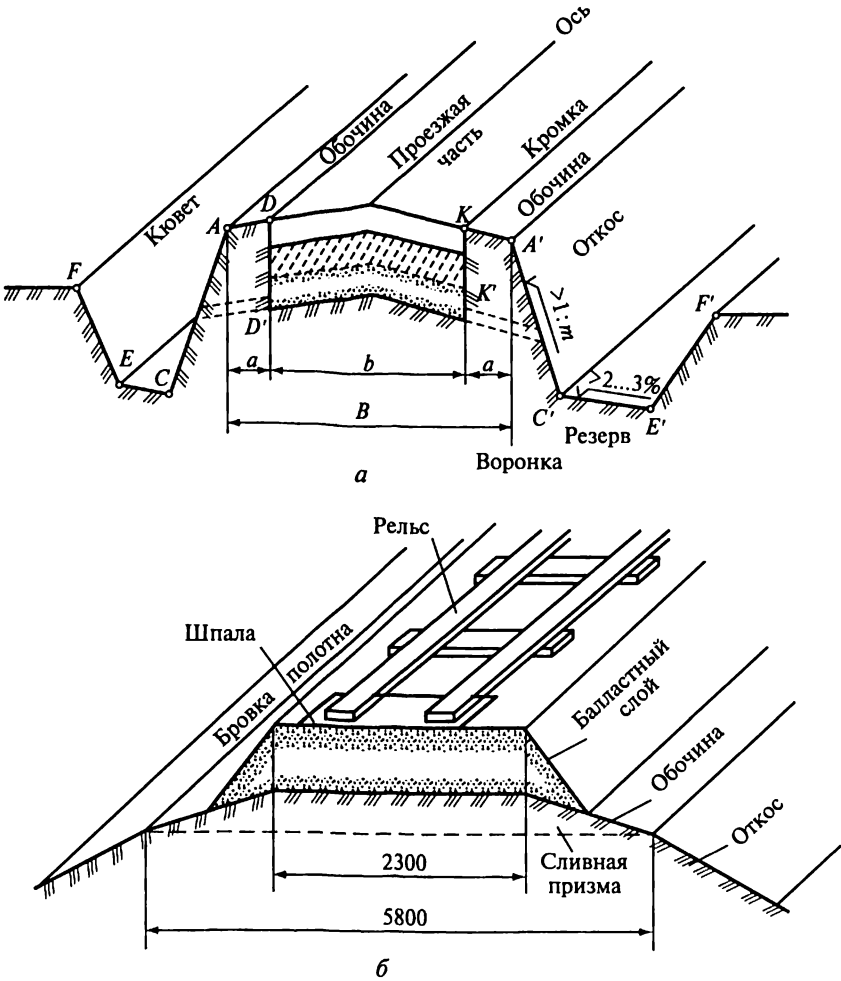


Рис. 25.11. Строение дорожного полотна:  
а — автодороги; б — железной дороги

форму с верхним основанием 2,3 м и высотой 0,15 м. На двухпутных дорогах шириной 10 м сливную призму строят с треугольным основанием, высотой 0,2 м.

Вдоль дорожного полотна устраивают боковые водоотводные канавы — кюветы, средняя глубина которых составляет 0,6 м. Продольный уклон дна кювета должен быть не менее 0,3 %.

Для выполнения земляных работ производят детальную разбивку земляного полотна (строительных поперечников), которая состоит в обозначении на местности в плане и по высоте всех характерных точек поперечного профиля полотна: оси, бровок, кюветов, подошвы насыпей и т. д.

На прямолинейных участках трассы поперечники разбивают через 20... 40 м и на всех переломах продольного профиля. Для этого с помощью теодолита и рулетки в створе оси трассы разбивают плюсовые точки между пикетами, например +20, +40, +60, +80 м. Это будут осевые точки поперечников. Сами же поперечники разбиваются вправо и влево от этих точек, перпендикулярно к оси трассы. Прямой угол строят с помощью теодолита или эккера, а необходимые по проекту расстояния до характерных точек поперечного профиля откладывают лентой или рулеткой.

На закруглениях трассы поперечники разбивают через 10... 20 м в зависимости от радиуса кривой. На этих участках поперечники должны располагаться по направлению к центру кривой, т. е. перпендикулярно касательной к кривой в точке разбивки поперечника.

Одновременно с разбивкой поперечников выносят в натуру проектные отметки, которые соответствуют отметке бровки дорожного полотна в законченном виде. Рабочие отметки, т. е. высоты насыпей или глубины выемок, равны разности проектных отметок по бровке и фактических отметок местности по оси. При этом, если проектная отметка больше отметки местности, то дорога идет по насыпи, а если меньше — то в выемке.

Для удобства выноса в натуру проектных отметок и уклонов перед выходом в поле составляют так называемый писанный профиль, в котором на основании проектного продольного профиля дороги вычисляют для каждого разбиваемого в натуре поперечника проектные и рабочие отметки, глубины кюветов и другие данные.

На ровных (без поперечных уклонов) участках местности при разбивке поперечных профилей для устройства земляного полотна на насыпи (рис. 25.12, а) на местности кольями закрепляют положение проекции осевой точки  $O'$ , проекции бровок  $A'$ ,  $A'_1$ , точек подошвы насыпи  $K$ ,  $K_1$  и проекции точек кюветов  $D$ ,  $C$ ,  $E$ ,  $F$ .

После отсыпки насыпи вчерне для окончательной отделки полотна восстанавливают ось и выносят в натуру проектные отмет-

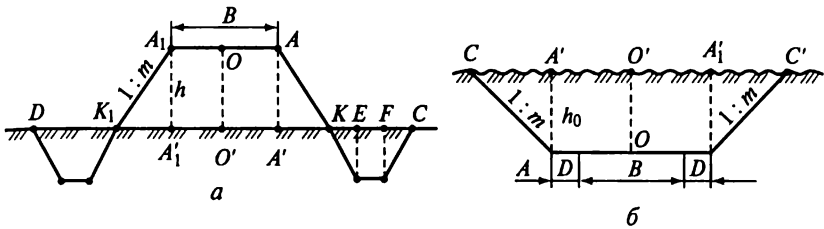


Рис. 25.12. Схемы разбивки дорожного полотна:  
*a* — для устройства земляного полотна на насыпи; *б* — в выемке

ки с учетом запаса на последующую осадку грунта. При отсыпке полотна автомобильной дороги производят разбивку для устройства корыта.

При разбивке поперечников для устройства земляного полотна в выемке (рис. 25.12, *б*) на поверхности земли фиксируют осевую точку трассы  $O'$ , точки  $A'$ ,  $A_1'$  и точки бровки выемки  $C$ ,  $C'$ . После выемки грунта вчерне при отделке земляного полотна производят разбивку под кюветы, корыто и обочины (сливную призму на железнодорожном полотне).

При значительном поперечном наклоне местности разбивка несколько усложняется. Так, для поперечного профиля в насыпи (рис. 25.13, *а*) расстояния от оси  $O'$  до подошвы насыпи  $K$  и  $K_1$  будут различны. Положение точек  $K$  и  $K_1$  может быть найдено, если отложить на наклонной местности отрезки  $O'K$  и  $O'K_1$ . Величины этих отрезков могут быть вычислены по следующим формулам:

$$O'K = \left( \frac{B}{2} + mh \right) \frac{\sin \beta}{\sin(\beta + \nu)}; \quad O'K_1 = \left( \frac{B}{2} + mh \right) \frac{\sin \beta}{\sin(\beta - \nu)},$$

где  $B$  — ширина дорожного полотна;  $h$  — высота насыпи;  $\nu$  — угол поперечного наклона местности;  $\beta$  — угол откоса насыпи ( $\operatorname{tg} \beta = 1:m$ ).

Чтобы получить проекции бровок  $A'$  и  $A_1'$ , необходимо от точки  $O'$  отложить по поверхности земли расстояние

$$O'A' = O'A_1' = \frac{B}{2} \cos \nu.$$

Для поперечного профиля в выемке (рис. 25.13, *б*) наклонные расстояния от оси до бровок выемки могут быть подсчитаны по следующим формулам:

$$O'C = \left( \frac{B}{2} + D + mh_0 \right) \frac{\sin \beta}{\sin(\beta + \nu)}; \quad O'C_1 = \left( \frac{B}{2} + D + mh_0 \right) \frac{\sin \beta}{\sin(\beta - \nu)},$$

где  $D$  — ширина кювета;  $h_0$  — глубина выемки.

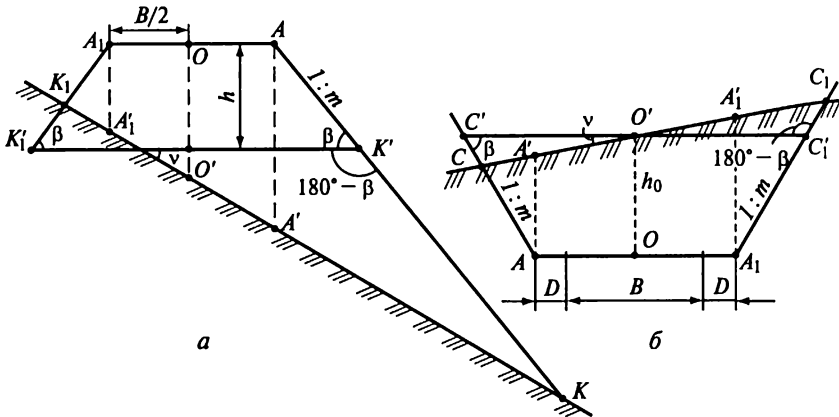


Рис. 25.13. Схемы разбивки дорожного полотна на косогоре: *a* — для поперечного профиля в насыпи; *б* — в выемке

Проектные отметки всех характерных точек земляного полотна вычисляют от проектной отметки бровки по конструктивным размерам, проектным уклонам и ширине отдельных частей дороги. Проектные отметки земляного полотна выносят в натуру с погрешностью не более 1 см.

После окончания работ по возведению земляного полотна производят исполнительную съемку. Для этого восстанавливают продольную ось и на каждом пикете проверяют ширину корыта, обочин, кюветов и др. На всех пикетах и переломах продольного профиля контрольным нивелированием определяют отметки характерных точек поперечников.

## 25.5. Разбивка верхнего строения дороги

После возведения земляного полотна еще раз разбивают поперечники для устройства автодорожного покрытия или верхнего строения пути на железных дорогах.

Покрытие на автомобильных дорогах строится в подготовленном для этого земляном корыте и состоит из песчаной или гравийной подушки, бетонного или каменного несущего слоя и верхнего асфальтового слоя.

После того как песчаная подушка уложена в земляное корыто и укатана, при помощи теодолита разбивают ось дороги и кромки проезжей части, обращая особое внимание на тщательность разбивки криволинейных участков дороги. Одновременно с плановой разбивкой при помощи нивелира устанавливают разбивочные точки на уровень проектных отметок верха покрытия или несущего слоя. Поперечники разбивают на всех пикетах, переломах про-

дольного профиля и плюсовых точках примерно через 20 м на прямолинейных участках и через 10 м на кривых. Полученные точки служат плановой и высотной основой для укладки камня или для установки опалубки при бетонировании дороги.

При использовании самоходной бетонообрабатывающей машины по кромкам проезжей части устанавливают на проектную отметку вместо опалубки специальные рельс-формы.

Верхнее строение железных дорог состоит из балластного слоя (песка, гравия, щебня), шпал и рельсов. Толщина балластного слоя принимается не менее 35 см на магистральных дорогах и 25 см на местных.

При укладке или окончательной рихтовке железнодорожных путей строго по теодолиту разбивают ось каждого пути. На закруглениях полотна производят детальную разбивку переходных и круговых кривых. Разбивку закрепляют кольями, на которых гвоздями фиксируют положение оси.

Одновременно при помощи нивелира выносят в натуру и закрепляют проектные отметки головки рельсов с погрешностью не более 1...2 мм. Чтобы определить проектную отметку головки рельсов, необходимо к проектной отметке профиля (отметке бровки полотна) прибавить высоту сливной призмы, толщину балластного слоя по проекту с учетом запаса на его осадку, толщину шпал и высоту рельсов.

После окончательной отделки полотна дороги вновь производят исполнительную съемку. При съемке автодорожного покрытия определяют отметки по поперечникам в точках на оси дороги и по краям проезжей части. Поперечные уклоны не должны отличаться от проектных более чем на 0,03. На железных дорогах проверяют ширину рельсовой колеи и разность отметок головок рельсов обеих ниток на одном поперечнике. Отклонение от проектной ширины рельсовой колеи должно быть в пределах от +4 до -3 мм, а разность отметок головок рельсов на одном поперечнике должна составлять 4 мм.

## **25.6. Построение мостовой разбивочной основы**

Современные мостовые переходы представляют собой сложные инженерные сооружения, основными конструктивными элементами которых служат мостовые опоры и пролетные строения.

При строительстве мостового перехода на местности определяют и закрепляют положение центров мостовых опор и других элементов моста, а также производят детальную разбивку при возведении опор и монтаже пролетных строений.

Для этих целей строят специальную геодезическую разбивочную сеть, обеспечивающую выполнение разбивочных работ на всех

стадиях строительства мостового перехода. Кроме того, рационально расположенная и надежно закрепленная разбивочная сеть может служить основой и для наблюдений за деформациями моста в процессе его строительства и эксплуатации.

В зависимости от способа разбивки центров опор и условий местности плановую разбивочную сеть создают в виде триангуляции, трилатерации, линейно-угловых построений, полигонометрии. При возможности разбивки опор по створу светодальномером в качестве основы могут служить исходные пункты, закрепляющие ось мостового перехода. Эти пункты закрепляют еще в период изысканий.

Разбивочную сеть создают в частной системе координат, за ось абсцисс которой принимают ось мостового перехода. Координаты одного из пунктов, лежащих на этой оси, задают, исходя из условия положительности координат всех пунктов. Погрешность в определении положения пунктов разбивочной сети относительно исходного не должна превышать 6 мм. Пункты разбивочной сети закрепляют в геологически устойчивых местах, не затопляемых высокими паводковыми водами.

*Триангуляция* — довольно распространенный вид построения мостовой разбивочной сети. Форма ее может быть различной, но наиболее часто встречаются простой или сдвоенный геодезический четырехугольник (рис. 25.14), а при наличии островов — центральные системы. Длины сторон колеблются от 0,2 до 2,0 км. Угловые измерения производят со средней квадратической погреш-

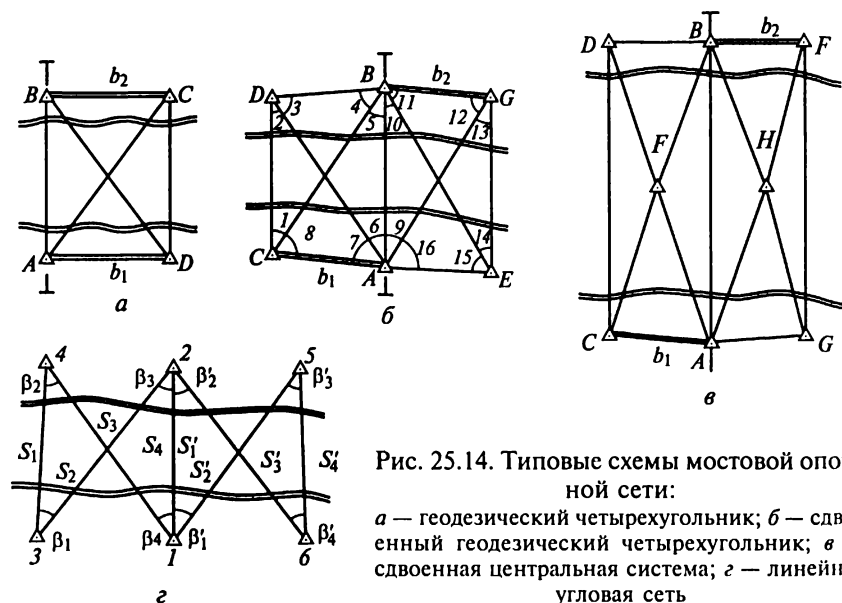


Рис. 25.14. Типовые схемы мостовой опорной сети:

*a* — геодезический четырехугольник; *b* — сдвоенный геодезический четырехугольник; *в* — сдвоенная центральная система; *г* — линейно-угловая сеть



ностью 1...2". При этом особое внимание обращают на точность центрирования теодолита и визирных целей. Для контроля масштаба сети измеряют не менее двух базисных сторон с погрешностью порядка 2...3 мм. Уравнивается мостовая триангуляция строгим способом.

*Трилатерация* строится в основном тогда, когда метеоусловия не позволяют производить угловые измерения в триангуляции с необходимой точностью. При построении трилатерации на мостовых переходах, как и в триангуляции, основной фигурой служит сдвоенный геодезический четырехугольник, все стороны которого измеряются светодальномером соответствующей точности.

При *линейно-угловых построениях* на мостовых переходах измеряют стороны  $S_1, S_2, \dots, S_4$  и углы  $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_4$ . Сети подобного вида обладают рядом преимуществ. Отсутствие направлений вдоль берегов позволяет измерять углы в примерно одинаковых внешних условиях, уменьшая тем самым влияние боковой рефракции. Взаимная видимость между пунктами сети обеспечивается без постройки высоких знаков. При сравнительно небольшом объеме линейных и угловых измерений сеть обладает достаточной точностью и высокой маневренностью в сложных условиях местности.

*Полигонометрию* применяют для мостов, строящихся на суходоле. Строят ее в виде системы ходов. Продольные ходы проектируют параллельно оси мостового перехода и располагают от нее на таком расстоянии, чтобы пункты не попадали в зону строительных работ. Стороны в таких ходах измеряют со средней квадратической погрешностью 5 мм, а углы — 2...3". После вычисления координат пункты редуцируют по оси ординат, чтобы они располагались строго в створе, параллельном оси моста. Это позволяет выполнять разбивочные работы способом прямоугольных координат или створной засечки.

На больших мостовых переходах, располагающихся в сложной широкой речной пойме, геодезическая разбивочная основа может строиться из сочетания линейно-угловых и полигонометрических сетей.

Высотную геодезическую сеть на мостовом переходе создают еще в период изысканий, но по точности она обеспечивает выполнение всех видов работ, в том числе и разбивочных.

Сеть представляет собой систему реперов, точность определения отметок которых относительно исходного репера характеризуется средней квадратической погрешностью 3...5 мм. Это требование вполне обеспечивается проложением ходов нивелирования III класса. На строительной площадке устанавливают густую сеть рабочих реперов, от которых передают отметки на все возводимые мостовые сооружения.

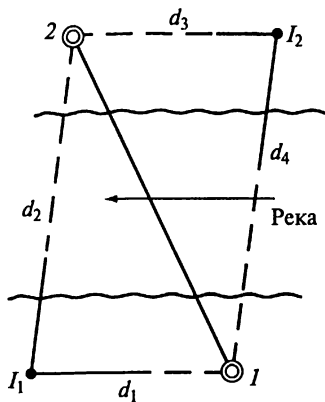


Рис. 25.15. Схема передачи отметки через водное препятствие:  
1, 2 — реперы

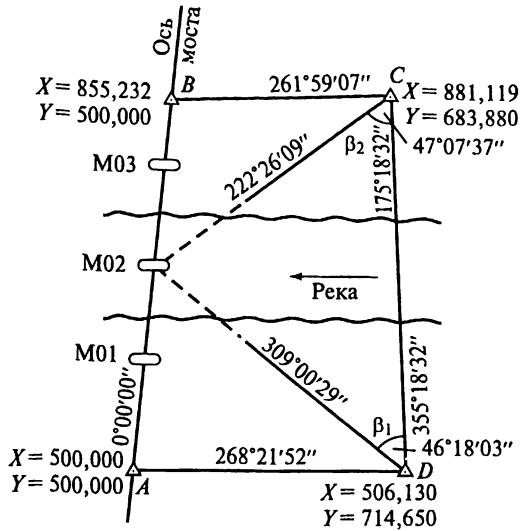
Реперы, расположенные на противоположных берегах реки, должны иметь отметки в единой системе высот, поэтому при строительстве мостового перехода возникает необходимость в передаче отметки через реку. Отметки через реку, как правило, передают точным геометрическим или тригонометрическим нивелированием по специальной программе, а в зимнее время — нивелированием по льду. Наиболее широкое распространение получил метод двойного геометрического нивелирования, сущность которого заключается в следующем. На обоих берегах примерно на одинаковой высоте закладывают реперы 1 и 2 (рис. 25.15). В 5... 10 м от них организуют станции для нивелира  $I_1$  и  $I_2$  таким образом, чтобы  $d_1 = d_3$  и  $d_2 = d_4$ . При установке нивелира в точке  $I_1$  берут отсчеты последовательно по ближней и дальней рейкам. Затем нивелир перевозят на другой берег и в точке  $I_2$  берут отсчеты сначала по дальней, потом по ближней рейкам. Таких приемов делают несколько в зависимости от требуемой точности передачи. Отсчеты по дальней рейке берут на утолщенные штрихи специальной передвижной марки, закрепляемой на рейке. Превышение на станции будет измеряться со значительной погрешностью, пропорциональной углу  $i$  нивелира и большой разности расстояний до реек на разных берегах. Среднее значение в приеме будет свободно от этой погрешности при условии неизменности угла  $i$  за время выполнения одного приема. Для ослабления влияния рефракции нивелирование целесообразно проводить одновременно двумя нивелирами с противоположных берегов, меняя затем их местами.

### 25.7. Разбивочные работы при возведении опор и пролетных строений моста

Для разбивки опор моста прежде всего выносят в натуру положение их центров. При разбивке на суходоле или в зимнее время положение центров опор, например  $M01$  и  $M03$  (рис. 25.16), определяют непосредственным откладыванием проектных расстояний вдоль продольной оси моста от точек  $A$  и  $B$ , закрепляющих эту ось.

Проектные расстояния откладывают с помощью шкаловых лент или рулеток. Натяжение при этом задают динамометром и учиты-

Рис. 25.16. Схема разбивки центров мостовых опор прямой угловой засечкой



вают поправки за температуру и компарирование мерного прибора. При использовании светодальномера вначале разбивку выполняют приближенно. Затем светодальномером измеряют расстояния до полученных точек, сравнивают их с проектными значениями и смещают предварительно найденные точки по оси моста в проектное положение. Створ оси моста задают теодолитом или лучом лазера.

Вынесенные в природу центры мостовых опор на суходоле закрепляют створными плоскостями, перпендикулярными продольной осью моста. Знаки, закрепляющие створные плоскости, устанавливают вне зоны предстоящих строительных работ.

На мостовых переходах через большие судоходные реки разбивку центров мостовых опор, как правило, производят способом прямой или обратной угловых засечек с пунктов разбивочной сети. Например, для прямой угловой засечки центр опоры определяют не менее чем с трех пунктов, причем одно из направлений должно совпадать с осью моста. Перед разбивкой опор составляют разбивочный чертеж. На этом чертеже показана схема разбивки положения центра M02 мостовой опоры прямой угловой засечкой с пунктов C и D. Разбивочные углы  $\beta_1$  и  $\beta_2$  вычислены как разности дирекционных углов соответствующих направлений. Дирекционные углы, в свою очередь, определены по фактическим координатам пунктов сети и проектным координатам центра опоры путем решения обратных геодезических задач.

Для разбивки на пунктах C и D устанавливают точные оптические теодолиты. На определяемой точке закрепляют визирную

марку с оптическим центриром. По указанию наблюдателей ее перемещают, добываясь совмещения оси марки с коллимационной плоскостью теодолита, задающего разбивочный угол. Положение мишени визирной марки, находящейся на пересечении визирных лучей двух теодолитов, проектируют с помощью оптического отвеса на землю и закрепляют. Аналогично определяют точку при втором положении круга теодолита. Из двух точек находят среднюю. Для контроля и повышения точности по теодолиту, установленному на пункте *A* и ориентированному по створу *AB*, проверяют положение найденного центра опоры относительно продольной оси моста. Если центр опоры смещен от оси не более чем на 20 мм, то его смещают по перпендикуляру на ось перехода.

При применении обратной угловой засечки теодолит устанавливают над приближенно найденным центром опоры и измеряют углы не менее чем на три пункта разбивочной сети. По измеренным углам и координатам пунктов сети вычисляют фактические координаты точки стояния теодолита и сравнивают их с проектными координатами центра мостовой опоры. При несовпадении координат находят элементы редукции и редуцируют центр опоры в проектное положение.

Контролем разбивочных работ является измерение расстояний между вынесенными центрами нескольких опор.

В процессе строительства центры опор восстанавливают несколько раз: для возведения фундаментов, установки опалубки при бетонировании опор, перед установкой конструкций пролетных строений. Поэтому для опор, расположенных в воде, направление засечек с пунктов разбивочной сети закрепляют на противоположном берегу специальными визирными знаками.

Детальную разбивку мостовой опоры производят от закрепленного в натуре центра. При этом из центра опоры теодолитом выносят ось мостового перехода и перпендикулярную ей ось опоры. От этих осей разбивают положение отдельных элементов опоры. Для обеспечения строительства опоры в высотном отношении на нее от ближайших рабочих реперов передают отметку, фиксируя ее в удобном для пользования месте. По окончании строительства опоры производят исполнительную съемку.

При монтаже пролетного строения в зависимости от его конструкции и схемы монтажа (непосредственно в пролете, сборка на берегу и т.п.) геодезические работы обеспечивают детальную разбивку мест установки пролета, периодическую выверку сборки пролета, его плановую и высотную установку, нивелирование профиля пролета (определение строительного подъема). По окончании монтажа производят исполнительную съемку, в результате которой составляют план и профиль пролетного строения, продольный профиль пути.

## ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

### 26.1. Гидротехнические сооружения и состав геодезических работ при их возведении

Гидротехнические сооружения предназначаются для использования водных ресурсов и для борьбы с водной стихией.

В зависимости от вида используемого естественного потока или водоема различают речные, озерные и морские гидротехнические сооружения.

По характеру воздействия на водный поток или водоем гидротехнические сооружения условно подразделяют на три основные группы:

водоподпорные — испытывают на себе напор воды и удерживают ее перед собой. К их числу относятся различные дамбы и плотины;

водопроводящие — служат для отвода или подвода воды из одних пунктов к другим. К ним относятся каналы, трубопроводы, гидротехнические тоннели;

регуляционные — определяют условия протекания водных потоков в руслах; ограничивают наносы, размывы; регулируют действие волн, течений. Это волноломы, льдозащитные стенки, берего- и дноуглубительные системы.

Кроме того, различают специальные виды гидротехнических сооружений, например: портовые сооружения, здания гидроэлектростанций (ГЭС), судоходные шлюзы, мелиоративные, рыбо-водческие, лесопропускные, санитарные сооружения и др.

Группа различных гидротехнических сооружений, связанных общей водохозяйственной целью и местоположением, составляет узел гидротехнических сооружений или гидроузел.

Наибольшее число сооружений обычно бывает у речных гидроузлов, часто объединяющих в одном месте сооружения общего и специального назначения.

Одним из наиболее распространенных и ответственных видов гидротехнических сооружений являются плотины. Плотина предназначается преимущественно для создания водохранилищ. Запас воды в водохранилище используется для получения электрической энергии на ГЭС, увеличения судоходных глубин в реке, водоснабжения промышленных объектов и населенных пунктов, орошения земель и т. п.

По своим размерам и конструктивной сложности плотины могут быть от простейших (в виде небольших запруд) до крупнейших высотой в 300 м и более, длиной в несколько километров.

В зависимости от строительных материалов различают земляные, каменно-набросные и бетонные плотины.

По конструктивным признакам бетонные плотины подразделяются на гравитационные, арочные, арочно-гравитационные и контрфорсные.

Гравитационные плотины представляют собой массивные сооружения, сопротивляющиеся собственной массой напору воды.

Арочные плотины имеют в плане криволинейную форму. Их сооружают, как правило, на горных реках с прочными скальными берегами.

Арочно-гравитационные плотины работают одновременно как арки и гравитационные плотины, т.е. они имеют криволинейную форму, большую высоту и массу.

Контрфорсные плотины состоят из ряда контрфорсов — стенок, устанавливаемых на некотором расстоянии друг от друга для сопротивления давлению воды.

Сложнейшим сооружением гидроузла является гидроэлектростанция. Если здание ГЭС размещают вблизи плотины, то такая ГЭС называется *приплотинной*. Если здание ГЭС, находясь в составе сооружения станционного узла, удалено от плотины, а вода к турбогенераторам подводится по специальному каналу или тоннелю, то такая ГЭС называется *деривационной*.

Для строительства гидроэлектростанции в выбранном на реке месте необходимо создать *напор*, т.е. разность уровней воды перед плотинной (верхний бьеф) и ниже ее (нижний бьеф). Вместе с *расходом* (количество кубических метров воды, протекающее через поперечное сечение реки в одну секунду) напор определяет мощность ГЭС.

Из водотранспортных гидротехнических сооружений наибольший интерес представляют каналы. По своему назначению каналы разделяются: на судоходные, оросительные (ирригационные), энергетические (деривационные), водопроводные, обводнительные, осушительные и лесосплавные. Часто каналы выполняют несколько функций и называются *смешанными* или *комплексными*. Одним из главных сооружений на судоходных каналах являются судоходные шлюзы. Они служат для подъема (или спуска) судов с одного водного горизонта на другой.

Содержание и объем геодезических работ зависят от вида гидротехнического сооружения, стадии его проектирования и строительства. При проектировании большинства гидротехнических сооружений геодезические работы выполняют для составления топографических и гидрографических планов, продольных профилей рек, а также для обслуживания геологических, гидрологических и других специальных работ.

Для этих целей развивают исходное и съемочное планово-высотные геодезические обоснования, создающие единую систему

плановых координат и высот на всю территорию строительства. Съёмки, в том числе и русловые, выполняют в различных масштабах в зависимости от стадии проектирования.

Значительные по объёму геодезические работы выполняют при проектировании искусственных водохранилищ. Помимо топографических съёмок на территории будущего водохранилища производят работы по выносу в натуру его контура, т.е. определению границы затопления.

При возведении гидротехнических сооружений выполняют разнообразные по составу и большие по объёму геодезические измерения, связанные с выносом в натуру проекта сооружения. Исходными данными для них служат рабочие чертежи проекта. Для выполнения разбивочных работ в качестве основы частично используют пункты осей обоснования, созданных для целей изысканий, а также строят специальные разбивочные сети.

Разбивочные работы выполняют на всех стадиях строительства: при выносе осей сооружений, выполнении земляных и бетонных работ, монтаже металлоконструкций и гидроагрегатов и т.д. Кроме того, при выполнении монтажных работ производят геодезические измерения, связанные с установкой технологического оборудования в проектное положение.

В процессе строительства гидросооружений ведут наблюдения за их деформациями.

## **26.2. Вынос в натуру проектного контура водохранилища**

Вынос проектного контура водохранилища производят для определения в натуре границы затопления различных земель: населенных пунктов, сельскохозяйственных и лесных угодий и т.п. Эта работа состоит в обозначении на местности точек, высоты которых соответствуют отметкам  $H_{пр}$  проектной горизонтали контура водохранилища.

Проектную горизонталь чаще всего определяют проложением ходов технического нивелирования. Нивелирный ход начинают от ближайших к контуру водохранилища реперов высотной основы и прокладывают его в район расположения горизонтали затопления. Определив по ходу точку I (рис. 26.1) с отметкой близкой (в пределах 1,0 м) к отметке проектной горизонтали, закрепляют ее и переходят на станцию  $I_1$ . На этой станции определяют горизонт прибора  $H_{г.п}$  по рейке, стоящей на точке I. Вычисляют отсчет  $b$  по рейке (она находится на проектной горизонтали):  $b = H_{г.п} - H_{пр}$ .

Далее, вблизи определяемой точки I переставляют рейку по склону вверх или вниз до тех пор, пока отсчет по ней (в пределах 5 см) не будет равен  $\bar{b}$ . С этой же станции аналогичным образом определяют положение еще нескольких точек, например 1, 2, 3, 4, отстоящих друг от друга примерно на 30... 40 м. Полученные точки

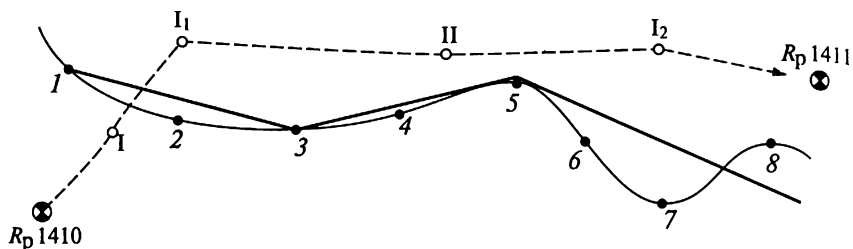


Рис. 26.1. Схема выноса в натуру проектной горизонтали контура водохранилища

закрепляют кольями. Затем, двигаясь по ходу, определяют отметку точки II, близкую к проектной, и на станции I<sub>2</sub> вновь определяют горизонт прибора, вычисляют отсчет по рейке *b* и находят положение проектной горизонтали в точках 5... 8. Аналогично находят положение точек проектной горизонтали на участках между реперами исходного обоснования. Предельная длина рабочего хода допускается до 15 км на застроенной территории и до 50 км в залесенных районах. Однако привязку к реперам исходной основы желательно делать чаще, чтобы при грубых промахах не переделывать большие участки работ.

На крутых склонах применяют метод тригонометрического нивелирования, прокладывая с помощью теодолита высотные тахеометрические ходы. В этом случае отыскивают положение точек, превышение *h* которых над тахеометрической станцией с отметкой  $H_{т.с}$  составляет

$$h = H_{пр} - H_{т.с}.$$

Установив рейку примерно на отметке проектной горизонтали, измеряют угол наклона и расстояние. Вычислив превышение, сравнивают его с расчетным. В случае расхождения определяют, куда и на какую величину следует переместить рейку по склону. В залесенных труднодоступных районах применяют метод барометрического нивелирования.

В характерных местах через 200... 300 м выносимую линию закрепляют более основательно — деревянными столбами, бетонными монолитами, затесами на деревьях в залесенной местности и т. п. Между смежными знаками должна быть взаимная видимость. В случае применения метода геометрического нивелирования по постоянно закрепленным точкам прокладывают теодолитный ход и определяют координаты этих точек. Теодолитный ход привязывают к пунктам исходного обоснования не более чем через 10 км на застроенной территории и через 50 км в малообжитых районах.



При наличии на участке контура водохранилища крупномасштабных топографических планов или фотопланов с горизонталями граница затопления может быть вынесена в натуру с достаточной точностью промерами от четких контуров. Точность выноса в натуру проектной отметки контура водохранилища зависит от хозяйственной ценности территории и рельефа местности. Характеризуется она величинами погрешностей: от 5 см на застроенной равнинной местности и до 60 см в залесенной или всхолмленной.

### 26.3. Геодезическое обоснование для строительства гидротехнических сооружений

Для геодезического обеспечения строительства гидроузлов, как правило, создают специальную разбивочную сеть. Эта сеть служит основой для выполнения всех видов строительных разбивок и обеспечения монтажных работ. Ее используют также для наблюдений за деформациями берегов реки и сооружений гидроузла.

Плановую разбивочную сеть на площадке строительства гидроузла развивают в виде триангуляции, полигонометрии и линейно-угловых построений. Строят ее в две или в три ступени.

В качестве первой (исходной) ступени обычно применяют триангуляционные или линейно-угловые сети. Точностные характеристики этих сетей такие же, как и у государственных триангуляционных сетей соответствующих классов.

Необходимый разряд сети выбирают в зависимости от типа объекта, занимаемой им площади и размеров его основных сооружений. Точностные характеристики сети 1-го разряда определяют расчетным путем, исходя из заданной точности конечных результатов измерений.

Сеть строят как локальную в строительной системе координат, принимая за ось абсцисс разбивочную ось плотины, а один из пунктов закрепления этой оси — за начальный. Для увязки разбивочных и съемочных работ разбивочную сеть привязывают к пунктам изыскательской сети.

Сеть редуцируют не на поверхность референц-эллипсоида, как это делают для государственных сетей, а на поверхность относимости с высотой  $H_{\text{отн}} = (H_1 + H_2)/2$ , где  $H_1$  и  $H_2$  — высоты основания и гребня плотины. Редукционную поправку в измеренные длины линий  $S$  за переход на поверхность относимости вычисляют по приближенной формуле

$$\Delta_S = -\frac{(H_{\text{изм}} - H_{\text{отн}})S}{R_m},$$

где  $H_{\text{изм}}$  — средняя высота измеренной линии;  $R_m$  — средний радиус Земли, равный 6370 км.

Пункты сети закрепляют вне зоны производства строительных работ и в устойчивых грунтах. При этом используют трубчатые знаки или бетонные тумбы высотой 1,2 м, снабженные приспособлениями для точного центрирования теодолита и визирных целей.

Уравнивание сети производят строгим способом, широко используя для этой цели ЭВМ.

Для детальной разбивки отдельных сооружений гидроузла основная сеть сгущается сетью пунктов второго порядка, размещенных вблизи возводимых сооружений, на бортах котлована и перемычках, по возможности совмещая их с точками закрепления разбивочных осей. Детальные сети развиваются с точностью разбивки соответствующих осей и характеризуются средними квадратическими погрешностями взаимного положения пунктов 3...5 мм. Сети строятся в виде полигонометрии, микротриангуляции, микротрилатерации. При необходимости пункты этих сетей редуцируются в соответствии с проектным расположением осей.

Приведем схему разбивочной триангуляционной сети гидроузла (рис. 26.2), состоящей из пунктов *A...F* первой ступени и пунктов *1...9* второй ступени. Часть пунктов второй ступени располагается на перемычке котлована первой очереди строительства.

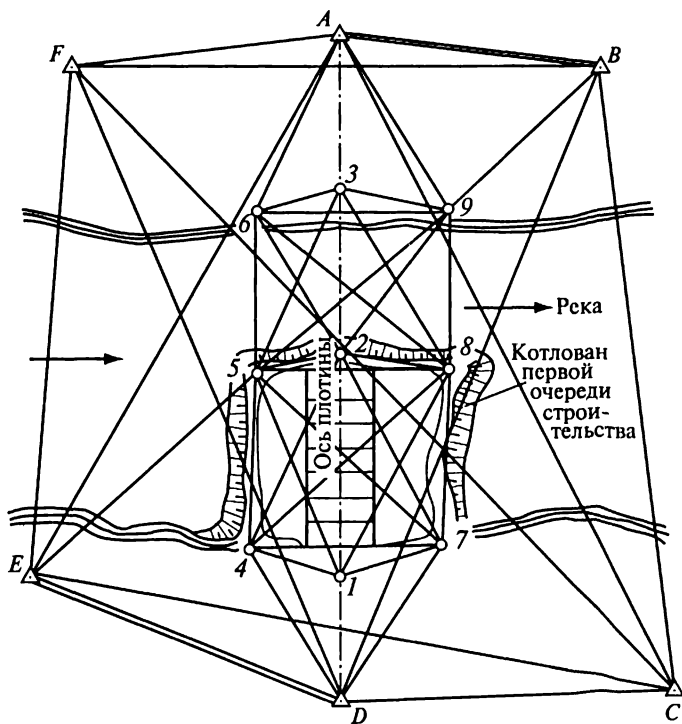


Рис. 26.2. Разбивочная триангуляционная сеть гидроузла

При необходимости дальнейшее сгущение разбивочной сети производят по точкам, закрепляющим оси конструктивных элементов (отдельные секции плотины, здания ГЭС, шлюзы, портовые сооружения и т.п.). Эти построения осуществляют путем проложения полигонометрических ходов, засечками, створными построениями.

Поскольку пункты разбивочных сетей второго и третьего порядка располагаются в зоне строительных работ, то их устойчивость периодически контролируют относительно наиболее стабильных пунктов исходной разбивочной основы.

Высотное обоснование на территории строительства гидроузла строят также в несколько ступеней. Используют его не только для обеспечения строительных работ, но и для наблюдений за осадками возводимых сооружений, поэтому исходное высотное обоснование, например для бетонных плотин, может создаваться нивелированием II класса, а в отдельных случаях и нивелированием, соответствующим по точности I классу. Дальнейшее сгущение высотной сети производят ходами III и IV классов, а также техническим нивелированием. Нивелирование III и IV классов может служить исходным в случае, когда на этапе строительства нет необходимости в высокоточных наблюдениях за осадками.

Схема высотной разбивочной сети определяется, исходя из конкретной компоновки и конструктивных особенностей гидроузла. Опорная сеть первой ступени строится в виде одиночного нивелирного хода или системы ходов, связывающих в высотном отношении оба берега реки и опирающихся на исходные реперы 1, 2 и кусты реперов (рис. 26.3). Нивелирные ходы второй ступени, опираясь на реперы первой, равномерно охватывают все объекты гидроузла, образуя небольшие по длине замкнутые полигоны. Расстояния между смежными реперами не должны превышать 200 ... 400 м, чтобы высоты можно было передать на сооружение с двух-трех установок нивелира.

Пункты высотной сети закрепляются грунтовыми и скальными реперами.

Высотная разбивочная сеть уравнивается как свободная. Для вычисления отметок в Балтийской системе один из исходных реперов разбивочной сети привязывают к ближайшему реперу сети, созданной при изысканиях.

Для строительства каналов и сооружений, связанных с ним, используют обоснование, созданное в процессе выполнения изыскательских работ. Плановое обоснование развивают в виде ходов полигонометрии, прокладываемых вдоль трассы канала. В зависимости от плотности пунктов государственной триангуляции в районе строительства канала прокладывают полигонометрию IV класса с предельной длиной ходов до 30 км или полигонометрию I-го разряда с длиной ходов до 15 км. При создании высотного обоснования

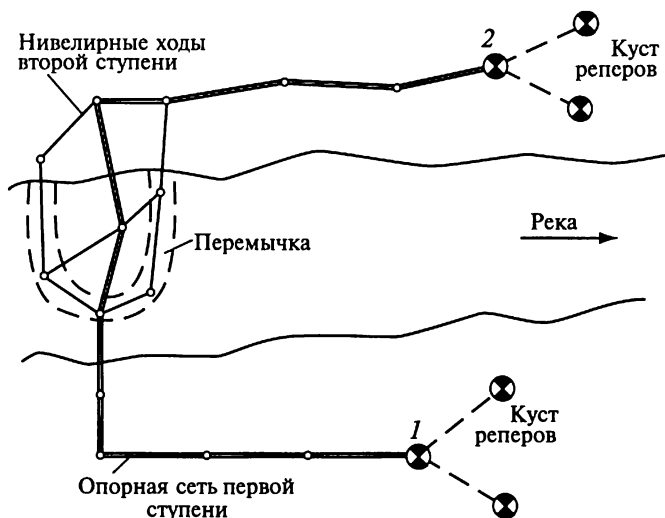


Рис. 26.3. Высотная опорная сеть для строительства гидроузла

вания выбор класса нивелирования также зависит от расстояния между исходными реперами, а кроме того, и от уклона дна канала. При возможности привязки к нивелирной сети I и II классов вдоль трассы канала прокладывают основной ход нивелирования III класса, привязывая его через 75 км. Опираясь на этот ход, развивают полигоны или ходы нивелирования IV класса длиной до 25 км. На трассе канала реперы устанавливают через 2... 3 км.

Для строительства гидротехнических водоподводящих тоннелей создают специальные тоннельные сети.

#### 26.4. Разбивочные работы на площадке гидроузла

Каждое гидротехническое сооружение, входящее в гидроузел, имеет свою главную ось, относительно которой komponуются все его формы и размеры. Геометрической основой проекта гидроузла служит совокупность увязанных между собой главных осей основных сооружений. Форма и размеры отдельных сооружений определяются совокупностью основных и вспомогательных осей, привязанных к главным осям. К главным осям обычно относят: продольные оси бетонных и земляных плотин, продольную ось здания ГЭС, оси междупутья железнодорожных и автомобильных мостов, расположенных на плотине, оси камер судоходных шлюзов, деривационных каналов, тоннелей и т. п.

Возведение гидротехнического сооружения начинают с фиксации на местности главной оси, от которой на протяжении всего строительства выносят основные и вспомогательные строитель-

ные и монтажные оси и откладывают затем проектные размеры сооружения и его частей.

Вынос осей осуществляется последовательно: сначала выносят и закрепляют главную ось сооружения относительно пунктов разбивочной сети, затем относительно главной оси определяют в натуре положение остальных осей и элементов сооружения. Вынос в натуру осей производят в соответствии с требованиями нормативных документов и технических условий на возведение данного вида гидротехнического сооружения.

Главная ось плотины, как правило, является исходной осью для всех разбивочных работ при сооружении гидроузла. Ее выносят в натуру до начала строительства по проектным координатам главных точек этой оси, взятым с топографического плана соответствующего масштаба. Вынос точек, определяющих положение оси плотины, производят от ближайших пунктов геодезического обоснования, созданного для целей изысканий. Погрешности в положении выносимых в натуру точек относительно близлежащих контуров местности будут составлять от 0,4 до 2,0 м в зависимости от точности графического определения координат и масштаба топографического плана. Вынесенные в натуру и капитально закрепленные главные точки оси плотины включают в систему пунктов исходной разбивочной геодезической сети и в этой системе определяют точные координаты этих точек. Все дальнейшие разбивки выполняют на основе аналитических расчетов по данным проекта и координатам пунктов разбивочных сетей. Таким образом, на взаимное положение сооружений гидроузла и их элементов погрешности первоначального выноса исходной оси влияния не оказывают.

Выполнение последующих разбивочных работ зависит от очередности строительства сооружений гидроузла и этапов выполнения строительно-монтажных работ по каждому из видов сооружений. В зависимости от конструктивных особенностей и способов возведения отдельных сооружений технологии разбивочных работ и требования к их точности могут быть различными. Однако для всех сооружений можно выделить некоторую общую последовательность в этапах их возведения, а отсюда и общую последовательность геодезических разбивок: разбивки для земляных работ, разбивки для обслуживания бетонных работ, геодезическое обеспечение монтажа металлоконструкций и технологического оборудования. При этом, как уже отмечалось, различают основные и детальные разбивочные работы.

При строительстве гидроузла выполняют значительный объем земляных работ: отсыпку перемычек, рытье котлована, подготовку основания плотины, отсыпку плотины из грунтовых материалов.

Основания сооружений гидроузла возводят в глубоком котловане, контур которого ограждают перемычками (см. рис. 26.2). Харак-

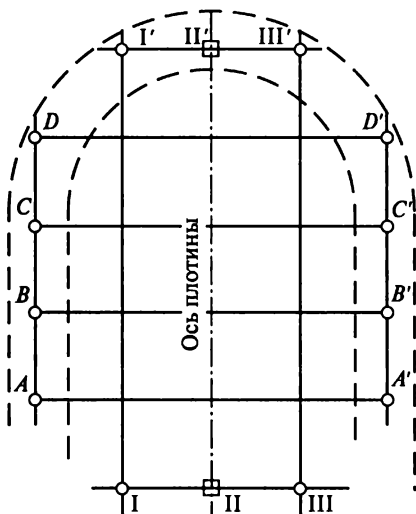


Рис. 26.4. Схема разбивки и закрепления осей плотины

закрепляют продольные и поперечные оси котлована  $A-A'$ ,  $B-B'$  и т. д. На знаки закрепления осей передают отметки. После отрытия и осушения котлована оси переносят на его дно и производят исполнительную съемку.

При отсыпке грунтовой плотины геодезическое обеспечение работ состоит в основном в выносе в натуру контура отсыпки. Для этого выносят в натуру ось плотины и относительно нее линейными промерами по перпендикуляру к оси определяют контуры низовых и верховых граней плотины.

Геодезические работы при возведении бетонных гидросооружений обеспечивают соблюдение с требуемой точностью проектных форм и размеров их отдельных частей, узлов и блоков. Так, например, тело бетонной плотины по длине конструктивно делят на секции, разделенные температурно-осадочными швами. Каждую секцию разделяют на блоки, по которым в опалубке ведется бетонирование. Бетон в блок укладывают ярусами высотой до 3 м.

Задача геодезических измерений заключается в разбивке границ секций и отдельных блоков, установке опалубки в проектное положение.

Границы секций разбивают створными засечками от продольных и поперечных осей плотины со средней квадратической погрешностью 5... 10 мм. Для контроля измеряют длины сторон между закрепленными угловыми знаками 1 секции (рис. 26.5). Разбивку блоков выполняют способом прямоугольных координат от знаков

терные точки перемычек (начало, конец, углы поворота) задают координатами и определяют в натуре от пунктов геодезического обоснования полярным способом на суходоле и прямой засечкой на воде. В последнем случае они закрепляются поплавками с якорем.

Отсыпку перемычек, как правило, производят земснарядами, забирая грунт из будущего котлована. При этом осуществляют промеры глубины котлована и определяют объем вынутого грунта.

После намыва перемычек на них выносят точки, закрепляющие положение основных разбивочных осей, например I, I' (рис. 26.4). От них разбивают и

закрепления секции. Величины откладываемых вдоль границы секции расстояний берут с разбивочного чертежа, полученного в результате аналитической подготовки проекта разбивочных работ. Закрепляют в натуре знаками 2 не сами границы блоков (на них будет установлена опалубка), а их продолжение (выноски). После установки опалубки ее положение контролируют промерами от этих знаков. При бетонировании второго и последующего ярусов разбивка выполняется аналогичным образом. В то же время знаки закрепления контура блоков могут поярусно переноситься проектированием их по вертикали.



Рис. 26.5. Схема разбивки осей блока плотины:  
1 — угловые знаки; 2 — знаки выноски

Для определения проектной высоты бетонирования на опалубку блока или близлежащие конструкции конструкции выносятся отметки.

Разбивка блоков арочной плотины отличается от гравитационной из-за криволинейности ее формы в плане, а в большинстве случаев и по высоте. Отличие состоит в том, что на каждом блоке выносят в натуре произвольно расположенную внутри блока точку. Обратной засечкой на пункты исходной разбивочной сети определяют ее точные фактические координаты. По этим координатам и проектным координатам точек контура блока вычисляют разбивочные элементы и полярным способом определяют в натуре положение контура блока.

Разбивочные работы при строительстве канала заключаются, как правило, в вынесении на местность его оси и разбивке строительных поперечников. Основные точки оси канала (вершины углов поворота, точки пересечений и переходов, оси шлюзов и т. д.) задаются проектными координатами и выносятся от пунктов разбивочной сети. Разбивка поперечных профилей канала производится таким же способом, как и на дорожных трассах. В процессе строительства канала осевые точки и поперечные профили приходится часто восстанавливать. Для упрощения работ знаки крепления выносят за границу строительных работ таким образом, чтобы восстанавливать утраченные точки створными плоскостями. Высотные точки по дну канала и поперечным профилям устанавливают по нивелиру со средней квадратической погрешностью 1 см.

При строительстве шлюзов выносят в натуре главную продольную ось, оси камер и оси элементов верхней и нижней голов шлюза.

## 26.5. Геодезическое обеспечение монтажных работ на гидроузле

Строительство гидроузлов связано с большим объемом работ по монтажу закладных деталей металлических конструкций, механизмов и оборудования. Для обеспечения монтажных работ выполняют разнообразные геодезические измерения, включающие в себя: вынос в натуру и закрепление монтажных осей и отметок, разбивку мест установки закладных деталей, а также контроль установки деталей и механизмов в проектное положение.

Исходными документами для геодезических разбивок монтажных осей являются: рабочие и сборочные чертежи, на которых показаны схемы расположения оборудования; монтажные оси с привязкой их к исходным точкам и линиям; требования к точности изготовления и установки конструкций в плане и по высоте. Разбивку в натуре монтажных осей производят различными способами в зависимости от условий производства работ и наличия измерительных приборов. Чаще всего применяют способы створной и створно-линейной засечек.

Разбивку мест установки закладных частей металлоконструкций и механизмов (арматурных каркасов, затворов, подкрановых консолей, эстакад и т. д.) выполняют от закрепленных монтажных и разбивочных осей, рабочих реперов и фиксированных на конструкциях отметок.

Установку металлоконструкций, требующую высокой точности,

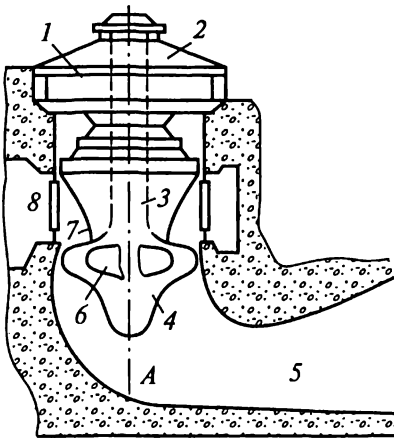


Рис. 26.6. Конструктивная схема гидроагрегата:

1 — ротор; 2 — гидрогенератор; 3 — вал; 4 — рабочее колесо; 5 — отсасывающая труба; 6 — лопасть; 7 — гидротурбина; 8 — подводящая камера

выполняют, как правило, в две стадии — предварительную и окончательную. Предварительную установку производят приблизительно, совмещая заводские риски на конструкциях с осями. Затем с требуемой высокой точностью производят исполнительную съемку. По результатам съемки определяют величины отклонений от проектного положения и на их основе производят окончательную установку металлоконструкций. Для определения вертикальности металлоконструкций используют тяжелые отвесы, зенит-приборы и боковое нивелирование. Точность установки металлоконструкций характеризуется средней квадратической погрешностью 1...2 мм.



Наиболее ответственными являются геодезические работы при монтаже гидроагрегатов. Гидроагрегат (рис. 26.6) состоит из гидротурбины 7 и соединенного с ней гидрогенератора 2. Гидроагрегат помещают в шахту, куда из подводящей камеры 8 поступает вода. Двигатель к отсасывающей трубе 5 приводит во вращение лопасти 6 и рабочее колесо 4 турбины. Это вращение с помощью вала 3 передается ротору 1 гидрогенератора, где в обмотках неподвижного статора вырабатывается электроэнергия. Гидроагрегаты поставляют на объект в виде отдельных узлов, которые здесь собирают и испытывают.

Непосредственно после бетонирования фундамента выносят и закрепляют точку *A*, расположенную на вертикальной оси гидроагрегата. Одновременно выносят продольную и поперечную оси агрегата. Поперечная ось совпадает в плане с осью отсасывающей трубы. Точка *A* и оси агрегата являются исходными для всех последующих монтажных работ. Так, например, контроль монтажа шахты осуществляют от точки *A*, подвешивая над ней тяжелый отвес или устанавливая оптический центрир. Относительно вертикали точки *A* измеряют радиальные расстояния до облицовки шахты, определяя тем самым ее фактическую форму.

В шахте монтируют также различные опорные детали — фундаментное кольцо, статоры турбины и генератора. Фундаментное кольцо является основной деталью, определяющей положение гидроагрегата по высоте и основным осям. Осевые метки кольца должны быть совмещены с осями агрегата. Несовпадение допускается до 2 мм. Верхние поверхности кольца и статора должны быть вынесены в натуру по высоте с погрешностью, не превышающей 5 мм, а негоризонтальность их не должна превышать 0,8 мм. Горизонтальность проверяется с помощью высокоточного нивелира, устанавливаемого в центре шахты на специальном штативе (труба или металлическая пирамида), и специальной рейки высотой 10... 15 см с делениями через 5 мм. Рейку равномерно переставляют по кольцу примерно через 1 м. При этом визирование производят на одно и то же деление рейки, а отсчеты берут только по шкале барабана микрометра нивелира.

Высокие требования предъявляют к вертикальности вала турбины и генератора. Отклонение оси вала от вертикали допускается не более 0,02 мм на 1 м длины. Проверку этого условия осуществляют с помощью нитяных отвесов, опускаемых вдоль вала в двух взаимно-перпендикулярных плоскостях. Расстояния от отвесов до вала измеряют с помощью специального стержневого приспособления. Измерения производят в двух местах — вблизи подвески и у нижнего конца вала. По разности измеренных расстояний определяют наклон вала, сравнивают его с допустимым и в случае необходимости исправляют положение вала.

## 26.6. Геодезические работы при гидромелиоративном строительстве

*Мелиорацией* земель называют комплекс мероприятий по улучшению природных условий эксплуатируемых земель и методов их использования. Различают мероприятия гидромелиоративные и агромелиоративные. *Гидромелиорация* связана с орошением или осушением земель, *агромелиорация* — с усилением водопроницаемости и влагоемкости почвенного слоя, ускорением поверхностного стока. Наибольшие по объему и сложности геодезические работы выполняют при проектировании и строительстве оросительных и осушительных систем.

*Оросительная система* представляет собой комплекс гидротехнических сооружений, забирающих воду из источника орошения и распределяющих ее по орошаемой площади. Водозабор из источника может быть самотечным или напорным (с помощью насосов). По конструкции оросительная система может быть открытой, закрытой и комбинированной.

Открытая оросительная система (рис. 26.7) состоит из источника орошения (река, водохранилище и т.п.) с водозаборным сооружением 1, подающим воду в магистральный канал 2. Магистральный канал располагают на высоких отметках территории. Из магистрального канала вода направляется самотеком в распределительные каналы 3, разделяющие орошаемую площадь на отдельные поливные участки. От распределителей вода поступает в поливные борозды 4. Остатки воды из оросительной сети и от дождевых осадков отводятся водосборными каналами 5 в ближайшие участки реки.

В закрытой оросительной системе вода для полива подается от водозабора под напором по уложенным в земле трубам. Распределительная сеть состоит из трубопроводов с водовыпусками в каждую поливную борозду или гидрантами для забора воды дождевальными машинами. Трубопроводы сооружают с уклоном (не менее 0,001) для выпуска воды на зимний период.

*Осушительная система* — это система гидротехнических сооружений, позволяющих существенно улучшить состояние заболоченных и переувлажненных земель и сделать их пригодными для хозяйственного освоения. По конструкции осушительные системы бывают закрытыми и открытыми.

Закрытая осушительная система состоит из дренажеров, по которым избыточная вода поступает в коллекторы. Из коллекторов она сбрасывается в магистральный канал, который направляет ее в реку или иной водоприемник. Трассу магистрального канала располагают по самым низким точкам осушаемой территории. Для защиты осушаемой территории от внешних вод устраивают дамбы и ловчие каналы. Дрены-осушители изготавливают преимущественно из керамических труб различного диаметра.

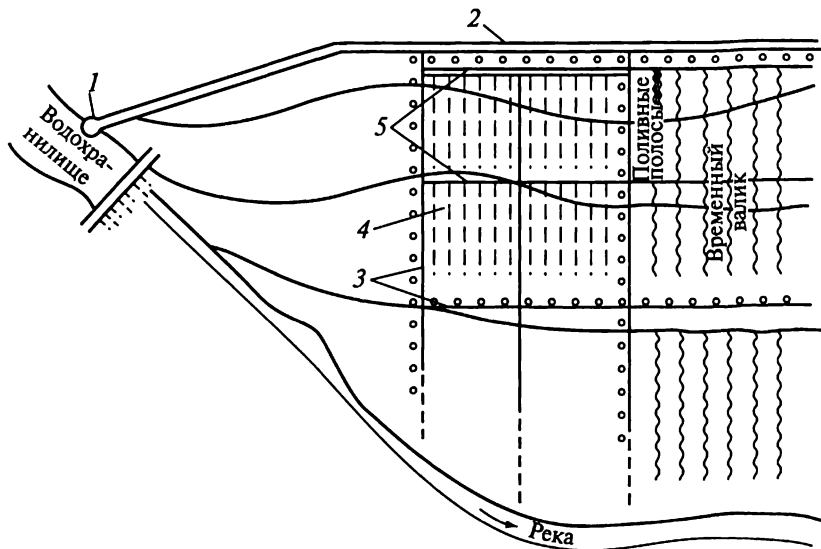


Рис. 26.7. Открытая оросительная система:

1 — водозаборное сооружение; 2 — магистральный канал; 3 — распределительные каналы; 4 — поливные борозды; 5 — водосборные каналы

В открытой осушительной системе вместо дрен используют канавы-осушители, из которых вода поступает в канавы-сборители (коллекторы), а из них — в магистральный канал. Открытое осушение на посевных площадях мешает механизации сельскохозяйственных работ, поэтому этот метод применяют главным образом на луговых и лесных участках.

Геодезические работы выполняют на всех этапах проектирования и строительства гидромелиоративных систем.

При изысканиях производят сбор и анализ картографических и других материалов на район работ; создают плано-высотное обоснование для съемки мелиорируемого участка; производят крупномасштабную съемку; выполняют трассирование каналов, коллекторов, водоприемников, напорных трубопроводов и других линейных сооружений; обеспечивают в геодезическом отношении другие виды инженерных изысканий.

Строительству гидромелиоративных систем предшествуют основные разбивочные и планировочные работы. Непосредственно в процессе строительства выполняют детальные разбивки и геодезические измерения, обеспечивающие положение, форму и размеры запроектированных сооружений.

В зависимости от размера мелиорируемой территории геодезической основой для изысканий и вынесения проекта в натуру слу-

жат триангуляционные, линейно-угловые и полигонометрические сети IV класса и сети сгущения 1-го и 2-го разрядов. В качестве высотной основы служат ходы нивелирования III класса, прокладываемые вдоль магистральных каналов, сгущаемые нивелирными полигонами IV класса.

Разбивочные работы начинают с перенесения в натуру основных осей сооружений.

При строительстве оросительных систем выносят и закрепляют на местности оси магистральных каналов или трубопроводов. Используя эти оси, выполняют разбивку распределительных каналов или трубопроводов и поливных борозд. Разбивку осушительной системы начинают с выноса в натуру осей коллекторов, а от них уже выносят оси отдельных дрен.

Детальную разбивку трасс сооружений для разработки траншей производят через 20 м. Закрепленные пикеты трасс нивелируют с точностью нивелирования IV класса.

При планировочных работах вначале перемещают основные объемы грунта, т. е. проводят предварительную планировку. После получения поверхности, отметки которой отличаются от проектных на 10... 15 см, выполняют окончательную планировку. На этапе предварительной планировки в случае применения лазерной системы контроля планировочных работ разбивают сетку квадратов 700×700 м. Перед окончательной планировкой на горизонтальных участках выносят проектные отметки, а на наклонных — строят плоскости с заданным уклоном. Качество планировки проверяют нивелированием по квадратам со сторонами 20 м. Отклонение фактических отметок спланированной поверхности от проектных допускают до 5 см.

В процессе гидромелиоративного строительства выполняют большой объем земляных и трубоукладочных работ, широко используя современные планировочные землеройные и трубоукладочные машины. Для производительной работы этих машин в настоящее время применяют автоматизированные лазерные системы, позволяющие вести рабочий орган по заданным направлению и уклону.

## Глава 27

### ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ТОННЕЛЕЙ

#### 27.1. Общие сведения о тоннелях и способах их сооружения

По назначению подземные сооружения подразделяют на тоннели на путях сообщения (железнодорожные, метрополитены, пешеходные), гидротехнические (в комплексах гидроузлов, водоснаб-

жения, мелиорации), промышленные, горнопромышленные, коммунальные (водотоки, коллекторы и др.) и специальные тоннели.

Строят тоннели в зависимости от глубины заложения открытым способом или закрытым без нарушения сооружений на земной поверхности. Открытым способом сооружают обычно тоннели мелкого заложения. В незастроенной местности их строят в котлованах с откосами, а на застроенной — в котлованах со свайным или шпунтовым ограждением. В последнем случае сваи или шпунты забивают по контуру котлована. По мере его отрытия между сваями устанавливают деревянные или металлические распорки. На проектной глубине котлована укладывают подготовку из бетона, слой гидроизоляции и возводят защитные стенки также со слоем гидроизоляции. Затем бетонируют лоток и стены. После возведения стен до проектной отметки на них кладут перекрытие, а затем на него насыпают грунт до проектной отметки вертикальной планировки территории. Перегонные тоннели метрополитена строят, как правило, целыми блоками, изготовленными в заводских условиях.

Тоннели глубокого заложения сооружают либо через *порталы*, которыми называют защитные стенки, оформляющие вход в тоннель, либо через вертикальные стволы шахт и специальные камеры. Через порталы строят чаще всего горные тоннели, а также тоннели, входящие в депо.

В горных условиях полотно железной дороги доводят до горного массива, затем производят выемку грунта и возводят защитную стенку, предназначенную для предохранения входа в тоннель от обвалов, снежных лавин и ливневых вод. Иногда перед порталом строят *рампу* — длинную, постепенно увеличивающуюся выемку, стенки которой укрепляют бетоном или камнем.

Тоннели метрополитена глубокого заложения сооружают обычно посредством вертикальных стволов шахт, которые для удобства при дальнейшей эксплуатации располагают на расстоянии 20... 50 м от трассы тоннеля. После проходки до проектной глубины и закрепления ствола 1 (рис. 27.1) под землей сооружают приствольные выработки 2 и штольни 3 для выхода от ствола на трассу тоннеля 4. После выхода подходных штолен на трассу при сооружении тоннеля щитовым методом строят камеры для сборки щита. По внешнему контуру поперечного сечения тоннеля после выемки грунта сооружают постоянное крепление, называемое *обделкой*. Она бывает металлическая или железобетонная и состоит из отдельных колец шириной 0,75... 1,0 м, каждое из которых собирается из отдельных блоков или тубингов. Такую обделку применяют преимущественно в мягких грунтах для гидротехнических тоннелей и тоннелей метрополитена.

Тоннели метрополитена глубокого заложения сооружают преимущественно щитовым способом. *Проходческий щит* (рис. 27.2)

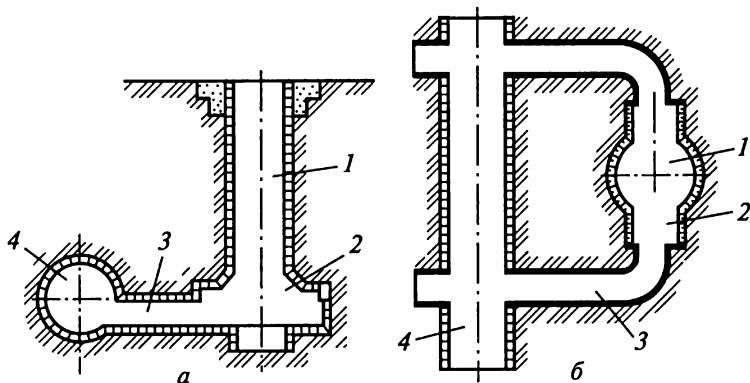


Рис. 27.1. Схема сооружения тоннеля через ствол:

*a* — разрез; *б* — план; 1 — ствол; 2 — приствольная выработка; 3 — штольня; 4 — тоннель

представляет собой жесткую передвижную стальную конструкцию цилиндрической формы и состоит из трех основных частей: ножа, служащего несущей конструкцией, опорного кольца и обочочки. Опорное кольцо укреплено вертикальными и горизонтальными перегорodkaми с выдвижными платформами. Щит оборудован 24 гидравлическими домкратами, предназначенными для его передвижения по трассе. Щит монтируют в щитовой камере. В оболочке собирают тьюбинговые кольца, необходимые для крепления тоннеля и упора щитовых домкратов при выдвижении щита из камеры. Грунт выбирают на полное поперечное сечение с глубиной заходки около 1 м, включают гидравлические домкраты, которые упираются в собранное в оболочке кольцо и передвигают щит вперед. После его передвижения и выключения домкратов их упоры втягиваются в опорное кольцо, а в освобожденном пространстве собирают с помощью блокоукладчика очередное тьюбинговое кольцо.

При сооружении тоннелей щитовым методом в мягких грунтах разработку породы перед щитом не производят, а вдавливают щит в грунт забоя домкратами. В настоящее время на строительстве метрополитенов применяют механизированные щиты, обеспечивающие разработку породы в забое, ее уборку и погрузку в вагон механизированным способом.

В особо сложных гидрогеологических условиях (плывуны, водонасыщенные неустойчивые породы) применяют проходку под сжатым воздухом (кессонные работы). В этом случае в тоннеле устраивают шлюзовую камеру для пропуска грузов, прохода людей, а также для передачи координат и дирекционных углов из зоны нормального давления в рабочую зону высокого давления, где работы ведут непрерывно.

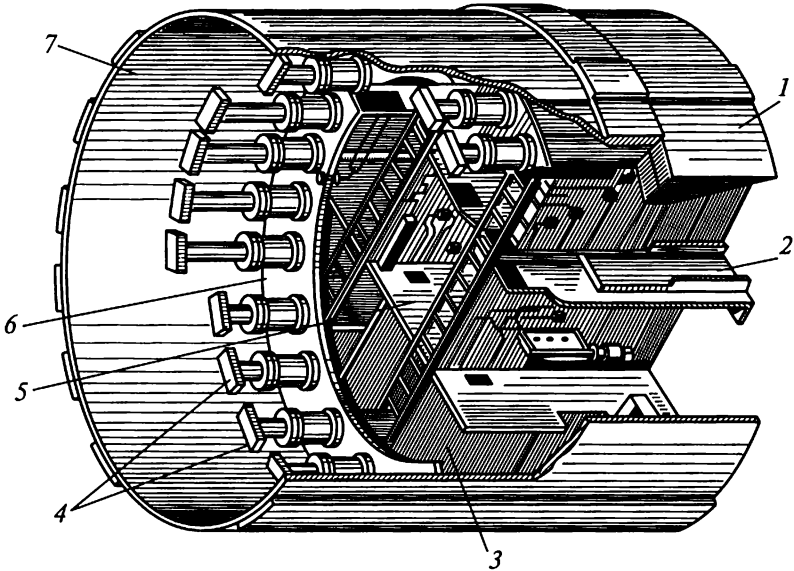


Рис. 27.2. Схема проходческого щита:

1 — нож; 2 — выдвижная платформа; 3, 5 — вертикальная и горизонтальная переродки; 4 — домкрат; 6 — опорное кольцо; 7 — оболочка

При сооружении тоннелей на путях сообщений установлено три вида габаритов: подвижного состава, приближения строения и приближения оборудования. *Габарит подвижного состава 1* (рис. 27.3) определяется контуром, внутри которого помещается подвижной состав со всеми выступающими частями с учетом его раскочки и наклона при поломке рессоры. *Габарит приближения оборудования 2* определяется контуром, соединяющим наиболее выступающие точки различного оборудования (кабелей, светофоров, релейных шкафов, осветительных фонарей и др.), устанавливаемого в тоннелях. *Габарит приближения строения 3* определяется контуром, соединяющим выступающие внутрь точки обделки тоннеля. Пространство 4 между габаритом подвижного состава и габаритом приближения оборудования называют *габаритным запасом*. Его устанавливают проектировщики. Как правило, он равен 100 мм. Габаритный запас служит исходной величиной при расчете требуемой точности геодезических работ.

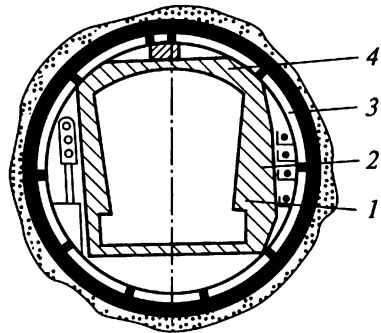


Рис. 27.3. Габариты тоннеля: 1 — подвижного состава; 2 — приближения оборудования; 3 — приближения строения; 4 — габаритный запас

Форма поперечных сечений зависит от размера строящегося тоннеля, его назначения, способа сооружения, интенсивности и направления давления грунта. Тоннели метрополитена глубокого заложения обычно строят однопутными с круглым сечением. При мелком заложении они имеют прямоугольное сечение и строятся как однопутными, так и двухпутными.

## 27.2. Основные элементы трассы тоннеля

Запроектированная трасса тоннеля в плане состоит из прямых участков и круговых кривых, а в профиле — из горизонтальных и наклонных прямых отрезков, сопряженных вертикальными круговыми кривыми. Ось трассы тоннеля, состоящую из прямых участков и круговых кривых, называют *разбивочной*. Для более плавного движения поездов при переходе с прямых участков на круговые кривые заданного радиуса вписывают переходные кривые. В результате их вписывания круговая кривая смещается к центру кривизны на величину  $p$  и радиус смещенной круговой кривой будет равен  $R - p$ . Величина смещения  $p$  может быть определена по формулам

$$p = \frac{l^3}{24c} \quad \text{или} \quad p = \frac{l^2}{24R}, \quad (27.1)$$

где  $l$  — длина переходной кривой;  $c$  — параметр переходной кривой;  $R$  — радиус круговой кривой.

Ось трассы, включающей в себя прямые отрезки, переходные и смещенные кривые, принято называть *осью пути*. Для уравнивания центробежной силы, возникающей при движении вагона по участку круговой кривой, внешний рельс укладывают выше внутреннего на величину  $h$ . Вследствие этого вагон наклоняется и его центр смещается к центру кривой. Горизонтальное положение этого смещения определяется формулой

$$q = h \frac{d}{a}, \quad (27.2)$$

где  $d$  — высота центра тяжести вагона над головками рельсов;  $a$  — расстояние между осями рельсов. На величину  $q$  ось тоннеля смещается относительно оси пути.

Возвышение наружного рельса можно вычислить по следующей формуле:

$$h = 12,5 \frac{v^2}{R},$$

где  $v$  — скорость движения состава на криволинейном участке, км/ч;  $R$  — радиус криволинейного участка, м.



Таким образом, на криволинейных участках в проектных чертежах дают сведения по трем осям трассы тоннеля: разбивочной оси с радиусом  $R$ , оси пути с радиусом  $R - p$ , оси тоннеля с радиусом  $R - (p + q)$ .

Тоннели метрополитена строят преимущественно однопутными. Для движения поездов в прямом и обратном направлениях сооружают два параллельных тоннеля с расстоянием между осями 25,4 м. Если двигаться по оси трассы между тоннелями в направлении возрастания пикетажа, то тоннель, расположенный справа, называют *правым*, а слева — *левым*.

Для большего удобства пользования при проектировании, расчетах и выносе трассы в натуру одноименные пикеты правого и левого тоннелей располагают на перпендикулярах к оси трассы. Длины и радиусы круговых кривых на правом и левом путях проектируют одинаковыми, поэтому на внутреннем (правом) пути между радиусами  $O_n N$  и  $O_n M$  (рис. 27.4) укладывается меньшее число пикетов, чем на внешнем (левом) пути. Вследствие этого на прямом участке, расположенном за кривой, одноименные пикеты правого и левого пути не находятся на одном перпендикуляре к его оси, что вызывает большие неудобства при строительстве и эксплуатации. Для их устранения прибегают к введению неправильных пикетов, длины которых больше или меньше 100 м. Так как длины круговых кривых в левом и правом тоннелях одинаковы, то отклонение длины неправильного пикета от 100 м определяется величиной  $a = a_1 + a_2$ , где  $a_1 = a_2$ .

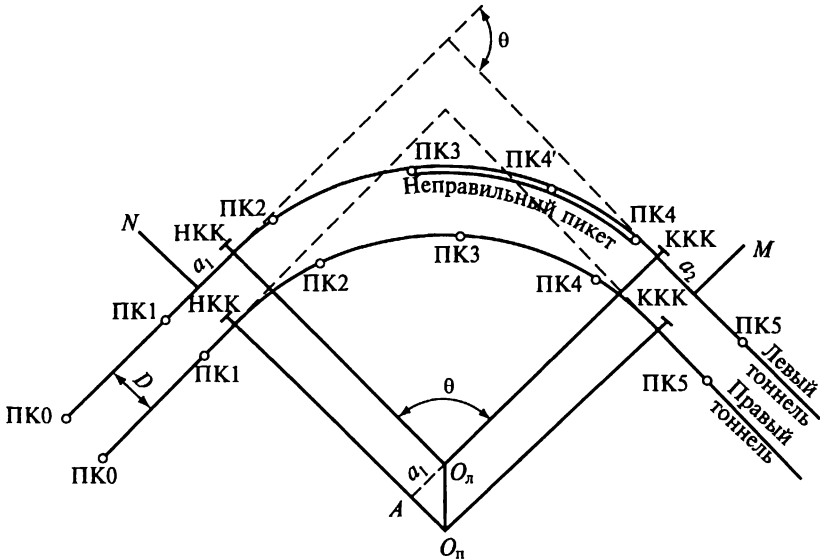


Рис. 27.4. Схемы расположения пунктов на кривых двухпутного тоннеля: НKK — начало круговой кривой; КKK — конец круговой кривой

При расстоянии между осями тоннелей  $D$  и углом поворота трассы  $\theta$   $a_1 = D \operatorname{tg} (\theta/2)$  или  $a = a_1 + a_2 = 2D \operatorname{tg} (\theta/2)$ . Величину  $a$  вводят либо в последний пикет левого тоннеля, либо поровну, но с разными знаками в последние пикеты левого и правого путей. Значение  $a$  должно быть введено со знаком «плюс».

Проектный чертеж с данными, определяющими положение запроектированной трассы в плане, называют *геометрической схемой трассы* и составляют в масштабе 1 : 1000. Профиль запроектированной трассы состоит из прямых, имеющих уклоны, и вертикальных кривых. Уклоны могут быть положительными (при подъеме) и отрицательными (при спуске). Для более плавного перехода от одного уклона к другому вписывают вертикальные круговые кривые. Радиус вертикальных кривых обычно большой, а угол перелома профиля незначителен, поэтому для сопряжения круговых кривых с прямыми нет необходимости вписывать переходные кривые.

Для определения места расположения вертикальной кривой на проектных чертежах дается пикетажное значение точек: НВК (начало вертикальной кривой), П (точка перелома профиля) и КВК (конец вертикальной кривой).

### 27.3. Аналитический расчет трассы тоннеля

Для вынесения проекта тоннеля в натуру необходимо знать координаты всех пикетов трассы и точек кривых.

На прямых участках приращение координат между пикетами вычисляют по известным формулам

$$\Delta x_i = d \cos \alpha_i; \Delta y_i = d \sin \alpha_i,$$

где  $d$  — проектное расстояние между пикетами, обычно равно 100 000 мм;  $\alpha_i$  — дирекционный угол прямых участков, определяемый через углы поворота трассы

$$\alpha_{i+1} = \alpha_i + \theta_p = \alpha_i - \theta_n,$$

где  $\theta_p$  и  $\theta_n$  — соответственно углы поворота трассы вправо и влево.

Координаты пикетов, расположенных на круговой кривой, можно вычислить или через центральные углы и длины радиусов от координат центра кривой, или по стягивающим хордам и углам между ними.

Центральные углы определяют по следующим формулам:

$$\gamma_1 = \frac{k_1}{R} \rho; \gamma_{п.п} = \frac{k_{п.п}}{R} \rho; \gamma_{н.п} = \frac{k_{н.п}}{R} \rho; \gamma_2 = \frac{k_2}{R} \rho,$$

где  $\gamma_1$  — центральный угол (рис. 27.5) при точке  $O$  между радиусами, проведенными через точку НКК и первый пикет, лежащий

на кривой;  $\gamma_2$  — центральный угол между радиусами, проведенными через последний пикет, лежащий на кривой, и точку ККК;  $\gamma_{п.п}$  — центральный угол, соответствующий правильному пикету;  $\gamma_{н.п}$  — центральный угол, соответствующий неправильному пикету;  $k_1, k_2, k_{п.п}$  и  $k_{н.п}$  — длины дуг, соответствующие центральным углам  $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_{п.п}, \gamma_{н.п}$ .

Вычисленные значения центральных углов проверяют по следующей формуле:

$$\gamma_1 + n\gamma_{п.п} + \gamma_{н.п} + \gamma_2 = \theta,$$

где  $n$  — число нормальных пикетов;  $\theta$  — угол поворота трассы.

Аналогичному равенству должны удовлетворять длины круговых кривых, используемых для вычисления центральных углов, т. е.

$$k_1 + nk_{п.п} + k_{н.п} + k_2 = K,$$

где  $K$  — длина всей круговой кривой.

Координаты центра кривой от точек начала круговой кривой вычисляют по формулам:

$$x_0 = x_{НKK} + R \cos(\alpha_{T_1} + 90^\circ); \quad y_0 = y_{НKK} + R \sin(\alpha_{T_1} + 90^\circ),$$

где  $\alpha_{T_1}$  — дирекционный угол первого тангенса. Дирекционные углы направлений на пикеты кривой из центра  $O$  определяют от известного дирекционного угла линии  $O$ —НKK, равного  $(\alpha_{T_1} + 270^\circ)$ , путем прибавления соответствующего центрального угла  $\gamma$ . По этим дирекционным углам и принятому радиусу находят приращения координат относительно центра кривой:

$$\Delta x_i = R \cos(\alpha_{T_1} + 270^\circ + \gamma_i); \quad \Delta y_i = R \sin(\alpha_{T_1} + 270^\circ + \gamma_i).$$

Для вычисления координат по стягивающим хордам кривой необходимо знать дирекционные углы и длины этих хорд.

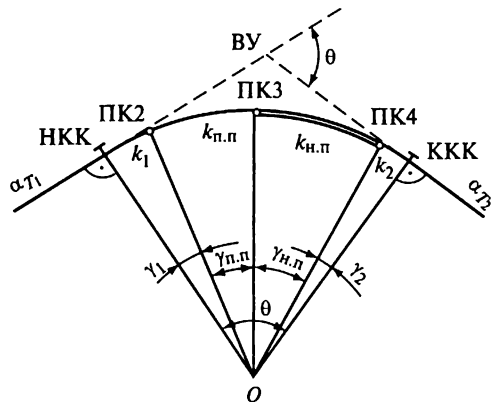


Рис. 27.5. Схема определения координат пикетов на кривой по радиусам и центральным углам

Дирекционные углы хорд определяют от исходных дирекционных углов линий тангенсов  $\alpha_{T_1}$  и  $\alpha_{T_2}$  по значениям углов поворота хорд, вычисляемых из равнобедренных треугольников, которые образованы радиусами и стягивающими хордами. Например, в приведенной схеме расчета (см. рис. 27.5) точкам соответствуют следующие углы поворота:

$$\text{НКК} - 180^\circ - \frac{\gamma_1}{2}; \quad \text{ПК2} - 180^\circ - \frac{\gamma_2}{2} - \frac{\gamma_{\text{н.п.}}}{2};$$

$$\text{ПК3} - 180^\circ - \frac{\gamma_{\text{н.п.}}}{2} - \frac{\gamma_{\text{н.п.}}}{2}; \quad \text{ПК4} - 180^\circ - \frac{\gamma_{\text{н.п.}}}{2} - \frac{\gamma_2}{2};$$

$$\text{ККК} - 180^\circ - \frac{\gamma_2}{2}.$$

Длины хорд  $b_i$  определяют из равнобедренных треугольников по значениям кривых  $k_i$  и центральных углов  $\gamma_i$  (рис. 27.6):

$$\frac{b_i}{2} = R \sin \frac{\gamma_i}{2}.$$

Следовательно,

$$b_i = 2R \sin \frac{\gamma_i}{2}.$$

Контроль вычислений длин хорд может быть проведен по формуле

$$b_i = k_i - R \sin \frac{k_i^3}{24R^2}.$$

Для дальнейших вычислений необходимо получить координаты точек начал переходных кривых (НПК). Исходными данными для этого расчета служат координаты начала и конца круговой кривой, а также дирекционные углы прямых участков трассы, примыкающих к круговой кривой (рис. 27.7).

Расстояние между началом переходной кривой и началом или концом круговой кривой определяют по следующей формуле:

$$t_1 = \frac{l}{2} + \frac{l^3}{60c^2}.$$

Для контроля вычисляют и значение  $t_2$ :

$$t_2 = \frac{l}{2} - \frac{l^3}{24c^2}.$$

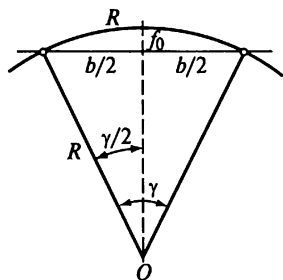


Рис. 27.6. Схема определения длин хорд на кривой

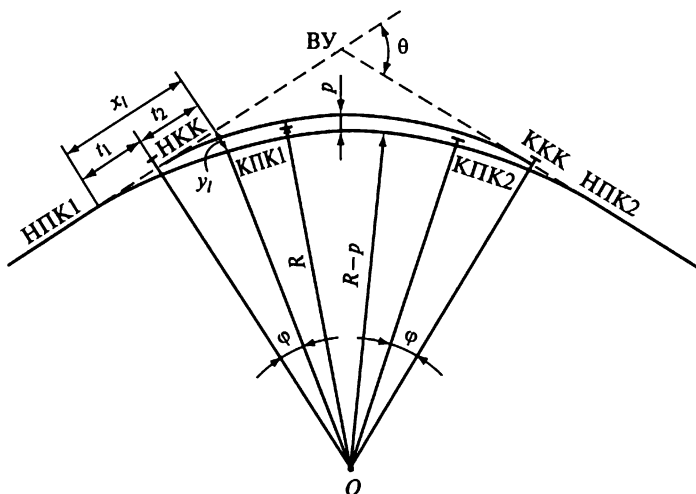


Рис. 27.7. Схема смещения оси пути за счет вставки переходных кривых

Величины  $l$  и  $c$  берут с проектного чертежа. Координаты концов переходных кривых вычисляют двумя способами: через центральный угол  $\varphi$  или через абсциссу  $x_l$  и ординату  $y_l$ .

Угол поворота  $\varphi$  переходной кривой вычисляют по формуле

$$\varphi = \frac{l^2}{2c} \rho.$$

Расстояние между центром  $O$  круговой кривой и концом переходной кривой является радиусом оси пути, т.е.  $R_{\text{пут}} = R - p$ , где смещение  $p$  вычисляется по формуле (27.1).

При вычислении координат концов переходных кривых через угол  $\varphi$  за исходные принимают координаты начала и конца круговой кривой, а также дирекционные углы радиусов, соединяющих эти точки с центром круговой кривой.

При вычислении координат конца переходной кривой по абсциссе  $x_l$  и ординате  $y_l$  за начало координат принимают точку начала переходной кривой, а за ось  $x$  — линию тангенсов.

Величины  $x_l$  и  $y_l$  вычисляют по следующим формулам:

$$x_l = l - \frac{l^5}{40c^2}; \quad y_l = \frac{l^3}{6c}.$$

Контролем вычисления значений  $x_l$  служит выражение  $t_1 + t_2 = x_l$ .

Координаты концов переходных кривых и пикетов вычисляют как на оси пути, так и на оси тоннеля, при этом величины радиусов соответственно должны быть равны  $R_{\text{пут}} = R - p$ ,  $R_T = R - (p + q)$ , где  $R_{\text{пут}}$  — радиус круговой кривой на оси пути;  $R_T$  — то же, но на оси

тоннеля;  $p$  и  $q$  — смещения осей, вычисленные по формулам (27.1) и (27.2).

Перенесение в природу оси тоннеля на круговых кривых выполняют по ломаному контуру, состоящему из прямых линий, находящихся под некоторым углом друг к другу. В качестве прямых линий выбирают или хорды, или секущие. Чем больше длины хорд или секущих, тем меньшее их число уложится на разбиваемой в природу кривой. Однако при этом увеличивается стрелка прогиба  $f_0$ , которая для хорды вычисляется по формуле

$$f_0 = \frac{k_b^2}{8R}, \quad (27.3)$$

где  $k_b$  — длина круговой кривой, стягиваемая хордой  $b$ .

В то же время уменьшение числа хорд или секущих приводит к сокращению объема разбивочных работ.

На практике для уменьшения объема разбивочных работ круговые кривые целесообразно переносить в природу на оси тоннеля и на оси пути по секущим. Поэтому рассмотрим метод определения координат концов хорд на оси тоннеля.

Из формулы (27.3) можно определить длину кривой, стягиваемой хордой, при которой стрелка прогиба не превышает величины  $k_b = \sqrt{8Rf_{\max}}$ . Для вычисления приближенной длины хорды  $b'$  можно принять ее длину равной длине опирающейся на нее кривой, тогда

$$b' = \sqrt{8Rf_{\max}}.$$

При выносе в природу круговой кривой по хордам необходимо вычислить координаты концов хорд. Это можно сделать двумя путями: равными хордами, так чтобы в пределах разбиваемой кривой они имели одинаковую длину с точностью до 1 мм, или хордами, длины которых выражены целым числом метров с последней хордой (остатком), имеющей длину, вычисленную до 1 мм.

При условии равенства длин хорд в пределах круговой кривой на оси тоннеля (между концами переходных кривых) определяют приближенную их длину. Затем, пользуясь приближенной длиной хорды, подсчитывают их приближенное число  $n' = K_T/b'$ . Длину кривой на оси тоннеля определяют по следующей формуле:

$$K_T = \frac{\theta_T R_T}{\rho},$$

где  $\theta_T = \theta - 2\varphi$ ;  $R_T = R - (p + q)$ .

Далее устанавливают целое число хорд. Чтобы максимальное значение стрелки прогиба не превышало принятой величины,

которая чаще всего характеризуется величиной габаритного запаса (для тоннелей на путях сообщения принимается равным 100 мм), полученное значение  $n'$  округляют до ближайшего целого числа.

Затем вычисляют длину кривой, соответствующую длине принятой хорды, по формуле  $k_b = K_r/n$ . Зная длину кривой  $k_b$ , вычисляют центральные углы  $\gamma_b$  и длину стягивающей хорды  $b$  по формулам:

$$\gamma_b = \frac{k_b}{K_r} \rho; \quad b = 2R_r \sin\left(\frac{\gamma_b}{2}\right).$$

Координаты концов хорд находят по замкнутому ходу, состоящему из хорд и радиусов  $R_r$ , которые соединяют центр кривой  $O$  и концы переходных кривых, расположенных на оси тоннеля (рис. 27.8). При этом угол поворота между радиусом и первой хордой, а также угол поворота между последней хордой и радиусом равны  $(90^\circ - \gamma_b/2)$ . Тогда углы поворота, обращенные к центру кривой, между последующими хордами равны  $180^\circ - \gamma_b$ .

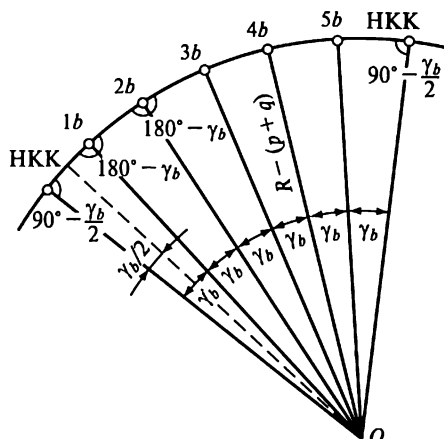


Рис. 27.8. Схема разбивки оси тоннеля на кривой по хордам

#### 27.4. Схема построения геодезического обоснования трассы тоннеля

Геодезическое обоснование для строительства подземных сооружений можно разделить на две части: геодезическое обоснование на поверхности и геодезическое обоснование в подземных выработках (подземная разбивочная основа).

Геодезическое обоснование на дневной поверхности создается в районе подземного строительства до начала горнопроходческих работ, подземная разбивочная основа — в течение всего периода горнопроходческих работ во всех подземных сооружениях по мере их возведения.

Геодезическое обоснование создается для обеспечения точного перенесения в натуру всех подземных и наземных сооружений, входящих в комплекс строительства, а также для обеспечения одновременного строительства тоннелей метро с нескольких площадок, предусмотренных в проекте организации работ. В последнем случае возводимые участки тоннелей при продвижении их глухими забоями навстречу друг другу после сбоек образуют в подземном про-

странстве единое запроектированное инженерное сооружение. Поэтому геодезическая основа является исходной для всех разбивочных работ. Она предназначена для обеспечения точного совпадения осей при сбойках тоннелей, сооружаемых встречными забоями.

Плановым геодезическим обоснованием на поверхности являются тоннельная триангуляция, линейно-угловая сеть или полигонометрия, заменяющая триангуляцию. Для сгущения основного геодезического обоснования вдоль запроектированной трассы тоннеля прокладывают ходы основной полигонометрии.

Для передачи координат от пунктов основной полигонометрии к стволам прокладывают сети подходной полигонометрии или триангуляции. Приведем общую схему планового геодезического обоснования на поверхности, создаваемую для сооружения тоннелей метрополитена (рис. 27.9).

Далее выполняют ориентирование подземных выработок, т. е. передают дирекционный угол и координаты в подземные выработки. Ориентирование выполняют на пункты подземной полигонометрии, закрепленной у ствола. В подходных штольнях до выхода на перегонный тоннель прокладывают подходную подземную полигонометрию. После выхода на трассу вслед за движущимся вперед забоем прокладывают ходы сначала рабочей полигонометрии со сторонами 25... 50 м, а затем основной подземной полигонометрии со сторонами 50... 100 м. При удалении забоя на 200 м и более от ствола для повышения точности передачи дирекционного угла от приствольной линии к забою прокладывают главные ходы подземной полигонометрии. Пункты главных полигонометрических ходов совмещают через две-три стороны с пунктами основной подземной полигонометрии.

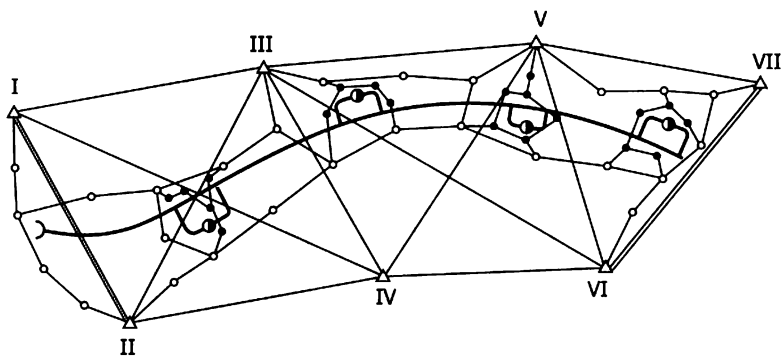


Рис. 27.9. Схема планового геодезического обоснования тоннеля:  
 $\Delta$  — тоннельная триангуляция;  $\circ$  — основная полигонометрия;  $\bullet$  — переходная полигонометрия;  $\ominus$  — ствол шахты;  $\sim$  — трасса тоннеля



Тоннельная триангуляция представляет собой вытянутую вдоль трассы цепочку треугольников или геодезических четырехугольников, связующие углы которых составляют не менее  $40^\circ$ . Для тоннелей, сооружаемых вне городской территории, триангуляционную сеть развивают на самостоятельных базисах и уравнивают как свободную. В качестве базисов используют непосредственно стороны, расположенные на концах сети, а при длинных тоннелях — и в середине. Для получения исходных координат один из пунктов привязывают к пунктам государственной триангуляции.

Сети тоннельной триангуляции, создаваемые для строительства метрополитенов, включают в себя удобно расположенные пункты городской триангуляции и опираются на них, если эти пункты по точности координат могут быть использованы в качестве исходных.

При создании тоннельной триангуляции обязательно предусматривают возможность передачи дирекционных углов через два смежных ствола от одной и той же стороны. Это позволяет исключить влияние погрешности исходного дирекционного угла на величину несбойки. Пункты стремятся располагать ближе к стволам шахт, но вне зоны возможной деформации, возникающей при проведении подземных выработок. Кроме того, все измерения в тоннельной триангуляции производят дважды с перерывом не менее одного месяца.

Развитие светодальномерной техники позволяет создавать тоннельные линейно-угловые сети. В этом случае при уравнивании и вычислении координат тоннельной триангуляции условно принимают положение осевого меридиана так, чтобы суммарная поправка за редуцирование расстояний и переход на поверхность относимости была меньше  $1 : 100\,000$ . Поэтому осевой меридиан не должен находиться далее чем на 40 км от сооружаемого тоннеля, а за поверхность относимости принимают поверхность со средней отметкой подземных выработок. Технические характеристики тоннельной триангуляции установлены инструкцией (см. табл. 13.2). При наличии промежуточных стволов или штолен необходимо определить эквивалентную длину тоннеля  $L_{\text{экв}} = \sqrt{Ll}$ , где  $L$  — общая длина тоннеля;  $l$  — среднее расстояние между смежными стволами или шахтами. Применение светодальномеров позволяет заменить метод триангуляции методом полигонометрии. Целесообразность этого подтверждается тем, что большинство транспортных и гидротехнических тоннелей имеют вытянутую форму. Приведем технические характеристики полигонометрии, прокладываемой взамен тоннельной триангуляции (табл. 27.1). Пункты тоннельной полигонометрии рекомендуется закладывать вне зоны деформации и не далее 1 км от трассы тоннеля. Линейные и угловые измерения выполняют дважды с перерывом не менее одного месяца, а уравнивание — строгим методом.

Разряд тоннельной полигоно- метрии	Длина тоннеля, км	Длина хода полигоно- метрии	Средняя квадратическая погреш- ность измерения угла поворота, "	
			по оценке станции	по многократным измерениям и по невязкам ходов
I	Более 8	3...10	0,4	0,7
II	5...8	2...7	0,7	1,0
III	2...5	1,5...5	1,0	1,5
IV	1...2	1...3	1,5	2,0

Главное назначение основной полигонометрии — передача координат от пунктов триангуляции к стволам шахт и в подземные выработки. Ее создают вдоль трассы тоннеля вытянутыми ходами или полигонами, опирающимися на пункты тоннельной триангуляции или полигонометрии. При длине тоннеля менее 1 км она может служить первичным плановым обоснованием. Длины ходов между пунктами триангуляции допускаются до 4 км, а между узловыми — 1 км. Длины сторон составляют 150...500 м. Их измеряют светодальномерами или инварными проволоками. Углы измеряют со средней квадратической погрешностью 3" теодолитом типа Т2 четырьмя приемами. Для ослабления влияния погрешностей центрирования и редукции в полуприеме производится повторное центрирование теодолита и визирных марок оптическим центриром с поворотом подставок на 180°. Допустимая угловая невязка определяется формулой

$$\text{доп } f_{\beta} = 6''\sqrt{n},$$

а относительная невязка хода не должна превышать 1:30 000. В открытой местности основная полигонометрия может быть заменена равнозначной по точности триангуляционной или линейно-угловой сетью.

На шахтных площадках для передачи координат в подземные выработки создают подходящую полигонометрию в виде замкнутых полигонов или ходов с узловыми точками, опирающихся на пункты основной или тоннельной полигонометрии. Длины ходов не допускаются более 300 м, а линии менее 30 м. Углы измеряют со средней квадратической погрешностью 4". Допустимая невязка в ходах или полигонах определяется по формуле

$$\text{доп } f_{\beta} = 8''\sqrt{n}.$$

Линии измеряют светодальномерами или стальными компарированными подвесными рулетками с относительной погрешнос-

Таблица 27.1

Относительная средняя погрешность измерения стороны		Допустимая относительная невязка хода		
		для криволинейного тоннеля	для прямолинейного тоннеля	
для криволинейного тоннеля	для прямолинейного тоннеля		по поперечному сдвигу	по продольному сдвигу
1:300000	1:150000	1:200000	1:200000	1:100000
1:200000	1:100000	1:150000	1:150000	1:70000
1:150000	1:70000	1:120000	1:120000	1:60000
1:100000	1:50000	1:70000	1:70000	1:40000

тью 1:20000. Относительная невязка в ходах или полигонах допускается не более 1:20000, для коротких ходов абсолютная невязка не должна превышать 10 мм.

Для обеспечения сбойки подземных выработок в высотном отношении порталы строящегося тоннеля на поверхности должны быть связаны нивелирными ходами. При длине тоннеля более 2 км, а в горных районах более 1 км согласно действующей инструкции по производству геодезических работ при строительстве тоннелей выполняют нивелирование II класса, а при длине тоннеля менее 2 км — нивелирование III класса.

Нивелирование, связывающее реперы, закрепленные в районе противоположных порталов, при сооружении горных тоннелей выполнять затруднительно. Поэтому нивелирование III класса принято проводить приборами и методами, установленными для нивелирования II класса. Но при этом допуски учитывают как для нивелирования III класса. Принимая во внимание особую ответственность этих работ, нивелирование выполняют двумя независимыми ходами или сетью замкнутых полигонов. Нивелирные ходы и сети привязывают к пунктам государственной высотной основы.

При сооружении метрополитенов высотное геодезическое обоснование необходимо как для обеспечения сбойки подземных выработок, так и для наблюдений за осадками зданий и сооружений. Поэтому нивелирная сеть III класса строится в виде системы замкнутых полигонов, опирающихся на марки городского нивелирования II класса и покрывающих полосу вдоль трассы метрополитена, шириной не менее, чем тройная глубина строящегося тоннеля.

Длину ходов между узловыми точками не рекомендуется допускать более 1 км. На застроенных территориях пункты нивелирования III класса закрепляют стенными реперами, а на незастроенных — грунтовыми. В связи с происходящими во время строительства осадками заложенных реперов выполняют их повторное нивелирование.

## 27.5. Передача координат и ориентирование геодезического обоснования в подземных выработках

Ориентирование подземной геодезической сети, состоящее в передаче дирекционного угла и координат с дневной поверхности на горизонт подземных выработок, является одной из самых ответственных работ, выполняемых при строительстве тоннелей. В зависимости от характера соединения тоннеля с поверхностью применяют различные способы ориентирования.

При наличии выходов на дневную поверхность через порталы, штольни, наклонные ходы, ориентирование выполняют продолжением полигонометрического хода непосредственно с поверхности в подземные выработки.

При сооружении тоннеля через вертикальную шахту ориентирование сети осуществляют двумя группами способов, основанных на физических и геометрических принципах. К первой группе относят следующие способы: магнитный, поляризационный, автоколлимационный, гироскопический; ко второй группе — способы створа двух отвесов и его модификации, соединительного треугольника, двух шахт.

При выполнении магнитного ориентирования используют теодолит с буссолью. На поверхности, на стороне полигонометрии определяют склонение магнитной стрелки, а в шахте с учетом склонения определяют по буссоли дирекционный угол. Способ применяют для предварительного ориентирования, так как погрешность определения дирекционного угла составляет около  $1'$ .

В способе поляризации светового потока применяют специальное оборудование. На поверхности и в шахте устанавливают поляризаторы, на которых фиксировано направление поляризации световых волн. Вращая верхний поляризатор вокруг вертикальной оси, добиваются минимума освещенности в нижнем поляризаторе, что соответствует перпендикулярности их плоскостей поляризации. Определив от пунктов геодезической основы дирекционный угол направления плоскости поляризации на поверхности, находят и дирекционный угол направления плоскости поляризации в шахте. При визуальной регистрации погрешность определения дирекционного угла составляет  $1'$ , при электронной регистрации —  $5...8''$ .

В автоколлимационном способе направление в шахту передают при помощи двух автоколлимационных теодолитов, устанавливаемых на поверхности и в шахте, и зеркальных отражателей, которые размещают вдоль ствола. Погрешность ориентирования составляет  $6...8''$ .

Рассмотренные физические способы пока еще не нашли широкого применения из-за сложности изготовления аппаратуры.

Гироскопический способ является одним из самых прогрессивных способов автономного ориентирования. Этот метод позволяет в любое время, на различной глубине и при произвольном расстоянии от ствола определять азимут или дирекционный угол направления в подземных выработках. В этом случае также отпадает необходимость остановки работы в стволе или прекращения подземных строительных работ на время ориентирования, как это делается при других видах ориентирования.

Гироскопическое ориентирование выполняют при помощи гиротеодолитов или гиронасадок. Непосредственно перед ориентированием и сразу после него на линии с известным дирекционным углом (сторона триангуляции или линия основной полигонометрии), расположенной вблизи ствола, определяют постоянную поправку гиротеодолита  $\Delta$ .

Постоянную поправку гиротеодолита вычисляют по формуле

$$\Delta = \alpha_{\text{исх}} - \alpha_{\text{г.исх}} + \gamma_{\text{исх}} - \delta_{\text{исх}},$$

где  $\alpha_{\text{исх}}$  — дирекционный угол исходного направления, по которому определяется постоянная поправка;  $\alpha_{\text{г.исх}}$  — азимут исходного направления, определенный гиротеодолитом;  $\gamma_{\text{исх}}$  — сближение меридианов для исходного направления;  $\delta_{\text{исх}}$  — поправка за уклонение отвесных линий в исходное направление.

Длина стороны, используемой в качестве исходной для определения постоянной поправки гиротеодолита, должна быть не меньше 100 м, а длина определяемой стороны — более 30 м. В подземных выработках определяют прямой и обратный дирекционные углы, переставляя гиротеодолит с одной конечной точки линии полигонометрии на другую.

При выполнении специальной программы гироскопического ориентирования высокоточным гиротеодолитом можно определить дирекционный угол направления со средней квадратической погрешностью 5... 10".

Все геометрические способы основаны на применении отвесов, которые опускают с поверхности в подземные выработки через стволы, скважины большого диаметра и другие вертикальные проходки. Массу груза и диаметры проволоки отвесов устанавливают в зависимости от глубины шахты. Для уменьшения колебаний отвесы помещают в сосуды с водой или маслом. Вместо отвесов иногда применяют высокоточные лазерные или оптические приборы вертикального проектирования.

Для передачи плановых координат с поверхности в подземные выработки используют один отвес. От ближайших пунктов полигонометрии определяют координаты отвеса на поверхности и эти же значения координат приписывают нижней точке отвеса. Необходимо отметить, что даже в случае применения физических способов

ориентирования передачу координат можно выполнить лишь при помощи отвеса или иного вида вертикального проектирования.

В способах передачи дирекционного угла используют два отвеса, отстоящие друг от друга на возможно большее расстояние, которое допустимо при вертикальной проходке.

Наиболее просто дирекционный угол передают способом створа двух отвесов. В этом способе на поверхности от пунктов полигонометрии выносят и закрепляют ось I—II (рис. 27.10). Над пунктами, закрепляющими эту ось, устанавливают теодолит и визирную цель. Теодолит ориентируют по створу I—II. В этом створе строго по теодолиту подвешивают отвесы  $O_1$  и  $O_2$ . В подземных выработках теодолит устанавливают в точке *A* на специальном столике, который можно перемещать с помощью микрометричного устройства. Перемещая теодолит перпендикулярно створу отвесов, устанавливают его визирную ось в этом створе. Измерения производят при двух кругах многократно. Дирекционный угол передают на пункты подземной полигонометрии, например *AB*, поворотом теодолита точно на  $180^\circ$ . Точность способа характеризуется средней квадратической погрешностью порядка  $30''$ . Основным источником погрешностей является качание отвесов. Для повышения точности на расстоянии 1...2 см от отвесов закрепля-

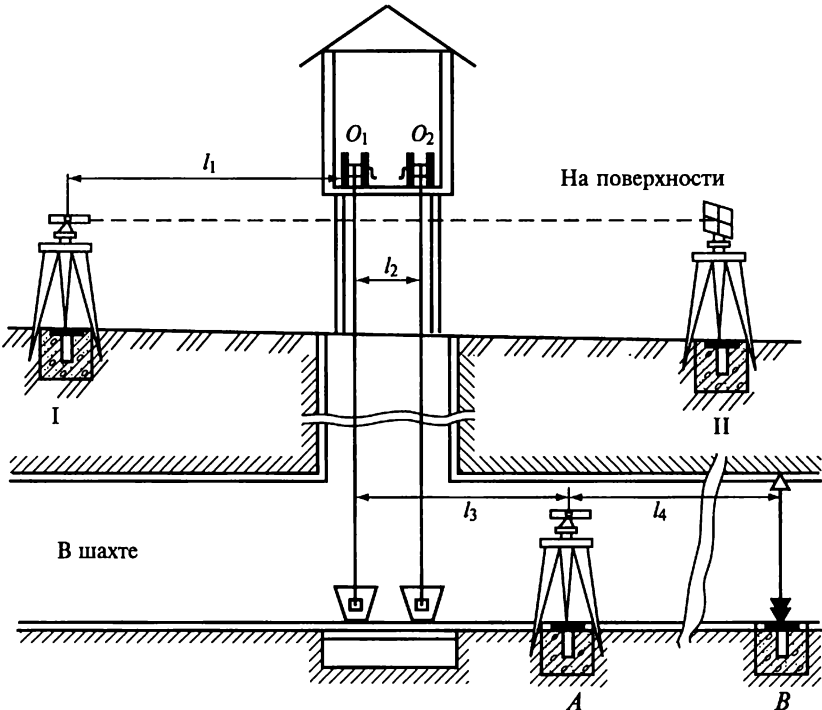


Рис. 27.10. Схема ориентирования способом двух отвесов

ют шкалы с миллиметровыми делениями. По шкалам берут отсчеты, соответствующие крайним положениям качающихся отвесов. Среднее значение принимают за положение отвеса в спокойном состоянии. Затем теодолит перемещают так, чтобы его визирная ось проходила через полученные средние значения отсчетов по шкалам. Таким образом добиваются существенного повышения точности до 6...8". На один из отвесов передают координаты, для чего измеряют на поверхности расстояние  $l_1$ . Для определения координат точки  $B$  измеряют расстояния  $l_2, l_3$  и  $l_4$ .

Наибольшее распространение получил способ соединительного треугольника. В этом способе в ствол также опускают два отвеса  $O_1$  и  $O_2$  (рис. 27.11). В точке  $A$ , закрепленной на поверхности около ствола, измеряют угол  $\alpha$  между направлениями на отвесы и примычный угол  $\omega$ . Кроме того, измеряют расстояние  $a$  между отвесами и расстояния  $b$  и  $c$  от теодолита до каждого из двух отвесов. Таким образом на поверхности получают треугольник  $ABC$ , в котором измерены три стороны и один угол. Этот горизонтальный треугольник называют *соединительным треугольником*. По результатам измерений могут быть вычислены значения двух остальных углов  $\beta$  и  $\gamma$  треугольника по следующим формулам:  $\sin \beta = \sin \alpha \cdot b/a$ ;  $\sin \gamma = \sin \alpha \cdot c/a$ . Зная дирекционный угол

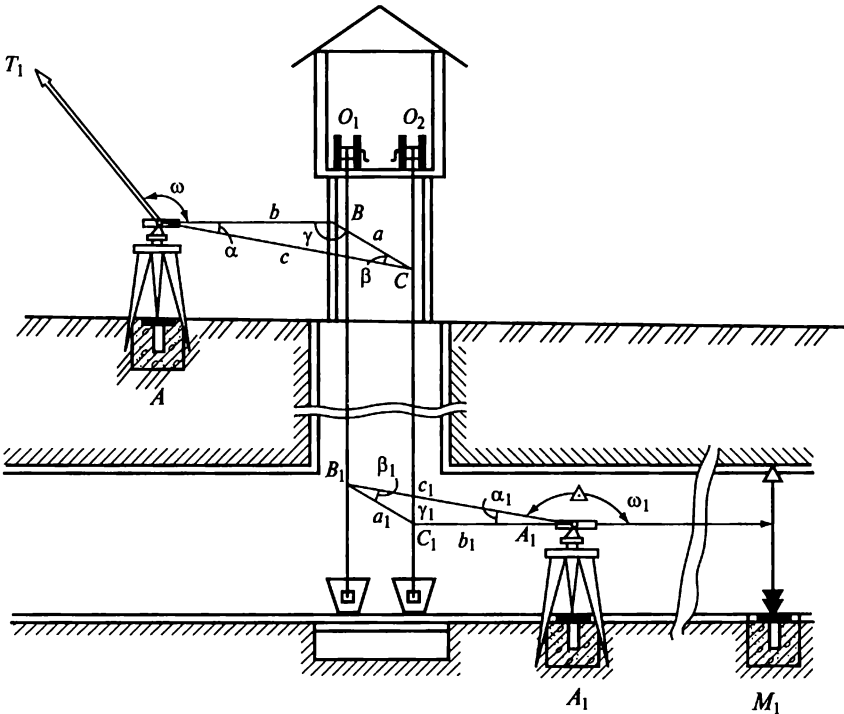


Рис. 27.11. Схема ориентирования способом соединительного треугольника

направления  $AT_1$  и значение примычного угла  $\omega$  и пользуясь углами соединительного треугольника, можно получить дирекционный угол линии  $BC$ , т.е. плоскости, проходящей через отвесы.

В подземных выработках около ствола закрепляют точку  $A_1$ . В этой точке измеряют углы  $\alpha_1$  и  $\omega_1$ , а также стороны  $a_1$ ,  $b_1$ ,  $c_1$  подземного соединительного треугольника. Принимая в подземных выработках дирекционный угол плоскости, проходящей через отвесы, за исходный, при помощи измеренного  $\alpha_1$ , вычисленных  $\beta_i$  и  $\gamma_i$  углов подземного соединительного треугольника и примычного угла  $\omega_1$  вычисляют дирекционный угол приствольной линии  $A_1M_1$  подземной полигонометрии. Все измерения выполняют при трех положениях отвеса, смещая их с помощью специальных пластин ровно на 15 мм.

На поверхности точку  $A$  включают в ход подходной полигонометрии и получают ее координаты. Пользуясь сторонами соединительных треугольников на поверхности и под землей, а также дирекционными углами этих сторон, вычисляют координаты точки  $A_1$ , закрепленной в подземных выработках. При этих вычислениях координаты отвесов, определенные через стороны соединительного треугольника на поверхности, в подземных выработках принимают за исходные.

Точность ориентирования во многом зависит от формы соединительного треугольника. Углы  $\alpha$  и  $\alpha_1$  не должны превышать  $2 \dots 3^\circ$ , а отношения  $b/a$  и  $b_1/a_1$  не должны быть более 1,5. При соблюдении всех условий способ обеспечивает среднюю квадратическую погрешность передачи дирекционного угла порядка  $8''$ .

Когда по мере сооружения тоннеля возникает необходимость уточнения его ориентирования и появляется возможность передачи координат в подземные выработки, применяют способ двух шахт. Сущность способа состоит в сравнении координат одной и той же точки, полученных по подземному полигонометрическому ходу и переданных с поверхности через скважину. По разностям координат вычисляют продольную и поперечные невязки. Линейную величину поперечной невязки перевычисляют в угловую меру пропорционально общей длине подземного полигонометрического хода и вводят в виде поправки в примычный угол этого хода. Продольную невязку распределяют в виде поправок пропорционально длинам линий. По исправленным значениям дирекционных углов и длин линий вычисляют исправленные значения координат подземного полигонометрического хода.

## 27.6. Передача отметки в подземные выработки

Исходными для передачи отметки в подземные выработки являются реперы нивелирования III класса, закрепленные на поверхности и шахтной площадке.



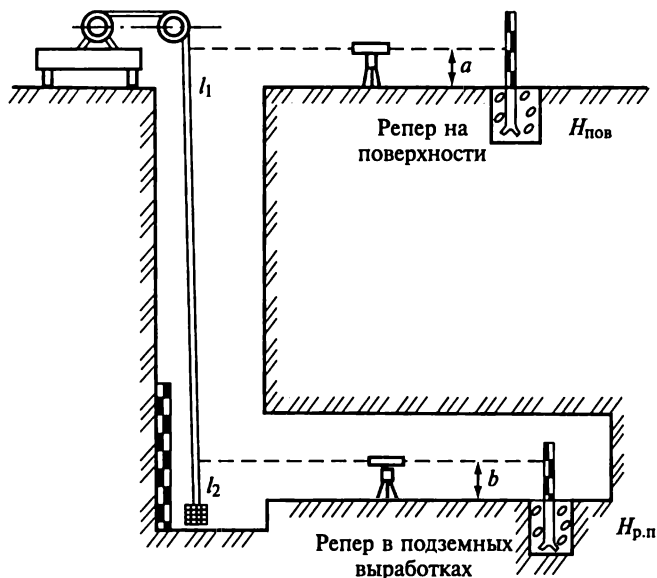


Рис. 27.12. Схема передачи отметки в подземные выработки

Для передачи отметки к копру крепят стальную прокомпарированную рулетку нулевым концом вниз. К рулетке подвешивают груз в 10 кг. При этом же натяжении производят и компарирование рулетки. Наверху и в подземных выработках устанавливают нивелиры (рис. 27.12).

На поверхности берут отсчеты по подвешенной рулетке и по рейке, установленной на репер с исходной высотой. В подземных выработках выполняют отсчеты по рулетке и по рейке, расположенной на репере, на который передается высота.

При глубине ствола, большей 150 м, передачу абсолютной отметки рекомендуется осуществлять с помощью стальной проволоки сечением 0,8... 1,5 мм. Проволоку с грузом опускают при помощи лебедки и блока. Передачу выполняют при таком же положении реек и нивелиров, что и при передаче с помощью рулетки. Отсчеты берут только по рейкам, а на проволоке горизонтальный луч нивелира фиксируется специальными запилами. Длину (превышение) между запилами по проволоке определяют компарированной рулеткой на горизонтальной плоскости при соответствующем натяжении.

В процессе передачи высоты сначала линии визирования обоих нивелиров наводят одновременно на рулетку и по команде отсчитывают по ней. Затем нивелиры наводят на рейки, установленные на реперах, и берут по ним отсчеты.

Высоту репера, закрепленного в подземных выработках, вычисляют по формуле

$$H_{p.п} = H_{пов} + a - \{(l_1 - l_2) + \Delta_t + \Delta_x + \Delta_l\} - b,$$

где  $H_{пов}$  — отметка исходного репера на поверхности;  $a$  — отсчет по рейке на поверхности;  $l_1$  — отсчет по рулетке на поверхности;  $l_2$  — отсчет по рулетке в подземных выработках;  $\Delta_t$  — поправки в длину рулетки за температуру;  $\Delta_x$  — поправка в длину рулетки за компарирование;  $\Delta_l$  — поправка за удлинение рулетки;  $b$  — отсчет по рейке в подземных выработках.

Поправку за температуру рулетки вычисляют по формуле

$$\Delta_t = \alpha(l_1 - l_2)(t_{cp} - t_0),$$

где  $t_0$  — температура, для которой дано уравнение рулетки; величину коэффициента расширения  $\alpha$  для стальной рулетки принимают равной 0,0000125.

Для получения  $t_{cp}$  при передаче высоты измеряют температуру на поверхности, в подземных выработках и в стволе через каждые 5 м высоты. Из результатов измерений температуры в указанных точках берут среднее значение.

При передаче отметки на большую глубину следует учитывать поправку за удлинение рулетки под действием собственной массы, вычисляемую по формуле

$$\Delta_l = \frac{P}{2} \frac{l}{EF},$$

где  $P$  — собственная масса рулетки;  $l$  — длина рулетки;  $E$  — модуль упругости;  $F$  — поперечное сечение.

Для стальных рулеток шириной 10 мм и толщиной 0,2 мм  $F = 0,02 \text{ см}^2$ ;  $E = 2 \cdot 10^6 \text{ кг/см}^2$ .

При длине рулетки 100 м и удельном весе  $\gamma = 8 \cdot 10^{-8} \text{ Н/м}^3$  масса  $P = 0,02 \cdot 100,8 = 1,6 \text{ кг}$  и поправка  $\Delta_l = 0,2 \text{ см} = 2 \text{ мм}$ .

Для рулетки длиной 50 м поправка  $\Delta_l = 0,5 \text{ мм}$ .

Расхождения значений высот подземных реперов, полученных при разных горизонтах нивелиров или различных положениях рулетки, не должны превышать 4 мм, а расхождения в высотах, полученных при одновременных передачах, — 7 мм при отсутствии деформаций подземных реперов за период между передачами.

От ствола в подземные выработки высоты передают по мере продвижения забоя нивелирным ходом в прямом и обратном направлениях. В качестве рабочих реперов используют закрепленные в выработках полигонометрические знаки.

## 27.7. Геодезическое обоснование в подземных выработках

Оси и контуры тоннеля и подземных сооружений в процессе строительства разбивают от пунктов подземного полигонометрического хода, прокладываемого в выработках вслед за забоем. Для выхода от ствола на трассы в подходных выработках, представляющих в большинстве случаев штольни шириной в основании около 3 м и высотой около 2 м, прокладывают ходы подходной подземной полигонометрии. Из-за сравнительно небольшой ширины подходной штольни и малого радиуса круговой кривой в ходы подходной подземной полигонометрии необходимо включать стороны длиной менее 10 м.

Полигонометрические ходы, прокладываемые по трассе тоннеля, делятся на два вида: рабочие подземные полигонометрические ходы со сторонами 25... 50 м и основные полигонометрические ходы со сторонами 50... 100 м. При удалении забоя от ствола более чем на 1 км по пунктам основного подземного полигонометрического хода прокладывают главные ходы, измеряют углы между диагоналями, соединяющими отстоящие на наибольшие (50, 100 м) расстояния друг от друга пункты основного полигонометрического хода. Основные полигонометрические ходы прокладывают в виде цепочек вытянутых треугольников (рис. 27.13).

Значения координат пунктов и дирекционных углов линий, на которые опираются ходы подземной полигонометрии, получают в результате ориентирования через ствол, ходы подземной полигонометрии могут опираться на пункты геодезического обоснования, созданного на поверхности путем непосредственного примыкания через порталы.

Пункты рабочих и основных полигонометрических ходов в штольнях закрепляют бетонными монолитами, а в бетонной обделке тоннеля — обрезками рельсов длиной около 10 см, забетонированными в обделку тоннеля. Центр знака фиксируют отверстием 1... 2 мм, зачеканенным медью. В своде тоннеля, прокладываемого в скальных породах, или при бетонной обделке свода полигонометрические знаки закрепляют специальными штырями. В тоннелях с металлической тубинговой обделкой полигонометрические знаки закрепляют на ребре жесткости обделки. При этом зашлифовывают площадку на уровне головки рельсов размером 2... 3 см и в середине ее просверливают отверстие, которое зачеканивают медью.

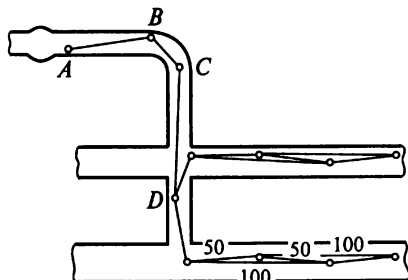


Рис. 27.13. Схема подземной полигонометрии

Знаки основной полигонометрии в тоннелях закладывают примерно на 10 см выше уровня головки рельсов. На каждый закрепленный знак составляют описание.

Линии в подземном полигонометрическом ходе измеряют подвесными стальными прокомпарированными рулетками или проволоками в прямом и обратном направлениях. Широко используют светодалномеры. Кроме того, в рабочей полигонометрии иногда применяют короткобазисный метод.

При измерении линий подвесными мерными приборами для натяжения их используют динамометры или блочные штативы с гириями. Отсчеты при измерении длин пролетов производят по нитям отвесов, подвешенных в створе измеряемой линии через 20 или 24 м. Перед измерением линий нивелиром отмечают один и тот же горизонт на нитях всех или нескольких соседних отвесов, что исключает необходимость введения поправок за наклон мерного прибора.

Углы в ходах рабочей полигонометрии измеряют теодолитом типа ЗТ5 двумя приемами. В ходах подходной и основной полигонометрии со сторонами 50... 100 м углы измеряют приборами типа ЗТ2 тремя-четырьмя круговыми приемами. Главные ходы прокладывают для обеспечения требуемой точности сбоек при односторонних проходках большой протяженности со сторонами длиной до 1 км, поэтому углы в главных подземных полигонометрических ходах измеряют шестью приемами.

Для уменьшения влияния погрешностей центрирования через один-два приема заново центрируют теодолит, изменяя при этом установку центрира на  $180^\circ$ .

В ходах подходной полигонометрии на участках с короткими линиями для исключения погрешности центрирования при измерении углов на концах коротких линий одновременно устанавливают два теодолита и визируют непосредственно на штифты зрительных труб.

Учитывая высокую значимость и ответственность в обеспечении сбойки подземных выработок с необходимой точностью, угловые измерения в ходах подземной полигонометрии производят не менее чем два раза в различное время. Угловые невязки в треугольниках основной полигонометрии со сторонами 50 и 100 м не опускаются более  $8''$  — при однократном измерении углов,  $6''$  — при подсчете невязки по средним значениям углов, полученных в одновременных измерениях.

В замкнутых полигонах допустимую невязку подсчитывают по формуле

$$\text{доп } f_{\beta} = 6''\sqrt{n},$$

где  $n$  — число сторон подземного полигонометрического хода.

Относительную линейную невязку в этих полигонах не допускают более 1:25000. При периметре менее 250 м абсолютная невязка не должна превышать 10 мм.

Координаты точек ходов основной полигонометрии вычисляют по мере продвижения забоя вперед. Перед вычислением координат угловые невязки в треугольниках распределяют поровну на все углы. После сбойки между стволами ходы подземной полигонометрии ориентируют по способу двух шахт. Это необходимо для уточнения дирекционных углов околоствольных линий подземной полигонометрии в случае нового строительства.

## 27.8. Геодезические работы при щитовой проходке

При сооружении тоннеля щитовым способом тоннельная обделка, состоящая из чугунных или железобетонных тубингов или блоков, собирается внутри оболочки щита. Поэтому положение колец тоннельной обделки в плане и по высоте зависит от положения щита. Это обстоятельство заставляет вести щит строго по заданному проектом направлению и не допускать отклонения его в плане и по высоте более чем на 50 мм.

Все геодезические работы, связанные с ведением щита, выполняют от пунктов подземной полигонометрии, знаки которой закрепляют на конструкция готового тоннеля. От знаков основы для задания оси тоннеля инструментально выставляют специальные сигналы  $C_1$  и  $C_2$  (рис. 27.14, а). Эти сигналы устанавливают и освещают так, чтобы они были хорошо видны с верхней площадки в середине щита. На этой площадке размещают все геодезическое оборудование щита: так называемый щитовой оптический прибор 1 (рис. 27.14, б) с соответствующими линейками или дугами 2; три знака 3, фиксирующие продольную ось щита; две мар-

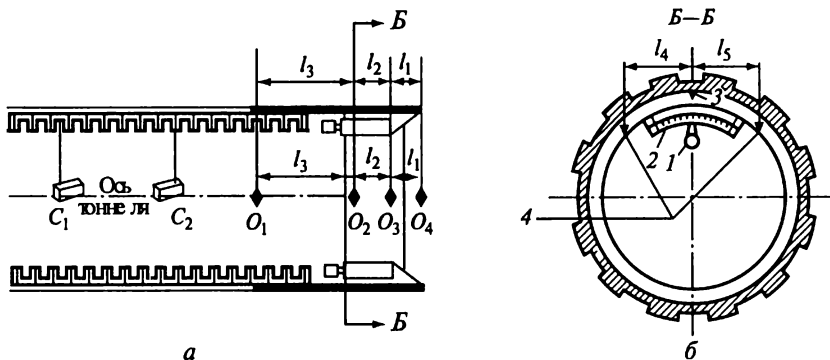


Рис. 27.14. Геодезическое обеспечение щитовой проходки:  
1 — щитовой оптический прибор; 2 — линейка; 3 — знак; 4 — марка

ки 4 для определения поперечного наклона. Кроме того, измеряют все расстояния, определяющие геометрию щита.

Для определения отклонения продольной оси щита от оси тоннеля перемещают трубу прибора вправо или влево от оси до тех пор, пока видимые в трубе изображения двух сигналов не совместятся. Поскольку нулевой отсчет по линейке прибора совпадает с продольной осью щита, то отсчет при совмещении прибора со створом сигналов будет соответствовать искомому отклонению. Эти определения могут быть выполнены лишь в своде опорного кольца щита точки  $O_2$  и  $O_3$ ). Отклонения в плоскостях ножа и хвоста щита (точки  $O_4$  и  $O_1$  соответственно) могут быть вычислены по следующим формулам:

$$x_4 = x_3 + (x_3 - x_2) \frac{l_1}{l_3}; \quad x_1 = x_2 + (x_2 - x_3) \frac{l_3}{l_2},$$

де  $x_2$  и  $x_3$  — измеренные отклонения в своде щита;  $l_1$ ,  $l_2$ ,  $l_3$  — известные расстояния между соответствующими сечениями щита.

Вместо зрительной трубы иногда используют отвес. Поперечный уклон щита, возникающий за счет его поворота вокруг продольной оси, определяют нивелированием марок 4, а продольный уклон — знаков 3. Для этих же целей применяют специальные отвесы-уклономеры, уровенные приспособления, гидростатические нивелиры.

При скоростном строительстве тоннелей для определения положения щита применяют лазерные приборы, которые позволяют визировать на большие расстояния в плохих условиях видимости, обеспечивать оперативность, а в некоторых случаях и непрерывность геодезического контроля.

По результатам геодезических измерений положения щита решается вопрос о том, какие домкраты нужно включать при следующем его передвижении. Если щит отклонился, например вправо, то включают большее число правых домкратов, если вверх — верхних и т. п.

## 27.9. Геодезические разбивочные работы при подземном строительстве

Разбивочные работы для подземного строительства выполняют при проходке стволов шахт, разбивке оси тоннеля, сооружении наклонных тоннелей для эскалаторов, укладке обделки тоннеля, возведении станций и вспомогательных сооружений, а также владке железнодорожных путей.

Стволы в основном сооружают из железобетонных колец. Геодезические разбивки в этом случае заключаются в определении центра ствола, а затем и его вертикальной оси. В процессе проход-

ки ствола и установки колец следят за их перекосом в горизонтальной плоскости и вертикальностью.

Ось тоннеля разбивают от пунктов подземной полигонометрии. На прямолинейном участке положение оси тоннеля определяется координатами пикетов, вычисленными при аналитической подготовке проекта трассы. Если на участке проходки вблизи пункта подземной полигонометрии оказывается пикет, то любым из возможных способов (полярным, перпендикуляров, линейной засечки) от ближайшего пункта подземной полигонометрии его положение выносят в натуру. Поскольку проходку ведут меньшими отрезками, чем расстояние между пикетами, то возникает необходимость выноса оси тоннеля по промежуточным (плюсовым) точкам, например  $T_1, T_2, T_3$ . Для этого нужно вычислить проектные координаты промежуточных точек, а по этим координатам и координатам ближайших точек полигонометрии — разбивочные элементы и выполнить в натуре разбивку.

При строительстве наклонных тоннелей в первую очередь производят разбивку тоннеля на поверхности. Если наклонный тоннель в поперечном сечении имеет вид окружности, то сечение его горизонтальной плоскостью будет эллипсом, центр которого совпадает с центром тоннеля. Отсюда следует, что на поверхности необходимо вынести в натуру по координатам центр наклонного тоннеля, по направлению дирекционного угла  $\alpha$  наклонной оси тоннеля — размер большой полуоси, а по перпендикулярному направлению — размер малой полуоси эллипса. Для наклонных эскалаторных тоннелей метрополитена угол наклона  $\beta$  к горизонту принимают равным  $30^\circ$ . В этом случае размер малой полуоси эллипса будет равен радиусу тоннеля  $a = r$ , а большой полуоси —  $b = 2r$ . Проектные значения координат центра и дирекционного угла оси относятся к определенной проектной уровенной поверхности, например пола вестибюля. В натуре разбивку производят на дневной поверхности, отстоящей от проектной на величину  $h$ . При значительной величине  $h$  в проектные координаты вводят поправки по следующим формулам:

$$\Delta x = h \operatorname{ctg} \beta \cos \alpha; \quad \Delta y = h \operatorname{ctg} \beta \sin \alpha.$$

Ось наклонного хода при сборке обделки тоннеля задают визирной осью теодолита, устанавливая наклон оси по вертикальному кругу.

При укладке сборной обделки тоннеля как из металлических тубингов, так и из железобетонных блоков, контролируют правильность укладки их в плане и по высоте. Положение колец обделки в плане определяют от оси тоннеля боковым нивелированием, по высоте — нивелированием свода и лотка. Измеряют эллиптичность колец, т. е. разность проектных и фактических гори-

зонтальных и вертикальных диаметров, а также диаметров под углом  $45^\circ$ . Через 8...10 колец определяют отклонение передней плоскости колец от перпендикуляра к оси тоннеля, которое называют *опережением колец*.

Геодезические работы при проходке станционных тоннелей, сооружаемых из тубингов или блоков, сходны с работами, выполняемыми при строительстве перегонных тоннелей. Исключение составляет повышенное требование к установке колец в продольном направлении (по пикетажу), для чего через 8...10 колец определяют пикетаж и опережение. После завершения строительства станционных тоннелей производят монтаж внутренних строительных конструкций и оборудования станции, а также монтаж платформ. Эти работы выполняют относительно продольных и поперечных осей станции, которые, в свою очередь, выносят от пунктов полигонометрии.

Для укладки железнодорожных путей в тоннелях закрепляют так называемые *путейские реперы*. На прямых участках путейские реперы устанавливают через 20 м, на кривых — через 5 м. Их также располагают на всех характерных точках плана и профиля трассы. Путейский репер представляет собой болт со сферической головкой, бетонируемый в обделке тоннеля. Реперы устанавливают таким образом, чтобы верх сферической головки имел высоту, соответствующую высоте головки ближнего к реперу рельса на этом пикете. Пикетаж реперов ведут от знаков полигонометрии путем измерения расстояния между ними. Получив фактическое значение пикетажа реперов, вычисляют их проектные высоты и на эту высоту, пользуясь нивелиром, устанавливают сферические головки болтов. Вычисляют также расстояние  $r$  от репера до оси пути и расстояние  $l$  от репера до внутренней грани ближнего к реперу рельса. Используя все эти значения, производят укладку рельсов от путейских реперов, пользуясь рейкой и накладным уровнем. Проверку высотного положения рельсов выполняют при помощи нивелира в процессе и после заливки шпал бетоном.

## Глава 28

### **ВЫНОС В НАТУРУ И ПЛАНОВО-ВЫСОТНАЯ ПРИВЯЗКА ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК И ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ТОЧЕК**

#### **28.1. Понятие о горных выработках**

*Горная выработка* — это разработка подземных месторождений для разведки или добычи полезных ископаемых.

В зависимости от вида полезного ископаемого и условий его залегания горную выработку осуществляют несколькими спосо-



бами: бурением скважин (для нефти и газа), строительством шахт (для угля, металлических руд), открытыми выработками — шурфами, канавами, штольнями.

Скважина имеет форму цилиндра, диаметром (обычно до 1 м) существенно меньшим ее длины. Начало скважины у поверхности земли называют *устьем*, дно — *забоем*.

При строительстве шахт проходка с поверхности земли к месту залегания полезного ископаемого начинается со *ствола* — наклонного или вертикального канала в земле. Через ствол шахты ориентируют подземные выработки, вывозят породы, подают воздух, доставляют людей и механизмы. Ствол шахты может быть цилиндрической или прямоугольной формы размером в несколько метров. Ствол, так же как и скважина, у поверхности земли начинается с устья.

При выполнении буровых и горнопроходческих работ, а также при геологических изысканиях следует знать положение горной выработки на местности. При этом возникает необходимость в решении двух задач: перенесение проекта размещения выработки в натуру и привязка выработки, т. е. определение ее положения по всем трем координатам.

## 28.2. Вынос в натуру горных выработок

Положение горной выработки на местности определяется центром скважины или ствола шахты.

Для перенесения проекта положения горной выработки в натуру составляют разбивочную схему, пользуясь генеральным планом или другой соответствующей проектной документацией. На схеме указывают необходимые для разбивки геодезические данные (исходные пункты, разбивочные углы и длины линий), которые получают графическим или графоаналитическим способом.

При графическом способе горизонтальные углы между исходными линиями и направлениями на проектную точку измеряют на топографической карте (плане) транспортиром, а длину линий — циркулем-измерителем по масштабной линейке; при графоаналитическом способе разбивочные углы  $\beta$  и длины линий  $L$  вычисляют по координатам опорных  $A$ ,  $B$  и проектной  $P$  точек путем решения обратных геодезических задач. Координаты проектной точки при этом определяют графически с топографической карты (плана) по координатной сетке. Если в качестве опорных приняты хорошо опознаваемые на местности контурные точки, то и их координаты также определяют графически.

Проектное положение горной выработки переносят на местность различными способами.

*Совмещение с контурной точкой.* Если проектное положение горной выработки совмещается хорошо опознаваемой на местно-

сти контурной точкой, то перенесение выработки будет заключаться в опознавании на местности этой контурной точки. Правильность опознавания контурной точки контролируют визированием с нее на хорошо видимые местные предметы (например, столбы электропередачи, углы зданий и т.п.) или измерением от нее расстояний до местных предметов, надежно опознаваемых на карте. Совпадение результатов измерений углов и расстояний на местности и карте будет служить контролем правильного перенесения проектного положения горной выработки в натуру.

*Промер вдоль линейного контура.* Если проектное положение горной выработки было выбрано на линейном контуре, имеющем характерную точку, то перенесение выработки в натуру будет заключаться в отложении на местности вдоль линейного контура от его характерной точки расстояния, измеренного на карте.

*Способ полярных координат.* В качестве опорных на топографической карте выбирают две контурные точки, хорошо опознаваемые на местности, либо два пункта опорной сети  $A, B$ . Для перенесения в натуру проектной точки  $P$  теодолит устанавливают в опорной точке  $A$  и откладывают угол  $\beta$  от направления линии  $AB$ . По построенному направлению  $AP$  рулеткой или лентой откладывают расстояние, равное  $L$ .

*Способ прямой угловой засечки* (рис. 28.1). Этот способ применяют в том случае, когда от опорных точек до проектной нельзя непосредственно измерить расстояние. Чтобы перенести в натуру проектную точку  $P$ , необходимо иметь не менее трех опорных точек  $A, B, C$ . Углы  $\alpha, \beta, \gamma$  и  $\delta$  должны быть известны. Теодолит устанавливают последовательно в опорных точках  $A, B, C$  и, строя проектные углы  $\alpha, \beta, \gamma$  и  $\delta$ , задают направления  $AP, BP, CP$ , на пересечении которых определится точка  $P$ .

*Способ линейной засечки* (рис. 28.2). Этот способ применяют в том случае, когда расстояние между опорными точками и проектной не превышает длины мерного прибора. Чтобы определить по-

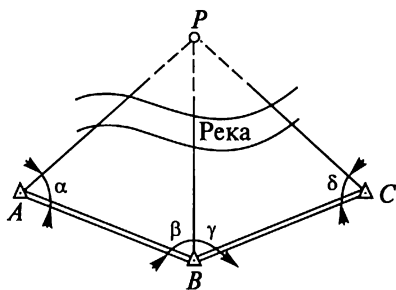


Рис. 28.1. Перенесение проектной скважины в натуру способом прямой угловой засечки

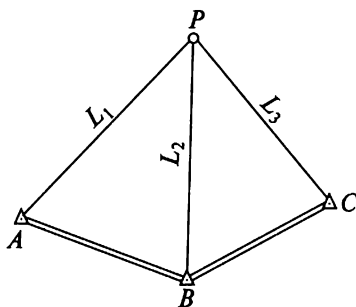


Рис. 28.2. Перенесение проектной скважины в натуру способом линейной засечки

ложение точки  $P$ , от опорных точек откладывают лентой или рулеткой горизонтальные проложения  $L_1$ ,  $L_2$  и  $L_3$ . На пересечении линейных промеров определится положение точки  $P$ .

Точность выноса в натуру положения горных выработок определяется видом и категорией выработки, а также целью работы — разведка, добыча. Во всех случаях для определения проектного положения горной выработки используют топографическую карту (план) соответствующего масштаба. Например, для нефтяных поисковых скважин используют карту масштаба 1:25 000, обеспечивающую определение проектного положения скважины с предельной погрешностью не более 25 м.

Положение вынесенной в натуру горной выработки закрепляют *знаками* — металлическими трубами или деревянными кольями длиной 1,2 м, которые закладывают на глубину около 0,7 м и окантовывают. На верхней части трубы (кола) несмываемой краской пишут номер выработки, дату перенесения ее в натуру и наименование организации, производящей работу. Знак по возможности привязывают к местным предметам и составляют абрис привязки.

### 28.3. Плано-высотная привязка горных выработок

Для производства строительно-монтажных работ и эксплуатации горных выработок необходимо знать их плановое и высотное положения. Хотя проектные координаты горной выработки известны из работ по выносу ее в натуру, однако точности их определения, особенно по высоте, для последующих стадий работ недостаточно. В этом случае заново определяют плановые и высотную координаты горной выработки, но уже с большей точностью. Такой вид измерений называют *привязкой* горной выработки. Так, если для нефтяной скважины предельная погрешность перенесения в натуру составляет 10 м в плане и 5 м по высоте, то для привязки скважины — 4 и 0,3 м соответственно. Требования к точности привязки стволов шахт еще выше.

Для определения планового положения горных выработок на поисковых, разведочных и эксплуатационных площадях создают геодезическую сеть в виде цепочек треугольников или теодолитных ходов. Кроме того, широко используют прямые и обратные угловые, а также линейные засечки.

Высотную привязку горных выработок выполняют геометрическим или тригонометрическим нивелированием.

### 28.4. Геодезические работы при геофизической разведке

При инженерно-геологических изысканиях широко используются геофизические методы: электроразведка, сейморазведка, магнитная и гравиметрическая разведки.

Электроразведка основывается на изучении особенностей прохождения электрического тока в различных грунтах. При этом используются либо естественные, либо искусственные электрические поля. Естественные электрические поля возбуждаются в грунтах Солнцем, а искусственные создаются пропусканием постоянного или переменного тока через забитые в грунт электроды (металлические штыри).

Геодезические работы при электроразведке сводятся к разбивке на местности профиля или системы параллельных профилей, а также определению и обозначению точек закрепления электродов с учетом их последовательного перемещения по профилю.

Положение отдельного профиля или системы профилей электроразведки наносится на карту (план). При этом, согласно Строительным правилам СП 11-104—97, положение точек наблюдений относительно ближайших пунктов опорной или съемочной геодезических сетей должно определяться в плане со средней квадратической погрешностью 1,0 мм на используемой карте, а по высоте — 1,0 м.

Сейсморазведка основана на наблюдениях за скоростью распространения упругих волн в земной коре, вызванных искусственными сотрясениями (взрывами, ударами). В результате взрыва в грунте возникают упругие волны, характер и скорость распространения которых наблюдают на поверхности Земли специальными приборами — сейсмоприемниками, которые располагают также по профилям.

Геодезические работы при сейсморазведке сводятся к разбивке на местности профилей с обозначением на них точек взрыва и точек расположения сейсмоприемников, определению координат и высот этих точек и составлению вертикального разреза по линии профиля.

Средняя квадратическая погрешность положения сейсмического профиля на отчетной карте характеризуется в плане величиной 1,0 мм, а по высоте колеблется от 0,25 до 0,5 м.

Магнитная разведка основана на изучении геомагнитного поля Земли, обусловленного неодинаковыми магнитными свойствами горных пород. Ведется она с помощью высокочувствительных магнитомеров, преимущественно по густой сетке квадратов. Размеры квадратов колеблются от 5×5 м и более, покрывая небольшие участки порядка 50×50 м. Разбивка сеток малых квадратов выполняется простейшими геодезическими средствами — рулетками, лентами, эккером; положение квадратов на участке привязывается к пунктам геодезической основы.

Маршрутная магнитная съемка обычно приурочивается к дорогам, тропам, лесным просекам, берегам рек. Привязка маршрутов ведется по контурам, без применения инструментов. Там где контуров мало, расстояния измеряют по спидометру автомашины или шагами.

Средняя квадратическая погрешность плановой привязки маршрутов определяется величиной 1,0 мм на отчетной карте. Высоты точек магнитной разведки, как правило, не определяются.

Гравиметрическая разведка основана на измерениях силы тяжести, которая определяется специальными приборами — гравиметрами. На основе гравиметрических аномалий (отклонений силы тяжести от нормальной) определяют местоположение, размеры, форму и глубину геологических объектов, создающих аномалию.

Гравиметрические пункты располагают по площади на четких, хорошо распознаваемых контурах местности. Для плановой привязки используют карты масштаба 1:25 000... 1:100 000. Точность определения высот гравиметрических пунктов колеблется от 0,2 до 10,0 м.

## Глава 29

### ГЕОДЕЗИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СТРОИТЕЛЬСТВА ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ, СВЯЗИ И МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

#### 29.1. Воздушные линии электропередачи и связи

*Линии электропередачи* (ЛЭП) подразделяют на кабельные (подземные) и воздушные. Кабельные линии в основном прокладывают на застроенных территориях. По воздушным линиям (ВЛ), как правило, передается ток высокого напряжения на значительные расстояния.

При изысканиях линий электропередачи необходимо определять габаритные размеры приближения проводов (рис. 29.1): вертикальный — допустимое кратчайшее расстояние  $b$  между самой низкой точкой натянутого провода (при максимальной стреле провеса) и поверхностью земли или сооружения, расположенного под линией, и горизонтальной — кратчайшее расстояние до предметов на местности  $l$ . Например, для линии напряжением 220... 500 кВт допустимая величина вертикального габаритного размера равна в ненаселенной местности 7... 8 м, труднодоступной местности 6... 7 м. Для линий напряжением 750 кВт соответственно принимают 12 и 10 м.

К *линиям связи* относят: междугородные, внутрирайонные и городские телефонные линии; сети радиофикации; радиорелейные линии. Линии связи могут быть кабельными и воздушными. Воздушные линии связи состоят из опор, проводов, изоляторов. Опоры бывают деревянные и железобетонные. Вертикальный га-

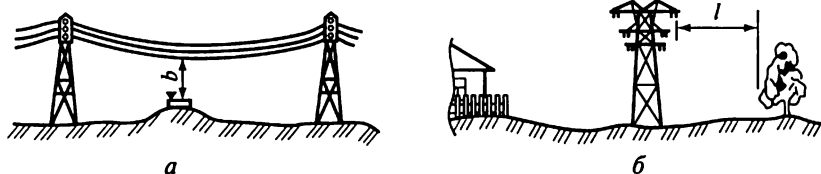


Рис. 29.1. Габаритные размеры приближения проводов:  
*a* — вертикальный; *b* — горизонтальный

баритный размер приближения на линиях связи составляет 2,5... 8,5 м.

Направление больших магистральных трасс ЛЭП выбирают в период технико-экономического обоснования, а небольших трасс — при подготовке технического задания на проектирование. Трассу выбирают в соответствии с техническими условиями с учетом топографических, инженерно-геологических и гидрометеорологических условий местности.

Технические изыскания трассы ЛЭП выполняют по выбранному и утвержденному направлению. Эти изыскания начинают с изучения материалов выбора трассы и проверки документов согласования.

Технические изыскания небольших трасс, проходящих в слабо пересеченной местности, выполняют наземными методами. При изысканиях больших трасс, прокладываемых в сложных условиях, применяют аэрометоды.

Основные точки выбранной и утвержденной трассы по данным привязки к контурам или координатам выносят на местность.

В отличие от других трасс линия электропередачи состоит только из прямых участков, без кривых, с поворотом в вершинах углов, поэтому углы поворотов выбирают в местах, удобных для сооружений опор, т. е. геологически устойчивых и расположенных вдали от растущих оврагов.

Полевое трассирование проводят в том же порядке, что и для дорог. Так как кривые на трассе отсутствуют и пикеты разбивают между вершинами углов поворота без учета домера и перемены пикетажа на углах, то, следовательно, расстояние между соседними вершинами поворотов или створными точками будет равно разности их пикетажного значения.

На трассах воздушных линий продольные профили можно составлять по плюсовым точкам, взятым на характерных перегибах рельефа местности и в местах пересечений естественных препятствий или искусственных сооружений. Разбивку опор линий, положение которых, как правило, не совпадает с целыми пикетами, ведут от близлежащих закрепленных точек трассы. Поэтому при изысканиях воздушных линий весьма эффективен беспикет-

ный способ трассирования. В этом случае можно применять дальномомеры для определения расстояний до закрепляемых характерных точек трассы.

Нивелирование трассы ВЛ выполняют для составления продольного профиля, по которому проектируют положение и высоту опор, обеспечивающих расчетные габаритные размеры приближений проводов. При этом погрешности из-за обобщения (спрямления) рельефа при выборе характерных плюсовых точек не должны превышать 0,3 м. Этому требованию должна соответствовать точность нивелирования.

В равнинной местности, а также на больших переходах через водотоки, пересечениях дорог, застроенной территории производят техническое нивелирование по пикетажу трассы ВЛ. В горных районах и сильно пересеченной местности можно прокладывать по трассе тахеометрические ходы.

Через каждые 8...10 км на трассе устанавливают железобетонные или деревянные реперы. Планово-высотную привязку ходов по трассе производят не реже чем через 15...20 км. По результатам изысканий трассы составляют продольный профиль ЛЭП.

Вместе с изысканием воздушной линии выбирают и производят съемку в крупном масштабе площадки подстанций, монтерских пунктов и ремонтных баз, обследуют проходящие в районе трассы дороги и карьеры стройматериалов, а при отсутствии дорог намечают места, по которым с наименьшими затратами они могут быть построены. Производят изыскания эксплуатационной линии связи.

Изыскания линии связи очень схожи с изысканиями ЛЭП, но так как напряжение на линиях связи ниже, габаритные размеры приближения у них меньше. Изыскания ведут преимущественно в одну стадию.

Геодезические работы, которые выполняют при строительстве линий электропередачи и связи, состоят в разбивке на местности опор и определении фактических габаритных размеров приближения проводов.

Центры опор разбивают по их пикетажному значению от ближайших закрепленных точек трассы: вершин углов поворота и створных точек. Направление по створу трассы задается теодолитом, проектные расстояния откладывают дальномером или рулеткой с введением в каждый пролет поправок за наклон местности. Расстояния между вынесенными в натуру центрами опор не должны отличаться от проектных более чем на 1/200 от длины пролета.

От центра опоры разбивают ее фундаменты и положение анкерных устройств.

При монтаже опоры с помощью теодолита производят выверку ее вертикальности.

В процессе исполнительной съемки построенной воздушной линии измеряют расстояния между опорами и проверяют соблюдение габаритных размеров приближения проводов.

## 29.2. Магистральные трубопроводы

*Магистральными трубопроводами* называют сооружения, предназначенные для транспортировки на дальние расстояния нефти, нефтяных продуктов, газа, воды. Магистральные трубопроводы состоят из подводящих трубопроводов, головных и линейных сооружений и промежуточных станций.

Магистральные трубопроводы укладывают в грунт на глубину не менее 0,8 м до верха трубы, а при переходе через водные преграды — не менее 0,5 м от уровня возможного размыва дна. Уклоны трубопровода проектируют преимущественно параллельно рельефу местности. Поэтому для правильного определения длины трубопровода пикетаж разбивают по наклонной местности. По наклонным расстояниям составляют и продольный профиль. План трассы строят по горизонтальному проложению линий.

В районах вечной мерзлоты, в болотистых и горных местах, на оползнях проектируют надземные магистральные трубопроводы на опорах.

На стадии изысканий под проект определяют наилучший кратчайший вариант трассы, который удовлетворял бы всем техническим условиям и требовал бы минимальных затрат на строительство. Варианты трассы намечают по топографической карте, придерживаясь наиболее короткого направления между начальным и конечным пунктами. По возможности стремятся приблизить трассу к существующим железным и автомобильным дорогам, чтобы использовать их при строительстве и эксплуатации трубопровода. В настоящее время для выбора наилучшего варианта трассы широко применяют аэрофотосъемку.

На полевом этапе изысканий уточняют положение трассы в натуре и закрепляют ее основные точки, выбирают места переходов и площадки станций.

Для составления рабочих чертежей производят полевое трассирование трубопровода с измерением и закреплением углов поворота, разбивкой и нивелированием пикетажа, съемкой пересечений и переходов.

Вершины поворотов отмечают вехами и закрепляют столбами, при этом расстояния между угловыми знаками, а на длинных прямых участках — между створными точками должны быть 300... 500 м.

Реперы размещают по трассе через 2...3 км вблизи больших углов поворота; целесообразнее их устанавливать на продолжении стороны трассы на расстоянии 10... 15 м от вершины угла. На длин-



ных трассах в местах, не обеспеченных высотной основой, через каждые 10 км устанавливают железобетонные реперы. Все реперы в плановом положении привязывают к трассе. Саму трассу привязывают к геодезическим пунктам не реже чем через 50 км. При отсутствии вблизи трассы опорных пунктов через каждые 30...40 сторон определяют истинный азимут.

Для проектирования мест пересечения трубопроводом рек, оврагов, каналов, дорог дополнительно проводят подробную съемку этих мест в масштабе 1:500 или 1:1000.

На переходах через реки и овраги сооружают дюкер, т. е. трубопровод заглубляют в землю ниже дна препятствия; при пересечении горных дорог и глубоких ущелий возводят эстакаду.

Съемку участка перехода реки производят в масштабах 1:500... 1:1000 с сечением рельефа через 0,5 м. Снимают оба берега и дно реки. Съемку дна выполняют путем промеров глубин по трем створам: главному и двум боковым, расположенным выше и ниже по течению на 50...60 м от оси.

Одновременно с трассированием трубопровода производят изыскания и съемку площадок головных сооружений и промежуточных станций. Выбранные площадки снимают в масштабе 1:500. На основании материалов полевого трассирования составляют план трассы трубопровода в масштабах 1:5000... 1:10000, планы отдельных пересечений и площадок в масштабах 1:500... 1:1000, а также продольный профиль трассы.

Перед строительством трубопровода восстанавливают и закрепляют углы поворота, пикетаж трассы, детально разбивают кривые, сгущают сеть рабочих реперов (не реже чем через 1 км), проводят контрольные измерения линий и повторное нивелирование. Одновременно с восстановлением трассы в соответствии с проектом разбивают и закрепляют колодцы и переходы. Точки крепления выносят за пределы зоны земляных работ, т. е. примерно на 5 м в обе стороны от оси.

Для производства земляных работ необходима детальная разбивка траншеи, технология которой зависит от того, каким экскаватором будут выполняться эти работы. При использовании одноковшового экскаватора примерно через 10 м намечают на местности от закрепленной оси обе бровки траншеи и указывают глубину последней. Для правильной работы многоковшового экскаватора (канавокопателя) разбивают линию, которая параллельна оси трубопровода и отстоит от нее на величину, равную половине расстояния между внутренними гранями гусениц канавокопателя. Эту линию закрепляют через 5...10 м кольями, которые должны быть хорошо видны экскаваторщику.

При направлении грани соответствующей гусеницы вдоль линии кольев канавокопатель будет двигаться строго по намеченной трассе.

Чтобы избежать переборов грунта, траншеи не добирают до проектных отметок на величину 10...15 см. Затем на пикетах и колодцах строят обноски и с помощью визирок зачищают окончательно дно траншеи. Обноска ставится перпендикулярно оси трубопровода. На колодцах, расположенных на поворотах трассы, обноску ставят на биссектрисе угла. От точек крепления на обноску выносят ось траншеи и закрепляют ее гвоздем. Натянув между осевыми точками соседних обносок проволоку и подвесив на нее отвес, проверяют плановое положение траншеи.

Производят высотную выверку дна траншеи с применением визирок.

На переломах продольного профиля трассы разбивают вертикальные кривые больших радиусов. Прямая вставка между началом и концом соседних кривых должна быть не менее 10...20 м. На участках вертикальных кривых проектные отметки по дну траншеи устанавливают с помощью нивелира, так как способ визирок на этих участках не может быть применен.

По окончании укладки трубопровода производят исполнительную съемку. В исполнительном продольном профиле показывают фактические отметки верха насыпи и верха трубопровода, отметки дна траншеи, диаметры уложенных труб и т. д. На плане отмечают отклонения от проекта, допущенные в процессе строительства.

## Глава 30

### ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ СЪЕМКИ

#### 30.1. Назначение и методы исполнительных съемок

Основное назначение исполнительных съемок — установить точность вынесения проекта сооружения в натуру и выявить все отклонения от проекта, допущенные в процессе строительства. Это достигается путем определения фактических координат характерных точек построенных сооружений, размеров их отдельных элементов и частей, расстояний между ними и других данных. Исполнительные съемки ведутся в процессе строительства по мере окончания его отдельных этапов и завершаются окончательной съемкой готового сооружения. В первом случае выполняют текущие исполнительные съемки, во втором — съемки для составления исполнительного генерального плана.

Текущие исполнительные съемки отражают результаты последовательного процесса возведения отдельного здания или сооружения, начиная с котлована и заканчивая этажами гражданских и технологическим оборудованием промышленных зданий. Результаты этих съемок содержат данные для корректирова-

ния выполненных на каждом этапе работ и обеспечения качественного монтажа сборных конструкций. При этом особое внимание обращается на элементы сооружения, которые после завершения строительства будут недоступны для измерений (забетонированы, засыпаны грунтом и т.п.).

Окончательная исполнительная съемка выполняется для всего объекта в целом и используется при решении задач, связанных с его эксплуатацией, реконструкцией и расширением. При окончательной съемке используются материалы текущих съемок, а также съемок подземных и надземных коммуникаций, транспортных сетей, элементов благоустройства и вертикальной планировки.

Исходной геодезической основой для текущей исполнительной съемки служат пункты разбивочной сети, знаки и створы закрепления осей или их параллелей, а также установочные риски на конструкциях. Высотной основой служат реперы строительной площадки и отметки, фиксированные на строительных конструкциях. Геодезическим обоснованием съемки для составления исполнительного генерального плана служат пункты и реперы государственных и разбивочных сетей.

Методы измерений при исполнительной съемке, как правило, те же, что и при выполнении разбивочных и съемочных работ. Так, для съемки положения строительных конструкций в плане применяют способы прямоугольных координат, линейных и створных засечек, линейные промеры от створов и т.п., по высоте — геометрическое нивелирование. Отклонение конструкций от вертикали проверяют с помощью отвесов, теодолитов, приборов вертикального проектирования. Применяют также фототеодолитную съемку. Методы съемки для исполнительного генерального плана зависят от масштаба его составления и вида снимаемого объекта. В большинстве случаев применяют аналитический и тахеометрический методы съемок, иногда — мензурный. Текущие съемки выполняют с точностью, обеспечивающей надежное определение положения строительных конструкций и технологического оборудования. Для этого средняя квадратическая погрешность  $m$  контрольных измерений должна быть не более 0,2 величины отклонений  $\delta$ , допускаемых нормативными документами или проектом, т. е.  $m \leq 0,2\delta$ . Методы съемки исполнительного генерального плана должны обеспечивать графическую точность соответствующего масштаба.

### **30.2. Исполнительные съемки в строительстве**

Для строительства зданий и сооружений исполнительные съемки имеют особое значение, так как помимо выявления отклонений от проекта они позволяют регулировать технологический процесс

строительства, корректируя его по ходу выполнения строительного-монтажных работ.

Исполнительные съемки входят в состав технологического процесса строительства, поэтому очередность и способ их выполнения, технические средства и требуемая точность измерений зависят от этапов строительного-монтажного производства. Исполнительной съемке подлежат части зданий и конструктивные элементы, от точности положения которых зависит точность выполнения работ на последующих этапах, а также прочность и устойчивость здания в целом. Эти требования по существу и определяют поэтапный выбор параметров исполнительной съемки.

На этапе нулевого цикла исполнительную съемку выполняют после устройства котлована, свайного поля, сооружения фундамента, стен и перекрытий технического подполья. При устройстве котлована съемку производят после зачистки дна и откосов. При этом определяют относительно осей внутренний контур, а нивелированием по квадратам — отметки дна. Для свайного поля путем перенесения осей на оголовки определяют положение свай в плане и нивелированием оголовков — по высоте.

При монтаже монолитных фундаментов исполнительную съемку производят после окончания бетонирования и затвердевания бетона. Для съемки в плане на фундаменты вновь переносят разбивочные оси, от которых измеряют положения фундаментов. По высоте нивелируют поверхность фундаментов в точках пересечения осей и между ними, примерно через 5 м. Аналогично производят съемку сборных фундаментов, перенося оси на все их элементы. При съемке по высоте сборных фундаментов стаканного типа определяют отметки дна стаканов.

При возведении надземной части здания производят поэтажную исполнительную съемку смонтированных конструкций.

В крупнопанельных зданиях положение стеновых панелей в плане определяют, измеряя расстояния от боковых граней на уровне перекрытий и трети этажа до параллелей разбивочных осей; по высоте измеряют толщину выравнивающего слоя раствора в горизонтальном стыке; определяют также отклонение панели от вертикальности.

В каркасных зданиях определяют смещения колонн в нижнем сечении относительно разбивочных осей, смещение колонн от вертикали и разность отметок оголовков колонн предыдущего этажа. При необходимости находят величины площадок опирания ригелей на консоли колонн. Положение стенок жесткости определяют аналогично стеновым панелям.

При возведении блочных, кирпичных и монолитных зданий главным образом проверяют положение стен относительно параллелей осей, толщину и вертикальность стен и их горизонтальность через определенный интервал по высоте.

В процессе строительства лифтовых шахт определяют в основном их внутренние размеры и вертикальность стен.

При строительстве промышленных зданий и сооружений, кроме съемки строительных конструкций, выполняют съемку положения различного рода опорных и анкерных устройств, закладных деталей под установку технологического оборудования. Положение этих элементов в плане определяют относительно монтажных (технологических) осей, по высоте — относительно строительных реперов площадки или цеха. Особое место занимает исполнительная съемка подкрановых путей грузоподъемных механизмов. Эту съемку выполняют как в процессе строительства, так и периодически в эксплуатационный период. Съемка подкрановых путей включает в себя определения расстояний между осями рельсов и прямолинейности рельсов, а также разности отметок между головками двух рельсов и одного рельса.

Исполнительную съемку технологического оборудования производят после его установки. Ее выполняют геодезическими методами со знаков, закрепляющих основные или смещенные технологические оси. Контроль положения оборудования относительно технологических осей проводят по маркировкам или специальным знакам на оборудовании, определяющим его геометрические оси.

Результаты контрольных измерений отображают на схемах специальной исполнительной геодезической документации.

**Исполнительная геодезическая документация.** Перечень исполнительной геодезической документации (ИГД) на строительном объекте устанавливается в соответствии с требованиями стандартов и другой нормативно-технической документации. В особых случаях, по требованиям государственного архитектурно-строительного, технического, авторского надзоров, может уточняться перечень ИГД, что происходит в основном за счет ее увеличения или детализации.

Исполнительная геодезическая документация создается главным образом в виде исполнительных схем (чертежей) с нанесением на них геометрических параметров направлений и величин отклонений от проектных положений установленных (смонтированных) строительных конструкций. Пояснительные записки или другая информация (диаметр арматуры труб, марки электродов, фамилии или клейма сварщиков, согласовывающие подписи и т. п.) указываются только по дополнительным требованиям.

Основой ИГД являются рабочие чертежи проектной документации. Проектные размеры (габаритные) сопровождаются буквой **П**, действительные (измененные в натуре) — буквой **Д**. Буквы помещаются в прямоугольные рамки. Если необходимо указать оба размера, то в числителе пишется проектный, в знаменателе — действительный размеры.

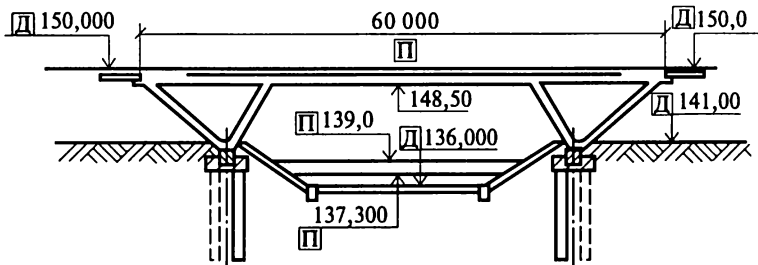


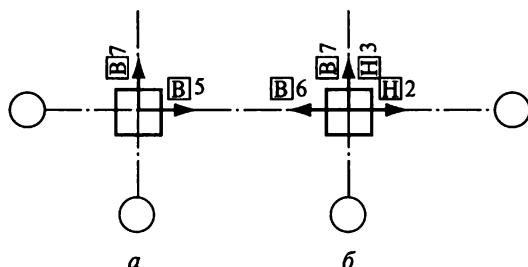
рис. 30.1. Обозначение действительных  $\square$  и проектных  $\square$  отметок на фасаде продольного профиля мостового перехода

Действительные отклонения от проектных отметок для грунтовых поверхностей показываются численным значением с точностью до сантиметров и до миллиметров — для других элементов рис. 30.1). Перед величиной отклонений ставится знак «плюс» в случае занижения поверхностей от проектной отметки.

Уклоны поверхностей показываются стрелками, над которыми указывается их величина в промилле (‰), а под стрелками — астояние.

Для строительных элементов (колонн, свай и т.д.), фактические оси или грани которых доступны измерениям, точность оложения в плане характеризуется действительными отклонениями осей или граней элементов от разбивочных. Действительные отклонения осей или граней от разбивочных осей показываются стрелками, направленными в сторону отклонения, и расположенными рядом числами — значениями отклонений в миллиметрах.

При этом перед действительными численными значениями тклонений помещается в прямоугольной рамке буква  $\square$  для верхнего сечения или буква  $\square$  для нижнего сечения (рис. 30.2). Дей-



ис. 30.2. Примеры указания действительных отклонений осей элементов от разбивочных осей на плане для свай (а) и колонн (б)

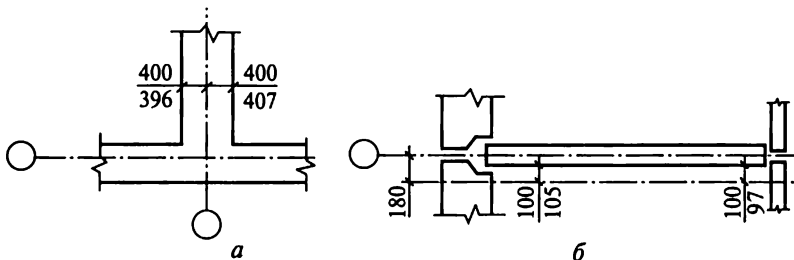


Рис. 30.3. Примеры указания действительных расстояний на плане: *а* — от граней монолитного ростверка до разбивочной оси; *б* — от грани стеновой панели до параллели оси

ствительные (измеренные) расстояния граней элементов до разбивочных осей изображают, как показано на рис. 30.3.

Действительные отклонения поверхностей элементов от вертикали показывают стрелками, направленными в сторону отклонений, расположенными рядом условными обозначениями неперпендикулярности и численными значениями отклонений (рис. 30.4).

На исполнительных схемах могут помещаться различные примечания, согласования допущенных (измеренных) отклонений с авторским надзором, а при необходимости также разъяснения к условным знакам.

Исполнительные схемы подписываются геодезистом, ответственным производителем работ по объекту и руководителем строительной (монтажной) организации.

Эти схемы входят в состав обязательной исполнительной документации, предъявляемой строительной организацией при сдаче в эксплуатацию построенных зданий и сооружений. При продолжительном строительстве по завершении отдельных участков строительных работ такая документация передается заказчику по предъявлению к оплате выполненных на этом этапе работ.

Исполнительные схемы геодезической основы фиксируют действительные значения привязок и отметок знаков закрепления пунктов основы. Документация содержит следующую информацию:

схему вынесенных в натуру точек, осей и установленных знаков закрепления с необходимыми привязками (числовые значения);

сведения о способе закрепления точек и конструкций знаков.

Исполнительные чертежи коммуникаций (сетей) внутри зданий составляются только в случае необходимости по

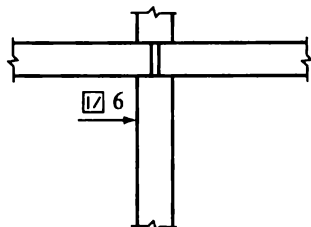


Рис. 30.4. Пример указания неперпендикулярности

требованию технического надзора заказчика, авторского надзора проектной организации, территориальных инженерных служб и эксплуатирующих организаций.

При этом требования к составу и содержанию исполнительных чертежей не выходят за пределы, установленные стандартами для соответствующих инженерных сетей. Как правило, геодезисты перечерчивают изображение коммуникаций с проектных чертежей и наносят фактические размеры или отклонения от проектных размеров.

Исполнительные чертежи включают в себя планы, схемы, разрезы и сечения.

Допускается совмещение исполнительных чертежей различных сетей, если информация об одной сети не может быть отнесена к другой.

При большой протяженности и (или) сложном расположении сетей допускается их изображение с разрывом, обозначаемым параллельными штриховыми линиями.

В случае когда масштабы исполнительных чертежей не позволяют с достаточной степенью детальности показать все размеры, соблюдение которых зависят эксплуатационные характеристики сетей, применяются буквенные обозначения: В — водопровод, К — канализация и т. п.

В состав документации по подземным инженерным сетям включаются: исполнительные чертежи, продольные профили по оси сети (если они входят в состав проекта), схемы сварных стыков трубопроводов, каталоги координат выходов, углов поворота и творных точек сети (при ее аналитической привязке), полевые геодезические материалы исполнительной съемки.

В случае когда определение местоположения сети по плану, использованному для разработки проекта, невозможно или затруднено, в состав документации включают ситуационный план масштаба 1:2000 или 1:5000 с нанесенной на нем сетью.

Исполнительные чертежи составляются на топографических планах, использованных для разработки проектов.

При перекладке сетей на исполнительных чертежах отмечают участки старых сетей, изъятых из земли или оставленные в земле, на чертежах указываются места и способы их отключения.

Фактическое положение подземных сетей характеризуется следующими геометрическими параметрами: действительными координатами характерных определяемых точек на сетях, действительной глубиной заложения, действительными значениями отеток, расстоянии, углов и высот между исходными и определяемыми точками.

Проектные значения геометрических параметров элементов, конструкций и частей зданий и сооружений, подземных сетей, как правило, на исполнительных чертежах подземных сетей не показываются.



В состав исполнительной документации включаются профили коммуникаций.

Горизонтальный и вертикальный масштабы профиля принимаются одинаковыми с масштабами профиля в составе проекта.

Проектные и действительные значения геометрических параметров подземных сетей на продольных профилях показываются в виде дроби, числитель которой означает проектное значение, а знаменатель — действительное.

Схемы сварных стыков трубопроводов составляются для газопроводов, теплопроводов, сетей горячего водоснабжения, продуктопроводов опасных и вредных продуктов, а также, в случае необходимости, для других трубопроводов по требованию органов надзора, территориальных инженерных служб и эксплуатирующих организаций.

На схемах сварных стыков газопроводов и теплопроводов показываются расположение сварных стыков относительно углов поворота и других характерных элементов сети с указанием действительных расстояний между ними и персональных данных (Ф. И. О., номер) сварщиков, выполнивших работы.

Каталог координат точек сети составляется в системе координат, принятой при разработке проекта.

При соответствии действительных размеров, отметок, уклонов, сечений (диаметров), привязок и других геометрических параметров проектным значениям (в пределах допустимых отклонений) на документах делается надпись «Отклонений от проекта по геометрическим параметрам нет».

При наличии отклонений помещается согласующая надпись или данные (название документа, дата, номер и др.) об их согласовании с проектной организацией.

Исполнительные чертежи, продольные профили, схемы сварных стыков и каталоги координат изготавливаются на основе, обеспечивающей их длительное хранение.

В исполнительных чертежах, продольных профилях и каталогах координат применяются условные знаки Федеральной службы геодезии и картографии России или согласованные ею.

После завершения полевых и камеральных работ производится контроль правильности составления документации. Контроль документации заключается в проверке ее состава, полноты содержания и оформления.

### **30.3. Составление исполнительных генеральных планов**

Исполнительный генеральный план составляют по результатам исполнительных съемок законченных зданий и сооружений комплексного объекта (жилой массив, промышленное предприятие и т. п.).

Различают генеральные планы оперативные, дежурные и окончательные.

Строительство крупных комплексов, как правило, продолжается несколько лет, в течение которых постоянно уточняется, дополняется и изменяется проектная документация. В этих условиях возникает необходимость в систематическом обновлении исполнительной документации, позволяющей оперативно снабжать геодезическими данными производителей строительных работ. Для этой цели ведется оперативный исполнительный генеральный план. Кроме того, возникает необходимость дополнительно иметь информацию об объемах выполненных на определенную дату строительных работ по всем отдельным объектам строительства. С этой целью составляют дежурный генеральный план. В отличие от оперативного на этот план наносят все возводимые здания и сооружения и условными значками показывают стадию строительных работ.

Окончательный исполнительный генеральный план составляют после завершения строительства. На этот план наносят все построенные по проекту здания и сооружения, которые сдают в эксплуатацию. План составляется на основании материалов исполнительных съемок, выполняемых по мере возведения объектов.

Комплект окончательного исполнительного генерального плана состоит: из сводного генерального плана в масштабах 1:1000... 1:2000, а для особо крупных объектов — 1:5000; генеральных планов отдельных объектов в масштабах 1:200... 1:500; специализированных исполнительных планов коммуникаций, дорог, линий электропередачи, связи и т.п.; вспомогательной пояснительной документации.

Исполнительный генеральный план составляют на планшетах стандартного размера или подрамниках, объединяющих несколько планшетов, в цветных условных знаках по общепринятым съемочным инструкциям.

Отдельные виды исполнительных съемок для составления исполнительного генерального плана имеют свои особенности.

Исполнительную съемку выполненной в натуре вертикальной планировки ведут методами нивелирования поверхности и проложением ходов по характерным точкам. Отметки определяют по отмостям зданий, в местах пересечений и переломов профиля дорог, тротуаров, проездов, у решеток дождеприемников и других характерных местах. На открытых площадках нивелирование производится по квадратам или поперечникам.

Исполнительная съемка подземных коммуникаций проводится по мере их возведения, но, как правило, до засыпки траншей. Снимаются углы поворота, точки на прямолинейных участках не реже чем через 50 м, точки начала, середины и конца кривых, места пересечения трасс, места присоединений и ответвле-

ний, люки, колодцы, камеры, компенсаторы и т.п. Собирают данные о числе прокладок, диаметрах труб, давлении в газовых и напряжении в кабельных сетях, материалах труб. Производят обмеры колодцев и камер с привязкой расположения труб и фасонных частей к отвесной линии, проходящей через центр крышки люка.

При съемке дорог проверяют элементы кривых, определяют координаты вершин углов поворота, точек пересечений и примыканий, центров стрелочных переводов. Определяют отметки головок рельсов и дорожного полотна, а также габарит приближения строений.

Главной особенностью съемок для составления исполнительного генерального плана, отличающей их от съемок при изысканиях, является координирование большого числа точек, определяющих фактическое положение на местности основных элементов зданий и сооружений.

## Глава 31

### **ОРГАНИЗАЦИЯ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ РАБОТ. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ**

#### **31.1. Организация геодезических работ в строительстве**

Геодезические работы в строительстве представляют собой комплекс измерений, вычислений и построений в чертежах и натуре, обеспечивающих правильное и точное размещение зданий и сооружений, а также возведение их конструктивных и планировочных элементов в соответствии с геометрическими параметрами проекта и требованиями нормативных документов.

Геодезические работы являются составной частью процесса строительного проектирования и производства. Отсюда следует, что их содержание и технологическая последовательность должны определяться этапами и технологией основного производства.

При выборе площадки под строительство геодезические работы предусматривают сбор, анализ и обобщение материалов, необходимых для проектирования. Кроме того, для особо сложных физико-геологических процессов и крупных прецизионных сооружений иногда организуют геодезические наблюдения за деформациями земной поверхности.

Для строительства выполняют непосредственно топографо-геодезические изыскания и обеспечивают в геодезическом отношении другие виды изысканий.

При изготовлении строительных конструкций ведут контроль за соблюдением геометрических параметров формирующего оборуду-

дования и проводят статистический контроль геометрических параметров строительных конструкций.

В подготовительный период строительства создают геодезическую разбивочную основу, осуществляют инженерную подготовку территории и выносят в натуру главные и основные оси.

В основной период строительства выносят в натуру оси конструктивных и планировочных элементов, осуществляют геометрическое обеспечение строительно-монтажных работ, производят поэтапную исполнительную съемку законченных объектов, при необходимости ведут наблюдения за деформациями.

По окончании строительства составляют технический отчет о результатах выполненных в процессе строительства геодезических работах и составляют исполнительный генеральный план.

Геодезические работы в строительстве имеют свои специфические особенности, в значительной степени определяющие их организацию. Это сезонность полевых изыскательских работ и экспедиционный характер их выполнения, различие физико-географических и экономических условий на объектах, необходимость высокой квалификации основных исполнителей, наличие непродолжительных организационно-ликвидационных мероприятий, необходимость частых переездов с одного рабочего места на другое, интенсивность движения транспорта и пешеходов при работах в городах и т. д.

Геодезические изыскательские работы организуются в основном по бригадному принципу. При изысканиях протяженных линейных трасс всю трассу делят на участки и каждой бригаде выделяют свой участок. Размеры участка определяют, исходя из продолжительности полевого сезона или установленного срока окончания изысканий. Изыскания небольших трасс выполняет, как правило, одна специальная бригада. Состав бригады определяют в зависимости от назначения и категории трассы, квалификации исполнителей и т. п. При изысканиях площадных сооружений чаще всего применяют комплексную организацию труда, при которой одна и та же бригада выполняет на объекте несколько видов работ. Хотя по численности такая бригада больше обычной, однако комплексная организация труда способствует повышению производительности за счет сокращения простоев, совмещения профессий и т. п.

Для выполнения изыскательских работ составляют специальный проект, который в общем случае содержит физико-географическое описание и топографо-геодезическую изученность района работ, схему и расчет точности построения геодезического обоснования, чертежи геодезических центров, требования к съемке, сведения об организации работ, перечень основных приборов и оборудования, смету и другие сведения, необходимые для производства работ.

Организация инженерно-геодезических работ на строительных и монтажных площадках обладает характерной особенностью. Прежде всего эти работы проводятся в сложных условиях строительной площадки в любое время года. От оперативности их выполнения зависит оперативность самих строительных работ, а иногда и своевременный ввод объектов в эксплуатацию. Брак в работе геодезиста на строительной площадке совершенно недопустим, так как может явиться причиной переделок дорогостоящих строительномонтажных работ.

Работа геодезиста на строительной площадке не всегда связана с необходимостью работать вместе со строителями. Это позволяет ему одновременно обслуживать несколько строительных бригад или объектов.

При организации геодезических работ необходимо учитывать, что измерения на строительной площадке затруднены из-за наличия большого числа транспортных и подъемных механизмов, складированного оборудования и материалов и т. п. При таких условиях время на выполнение отдельных измерительных операций может быть увеличено по сравнению с обычными полевыми условиями.

Условия выполнения геодезических работ при монтаже технологического оборудования аналогичны условиям на строительной площадке. Различие в основном состоит в том, что в большинстве случаев монтаж оборудования выполняют в помещениях и с более высокой точностью. На монтажной площадке геодезические работы могут выполняться одновременно на нескольких участках и в несколько смен. Многие виды работ требуют совместного участия геодезистов и монтажников. В этом случае для лучшей организации работ геодезическая бригада осуществляет только начальный и заключительный контроль положения монтируемого оборудования. Контроль всех промежуточных операций монтажники производят с помощью своих измерительных средств. Такая организация труда увеличивает его производительность и позволяет геодезической бригаде обслуживать несколько монтажных бригад.

Геодезические работы на строительных и монтажных площадках выполняют по специально разработанному проекту производства геодезических работ.

### **31.2. Лицензирование геодезических работ**

*Лицензия* — это специальное разрешение на осуществление конкретного вида деятельности.

Лицензии выдаются юридическому лицу (например организации) или индивидуальному предпринимателю. Она оформляется на бумажных носителях с достаточными степенями защиты от возможных подделок.

*Лицензирование* — это мероприятия, связанные с предоставлением лицензий, переоформлением документов, подтверждающих наличие лицензии, приостановлением и аннулированием лицензий, а также контролем за соблюдением лицензиатом определенных заранее оговоренных требований и условий.

К лицензируемым видам деятельности законодательством Российской Федерации отнесены такие виды деятельности, осуществление которых может повлечь за собой нанесение ущерба правам, законным интересам, здоровью граждан, обороне государства, культурному наследию народов России.

В Российской Федерации подлежат лицензированию свыше 120 видов деятельности, но непосредственно с геодезией, топографией и картографией связаны четыре вида. Лицензии на них уполномочены выдавать два федеральных ведомства: Федеральная служба геодезии и картографии и Государственный строительный комитет (Госстрой России).

Виды геодезической и картографической деятельности и конкретные перечни работ установлены соответствующими положениями о лицензировании. Они уточняются и видоизменяются в зависимости от требований народного хозяйства, но в целом соответствуют общей номенклатуре геодезических и картографических работ. Здесь мы рассмотрим только принципы лицензирования геодезических работ.

Лицензии на право производства геодезических работ носят разрешительный характер. Органы государственного управления имеют право разрешать или запрещать их производство. Основанием для разрешения является наличие и предоставление в органы лицензирования соответствующей заявки от соискателя лицензий, также обязательства выполнять правила, нормы и регламенты ведения работ.

Для получения лицензий соискатель лицензии подает в лицензионный орган *заявление-просьбу* с наименованием видов деятельности и перечнем работ. Кроме соответствующих документов юридического характера (устава, свидетельства о государственной регистрации, справки о постановке на учет в налоговых органах и т. д.) заявитель своим квалификационным составом и наличием инструментов должен обосновать, а эксперт органа лицензирования подтвердить (проверить) возможность выполнять заявленные виды деятельности и конкретные работы.

При осуществлении строительной деятельности лицензируются в объеме СНиП 11-02—96 «Инженерные изыскания» следующие виды работ:

создание (развитие) опорных геодезических сетей, плановых сетей 4-го класса и сетей сгущения 1-го и 2-го разрядов, нивелирной сети II, III и IV классов, включая геодезические сети специального назначения для строительства;

создание плано-высотных съемочных геодезических сетей;  
топографическая съемка в масштабах 1:5000... 1:200, включая съемку подземных и надземных сооружений (наземная, аэрофототопографическая, стереофотограмметрическая);

обновление топографических (инженерно-топографических) планов в масштабах 1:5000... 1:200 и кадастровых планов в графической, цифровой, фотографической формах;

геодезические работы, связанные с переносом в натуру и привязкой горных выработок, геофизических и других точек инженерных изысканий;

геодезические стационарные наблюдения за деформациями оснований зданий и сооружений, земной поверхности и толщи горных пород, в том числе при выполнении локального мониторинга за опасными природными и техногенными процессами;

инженерно-геодезическое обеспечение ведения геоинформационных систем организаций, поселений и государственных кадастров (градостроительного и др.);

камеральное и полевое трассирование объектов линейного строительства;

специальные стереофотограмметрические съемки по определению геометрических размеров зданий и сооружений;

геодезические работы при монтаже оборудования, выверке подкрановых путей и проверке вертикальности колонн, сооружений и их элементов;

геодезические работы по определению в натуре скрытых подземных сооружений, при ремонтных и других работах.

Если геодезические работы производятся в процессе строительства, то требуется получение лицензии:

на создание геодезической основы для строительства;

разбивку внутриплощадочных, кроме магистральных, линейных сооружений или их частей, временных зданий (сооружений);

создание внутренней разбивочной сети здания (сооружения);

геодезический контроль точности геометрических параметров зданий (сооружений) и исполнительные съемки с составлением исполнительной геодезической документации;

геодезические измерения деформаций оснований, конструкций зданий (сооружений) и их частей.

Как уже отмечалось, при получении лицензий геодезисты подтверждают возможность выполнять заявленные виды работ. Однако главным является выполнение лицензионных требований и условий при осуществлении работ.

Лицензионными требованиями и условиями являются:

наличие у юридического лица не менее 50% штатной численности руководителей и специалистов, имеющих высшее профессиональное образование и стаж работы в области инженерных изысканий при строительстве не менее пяти лет;

наличие у индивидуального предпринимателя высшего или среднего профессионального образования и стажа работы в области инженерных изысканий при строительстве не менее пяти лет;

наличие у лицензиата принадлежащих ему на правах собственности (аренды) или на ином законном основании зданий, помещений, оборудования и инвентаря, необходимых для осуществления лицензируемой деятельности;

повышение не реже одного раза в пять лет квалификации индивидуального предпринимателя и работников юридического лица, осуществляющих инженерные изыскания при строительстве;

наличие системы контроля за качеством выполняемых работ и метрологического обслуживания приборов и средств измерения;

выполнение инженерных изысканий для строительства в соответствии с требованиями законодательства Российской Федерации, соответствующих государственных стандартов и нормативно-технических документов в строительстве;

безвозмездная передача одного экземпляра копий материалов инженерных изысканий для строительства в соответствующие архивы и фонды архитектуры и градостроительства.

Проверки выполнения лицензионных требований и условий осуществляют лица, уполномоченные Госстроем России, Федеральным лицензионным центром при Госстрое России, Роскартографией или территориальными лицензионными органами на местах. При необходимости в качестве проверяющих экспертов и консультантов к проверкам привлекаются ведущие специалисты научно-исследовательских и учебных организаций и учреждений, испытательных лабораторий, имеющих лицензии на осуществление контроля качества.

Руководители проверяемых организаций обязаны обеспечить проверяющим свободный доступ в служебные и производственные помещения, к технической документации, на объекты при предъявлении уведомления или доверенности на право проверки; предоставление документов и сведений, необходимых для проведения проверки.

При несоблюдении условий лицензирования действие лицензии приостанавливается или она аннулируется.

### **31.3. Стандартизация в инженерно-геодезических работах**

*Стандартизация* — это процесс установления и применения правил для упорядочения деятельности человека в данной сфере производства. Задачей стандартизации в инженерно-геодезических работах является обеспечение единства измерений, вычислений и построений на чертежах и в натуре. Решение этой задачи обеспечивает система стандартов, норм и правил.



В России действуют четыре категории стандартов, различающихся по сфере действия: государственный общероссийский стандарт (ГОСТ), стандарт субъекта Федерации (ССФ), отраслевой стандарт (ОСТ) и стандарт предприятий (СТП). В странах СНГ, в том числе и в нашей стране, действуют также стандарты СЭВ (неотмененные) и ISO (введенные).

Непосредственное отношение к геодезическим работам в строительстве имеют стандарты группы «Система обеспечения геометрической точности в строительстве». Это ГОСТ 21778—81 «Основные положения», ГОСТ 21779—82 «Технологические допуски», ГОСТ 21780—83 «Расчеты точности», ГОСТ 23616—79 «Общие правила контроля точности», ГОСТ 26433.0—85 «Правила выполнения измерений». При геодезических работах в строительстве используют ГОСТы из других разделов, относящихся к геодезической терминологии, геодезическим приборам, технологии измерений и т. п.

Систему общероссийских нормативных документов по проектированию и строительству представляют строительные нормы и правила (СНиП), состоящие из шести частей. Каждая часть подразделяется на группы, а группы — на отдельные главы, которые издаются самостоятельно и содержат требования к конкретному виду работ. Части группы и главы обозначаются арабскими цифрами. Так, например, 1.01.01—82 означает, что данный СНиП относится к части 1, группе 01, главе 01 и утвержден в 1982 г. Указанный СНиП, называемый «Система нормативных документов в строительстве. Основные положения» определяет новую систему СНиПов, введенную в действие в 1982 г. С 1994 г. вводятся стандарты, утверждаемые Госстроем России.

Приведем состав данного СНиПа.

Часть 1 «Организация, управление, экономика». Состоит из 12 групп.

Часть 2 «Нормы проектирования». Состоит из 12 групп.

Часть 3 «Организация, производство и приемка работ». Включает в себя девять групп.

Часть 4 «Сметные нормы». Не делится на группы.

Часть 5 «Нормы затрат материальных и трудовых ресурсов». Состоит из четырех групп.

Часть 6 «Эксплуатация и ремонт зданий, сооружений и конструкций». Содержит две группы.

Дополнением к СНиПу служат различного рода инструкции, правила, указания и технические условия, именуемые «Строительные нормы» (СН) и строительные правила (СП). С соответствующим индексом и годом утверждения они входят в состав групп СНиПов.

Геодезические работы регламентируются двумя основными документами. СНиП 3.01.03—84 «Геодезические работы в строительстве» содержат требования к геодезической разбивочной ос-

нове, разбивочным работам, контролю точности выполнения строительно-монтажных работ, а также определяют условия обеспечения точности геодезических измерений. СНиП 11-02—96 «Инженерные изыскания для строительства», СП 11-104—97 «Инженерно-геодезические изыскания для строительства» регламентируют производство всего комплекса геодезических работ при инженерно-геодезических изысканиях. Во многих СНиПах, относящихся к различным видам проектных и строительных работ, имеются разделы, определяющие требования к точности геодезических разбивок и построения разбивочной геодезической основы.

Геодезические работы в строительстве могут быть регламентированы местными (например, МГСН — Московские строительные нормы) и ведомственными (ВСН) строительными нормами. Используются также нормативная и инструктивная документация Федеральной службы геодезии и картографии России. Всего используется свыше 25 общероссийских стандартов и СНиПов, где приведены нормы и правила геодезических работ.

#### **31.4. Техника безопасности при выполнении инженерно-геодезических работ**

Инженерно-геодезические работы выполняют в различных условиях: на территориях городов и промышленных объектов, в лесных и труднодоступных местах, на участках железных и автомобильных дорог, возводимых зданиях и сооружениях и т.д. Для предупреждения несчастных случаев и травм в этих условиях все работы должны выполняться с соблюдением специальных правил и инструкций по технике безопасности. Для ознакомления всех без исключения работающих с этими правилами проводятся специальные инструктажи.

Различают инструктаж вводный и на рабочем месте. Повторный инструктаж проводится через установленное время, при внедрении новой технологии, нового оборудования и новых правил по технике безопасности.

При выполнении геодезических работ на строительных площадках прежде всего соблюдаются общие правила техники безопасности строительства.

На строительных площадках устанавливают знаки безопасности и надписи около опасных зон, где действуют или могут возникнуть опасные производственные факторы, например, «Зона работы крана», «Открытые проемы» и т.д.

К таким зонам относятся: пространство вблизи незащищенных токоведущих частей электроустановок; места передвижения машин, хранения вредных веществ; территория, над которой перемещают грузы грузоподъемными кранами, где работает оборудование с вращающимися рабочими органами и ведутся свароч-

ные работы. Строящиеся здания и сооружения ограждают заборами или козырьками.

При сварочных и других работах, при которых возможно возгорание, соблюдают правила пожарной безопасности. Около мест, где ведутся такие работы, устанавливают средства для тушения пожара и вывешивают инструкции по их применению.

Строительную площадку и подходы к ней в темное время суток равномерно освещают.

Колодцы, шурфы и другие выемки в грунте, а также проемы в перекрытиях зданий и сооружений закрывают щитами или огораживают, в темное время на этих ограждениях горят электрические сигнальные лампы.

Для подъема и спуска на рабочие места при строительстве зданий и сооружений высотой или глубиной 25 м и более применяют пассажирские и грузопассажирские подъемники (лифты). Рабочие, находящиеся на высоте, пользуются предохранительными поясами, которые крепят к надежным конструкциям.

При выполнении работ с применением лазерного луча в местах возможного прохода людей устанавливают экраны, исключающие распространение луча за пределы мест производства работ.

Если работы выполняют по одной вертикали, то места, расположенные ниже нее, оборудуют защитными устройствами.

Учащиеся профессионально-технических училищ и техникумов в возрасте от 17 до 18 лет при прохождении производственной практики на объектах строительства по профессиям, предусматривающим выполнение строительно-монтажных работ, к которым предъявляются дополнительные требования по безопасности труда, могут работать не более 3 ч. Работы должны выполняться под руководством и наблюдением мастера производственного обучения и работника строительно-монтажной организации, назначенных для руководства практикой. В остальных случаях учащиеся профессионально-технических и технических училищ, средних специальных учебных заведений во время прохождения производственной практики или работы трудятся под наблюдением инженерно-технического работника, ответственного за безопасное ведение работ. Всех учащихся обучают безопасным методам и приемам производства по типовым программам.

При выполнении геодезических работ, сопутствующих строительным, выполняют все правила техники безопасности, установленные для данного вида строительных работ, а также специфические.

До начала полевых топографо-геодезических работ в городских условиях, населенных пунктах и на территориях промышленных объектов устанавливают схемы размещения скрытых объектов: подземных коммуникаций и сооружений. При работе в городе не-

обходимо знать правила дорожного движения; при работе на проезжих частях надо надевать демаскирующую (оранжевую) одежду и выставлять оградительные щиты. Проведение работ на улицах и площадях с интенсивным движением согласовывают с ГИБДД.

По проезжей части дороги разрешается ходить только у кромки тротуара навстречу идущему транспорту — в таком направлении и ведутся измерения в ходах. Запрещается оставлять геодезические приборы без надзора на проезжих частях улиц и дорог.

Высоту подвески проводов линий электропередачи, электроподстанций определяют аналитическим путем, не касаясь проводов рейками, рулетками, вешками. Рейки, вешки и другие предметы, применяемые для измерений, не разрешается подносить ближе чем на 2 м к электропроводам, в том числе контактными на железных дорогах и трамвайных линиях.

При закладке временных кольев, штырей и других знаков их верхнюю часть забивают вровень с поверхностью земли, а их длина не должна быть более 15 см.

При геодезических измерениях, выполняемых в процессе земляных, каменных, бетонных и монтажных работ, соблюдают правила безопасности, предписываемые для данных строительных работ.

На работы в пределах охранных зон кабелей, находящихся под напряжением, или действующего газопровода, необходимо разрешение соответствующего электро- или газового хозяйства. При нивелирных работах вблизи стен не разрешается переходить по стенным перекрытиям. Рейку устанавливают на подмостях, высота которых должна быть ниже уровня кладки на 0,7 м. При необходимости делать разметку на внешних плоскостях стен работают с предохранительными поясами.

При бетонных работах во время электронагрева бетона нельзя касаться рулеткой арматуры, а также выполнять разбивочные и выверочные работы в зоне монтажа. При скорости ветра 15 м/с и более, гололедице, грозе или тумане, исключающем видимость в пределах фронта работ, прекращают все работы, в том числе и геодезические на высоте в открытых местах.

Запрещается размечать оси и другие ориентиры на элементах конструкций во время их подъема, перемещения или в подвешенном состоянии. Нельзя оставлять геодезические приборы и принадлежности без присмотра на монтажном горизонте во время перерыва в работе. Геодезические приборы переносят только в упаковочных ящиках, а штативы — в сложенном виде.

Съемка существующих подземных коммуникаций, как правило, связана с их обследованием. При обследовании снимают крышки колодцев и ставят около них треногу со знаком «Опасность».

Перед спуском людей в колодец проверяют, нет ли в нем газа, опуская в него шахтерскую лампу. Если в колодце есть метан,

лампа гаснет или сильно уменьшает силу света, а при наличии светильного газа — вспыхивает и гаснет. От паров бензина пламя лампы удлиняется и окрашивается в синий свет, от аммиачного газа без вспышки гаснет. Если лампа не гаснет, а горит ровным светом (таким же, как и на поверхности), то газов в колодце нет и можно спускаться. Запрещается проверять газ по запаху, бросать в колодец зажженную бумагу или опускать горящую свечу или фонарь.

Во время работы следят за открытыми люками, не допуская к ним посторонних людей. По окончании работ или при перерыве все люки колодцев плотно закрывают крышками. Инструменты, лампы и предметы опускают в колодец на веревке после подачи работающим в колодце условного сигнала. Колодец освещают шахтерской лампой. Работы ведут в рукавицах.

Металлические рейки опускают в колодец и вынимают из него по частям, не касаясь проводов.

К работе на дорогах допускаются лица в демаскирующей одежде оранжевого цвета. На время работы выделяют двух сигнальщиков, которые оповещают работающих о приближении транспортных средств. На автодорогах сигнальщики должны находиться на расстоянии 50... 100 м с обеих сторон от места работы, а на железных — не менее 1 км. Во время тумана, метели, грозы работать на дорогах не разрешается. Переходы, промеры по дорогам ведут по бровкам, а не по полотну.

При измерении стальной лентой или рулеткой через рельсы электрифицированных железных дорог полотно держат навесу. Нельзя пролезать под вагонами, перетаскивать под ними геодезические приборы и инвентарь, проходить между буферами вагонов, если расстояние между ними менее 5 м.

Если работы ведутся на мосту длиной менее 50 м, то его на время прохождения поезда освобождают. При длине моста более 50 м работающие укрываются в нишах.

При постройке и закладке геодезических знаков выполняют следующие правила.

К работам допускаются только лица, имеющие специальную подготовку, прошедшие обучение безопасным методам ведения работ по закладке знаков.

Заготовку деталей знаков ведут на земле, работы выполняют топором и пилой. При протесывании бревен нельзя придерживать их ногами — бревно закрепляют на подкладках П-образными скобами и следят за тем, чтобы топор не соскользнул на ногу. Раскалывая чурбаки, нельзя придерживать их ногами.

При сборке металлических знаков гаечные ключи, которыми пользуются верхолазы, привязывают лямками к кистям рук. Винты, болты, шайбы хранят в карманах на спецодежде или в подвешенных сумках.

Если знаки строят на крыше здания, то работающие привязываются цепью верхолазного ремня к стропилам крыши.

К самостоятельным верхолазным работам согласно действующему законодательству допускаются лица не моложе 18 лет. Они должны проходить специальный медицинский осмотр, а впервые приступающие в течение одного года должны работать под непосредственным надзором опытных рабочих.

Рытье котлованов для закладки и канав для маркировки подземных центров геодезических знаков, вырубку углублений в кирпичных и железобетонных стенах для закладки реперов производят, как правило, механическими средствами. При рытье котлованов вручную запрещается вести работы подкопом.

Бетонные монолиты и другие материалы опускают в котлованы в соответствии с правилами погрузочно-разгрузочных работ.

Начиная с 1993 г. Госстроем России введены типовые инструкции по охране труда для работников строительных профессий (ТОИ Р66 — 01; 02 и т. д.). Таких инструкций утверждено свыше 60. Государственной противопожарной службой МВД России утверждены Правила пожарной безопасности (ППБ), три части, свыше 10 выпусков. Издаются также Руководящие документы в строительстве (РДС).

Руководитель геодезических работ на объекте строительства обязан изучить эти нормы, провести инструктаж подчиненных работников и нести ответственность за их соблюдение.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Большаков В. Д., Маркузе Ю. И.* Практикум по теории математической обработки геодезических измерений. — М.: Недра, 1983.
2. Геодезические методы исследования деформаций сооружений / А. К. Зайцев, С. В. Марфенко, Д. Ш. Михелев и др. — М.: Недра, 1991.
3. Геодезические работы при строительстве мостов / В. А. Коу-гия, В. В. Грузинов, О. Н. Малковский и др. — М.: Недра, 1986.
4. *Григоренко А. Г., Киселев М. И.* Инженерная геодезия. — М.: Высш. шк., 1983.
5. Инженерно-геодезические работы для проектирования и строительства энергетических объектов / А. А. Карлсон, Л. И. Пик, О. А. Пономарев и др. — М.: Недра, 1986.
6. *Клюшин Е. Б., Михелев Д. Ш.* Инженерная геодезия. — М.: Недра, 1990.
7. *Левчук Г. П., Новак В. Е., Конусов В. Г.* Прикладная геодезия. Основные методы и принципы инженерно-геодезических работ. — М.: Недра, 1981.
8. *Левчук Г. П., Новак В. Е., Лебедев Н. Н.* Прикладная геодезия. Геодезические работы при изысканиях и строительстве инженерных сооружений. — М.: Недра, 1983.
9. *Маслов А. В.* Способы и точность определения площадей. — М.: Геодезиздат, 1955.
10. Методы и приборы высокоточных геодезических измерений в строительстве / В. Д. Большаков, И. Ю. Васютинский, Е. Б. Клюшин и др. — М.: Недра, 1976.
11. Практикум по прикладной геодезии. Геодезическое обеспечение строительства и эксплуатации инженерных сооружений. — М.: Недра, 1993.
12. *Тревого И. С., Шевчук П. М.* Городская полигонометрия. — М.: Недра, 1986.
13. *Фельдман В. Д., Михелев Д. Ш.* Основы инженерной геодезии. — М.: Высш. шк., 1998.

# ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие .....	3
Введение .....	4

## РАЗДЕЛ I ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ГЕОДЕЗИИ И ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЯХ

Глава 1. <b>Земная поверхность и способы ее изображения</b> .....	6
1.1. <b>Форма Земли и определение положения точек на земной поверхности</b> .....	6
1.2. <b>Изображение земной поверхности на плоскости (план, карта, профиль)</b> .....	9
1.3. <b>Измерения и построения в геодезии</b> .....	10
1.4. <b>Масштабы изображения на плоскости</b> .....	13
Глава 2. <b>Ориентирование на местности</b> .....	16
2.1. <b>Азимуты, румбы, дирекционные углы и зависимости между ними</b> .....	16
2.2. <b>Приборы для ориентирования на местности</b> .....	19
Глава 3. <b>Топографические карты и планы</b> .....	21
3.1. <b>Классификация и номенклатура</b> .....	21
3.2. <b>Картографическая проекция и система плоских прямоугольных координат</b> .....	23
3.3. <b>Условные знаки на планах и картах</b> .....	24
3.4. <b>Определение координат, расстояний и углов на планах и картах</b> .....	26
Глава 4. <b>Рельеф земной поверхности и его изображение</b> .....	28
4.1. <b>Формы рельефа и его изображение</b> .....	28
4.2. <b>Изображение земной поверхности в цифровом виде</b> .....	31
4.3. <b>Решение задач по картам и планам с горизонталями</b> .....	32
Глава 5. <b>Общие сведения из теории погрешностей измерений</b> .....	36
5.1. <b>Погрешности и их виды</b> .....	36
5.2. <b>Свойства случайных погрешностей</b> .....	37
5.3. <b>Средняя квадратическая, предельная и относительная погрешности</b> .....	38
5.4. <b>Оценка точности результатов измерений</b> .....	40



Глава 6. Измерение длины линий .....	42
6.1. Измерение длины линий мерными приборами .....	42
6.2. Измерение длины линий дальномерами .....	52
Глава 7. Нивелирование .....	56
7.1. Нивелиры, нивелирные рейки, костыли и башмаки .....	56
7.2. Способы нивелирования .....	63
7.3. Поверки и юстировки нивелиров .....	68
7.4. Проведение геометрического нивелирования .....	70
Глава 8. Угловые измерения .....	75
8.1. Принципы измерения углов. Теодолиты .....	75
8.2. Штативы, визирные цели и эккеры .....	81
8.3. Поверки и юстировки теодолитов .....	84
8.4. Измерение горизонтальных и вертикальных углов на местности .....	88
8.5. Теодолитные ходы .....	93
Глава 9. Современные геодезические приборы .....	100
9.1. Лазерные геодезические приборы .....	100
9.2. Электронные теодолиты и тахеометры .....	105
9.3. Приборы вертикального проектирования .....	107
Глава 10. Геодезические сети .....	109
10.1. Общие сведения о геодезических сетях .....	109
10.2. Плановые геодезические сети .....	110
10.3. Высотные геодезические сети .....	112
10.4. Знаки для закрепления геодезических сетей .....	113
Глава 11. Топографические съемки .....	115
11.1. Съемка и съёмочное обоснование .....	115
11.2. Аналитический метод съемки .....	117
11.3. Тахеометрическая съемка .....	120
11.4. Нивелирование поверхности .....	125
11.5. Фототопографическая съемка .....	126
11.6. Специальные методы съемки .....	129

## РАЗДЕЛ II ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Глава 12. Инженерные изыскания для строительства .....	130
12.1. Виды и задачи инженерных изысканий .....	130
12.2. Изыскания площадных сооружений .....	132
12.3. Изыскания для линейных сооружений .....	134
12.4. Современные методы инженерных изысканий .....	137
Глава 13. Инженерно-геодезические опорные сети .....	138
13.1. Назначение, виды и особенности построения опорных сетей .....	138

13.2. Принципы проектирования и расчет точности построения опорных сетей .....	140
13.3. Триангуляционные сети .....	144
13.4. Трилатерационные сети .....	148
13.5. Линейно-угловые сети .....	151
13.6. Полигонометрические сети .....	153
13.7. Геодезическая строительная сетка .....	155
13.8. Высотные опорные сети .....	161
13.9. Особенности закрепления геодезических пунктов на территории городов и промышленных площадок .....	162
<b>Глава 14. Спутниковые методы измерений в инженерно-геодезических работах .....</b>	<b>167</b>
14.1. Глобальные системы определения местоположения ГЛОНАСС и NAVSTAR GPS .....	167
14.2. Системы отсчета времени и координат .....	172
14.3. Орбитальное движение спутников. Эфемериды .....	174
14.4. Измерения, выполняемые спутниковыми приемниками ....	179
14.5. Поправки, вводимые в результаты измерений .....	184
14.6. Режимы наблюдений .....	191
14.7. Преобразование координат .....	193
<b>Глава 15. Общие положения о геодезических разбивочных работах .....</b>	<b>194</b>
15.1. Назначение и организация разбивочных работ .....	194
15.2. Нормы и принципы расчета точности разбивочных работ .....	196
15.3. Вынос в натуру проектных углов и длин линий .....	199
15.4. Вынос в натуру проектных отметок, линий и плоскостей проектного уклона .....	203
<b>Глава 16. Способы разбивочных работ .....</b>	<b>206</b>
16.1. Основные источники погрешностей при разбивочных работах .....	206
16.2. Способы прямой и обратной угловых засечек .....	208
16.3. Способ линейной засечки .....	212
16.4. Способ полярных координат .....	214
16.5. Способы створной и створно-линейной засечек .....	216
16.6. Способ прямоугольных координат .....	219
16.7. Способ бокового нивелирования .....	221
<b>Глава 17. Общая технология разбивочных работ .....</b>	<b>223</b>
17.1. Геодезическая подготовка проекта .....	223
17.2. Основные разбивочные работы .....	226
17.3. Закрепление осей сооружений .....	231
<b>Глава 18. Геодезические работы при планировке и застройке городов .....</b>	<b>233</b>
18.1. Планировка и проектирование городской территории .....	233

18.2. Составление и расчеты проекта красных линий .....	237
18.3. Вынесение в натуру и закрепление красных линий, осей проездов, зданий и сооружений .....	238
18.4. Составление плана организации рельефа .....	244
18.5. Составление плана земляных масс .....	248
18.6. Вынесение в натуру проекта организации рельефа .....	250
<b>Глава 19. Геодезические работы при строительстве и эксплуатации подземных коммуникаций .....</b>	<b>252</b>
19.1. Общие сведения о подземных коммуникациях .....	252
19.2. Разбивка подземных коммуникаций и геодезические работы при их укладке .....	253
19.3. Съёмка подземных коммуникаций .....	256
19.4. Поиск подземных коммуникаций .....	258
<b>Глава 20. Геодезические работы при строительстве гражданских зданий .....</b>	<b>260</b>
20.1. Гражданские здания и состав геодезических работ при их возведении .....	260
20.2. Геодезические работы при возведении подземной части зданий .....	263
20.3. Построение базисных осевых систем и разбивка осей на исходном горизонте .....	272
20.4. Перенос осей и отметок на монтажные горизонты .....	273
20.5. Геодезические работы при возведении надземной части сборных зданий .....	278
20.6. Геодезические работы при возведении зданий из монолитного железобетона и кирпичных зданий .....	286
<b>Глава 21. Геодезические работы при строительстве промышленных сооружений .....</b>	<b>289</b>
21.1. Разбивка промышленных сооружений .....	289
21.2. Разбивка и выверка подкрановых путей .....	295
21.3. Геодезические работы при строительстве сооружений башенного типа .....	300
21.4. Геодезические работы при строительстве атомных электростанций .....	305
<b>Глава 22. Геодезические работы при монтаже строительных конструкций и технологического оборудования .....</b>	<b>309</b>
22.1. Принципы геодезического обеспечения монтажа строительных конструкций и технологического оборудования .....	309
22.2. Способы плановой установки и выверки конструкций и оборудования .....	311
22.3. Способы выверки прямолинейности .....	316
22.4. Способы установки и выверки строительных конструкций и оборудования по высоте .....	320

22.5. Способы установки и выверки конструкций и оборудования по вертикали .....	324
22.6. Особенности монтажа технологического оборудования повышенной точности .....	327
22.7. Система обеспечения геометрических параметров в строительстве и порядок расчета их точности .....	331
<b>Глава 23. Геодезические работы для земельного кадастра .....</b>	<b>336</b>
23.1. Общее понятие о земельном кадастре .....	336
23.2. Состав геодезических работ для кадастра .....	337
23.3. Способы и точность определения площадей земельных участков .....	339
23.4. Вынос в натуру и определение границ землепользования .....	346
23.5. Понятие о геоинформационных системах .....	349
23.6. Геоинформационные системы в кадастре .....	350
<b>Глава 24. Наблюдения за деформациями сооружений геодезическими методами .....</b>	<b>351</b>
24.1. Виды деформации и причины их возникновения .....	351
24.2. Задачи и организация наблюдений .....	353
24.3. Точность и периодичность наблюдений .....	354
24.4. Основные типы геодезических знаков и их размещение .....	355
24.5. Наблюдения за осадками сооружений .....	357
24.6. Наблюдения за горизонтальными смещениями сооружений .....	363
24.7. Наблюдения за кренами, трещинами и оползнями .....	368
24.8. Обработка и анализ результатов наблюдений .....	371
<b>Глава 25. Геодезические работы при изысканиях и строительстве дорог и мостов .....</b>	<b>374</b>
25.1. Камеральное трассирование .....	374
25.2. Полевое трассирование .....	377
25.3. Восстановление дорожной трассы и разбивка кривых .....	385
25.4. Разбивка земляного полотна дороги .....	388
25.5. Разбивка верхнего строения дороги .....	392
25.6. Построение мостовой разбивочной основы .....	393
25.7. Разбивочные работы при возведении опор и пролетных строений моста .....	396
<b>Глава 26. Геодезические работы при строительстве гидротехнических сооружений .....</b>	<b>399</b>
26.1. Гидротехнические сооружения и состав геодезических работ при их возведении .....	399
26.2. Вынос в натуру проектного контура водохранилища .....	401
26.3. Геодезическое обоснование для строительства гидротехнических сооружений .....	403
26.4. Разбивочные работы на площадке гидроузла .....	406

26.5. Геодезическое обеспечение монтажных работ на гидроузле .....	410
26.6. Геодезические работы при гидромелиоративном строительстве .....	412
<b>Глава 27. Геодезические работы при строительстве тоннелей .....</b>	<b>414</b>
27.1. Общие сведения о тоннелях и способах их сооружения .....	414
27.2. Основные элементы трассы тоннеля .....	418
27.3. Аналитический расчет трассы тоннеля .....	420
27.4. Схема построения геодезического обоснования трассы тоннеля .....	425
27.5. Передача координат и ориентирование геодезического обоснования в подземных выработках .....	430
27.6. Передача отметки в подземные выработки .....	434
27.7. Геодезическое обоснование в подземных выработках .....	437
27.8. Геодезические работы при щитовой проходке .....	439
27.9. Геодезические разбивочные работы при подземном строительстве .....	440
<b>Глава 28. Вынос в натуру и плано-высотная привязка горных выработок и геофизических точек .....</b>	<b>442</b>
28.1. Понятие о горных выработках .....	442
28.2. Вынос в натуру горных выработок .....	443
28.3. Плано-высотная привязка горных выработок .....	445
28.4. Геодезические работы при геофизической разведке .....	445
<b>Глава 29. Геодезическое обеспечение строительства линий электропередачи, связи и магистральных трубопроводов .....</b>	<b>447</b>
29.1. Воздушные линии электропередачи и связи .....	447
29.2. Магистральные трубопроводы .....	450
<b>Глава 30. Исполнительные съемки .....</b>	<b>452</b>
30.1. Назначение и методы исполнительных съемок .....	452
30.2. Исполнительные съемки в строительстве .....	453
30.3. Составление исполнительных генеральных планов .....	459
<b>Глава 31. Организация инженерно-геодезических работ. Техника безопасности .....</b>	<b>461</b>
31.1. Организация геодезических работ в строительстве .....	461
31.2. Лицензирование геодезических работ .....	463
31.3. Стандартизация в инженерно-геодезических работах .....	466
31.4. Техника безопасности при выполнении инженерно-геодезических работ .....	468
<b>Список литературы .....</b>	<b>473</b>